

MANUEL

DE FORMATION

- GESTION DE L'ENVIRONNEMENT -

GESTION DURABLE DE L'EAU



COLEACP

La présente publication a été élaborée par le COLEACP dans le cadre de ses programmes Fit For Market, Fit for Market SPS et STDF, financés par l'Union européenne (Fonds européen de développement – FED), l'Agence Française de Développement (AFD) et Le Fonds pour l'application des normes et le développement du commerce (STDF)

Le contenu de la présente publication relève de la seule responsabilité du COLEACP et ne peut aucunement être considéré comme reflétant le point de vue officiel de l'Union européenne, de l'AFD et du STDF.

Le COLEACP détient la propriété intellectuelle de l'ensemble du document.

Cette publication fait partie intégrante d'une collection COLEACP, composée d'outils de formation, de supports pédagogiques et de documents techniques. Tous sont adaptés aux différents types de bénéficiaires et niveaux de qualification rencontrés dans les filières de production et de commercialisation agricoles.

Cette collection est disponible en ligne pour les membres du COLEACP.

L'utilisation de tout ou partie de la publication est possible dans le cadre de partenariats ciblés et selon certaines modalités. Pour cela, contacter le Coleacp à network@coleacp.org.



GESTION DURABLE DE L'EAU

INTRODUCTION

PARTIE I

CHAPITRE 1 : CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'HORTICULTURE	1
1.1. Introduction : agriculture, alimentation et eau	2
1.2. L'agriculture du futur	7
1.3. Le rôle des pratiques agricoles	9
1.4. Le rôle de l'irrigation	10
1.5. Considérations relatives à l'horticulture	11
1.6. Ce manuel	12
CHAPITRE 2 : FONDEMENTS DU SYSTÈME MONDIAL DE L'EAU	15
2.1. Cycle hydrologique	16
2.2. Unités hydrologiques, bassins hydrographiques et aquifères	21
2.3. Bilan hydrologique d'un bassin	25
2.4. La consommation humaine et la pollution de l'eau	28
CHAPITRE 3 : DE L'EAU POUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES	35
3.1. L'importance de l'eau pour les plantes	36
3.2. Besoins en eau pour les cultures	37
3.3. Sol et eau	43
3.4. Besoins en eau pour les cultures et l'irrigation	51
CHAPITRE 4 : AGRICULTURE ET QUALITÉ DE L'EAU	55
4.1. Introduction	56
4.2. L'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau	57
4.3. L'importance de la qualité de l'eau pour l'agriculture	67
4.4. Éviter la pollution de l'eau	72
CHAPITRE 5 : IRRIGATION	75
5.1. Introduction	76
5.2. Les méthodes d'irrigation	77

5.3. Le choix de méthodes d'irrigation adaptées	87
5.4. La conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation	90
5.5. Les sources d'eau d'irrigation, le captage, le stockage et le recyclage de l'eau	101
5.6. Les performances des systèmes d'irrigation	107
CHAPITRE 6: GESTION DE L'IRRIGATION	113
6.1. Qu'est-ce que la gestion de l'irrigation?	114
6.2. Les mesures pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation	114
6.3. La gestion des eaux drainées	125
6.4. Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation	127
6.5. Les mesures d'atténuation des incidences sociales ..	129
CHAPITRE 7: EAU DESTINÉE AU LAVAGE ET AU TRAITEMENT POST-RÉCOLTE	133
7.1. Introduction	134
7.2. L'utilisation de l'eau après la récolte	134
7.3. Les problèmes d'eau pendant le lavage et le traitement postérieurs à la récolte	142
7.4. Conservation de l'eau pendant le lavage et le traitement	143
7.5. L'utilisation de l'eau après la récolte et les pertes alimentaires	146
CHAPITRE 8: DROITS SUR L'EAU, EXTRACTION ET DURABILITÉ DE L'UTILISATION DE L'EAU	149
8.1. Comprendre la législation sur l'eau: le droit à l'eau ...	150
8.2. Guider l'action: pourquoi et par où commencer?	153
CHAPITRE 9: PRODUCTION DE BANANES ÉQUITABLES DANS LE NORD DU PÉROU: ÉTUDE DE CAS ...	159
9.1. Introduction	160
9.2. Le contexte	160
9.3. Les outils	163
9.4. Les pratiques d'irrigation réelles par rapport plans d'irrigation théoriques	164
9.5. L'eau pour le nettoyage et le traitement	167
9.6. Résultats et principaux messages	169

GESTION DURABLE DE L'EAU

PARTIE II

CHAPITRE 1: L'EAU EN HORTICULTURE	175
1.1. Principales utilisations de l'eau en horticulture	176
1.2. L'aspect commercial	177
1.3. L'eau en tant que ressource partagée	180
1.4. Exemple	181
CHAPITRE 2: UTILISATION ET CAPTAGE DE L'EAU	185
2.1. Les sources d'eau	186
2.2. La cartographie des sources d'eau bleue	186
2.3. Les facteurs importants affectant les sources d'eau bleue	188
2.4. La mesure de la consommation d'eau	190
2.5. Exemple	194
CHAPITRE 3: RÉCUPÉRATION ET STOCKAGE DE L'EAU	197
3.1. Récupération de l'eau: collecte des eaux de pluie et de ruissellement	198
3.2. Comment récupérer et stocker l'eau	198
3.3. L'analyse de rentabilité de la récupération et du stockage de l'eau	203
3.4. Exemple	206
CHAPITRE 4: EAU RECYCLÉE	209
4.1. Introduction	210
4.2. Pourquoi recycler l'eau?	211
4.3. Quelques règles de base et lignes directrices pour l'utilisation de l'eau grise	212
4.4. Qualité de l'eau	214
4.5. Traiter l'eau	215
4.6. Recycler divers types d'eau grise	220
4.7. L'analyse de la rentabilité du recyclage de l'eau	224
4.8. Exemple	225
CHAPITRE 5: UTILISER L'EAU RATIONNELLEMENT	227
5.1. Introduction	228
5.2. L'intérêt commercial d'un usage rationnel de l'eau	229

5.3. Améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le transport	230
5.4. Améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le stockage	232
5.5. Améliorer l'usage rationnel de l'eau dans les champs	233
5.6. Améliorer l'usage rationnel de l'eau après la récolte	235
5.7. Exemple	236
CHAPITRE 6: LA QUALITÉ DE L'EAU	239
6.1. Les caractéristiques qui définissent la qualité de l'eau	240
6.2. La qualité de l'eau et la source de l'eau	242
6.3. La qualité de l'eau et l'utilisation de l'eau: les implications pour l'horticulture	243
6.4. Mesurer la qualité de l'eau	245
6.5. Le traitement de l'eau	250
6.6. La qualité de l'eau et son importance pour les entreprises horticoles	251
6.7. Exemple	252
CHAPITRE 7: HORTICULTURE ET POLLUTION	255
7.1. Sources de pollution de l'eau	256
7.2. Pourquoi il est important de gérer la pollution au niveau de l'exploitation	257
7.3. Comment prévenir et gérer la pollution	259
CHAPITRE 8: IRRIGATION	263
8.1. Introduction	264
8.2. Types d'irrigation	264
8.3. Avantages et inconvénients des différents systèmes d'irrigation	268
8.4. Comment parvenir à une irrigation plus efficace	273
8.5. Plan de gestion de l'irrigation	274
CHAPITRE 9: LES DONNÉES CLIMATIQUES	281
9.1. Les facteurs climatiques	282
9.2. Pourquoi il est important d'enregistrer les données climatiques	283
9.3. Comment enregistrer et utiliser les données climatiques	285
9.4. Exemple	288

CHAPITRE 10: METTRE UN PRIX SUR L'EAU	291
10.1. Le prix de l'eau	292
10.2. Pourquoi mettre un prix sur l'eau dans le secteur horticole?	293
10.3. Pourquoi et comment mettre un prix sur l'eau?	294
10.4. Exemple	297
CHAPITRE 11: GESTION DU SOL POUR LA RÉTENTION D'EAU	299
11.1. Pourquoi gérer le sol et augmenter sa capacité de rétention d'eau?	300
11.2. Gérer les sols pour une utilisation efficace de l'eau	302
11.3. Exemple	308
CHAPITRE 12: L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS À L'EAU ..	311
12.1. Pourquoi évaluer les risques liés à l'eau?	312
12.2. Les principes de l'évaluation des risques liés à l'eau	313
12.3. Outils permettant d'évaluer les risques liés à l'eau en entreprise	315
12.4. Exemple	322
CHAPITRE 13: LE PLAN DE GESTION DE L'EAU	325
13.1. Qu'est-ce qu'un plan de gestion de l'eau?	326
13.2. Pourquoi développer un plan de gestion de l'eau? ..	327
13.3. Comment développer un plan de gestion de l'eau? ..	328
13.4. Exemple	332
CHAPITRE 14: LA TENUE DE REGISTRES	335
14.1. Pourquoi tenir des registres?	336
14.2. Quels genres de registres faut-il tenir?	338
14.3. Les systèmes de tenue de registres	341
14.4. Exemple	343
ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES	347
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	353
SITES WEB UTILES	369



Introduction

INTRODUCTION

Parmi les ressources qui contribuent au développement des activités humaines, l'eau présente des caractéristiques uniques qui la distinguent de toutes les autres : elle est indispensable à la vie ; elle est omniprésente (elle compose 65 % du corps humain, et recouvre 70 % de la surface de la Terre) ; elle est disponible en quantités strictement fixes, dictées par les lois de conservation et le cycle de l'eau. Le fait qu'elle soit indispensable à la vie sur terre en fait une ressource convoitée plus qu'aucune autre.

Avec 70 % de la consommation mondiale, l'agriculture est sans conteste le secteur d'activité le plus consommateur en eau. Depuis le début du XX^{ème} siècle, la superficie des terres cultivées, et particulièrement celles irriguées, a nettement augmenté pour faire face à l'accroissement de la population et ses besoins alimentaires. La consommation mondiale d'eau pour l'agriculture a ainsi été multipliée par 6 entre 1900 et 1975.

La quantité d'eau mobilisée pour la production alimentaire est essentiellement fournie par les pluies. En complément de l'irrigation pluviale, les agriculteurs aménagent l'espace pour améliorer leur gestion de l'eau et leurs conditions de production. Déjà utilisés par les civilisations égyptienne et mésopotamienne, ces aménagements permettent d'augmenter les rendements et d'accroître la durée de la saison agricole. Encore très souvent traditionnels, les dispositifs d'irrigation ont un très faible rendement et nécessitent des perfectionnements. On estime que 30 à 60 % de l'eau est gaspillée du fait de la mauvaise maîtrise des techniques d'irrigation et du non-respect des bonnes pratiques d'irrigation.

Même si une multiplicité d'autres facteurs entre en compte, les mutations contemporaines des modes de production agricole ont des conséquences sur le cycle naturel de l'eau, sur sa qualité et sur les équilibres de la ressource. L'occupation de l'espace rural et les procédés d'exploitation des terres influencent la quantité et la qualité de l'eau disponible sur un bassin versant. Les relations entre l'eau et l'agriculture constituent donc un enjeu majeur de société.

L'objectif de ce manuel est d'apporter des réponses pour augmenter la production agricole, réduire le coût des intrants et accroître la résilience en améliorant le système de gestion de l'eau. La première partie du manuel présente l'ensemble des éléments théoriques et techniques nécessaires à une gestion durable de l'eau : l'importance de l'eau pour l'agriculture et le développement des plantes, aussi bien en quantité qu'en qualité, l'irrigation et ses principes de gestion, l'eau dans le processus de post-récolte, et enfin tous les aspects législatifs liés à son utilisation.

La seconde partie illustre les propos de la première et explique comment une entreprise horticole, notamment en pays Afrique Caraïbes-Pacifique (ACP), peut mettre en pratique concrètement une stratégie de gestion durable de l'eau sur son exploitation. Cette seconde partie aborde en détail les sujets suivants : le captage, la récupération, le recyclage, l'utilisation rationnelle, la préservation de la qualité de l'eau, les différents types d'irrigation, le prix de l'eau, la gestion du sol pour améliorer sa rétention en eau, les risques liés à l'eau, le plan de gestion de l'eau et la tenue des registres.



GESTION DURABLE DE L'EAU

PARTIE I



Chapitre 1

Contexte hydrologique de l'horticulture

1.1. Introduction: agriculture, alimentation et eau	2
1.2. L'agriculture du futur	7
1.3. Le rôle des pratiques agricoles	9
1.4. Le rôle de l'irrigation	10
1.5. Considérations relatives à l'horticulture	11
1.6. Ce manuel	12

1.1. INTRODUCTION : AGRICULTURE, ALIMENTATION ET EAU

1.1.1. L'agriculture

Nous savons tous que l'eau est indispensable à la vie. Nous l'utilisons quotidiennement dans nos foyers pour boire, nous laver, cuisiner et nettoyer. Le besoin physiologique en eau potable est de 2 à 4 litres par personne et par jour, mais la consommation totale d'eau varie entre 47 litres/personne/jour en Afrique, 95 litres/personne/jour en Asie, 334 litres/personne/jour au Royaume-Uni et 578 litres/personne/jour aux États-Unis¹. L'eau est également nécessaire à la production alimentaire, et la plus grande partie de l'eau que nous consommons est incorporée dans les aliments que nous mangeons. Ainsi, il faut entre 1000 et 3000 litres d'eau pour produire 1 kg de riz, et environ 2000 à 5000 litres d'eau pour produire le besoin quotidien en nourriture d'une personne. L'agriculture est le premier consommateur d'eau douce, avec 70 % des prélèvements mondiaux d'eau douce environ provenant des bassins versants, des lacs et des aquifères (et plus de 90 % dans certains pays en voie de développement), contre 22 % pour le secteur industriel et 8 % pour les ménages.²

Pour résumer, les problèmes les plus urgents auxquels l'agriculture doit faire face à l'échelle mondiale sont les suivants :

- **La demande croissante de produits agricoles :** dans les prochaines années, l'agriculture mondiale devra relever le défi colossal d'augmenter la production alimentaire de près de 50 % d'ici 2030, et même de la doubler d'ici 2050 (OCDE, 2015), du fait de la croissance démographique et de la modification des modes de vie.
- **L'augmentation de la concurrence pour les ressources foncières et hydriques :** d'autres secteurs de l'économie souvent plus rentables économiquement sont en concurrence avec l'agriculture pour l'accès à l'eau. Parmi ces secteurs, on peut notamment citer les industries minières, le tourisme, et le secteur de l'énergie. Ce dernier peut avoir une incidence considérable sur la production alimentaire, lorsque les politiques nationales proposent des mesures d'incitation à la production de biocarburants qui exacerbent la concurrence tant pour l'eau que pour les terres.
- **La rareté de l'eau :** l'eau est une ressource limitée. Avec l'exacerbation de la concurrence pour l'eau, celle-ci va se faire encore plus rare dans certaines parties du monde. La rareté de l'eau représente un défi majeur pour le développement de l'agriculture. L'UNESCO³ prévoit qu'en 2030, 47 % de la population mondiale vivra dans des zones de stress hydrique important. La croissance de la population sera majoritairement concentrée dans les pays en développement (figure 1), principalement dans des régions qui sont déjà affectées par un stress hydrique.

1 FNUAP, «Water: a critical resource», New York, 2002, lwvlaplata.org/files/unfpa_water_1_.pdf.

2 UNESCO, «Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. Faits et chiffres», 2015, www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact2-agricultural-use.

3 *Ibid.*

- **Le changement climatique :** l'agriculture contribue au changement climatique tout en étant affectée par lui. Le changement climatique affecte la disponibilité de l'eau dans le monde de façon significative.
- **Les terres et les écosystèmes dégradés :** la qualité des sols et de l'eau doit être suffisante pour offrir des conditions qui conviennent à la production végétale. Vu la pollution de l'eau et des sols, l'eau utilisée pour l'agriculture est souvent de mauvaise qualité, notamment lorsque des eaux usées contaminées sont utilisées pour l'irrigation. Ces eaux conduisent à une dégradation et une salinisation des sols qui entraînent également une réduction considérable de la productivité agricole.
- **Les besoins énergétiques :** la production alimentaire consomme beaucoup d'eau, mais aussi beaucoup d'énergie. L'énergie est nécessaire au pompage, au transport, et à la distribution de l'eau d'irrigation, ainsi que pour les véhicules et les machines agricoles, et les activités de transformation. L'augmentation des prix de l'énergie se répercute fortement sur les prix des aliments.
- **Les incidences environnementales :** tout en augmentant la production pour répondre à la demande croissante, l'agriculture doit réduire le plus possible toutes ses incidences négatives sur les écosystèmes et la santé humaine.

Ces problèmes globaux signifient que l'agriculture doit utiliser les ressources, et notamment l'eau, de façon plus efficace. Ceci vaut pour tous les secteurs de l'économie, mais tout particulièrement pour l'agriculture, qui est la première consommatrice d'eau à l'échelle mondiale.

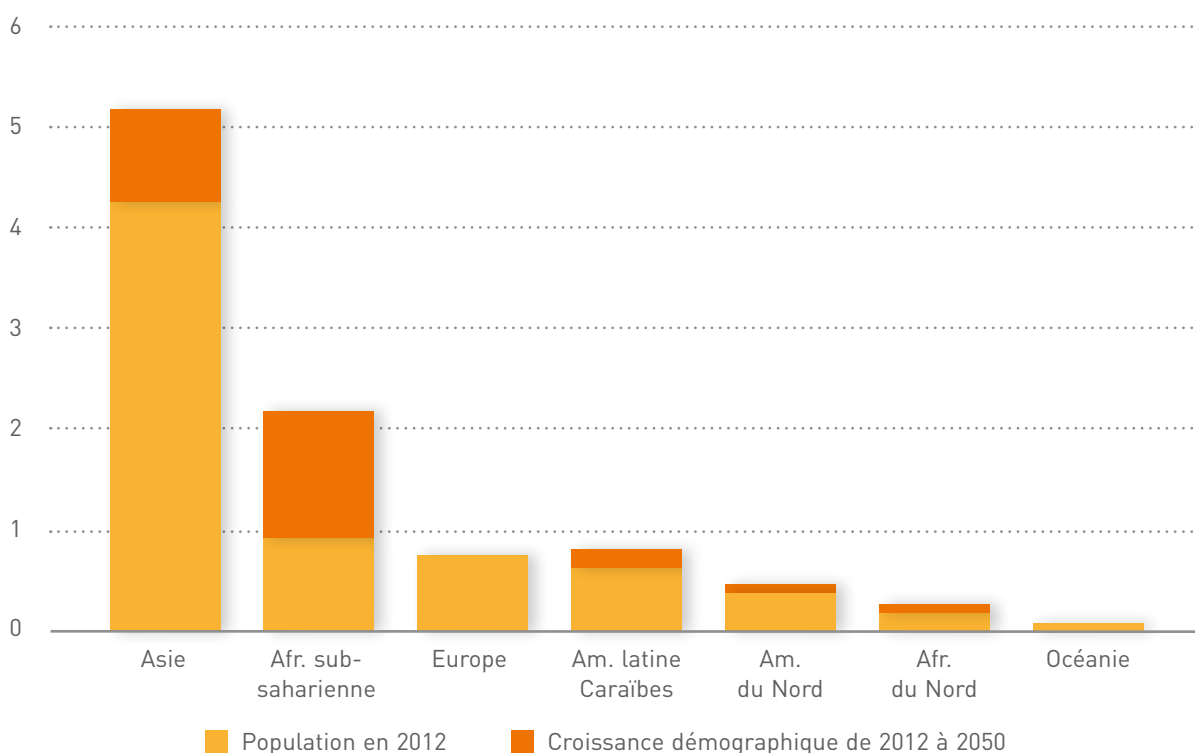


Figure 1 - Croissance démographique prévue (en milliards d'habitants).
Source : Institut des ressources mondiales⁴

4 WRI, «The global food challenge explained in 18 graphics», 2015, www.wri.org/blog/2013/12/global-food-challenge-explained-18-graphics.

1.1.2. L'alimentation

D'après la FAO, l'agriculture est définie comme regroupant les productions animales (élevage) et les productions végétales (agronomie, horticulture et sylviculture entre autres). Elle comprend l'élevage des animaux et la culture des plantes (à des fins alimentaires ou médicales), des champignons, des fibres, et les cultures bioénergétiques. La production alimentaire ne représente donc qu'une partie de l'agriculture. Une note d'orientation de la FAO⁵ énonce que «la sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès physique et économique à une nourriture suffisante, saine et nutritive leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active». La FAO publie des rapports annuels sur l'état mondial de l'insécurité alimentaire, afin d'évaluer les progrès accomplis dans la réduction de la malnutrition, ainsi que les réalisations des objectifs du Millénaire pour le développement dans le domaine de la lutte contre la faim. Dans son rapport de 2015, la FAO souligne que 795 millions de personnes environ sont sous-alimentées dans le monde, ce qui représente une diminution de 167 millions de personnes au cours de la dernière décennie, et 216 millions de personnes de moins qu'en 1990-1992⁶. Voici quelques conclusions essentielles de ce rapport.

- **La croissance économique est nécessaire** pour soutenir les progrès des efforts consentis pour réduire la pauvreté, la faim et la malnutrition, mais elle n'est pas suffisante à elle seule.
- **Les populations rurales représentent un pourcentage élevé des personnes qui souffrent de la faim et de la malnutrition dans les pays en développement.** Une croissance économique inclusive qui offre des perspectives aux populations rurales est nécessaire pour lutter contre la faim et la malnutrition.
- **L'amélioration de la productivité des ressources détenues par les exploitations agricoles familiales et les petits exploitants est un élément essentiel** de la croissance inclusive et a des répercussions profondes sur l'économie rurale. Les marchés des denrées alimentaires qui fonctionnent correctement peuvent contribuer à l'intégration des exploitants familiaux dans l'économie rurale.
- **Le commerce international** a, dans de nombreux cas, un potentiel considérable de renforcement de la sécurité alimentaire et de la nutrition, parce qu'il rend les produits alimentaires plus disponibles.

Le problème mondial de la sécurité alimentaire est exacerbé par la croissance prévue de la population mondiale, qui devrait passer de 7 milliards d'habitants environ en 2012 à 9,6 milliards en 2050, ainsi que par le changement des modes de consommation. La consommation mondiale de viande et de lait par habitant, par exemple, augmente considérablement (le plus fortement en Chine et en Inde), et l'on prévoit qu'elle restera élevée dans l'Union européenne, en Amérique du Nord, au Brésil et en Russie. Ces denrées alimentaires sont très gourmandes en ressources

5 FAO, «Policy brief on Food Security», n° 2, Rome, juin 2006, www.fao.org/forestry/13128-0e6f36f27e0091055bec28ebe830f46b3.pdf.

6 FAO, FIDA et PAM, «L'État de l'insécurité alimentaire dans le monde, Objectifs internationaux 2015 de réduction de la faim : des progrès inégaux», Rome, FAO, 2015, www.fao.org/3/a-i4646f.pdf.

par rapport aux produits végétaux. Parmi les solutions proposées pour relever le défi de la sécurité alimentaire, on peut notamment citer le changement des régimes alimentaires, couplé à la réduction du gaspillage alimentaire, à l'accroissement des rendements des cultures, à l'amélioration des terres et de la gestion de l'eau, et au développement de l'agriculture sur les terres dégradées⁷.

1.1.3. L'eau

L'eau est considérée comme une ressource renouvelable, puisqu'elle circule à la surface de la Terre en accomplissant le cycle de l'eau. Bien que renouvelable, l'eau reste une ressource finie, ce qui signifie que la quantité d'eau disponible sur terre est limitée.

L'eau douce est un facteur de production essentiel pour nos économies et pour la vie en général, mais aussi une ressource qui fait face à de nombreux défis présents et futurs. L'UNESCO⁸ cite quelques faits et chiffres importants concernant l'eau :

- On prévoit que d'ici à 2025, les prélèvements d'eau augmenteront de 50 % dans les pays en développement, et de 18 % dans les pays développés.
- Les sept milliards d'habitants de la terre utilisent actuellement 54 % des réserves d'eau douce accessibles dans les bassins versants, les lacs, et les nappes souterraines. Le volume des ressources d'eau douce est d'environ 35 millions de km³, soit approximativement 2,5 % du volume total d'eau sur Terre (1,4 milliard de km³).
- Dans le monde, plus d'une personne sur six – 894 millions de personnes – n'a pas accès au volume de 20 à 50 litres d'eau douce saine par jour et par personne recommandé par les Nations Unies pour boire, cuisiner et se laver.
- Chaque jour, 2 millions de tonnes de déchets humains sont déversées dans les cours d'eau. Dans les pays en développement, 70 % des déchets industriels sont rejetés dans les eaux et polluent les réserves d'eau utilisables.
- Dans sa résolution 64/292 du 28 juillet 2010, l'Assemblée générale des Nations Unies a reconnu explicitement le droit de l'homme à l'eau et à l'assainissement⁹. Elle a reconnu que l'eau potable et l'assainissement sont essentiels à l'exercice de tous les droits de l'homme. Par cette résolution, toutes les nations du monde ont reconnu que l'eau joue un rôle essentiel à l'ensemble des sociétés humaines.

Les activités, de l'industrie au tourisme, se développent rapidement et toutes ont besoin de plus en plus de services impliquant l'utilisation de l'eau. Cette situation exerce une pression sur les ressources d'eau et sur les écosystèmes naturels¹⁰ et attise la concurrence entre les secteurs qui utilisent l'eau.

7 WRI, «The global food challenge explained in 18 graphics», *op. cit.*

8 UNESCO, «Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. Faits et chiffres», *op. cit.*

9 ONU, résolution 64/292, «Le droit de l'homme à l'eau et à l'assainissement», adoptée par l'AGNU, 28 juillet 2010, www.un.org/es/comun/docs/?symbol=a/res/64/292&lang=f.

10 WBCSD, «Facts and Trends of Water», 2006, www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf.

L'augmentation de la production agricole fait grimper considérablement la consommation d'eau et peut mettre en concurrence le secteur agro-industriel et les communautés locales. D'après le Global Water Forum¹¹, l'augmentation de la consommation d'eau destinée à l'agriculture d'exportation, par exemple, a eu des retombées négatives sur les écosystèmes et les populations locales, tout en accentuant la rareté de l'eau. Ce phénomène concerne de nombreux pays émergents et en développement. Dans ces pays, il est absolument nécessaire d'améliorer la gestion de l'eau, comme l'illustre le cas du lac Naivasha au Kenya. Au cours des trois dernières décennies, la zone qui entoure ce lac est devenue la première région horticole du Kenya : la production de fleurs coupées destinées à l'exportation est la principale activité économique de la région et utilise l'eau du lac pour l'irrigation. En même temps, la baisse du niveau du lac et la dégradation de la qualité de l'eau, principalement, suscitent des préoccupations croissantes. En effet, le lac est également la première source d'eau potable pour une population de 650 000 habitants environ¹².



Figure 2 - Les exploitations horticoles autour du lac Naivasha, Kenya
Source : Green Farming¹³

-
- 11 Global Water Forum, Vos, J., Boelens, R. et Mena, P., «From local to virtual water control: The obalization of water insecurity and water access conflicts», 2014, www.globalwaterforum.org/2014/05/13/from-local-to-virtual-water-control-the-globalization-of-water-insecurity-and-water-access-conflicts.
- 12 Mekonnen, M., Hoekstra, A. et Becht, R., «Mitigating the Water Footprint of Export Cut Flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya», *Water Resources Management*, n° 26, 2012, pp. 3725-3742.
- 13 Green Farming, «Green Farming's hydroponic system in Kenyan flower farm to save 60 % irrigation water and to produce 10 % more roses», 2012, www.dutchwatersector.com/news-events/news/4017-green-farming-s-hydroponic-system-in-kenyan-flower-farm-to-save-60-irrigation-water-and-to-produce-10-more-roses.html.

La pollution de l'eau aggrave considérablement les pressions sur le secteur de l'eau. D'après le PNUE¹⁴, si les pays développés ont vu la qualité des eaux de surface s'améliorer au cours des dernières décennies, beaucoup d'autres régions du monde connaissent la tendance inverse. Cette aggravation de la pollution de l'eau représente un risque pour la santé publique, la sécurité alimentaire, et les moyens de subsistance. La qualité de l'eau est devenue un problème mondial, mais le PNUE reste optimiste et reconnaît qu'il existe des solutions réalisables pour relever ce défi, comme le traitement des eaux usées et les nouvelles formes de gouvernance de l'eau.

En résumé, l'eau, la production alimentaire et l'agriculture sont des secteurs sous pression, tout comme le secteur de l'énergie lui-même. Cette pression devrait s'intensifier dans les années à venir (figure 3). Dans la mesure où ces secteurs sont étroitement liés, la promotion du dialogue entre eux, tant au niveau local qu'à l'échelle mondiale, sera essentielle pour répondre aux défis auxquels ils sont confrontés de plus en plus fréquemment.

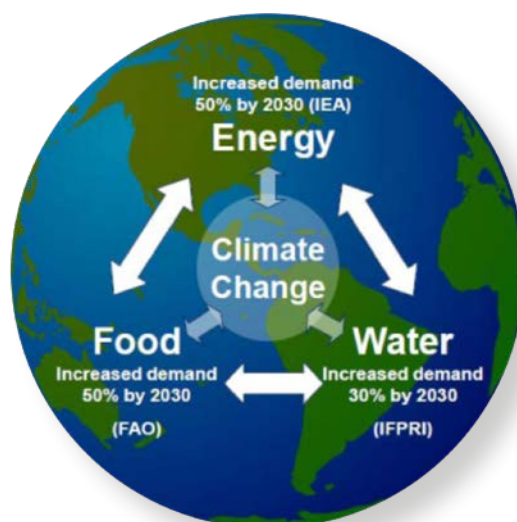


Figure 3 - Prédiction de l'accroissement de la demande en eau, nourriture et énergie en 2030
Source : Water Nexus Solutions, www.waternexussolutions.org/284

1.2. L'AGRICULTURE DU FUTUR

1.2.1. Les principes

D'après le WRI¹⁵, l'agriculture devra parvenir à un équilibre subtil au cours des prochaines années. Cet équilibre devra permettre d'envisager un avenir durable sur le plan alimentaire, ce qui nécessitera la réalisation simultanée des trois objectifs suivants : combler le déficit alimentaire en produisant suffisamment de nourriture pour satisfaire les besoins de la population d'ici à 2050, soutenir le développement

14 PNUE, «Science in UNEP: about the global water quality challenge», 2015, www.unep.org/french/about/chief-scientist/Activit%C3%A9s/Gestiondes%C3%A9cosyst%C3%A8mesetefficacit%C3%A9agricole/D%C3%A9fidelaqualit%C3%A9deleauenanglais/tabid/130580/language/en-US/Default.aspx.

15 WRI, «The global food challenge explained in 18 graphics», *op. cit.*

économique et réduire les incidences environnementales de l'agriculture. Pour parvenir à cet équilibre, des organisations telles que le DAES des Nations Unies et la FAO promeuvent le développement d'une agriculture qui s'emploie à cesser d'être gérée comme une industrie extractive pour devenir une activité plus renouvelable. Ce développement s'appuie sur les principes suivants :

- **L'inclusion** : résoudre les problèmes auxquels les petits et moyens exploitants agricoles et les agricultrices sont confrontés, afin d'assurer leur pleine participation à l'agriculture et aux chaînes de valeur.
- **La résilience face au changement climatique** : la FAO a proposé une approche pour créer les conditions techniques, politiques et d'investissement qui permettront le développement d'une agriculture durable qui assurera la sécurité alimentaire dans les conditions du changement climatique. Cette approche ne concerne pas seulement les variétés de cultures résistantes au changement climatique, mais aussi l'application du concept d'agriculture intelligente face au climat (AIC). Ce concept est constitué de trois piliers principaux :
 - a) l'augmentation durable de la productivité et des revenus agricoles (sécurité alimentaire),
 - b) l'adaptation et le renforcement de la résilience face aux impacts des changements climatiques,
 - c) et la réduction et/ou la suppression des émissions de gaz à effet de serre, le cas échéant¹⁶.
- **Une plus grande efficacité hydraulique** : les pratiques agricoles doivent être adaptées en vue d'accroître la productivité des cultures et de l'eau. Ceci signifie une plus grande production alimentaire par goutte d'eau. Ce principe requiert l'adoption de meilleures pratiques de gestion des cultures et des sols, comme la gestion des matières organiques pour améliorer la structure du sol ou la couverture du sol pour réduire l'évaporation, afin de réduire les besoins en irrigation (ceux-ci seront expliqués en détail dans les chapitres suivants). L'amélioration des techniques d'irrigation constitue également une solution pour améliorer le rendement hydraulique de l'irrigation, par exemple, en recourant à l'irrigation de précision ou à l'irrigation déficitaire.
- **La recherche de rendements élevés grâce à des systèmes agro-écologiques sains** (NU DAES, 2015) en investissant dans des systèmes agricoles respectueux des ressources d'eau pour rétablir la santé des sols, pour conserver les habitats naturels, et pour restaurer les habitats agricoles et pastoraux dégradés. Une plus grande attention doit être prêtée aux conséquences environnementales de l'utilisation des engrais et des pesticides, laquelle peut être réduite par l'adoption des pratiques de gestion intégrée des fertilisants et des pesticides. La technologie offre également des solutions pour optimiser l'utilisation des engrais et des pesticides, par exemple, l'agriculture de précision qui adapte les apports d'intrants aux besoins des cultures et aux conditions des sites

16 FAO, « Climate-smart agriculture source-book », 2013, www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf.

et des sols (HGCA, 2002)¹⁷. La difficulté est de transférer ces connaissances et technologies vers les pays en développement et de les mettre en œuvre à grande échelle.

- **L'intégration de la gestion de l'eau à usage agricole** à la gestion intégrée des ressources d'eau (IWRM): la gestion intégrée des ressources d'eau se fonde sur le principe que l'eau fait partie intégrante de l'écosystème, et qu'elle est une ressource naturelle et un bien social et économique qui doit être protégé. L'intégration de la gestion de l'eau et des terres doit être mise en œuvre au niveau du bassin ou du sous-bassin. Les exploitants agricoles et les autres parties concernées doivent s'engager et coopérer à l'échelle géographique du bassin ou du sous-bassin, afin de gérer les quantités d'eau et les risques liés à la qualité, et afin de mettre en place des stratégies communes pour développer et utiliser l'eau d'une façon qui satisfasse les besoins essentiels et protège les écosystèmes¹⁸. Le but ultime de la gestion intégrée des ressources d'eau (IWRM) est d'engager les diverses institutions et les mesures politiques qui sont prises dans un système de gestion intégrée de l'eau¹⁹. **Ce but ne peut être atteint qu'avec le soutien approprié des politiques publiques.**

1.3. LE RÔLE DES PRATIQUES AGRICOLES

1.3.1. Les incidences

Les pratiques agricoles peuvent avoir des incidences majeures sur l'efficacité de l'utilisation des ressources que sont l'eau, la terre et les autres intrants agricoles. Avant d'étudier les solutions technologiques, notamment les nouvelles techniques d'irrigation, il n'est pas inutile d'examiner les pratiques agricoles dans la perspective d'une utilisation plus rationnelle des ressources. Pour y parvenir, l'exploitant doit avoir une vision intégrée de son exploitation et de ses environs, qui tienne compte de la situation, du climat, des sols, des cultures, de la quantité et de la qualité de l'eau nécessaire, ainsi que des besoins en engrais et en pesticides.

S'il connaît bien ces questions, l'exploitant pourra planifier et mettre en œuvre des pratiques agricoles réalisables sur le plan financier et opérationnel qui conduiront à une plus grande efficacité et à une meilleure rentabilité de l'exploitation. Ces pratiques sont décrites tout au long de ce manuel.

17 HGCA, *Home-grown cereals authority. Precision farming of cereals. Practical guidelines and crop nutrition*, Londres, 2002.

18 Ministère de l'Agriculture, de la Nature et de la Qualité alimentaire, *IWRM: for sustainable use of water. 50 years of international experience with the concept of integrated water management*, Wageningen, 2004.

19 OCDE, «Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole», 2010, dx.doi.org/10.1787/9789264083592-fr.

1.4. LE RÔLE DE L'IRRIGATION

1.4.1. L'étendue du domaine

Pour survivre et se développer, les cultures ont besoin d'eau; celle-ci peut être apportée soit naturellement (agriculture pluviale), soit par intervention humaine (agriculture irriguée). Sur le 1,4 milliard d'hectares estimé de terres cultivées dans le monde, 80 % environ dépendent des précipitations et assurent quelque 60 % de la production végétale. L'agriculture irriguée occupe les 20 % restants des terres cultivées, qui couvrent environ 280 millions d'hectares et représentent 40 % de la production alimentaire mondiale²⁰. Les niveaux d'intensité de culture et les rendements moyens plus élevés expliquent les niveaux de productivité plus élevés de l'agriculture irriguée. Selon le FIDA, l'irrigation multiplie de 2 à 5 fois les rendements de la plupart des cultures. En outre, l'irrigation permet la diversification vers des cultures de valeur plus élevée qui consomment de grandes quantités d'intrants et dépendent d'un approvisionnement en eau fiable et flexible.

La FAO *et al.*²¹ insistent lourdement sur l'importance de l'irrigation comme élément central des efforts consentis pour parvenir à la sécurité alimentaire. Cependant, l'attention est également attirée sur deux effets secondaires courants et indésirables des projets d'irrigation. L'examen des projets d'irrigation dans le monde entier montre que :

1. Les projets d'irrigation tendent à favoriser les exploitants les plus riches et laissent donc les plus pauvres à l'écart. Ceci est dû au fait que les projets d'irrigation font grimper les frais généraux de mise en œuvre, de fonctionnement et de maintenance, et que les investissements nécessaires ne sont pas accessibles aux pauvres. Ceci est contraire aux recommandations formulées par la FAO elle-même sur les meilleurs moyens de lutter contre la sous-alimentation et l'insécurité alimentaire à l'échelle mondiale. L'inclusion des pauvres dans les projets d'irrigation est décrite comme une condition préalable au renforcement des économies rurales, à l'amélioration de l'accès à la nourriture, et par conséquent à la réduction de la pauvreté et de la malnutrition.
2. Les plans d'irrigation bouleversent quelquefois les équilibres locaux, les droits et les coutumes, ils dévalorisent les connaissances environnementales et agricoles, et l'expérience que les fermiers ont accumulées de génération en génération.

De nombreuses organisations dans le monde œuvrent pour sensibiliser à ces questions et développer des outils pour soutenir la mise en place de nouveaux projets d'irrigations qui favorisent réellement la réduction de la pauvreté^{22 23 24}.

20 FAO, «Produire plus avec moins. Guide à l'intention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne», 2011, www.fao.org/ag/save-and-grow/fr/index.html.

21 FAO, FIDA et PAM, «L'État de l'insécurité alimentaire dans le monde, Objectifs internationaux 2015 de réduction de la faim: des progrès inégaux», *op. cit.*

22 FAO, «Département du développement économique et social. Eau et population. De qui sont les droits?», 2015, www.fao.org/docrep/007/y4555f/y4555f00.htm.

23 WRI, «The global food challenge explained in 18 graphics», *op. cit.*

24 UNESCO, «Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau. Faits et chiffres», *op. cit.*

Les petits systèmes d'irrigation, combinés à une gestion écologique des sols, des matières organiques et de l'eau, peuvent jouer un rôle crucial dans la prévention des deux problèmes mentionnés précédemment.

L'irrigation peut jouer un rôle fondamental pour parvenir à des systèmes agricoles plus résilients, plus efficaces et plus productifs. La solution réside dans le développement de systèmes d'irrigation dans le cadre d'une approche de gestion durable qui tienne compte des principes de l'«agriculture du futur» évoqués plus haut, du contexte mondial décrit, et des réalités et politiques locales.

1.5. CONSIDÉRATIONS RELATIVES À L'HORTICULTURE

1.5.1. Le contexte mondial

Les problèmes généraux décrits pour l'ensemble du secteur agricole concernent également le secteur horticole et peuvent même se révéler encore plus complexes dans le cas des cultures intensives consommatrices de ressources, permettant une production à forte valeur ajoutée et dont les opérations en champs, les opérations post-récolte et la transformation exigent des approvisionnements importants en eau de bonne qualité. Le secteur horticole doit faire face aux risques et aux difficultés liées à la gestion et à l'utilisation efficaces de l'eau, particulièrement dans les zones sensibles sur le plan hydrique. Cette industrie doit donc s'engager dans une gestion et une politique de l'eau tant au niveau de l'exploitation qu'au-delà, à l'échelle locale et au niveau du bassin ou du sous-bassin.

Au niveau mondial, le secteur horticole peut jouer un rôle important dans la résolution des problèmes mondiaux de production alimentaire et d'eau :

- les fruits et les légumes sont une composante essentielle du régime alimentaire de l'homme, en plus des céréales et des autres cultures ;
- la tendance mondiale actuelle à l'augmentation de la consommation de viande est source de préoccupations, dans la mesure où l'élevage a une empreinte sur les ressources en eau beaucoup plus importante que les céréales ou les produits végétaux. Dans un monde aux ressources limitées, la consommation de viande ne peut donc être considérée comme soutenable (Hoekstra, 2013). Compte tenu de la pression qui s'exercera à l'avenir pour produire plus de nourriture avec moins d'eau, les productions de végétaux présenteront un intérêt croissant comme sources de protéines ;
- le potentiel économique des fruits et légumes par unité de terre est généralement supérieur à celui des céréales et des autres cultures. La rentabilité économique par rapport à l'utilisation de l'eau (unités monétaires par mètre cube d'eau) de ce secteur est donc en moyenne plus élevée (Aldaya *et al.*, 2010)²⁵. Le développement de ce secteur peut jouer un rôle majeur dans la réalisation des objectifs de réduction de la pauvreté et de sécurité

25 Aldaya, M. García-Novo, F. et Llamas, M.R., «Incorporating the water Footprint and environmental Water requirements into Policy: reflections from the Doñana region (Spain)», Papeles Agua Virtual, Observatorio del agua, Fundacion Marcelo Botin, Madrid, 2010, www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya-et-al-2010-Donana.pdf.

alimentaire, mais ce but doit être atteint par la mise en œuvre d'une gestion responsable de l'eau, et dans le respect des principes de l'agriculture du futur, ainsi qu'on l'a expliqué plus haut.

Le secteur horticole est également confronté à de nombreux défis, ainsi qu'on l'a décrit plus haut. *L'African Farming Platform* (African Farming, 2010) expose certains problèmes propres à l'horticulture africaine : les coûts énergétiques élevés, les prix des carburants en hausse, le coût des intrants, les taux de change des devises étrangères, les coûts de transport élevés et les infrastructures de mauvaise qualité, notamment les routes, les risques plus importants pesant sur l'eau, les technologies obsolètes et les normes internationales contraignantes. Les bénéfices et les difficultés de l'horticulture montrent que le développement de ce secteur représente une réelle opportunité commerciale, parallèlement à la poursuite des efforts consentis pour arriver à une utilisation plus efficace des ressources et pour réduire au minimum les incidences environnementales du secteur.

1.6. CE MANUEL

1.6.1. Résumé

Ce manuel rend compte de deux objectifs sous-jacents :

1. rendre les produits horticoles sains et de bonne qualité plus disponibles, en soutenant le développement de meilleures pratiques culturales pour des systèmes de production de cultures horticoles durables et respectueuses de l'environnement,
2. promouvoir le passage d'une agriculture de subsistance à une agriculture génératrice de revenus, en ajoutant de la valeur aux produits grâce à une utilisation et à une gestion de l'eau plus efficaces, plus responsables et plus durables.

Les chapitres suivants de ce manuel présentent un large tour d'horizon des problèmes et exposent les connaissances actuelles sur les moyens d'atteindre ces objectifs dans le secteur de l'horticulture des pays d'Afrique, des Caraïbes et du Pacifique. Il s'adresse aux fournisseurs de services qui accompagnent les petites et moyennes entreprises horticoles exerçant à la fois des activités de production et des activités après récolte. Il fournit les informations de base indispensables sur la gestion de l'eau et sur l'irrigation en horticulture. Nous espérons qu'il apportera aux fournisseurs de service les informations dont ils ont besoin pour s'engager dans la gestion de l'eau, et qu'il aidera les exploitants à prendre des décisions adaptées aux réalités productives et économiques locales, en les aidant à bien comprendre les problèmes les plus urgents en rapport avec l'eau et l'agriculture au niveau mondial.

Les chapitres 2 et 3 proposent une présentation théorique de l'eau en tant que ressource dynamique et mobile dans l'espace et le temps, et dans les sols et les végétaux. Le chapitre 4 traite de la qualité de l'eau en lien avec l'agriculture. Les chapitres 5 et 6 brossent un tableau général assez vaste de l'irrigation. Ils comportent une présentation théorique des systèmes d'irrigation, y compris les aspects techniques de la question (chapitre 5), puis une introduction à une gestion de l'irrigation qui tienne compte des considérations locales (notamment

la législation) autant que des problèmes mondiaux (chapitre 6). Le chapitre 7 se penche sur l'utilisation de l'eau par l'agriculture pour la transformation et le lavage post-récolte. Le chapitre 8 examine les droits et la législation de l'eau. Enfin, le chapitre 9 présente une étude de cas.

Nous vous souhaitons une bonne lecture et une foule de nouvelles découvertes !



Chapitre 2

Fondements du système mondial de l'eau

2.1. Cycle hydrologique	16
2.2. Unités hydrologiques, bassins hydrographiques et aquifères	21
2.3. Bilan hydrologique d'un bassin	25
2.4. La consommation humaine et la pollution de l'eau	28

2.1. CYCLE HYDROLOGIQUE

2.1.1. La distribution de l'eau sur Terre

L'eau est la ressource la plus importante pour la vie sur terre. La molécule d'eau est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène reliés entre eux par des liaisons covalentes (figure 1). Dans des conditions normales de pression et de température (1 bar à 20 °C), l'eau se comporte comme un liquide, mais elle est aussi présente sur terre à l'état solide et gazeux. Sous sa forme liquide, l'eau est inodore, sans goût et transparente.

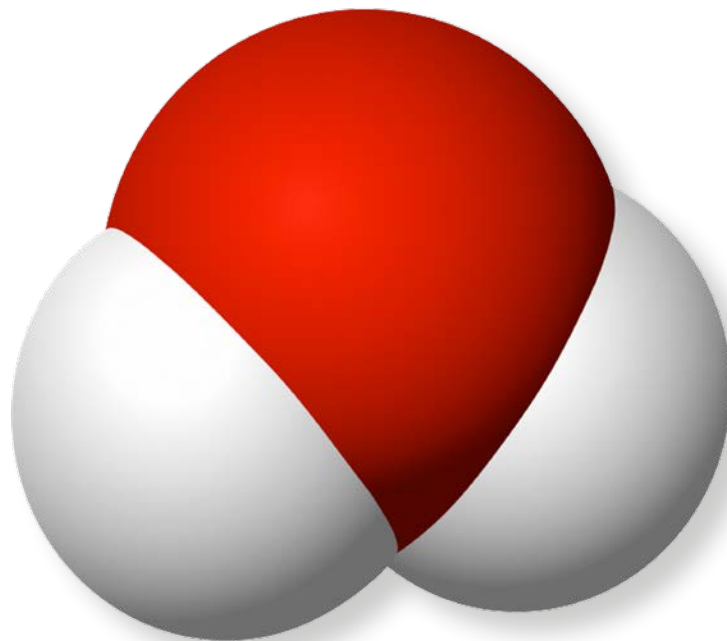


Figure 1 - La molécule d'eau H₂O est composée de deux atomes d'hydrogène (représentés en blanc) et d'un atome d'oxygène (en rouge)

Source : All-water.org²⁶

La quantité d'eau sur Terre est d'environ 1 386 millions de km³. 97 % de ce volume environ sont constitués par l'eau saline des océans. L'eau douce représente environ 3 % (quelque 35 millions de km³) de l'eau sur Terre et n'est pas entièrement disponible pour la consommation humaine. Environ deux tiers de l'eau douce sont stockés dans les calottes glaciaires et les glaciers. Le reste se trouve dans des nappes aquifères et des unités d'eau de surface comme les lacs, les rivières et les marécages. Moins de 1 % de l'ensemble des ressources mondiales en eau est directement accessible pour l'utilisation humaine (voir figure 2).

26 www.all-water.org/Chemistry.html.

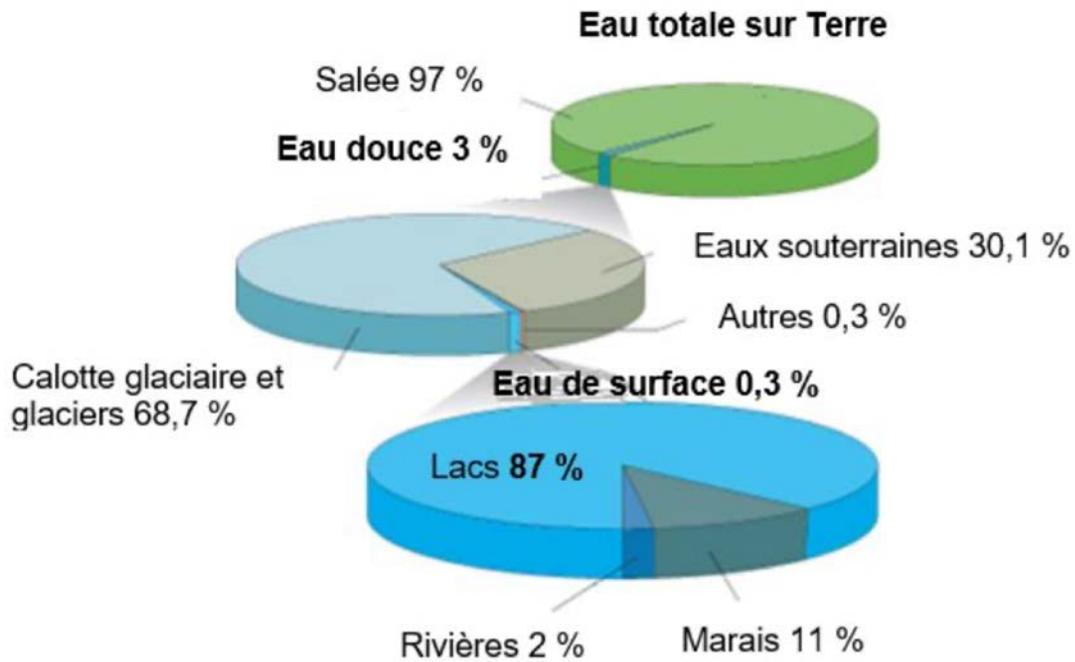


Figure 2 - Eau directement accessible à l'utilisation humaine par rapport au volume d'eau total sur la terre
Source : pacificwater.org

Ce « moins de 1 % » d'eau directement utilisable n'est même pas distribué de façon uniforme sur la planète. Aujourd'hui, près d'un tiers des ressources mondiales en eau se trouve en Amérique du Sud. L'Afrique et l'Europe possèdent de leur côté à peine 15 % de l'ensemble des ressources en eau disponibles (figure 3).

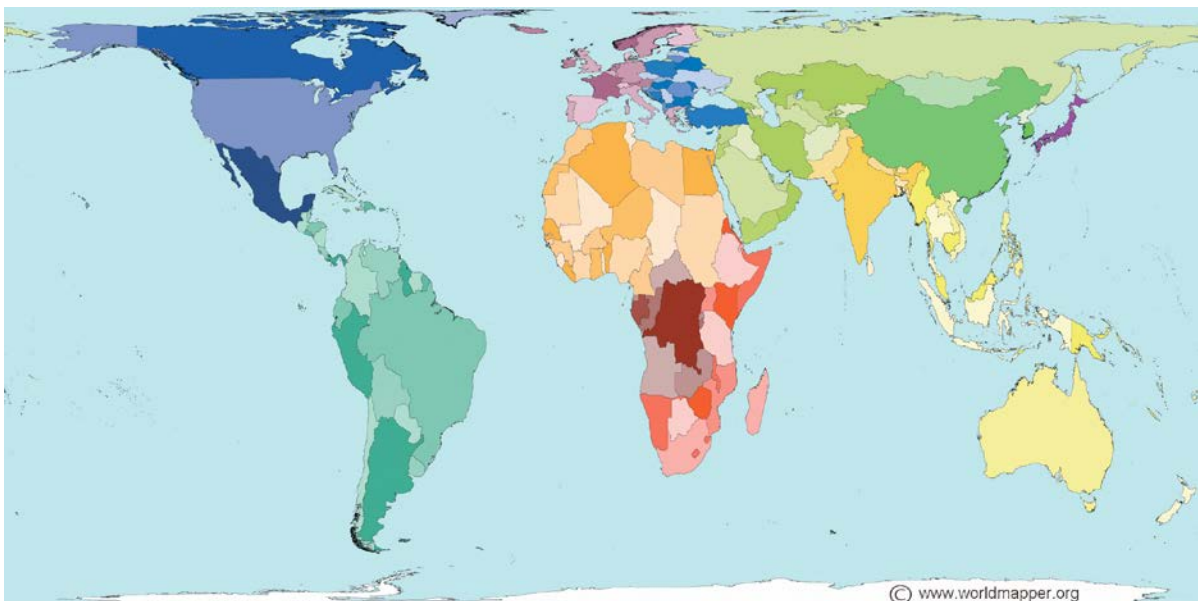


Figure 3 - La distribution de l'eau douce sur la terre représentée par la taille des territoires, indiquant la proportion du total des ressources en eau douce qu'on y trouve
Source : worldmapper.org

L'eau sur Terre est extrêmement dynamique. Avec les changements de température et de pression dans l'environnement terrestre, l'eau passe de l'état gazeux à l'état liquide et solide (glace), et inversement. Le diagramme de la figure 4 montre les phases de l'eau à diverses pressions et températures. À 1 bar (100 kPa) de pression (pression atmosphérique) et 100 °C, l'eau liquide se transforme en vapeur d'eau. À 1 bar et 0 °C, l'eau (pure) liquide se change en glace. La mobilité de l'eau dépend de la phase dans laquelle elle se trouve : la glace est moins mobile que l'eau liquide, et l'eau liquide est moins mobile que la vapeur d'eau. Les caractéristiques de la terre comme la gravité, la topographie, les zones climatiques, le vent, les variations de température et de pression, non seulement entraînent des changements de phase de l'eau, mais aussi lui permettent de se déplacer sur la terre dans ses différentes phases. Le changement continu de phases de l'eau, combiné à son déplacement autour de la terre, est appelé cycle hydrologique.

2.1.2. La vapeur d'eau

Pour décrire le cycle de l'eau, il convient de commencer par l'océan. Le soleil réchauffe la surface de l'océan. Lorsque la tension superficielle de l'océan est rompue par le vent, l'eau s'évapore. La vapeur d'eau est plus chaude que l'air ambiant au-dessus de l'océan. En conséquence, l'air qui contient la vapeur d'eau monte. À mesure que celle-ci s'élève, la température de l'air et la pression atmosphérique tombent, de sorte que l'air devient saturé. La saturation entraîne la condensation de la vapeur d'eau en gouttelettes. Les nuages sont formés par un grand nombre de ces gouttelettes.

Les océans ne sont pas les seules sources de vapeur d'eau ; parmi les autres sources, on peut citer les masses d'eau continentales, l'évaporation directe de l'eau contenue dans les sols, et la transpiration des plantes. La vapeur peut aussi être produite directement par sublimation de la glace.

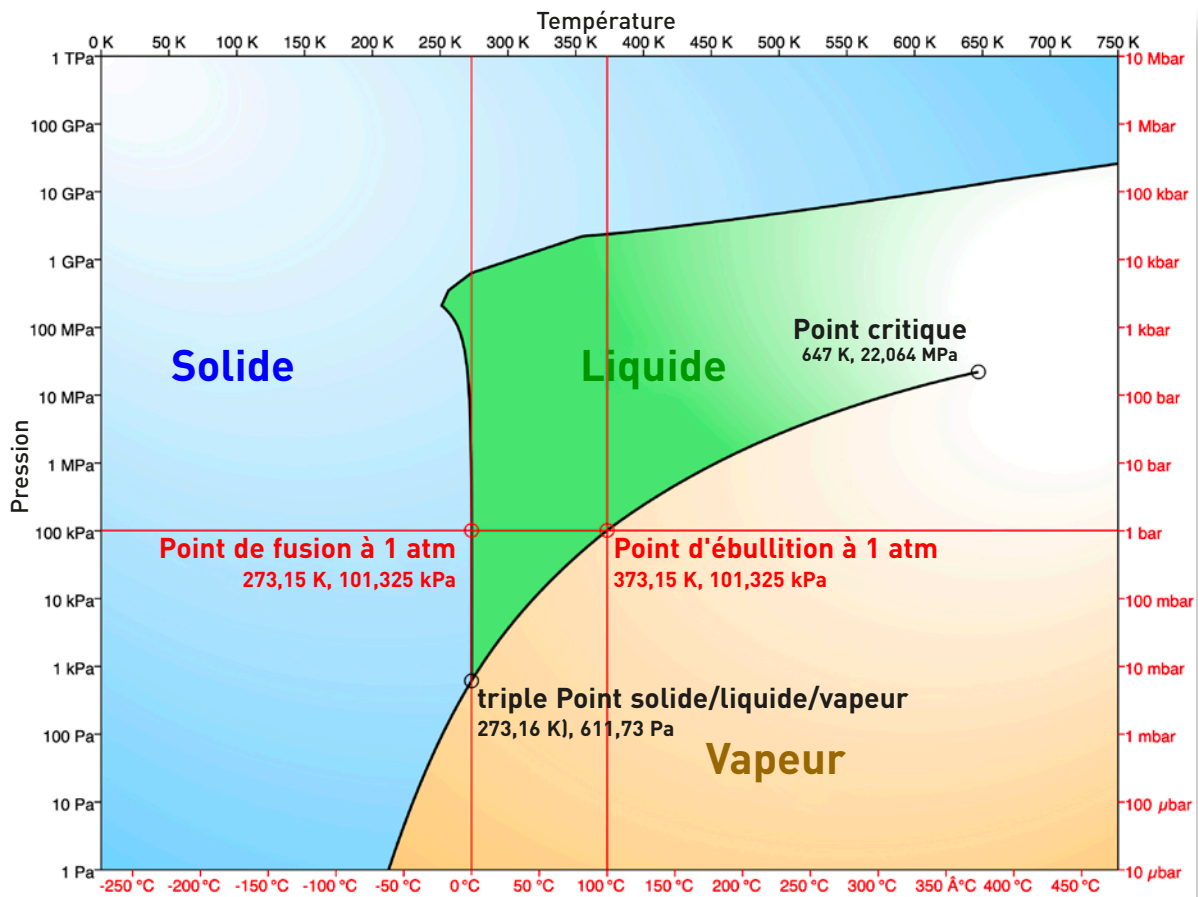


Figure 4 - Diagramme de phase de l'eau
Source : Water structure and science, 2015

L'altitude des nuages varie selon les conditions de température et de pression. Les courants d'air déplacent les nuages autour de la planète. Les nuages peuvent parcourir de longues distances tant que les conditions permettent une cohésion suffisante entre les gouttelettes d'eau. La gravité fait tomber les gouttelettes les plus lourdes sous forme de précipitations qui peuvent être liquides, comme la pluie, ou solides, comme la neige ou la glace. Le processus de précipitation renvoie vers la surface de la terre l'eau qui s'était échappée sous forme de vapeur. Dans le cas de la neige ou de la glace, l'eau peut s'accumuler dans les calottes glaciaires ou les glaciers et y demeurer pendant des milliers d'années avant de fondre.

2.1.3. Les eaux souterraines

L'eau tombée sous forme de pluie à la surface de la terre s'écoule sous l'action de la gravité. Elle peut s'écouler dans différentes directions, selon les caractéristiques physiques du sol, de la géomorphologie et de la géologie. L'eau peut s'écouler sur la terre par ruissellement de surface et rejoindre les ruisseaux et les rivières, les lacs et les autres masses d'eau douce continentales, avant de retourner à l'océan. L'eau qui ne ruisselle pas peut s'évaporer du sol ou s'y infiltrer, auquel cas elle peut alors être utilisée par la végétation dans le processus de transpiration. L'eau peut aussi s'infiltrer plus profondément dans le sol et devenir de l'eau souterraine.

Certaines masses d'eau souterraines peuvent stocker des volumes considérables d'eau pendant de longues périodes. Par exemple, l'aquifère qui a récemment été découvert dans le district de Turkana, dans le nord du Kenya, contiendrait suffisamment d'eau pour approvisionner le pays pendant 70 ans²⁷. L'eau stockée dans les aquifères peut s'écouler, mais généralement avec des débits très faibles. Un débit de 30 cm par jour est considéré comme élevé²⁸. Les flux d'eaux souterraines peuvent également ressurgir à la surface, sous forme de sources d'eau douce. Ils peuvent aussi s'écouler sous la surface de la terre jusqu'aux rivières, aux masses d'eaux continentales, ou à l'océan. L'ensemble du cycle de l'eau peut alors recommencer²⁹. La figure 5 représente l'ensemble du cycle hydrologique.

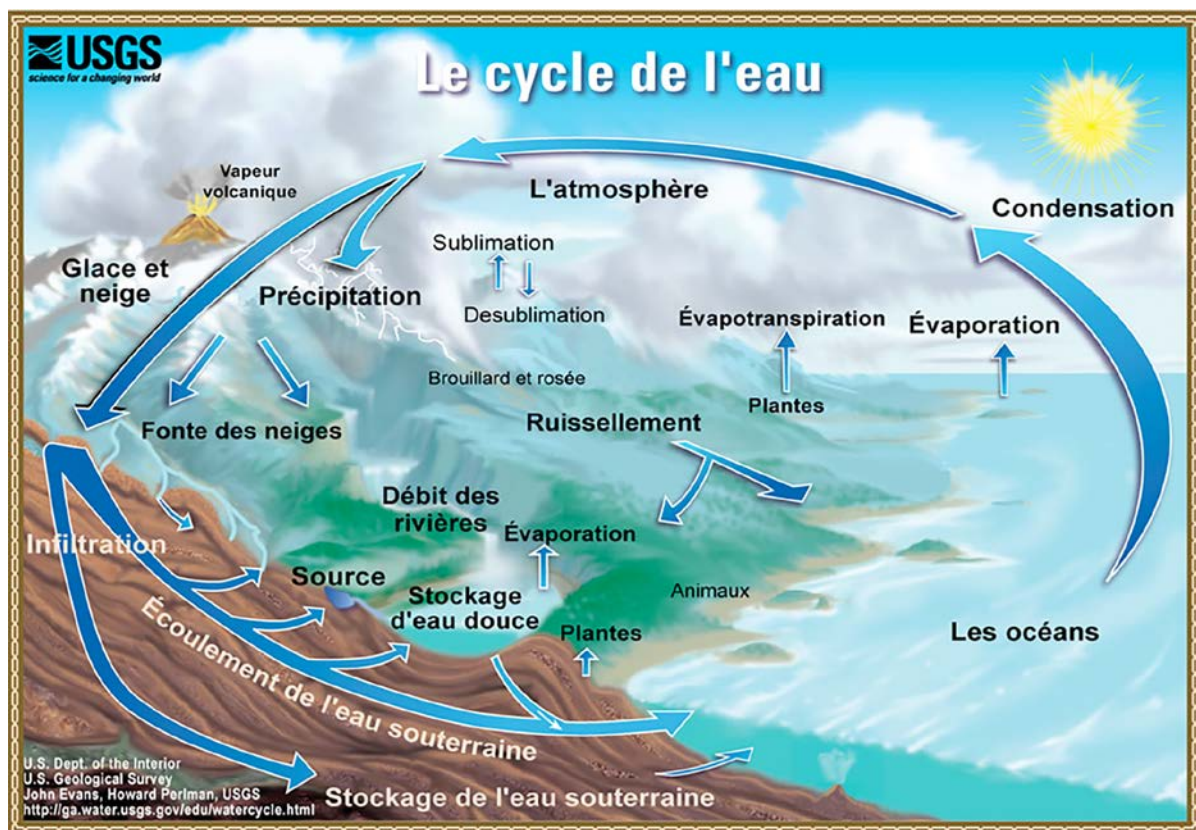


Figure 5 - Le cycle de l'eau
Source: USGS

27 BBC news, « Kenya aquifers discovered in dry Turkana region », 2013, www.bbc.com/news/science-environment-24049800.

28 USGS, « General facts and concepts about ground water », 2013, pubs.usgs.gov/circ/circ1186/html/gen_facts.html.

29 USGS, « Summary of the Water Cycle », 2015, water.usgs.gov/edu/watercyclesummary.html.

2.1.4. Le cycle de l'eau

Cependant, le cycle de l'eau est beaucoup plus complexe que ne le laisse entendre la description précédente. Les études récentes montrent que les précipitations qui tombent sur les terres d'une région de la planète sont fortement dépendantes de l'évaporation d'eau qui se produit sur les terres d'autres régions. L'humidité générée par l'évaporation du sol contribue de façon importante aux chutes de pluie. En moyenne, environ 40 % des précipitations terrestres proviennent de l'évaporation du sol; et environ 57 % de l'eau qui s'est évaporée du sol retombe sous forme de précipitations sur les terres³⁰. Par ailleurs, le cycle de l'eau relie des parties du monde qui sont très éloignées les unes des autres. Par exemple, dans le Río de la Plata, 70 % des précipitations proviennent de l'humidité produite dans la forêt tropicale amazonienne. Au Congo, la plus grande partie de l'eau trouve son origine dans la région orientale des Grands Lacs.

L'évaporation du sol et des plantes est également très variable. Certaines plantes et cultures (par exemple, le maïs et la canne à sucre) se caractérisent par une évaporation d'eau plus importante que les autres.

Ces faits illustrent trois points importants :

1. il existe un lien étroit entre l'évaporation du sol et les précipitations ;
2. le cycle de l'eau se déroule sur des distances importantes ;
3. il existe un lien entre l'évaporation, l'humidité et la production végétale, et la santé.

Ceci signifie que les activités humaines et l'utilisation des sols dans un lieu ont une incidence considérable sur l'état et sur la disponibilité de l'eau pour l'agriculture, l'énergie, l'élevage, l'industrie et les ménages dans d'autres lieux.

2.2. UNITÉS HYDROLOGIQUES, BASSINS HYDROGRAPHIQUES ET AQUIFÈRES

2.2.1. Les unités hydrologiques

Comme nous le savons tous, l'eau s'écoule sous l'effet de la gravité jusqu'au point le plus bas de toute surface. Dans un paysage, ce processus d'«écoulement jusqu'au point le plus bas» est à l'origine des cours d'eau. L'eau des cours d'eau provient de zones de plus haute altitude. L'ensemble de la zone qui alimente une rivière en eau est appelé bassin hydrographique ou bassin versant. Dans un bassin versant, les petits ruisseaux se rejoignent pour créer de plus grandes rivières. Celles-ci se réunissent pour former les fleuves. Le réseau de cours d'eau formé par les petits affluents convergents finit par former un estuaire, ou par se jeter dans un lac, dans la mer, ou parfois dans des masses d'eaux souterraines.

30 Van der Ent *et al.*, «Land use change influences continental water cycle», Delft University, 2013, tudelft.nl/en/current/latest-news/article/detail/ontbossing-beinvloedt-waterhuishouding-continenten.

Les hydrologues et les hydrogéographes étudient et expliquent le mouvement et la distribution de l'eau en unités géographiques de dimensions variables. On les nomme unités hydrologiques. Une unité hydrologique peut être une zone géographique couvrant une partie ou l'intégralité d'un bassin versant, ou un élément hydrologique distinct comme un réservoir, un lac, une nappe aquifère ou un puits artésien (NOAA, 2015). Nous y reviendrons au chapitre 5.

2.2.2. Le bassin versant

Les experts utilisent différents termes pour désigner les bassins versants. Les termes de «bassin hydrologique», «bassin hydrographique», «bassin versant» et «bassin fluvial» sont utilisés indifféremment. Toutes ces unités hydrologiques sont définies comme une zone géographique délimitée d'où les eaux provenant de diverses sources convergent vers un cours d'eau ou un exutoire commun³¹. La nature et la forme des bassins versants sont déterminées par la topographie, la géologie et l'eau. Un bassin versant ayant un exutoire dans la mer est un «bassin exoréique». Si les eaux d'un bassin versant convergent vers une masse d'eau continentale, comme un lac, on parle de «bassin endoréique».

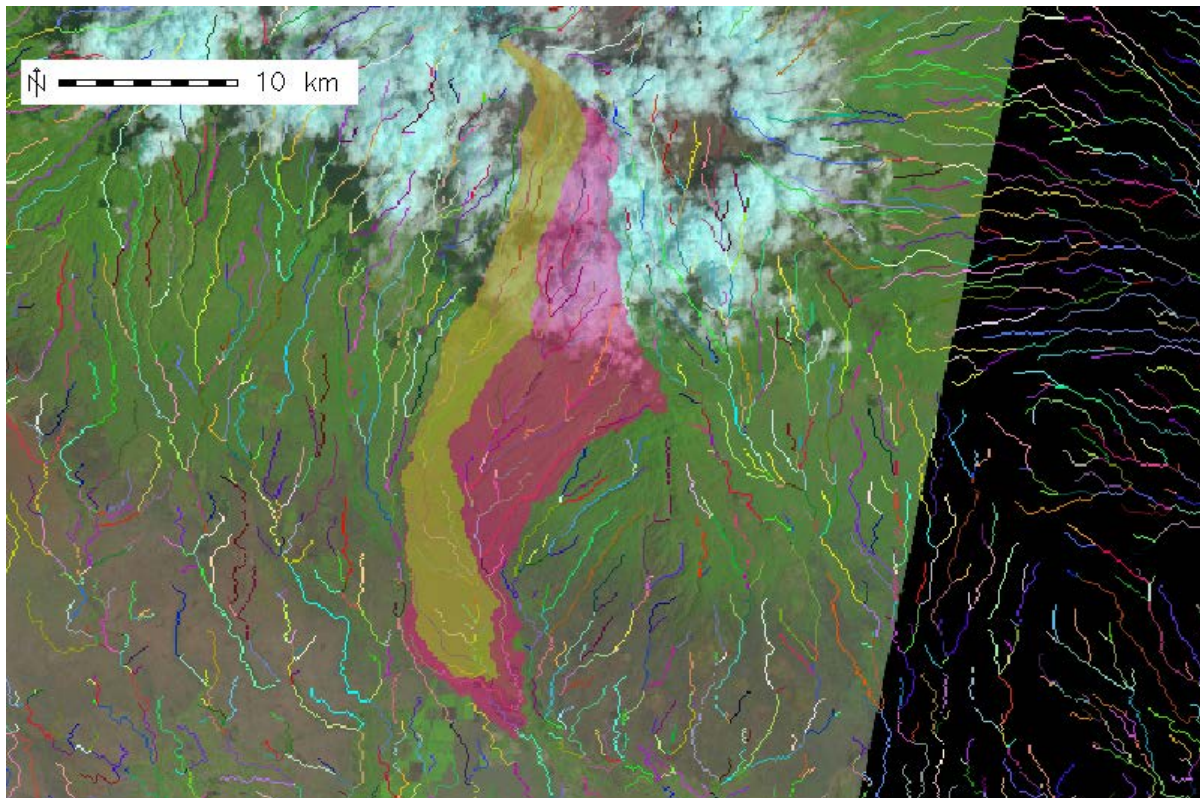


Figure 6 - Exemple de bassin versant établi sur la base d'un modèle numérique de terrain.
Bassin versant de la rivière Rau, Moshi, Tanzanie
Source : Good Stuff International

31 NOAA, «Glossary of Hydrologic Terms», 2015, www.nws.noaa.gov/om/hod/SHManual/SHMan014_glossary.htm.

Un bassin hydrographique est toujours délimité par une ligne de partage des eaux. Une ligne de partage des eaux est une ligne imaginaire qui sépare un bassin hydrographique des autres bassins contigus. Les lignes de partage des eaux sont les lignes de faîtes, les collines ou les montagnes les plus élevées qui entourent les cours d'eau (figure 6). Un bassin hydrographique possède des caractéristiques climatiques, géologiques, pédologiques, écosystémiques et fluviales spécifiques. Ces caractéristiques façonnent les systèmes de production (agricole), les routes d'échanges commerciaux, et parfois les communautés et les cultures. Les bassins hydrographiques ont joué un rôle important dans la formation des anciennes civilisations, comme dans le cas du fleuve Jaune en Chine, ou du Tigre et de l'Euphrate au Moyen-Orient.

2.2.3. Les aquifères

L'eau ne ruisselle pas seulement en surface : elle s'infiltré également dans le sol et les roches plus en profondeur. Ce processus entraîne la création d'une unité hydrologique dénommée nappe aquifère. Une nappe aquifère est une masse d'eau souterraine logée dans des roches aquifères ; ces roches possèdent des structures perméables qui permettent de retenir ou de laisser circuler les liquides et les gaz. Les roches sédimentaires, comme le grès et les graviers, sont des exemples typiques de roches aquifères. Les aquifères sont souvent nommés en fonction de la manière dont ils ont été formés. Un aquifère alluvial désigne une couche aquifère composée de dépôts alluviaux, tandis qu'un aquifère glaciaire est composé de dépôts glaciaires. Un aquifère se remplit d'eau par l'infiltration et la perméation d'eau de pluie, de neige fondue, ou par l'infiltration de glace dans le sol et la roche jusqu'à ce qu'elle rencontre un type de roche moins perméable. Les aquifères sont des réservoirs d'eaux souterraines et peuvent ainsi stocker de l'eau pendant de longues périodes pouvant durer des milliers, voire même des millions d'années.

Il existe deux types d'aquifères :

- Un **aquifère à nappe libre** est couvert de roches perméables et peut recevoir de l'eau provenant de la surface. Le niveau d'eau le plus élevé d'une nappe libre est dénommé le niveau de nappe ou la surface phréatique. Le niveau de nappe peut monter ou descendre en fonction du volume d'eau qui entre ou quitte l'aquifère.
- Un **aquifère captif** est une masse d'eau souterraine située entre deux couches de roches moins perméables. À l'intérieur d'un aquifère captif, l'eau circule à travers les fissures de la couche de roche moins perméable qui est la plus proche d'une source d'eau à proximité, comme une rivière souterraine ou un lac souterrain, ou un aquifère à nappe libre à proximité. Un aquifère artésien est un type particulier d'aquifère captif. Ce type d'aquifère est soumis à une pression hydrostatique positive en raison de la couche imperméable qui le surmonte. Si un puits est foré dans un aquifère artésien, la pression fait couler l'eau vers le haut jusqu'à la surface de la terre (figure 7).

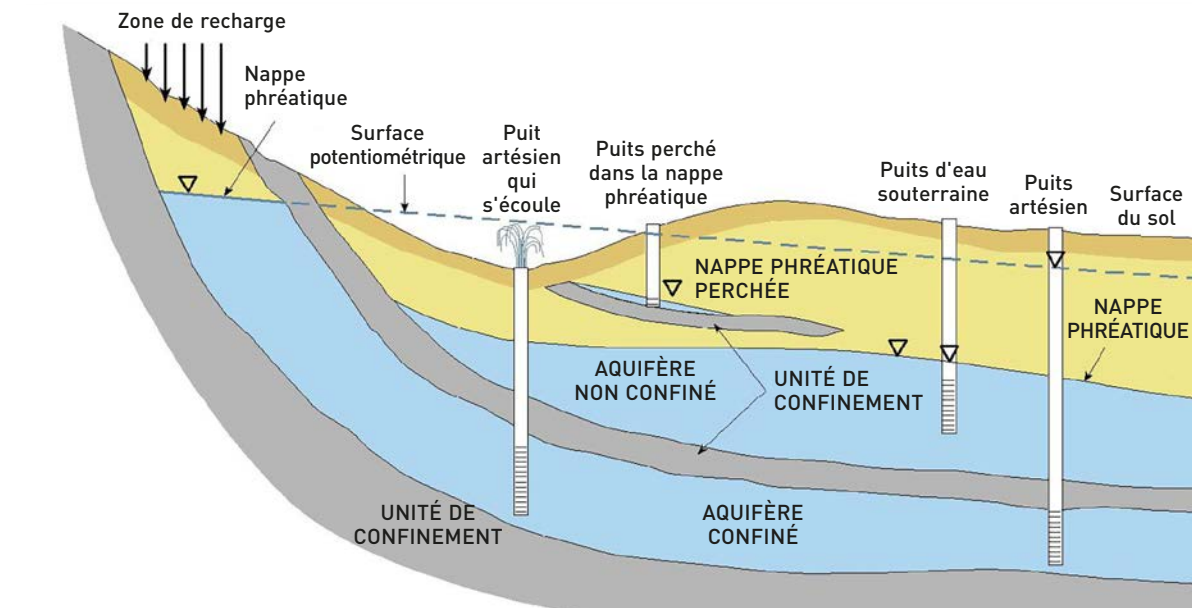


Figure 7 - Les différents types d'aquifère
Source: Slideplayer

En général, les aquifères se rechargent naturellement en eau provenant des masses d'eau de surface, de la pluie, de la fonte de glace ou de neige, par le processus de percolation profonde. L'eau peut quitter les aquifères de différentes manières. Elle peut surgir naturellement des sources et venir ainsi s'ajouter aux ressources en eau de surface. Elle peut également être extraite artificiellement par des puits ou des forages de pompage pour les ménages, l'agriculture ou les industries. Les actions humaines peuvent modifier le processus de recharge. Plus les eaux de surface sont utilisées par les activités humaines, moins il y a d'eau disponible pour recharger les aquifères par infiltration et percolation. En conséquence, les niveaux des nappes peuvent baisser. Si l'eau souterraine est extraite en même temps, le niveau de nappe baisse d'autant. Par exemple, en Inde, 60 % de l'agriculture irriguée dépend des eaux souterraines. Une étude récente démontre que l'utilisation des eaux souterraines a entraîné l'assèchement de quelque 90 % des puits à ciel ouvert dans l'État du Tamil Nadu³².

- L'équilibre entre l'extraction et la recharge est essentielle à la gestion durable des eaux souterraines. En règle générale, pour une bonne gestion des eaux souterraines, le volume d'eau extrait d'un aquifère doit toujours être inférieur ou au maximum égal au volume de recharge.
- Par ailleurs, les eaux souterraines sont de plus en plus touchées par des problèmes de qualité d'eau. Les eaux souterraines peuvent être polluées si de l'eau contenant des polluants biologiques ou chimiques s'infiltré dans l'aquifère. En outre, une nappe aquifère surexploitée peut devenir saline à la suite d'infiltrations d'eau salée. La gestion des eaux souterraines passe donc non seulement par l'attention prêtée aux questions de quantité, mais aussi par l'examen attentif des problèmes de qualité de l'eau.³³

32 National Geographic, «India's Food Security Threatened by Groundwater Depletion», 2015, voices.nationalgeographic.com/2015/02/03/indias-food-security-threatened-by-groundwater-depletion.

33 *Ibid.*

2.3. BILAN HYDROLOGIQUE D'UN BASSIN

La méthode de base pour comprendre l'état hydrologique d'un bassin quelconque consiste à produire un bilan hydrologique. Cette méthode se base sur les principes de la conservation de la masse, appliqués dans ce cas à l'eau. Le bilan hydrologique d'un système (= bassin) pendant une période donnée tient compte de tout ce qui entre dans le système et de tout ce qui en sort, ainsi que de tous les changements affectant l'accumulation d'eau. Comme exemple d'accumulation d'eau positive pour un bassin pendant une certaine période, on peut citer l'augmentation générale de l'humidité des sols ou des niveaux des eaux souterraines. La diminution des niveaux des nappes souterraines est un exemple d'évolution négative de l'accumulation. Le concept de bilan hydrologique permet de comprendre le comportement hydrologique d'un bassin hydrographique.

L'équation³⁴ suivante permet de décrire simplement le bilan hydrologique d'un bassin :

$$P = ET + R + D + \Delta S \quad \text{Équation 1}$$

où P symbolise les précipitations, ET l'évapotranspiration, R la surface de ruissellement, D la recharge des eaux souterraines, et ΔS la variation de stockage d'eau dans le sol ou les réservoirs d'eau.



2.3.1. L'eau verte et l'eau bleue

La distinction entre eau verte et eau bleue a été introduite dans les années 1990 par Falkenmark³⁵ alors qu'il tentait de démontrer la valeur de l'eau stockée dans le sol sous forme d'humidité, disponible pour l'agriculture sans aménagements techniques supplémentaires (irrigation).

L'eau verte désigne les précipitations qui tombent sur la terre, mais qui, au lieu de ruisseler ou de recharger les eaux souterraines, sont stockées dans le sol, ou restent temporairement à la surface du sol ou dans la végétation³⁶. En fin de compte, cette partie des précipitations s'évapore ou transpire par les plantes. L'agriculture non irriguée ou pluviale ne consomme que de l'eau verte ; en d'autres termes, elle n'utilise que l'humidité du sol provenant directement des précipitations.

L'eau bleue désigne l'eau qui s'écoule dans les cours d'eau et les rivières, ainsi que l'eau qui s'infiltré et pénètre par percolation dans les nappes aquifères. L'eau bleue comprend donc les eaux de surface (ruisseaux, rivières et fleuves) et les eaux souterraines (les aquifères). À l'aide d'une variété d'infrastructures, la population utilise l'eau bleue en grandes quantités pour satisfaire ses besoins.

34 Zhang, L., Dawes, W.R. et Walker, G.R., « Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance », 1999, catalogue.nla.gov.au/Record/408538.

35 Falkenmark, M. et Rockström, J., « The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management », 2006, appgeodb.nancy.inra.fr/biljou/pdf/falkenmark-and-rockstrom.pdf.

36 WFN, « Glossary of terms », 2015, waterfootprint.org/en/water-footprint/glossary.

L'agriculture irriguée peut utiliser à la fois l'eau verte et l'eau bleue si les cultures utilisent l'humidité du sol provenant des précipitations et de l'eau d'irrigation provenant de sources de surface et/ou souterraines. Les besoins de consommation d'eau bleue (irrigation) dépendent principalement des conditions climatiques locales.

Dans de nombreux cas, par exemple, dans les systèmes protégés en Israël, l'eau grise est également utilisée pour l'irrigation. **L'eau grise** provient du captage, du recyclage et de la réutilisation d'eaux vertes ou bleues qui ont déjà été utilisées à des fins diverses. Le recyclage et la réutilisation de l'eau sont abordés par la suite.

Le bilan hydrologique d'un bassin hydrographique (équation 1) est exprimé en unités de volume : mètres cubes (m³) ou millions de mètres cubes (Mm³). Si possible, il fait également la distinction entre eau bleue et eau verte.

Le tableau 1 présente l'exemple du bilan hydrologique du bassin du fleuve Guadalquivir en Espagne. Pour l'année 2003, 90 % des 32 milliards de mètres cubes de précipitations enregistrés dans ce bassin hydrographique sont retournés dans l'atmosphère par évapotranspiration (28,7 milliards de mètres cubes) des eaux vertes et des eaux bleues. Toutefois, la contribution de l'eau bleue à l'évapotranspiration (ET) (2,8 milliards de mètres cubes ; environ 9 %) est nettement inférieure à celle de l'eau verte (26 milliards de mètres cubes, 81 %). Ces chiffres illustrent l'importance de l'eau verte.

Tableau 1 : Exemple du bilan hydrologique du bassin du fleuve Guadalquivir, Espagne. Hypothèses : $\Delta S = 0$, les pertes par percolation profonde sont négligeables. L'année de référence est 2003³⁷

		Mm ³
P	Précipitation	32042
ET (verte)	ET verte totale	25955
	Agriculture non irriguée	3690
	Agriculture irriguée	1190
	Pâturages	1930
	Forêts	19145
ET (bleue)	ET bleue eau de surface	1981
	ET bleue eau souterraine	770
	Agriculture	2290
	Domestique	96
	Industrie, énergie	50
	Réservoirs	315
ET (totale)	Total ET verte et bleue	28706

37 Aldaya, M.M., Garrido, A., Llamas, M.R., Varelo-Ortega, C., Novo, P., et Casado, R.R., «Water footprint and virtual water trade in Spain», in *Water policy in Spain* (A. Garrido et M.R. Llamas dir.), Leiden, CRC Press, 2010, pp. 49-59.

R	Surface de ruissellement	3337
D	Recharge des eaux souterraines	770
ΔS	Stockage d'eau dans le sol	0

2.3.2. Les débits environnementaux requis

« Les débits environnementaux (bleus) désignent la quantité, la qualité et la saisonnalité des débits d'eau nécessaires pour préserver la durabilité des écosystèmes d'eau douce et estuariens ainsi que des moyens de subsistance et du bien-être des hommes qui dépendent de ces écosystèmes » (déclaration de Brisbane, 2007). Cette définition est tirée de la déclaration de Brisbane qui a mis en lumière l'état avancé de détérioration des écosystèmes d'eau douce et le rythme alarmant de leur dégradation. Afin de lutter contre cette dégradation et de préserver les cours d'eau ainsi que la productivité et la biodiversité de leurs écosystèmes, la déclaration prend l'engagement d'établir des débits environnementaux pour tous les fleuves du monde et d'œuvrer à leur intégration dans des cadres et des stratégies de gestion de l'eau.

Les débits environnementaux bleus requis jouent un rôle essentiel dans la création et le maintien d'un grand nombre d'habitats naturels importants sur le plan écologique. Par exemple, dans le parc national de Doñana dans le sud de l'Espagne, il existe un lien direct entre la profondeur du niveau de nappe et le type de végétation³⁸. Cela démontre également la nécessité de gérer l'eau et la terre, et dans le cas de la gestion de l'eau, les autorités jouent un rôle clé dans l'allocation des ressources en eau.

L'évaluation des débits environnementaux est une science relativement jeune, dont les méthodologies vont d'approches hydrologiques très simples à des approches holistiques extrêmement sophistiquées. En général, les autorités chargées de la gestion de l'eau fixent les débits environnementaux requis dans le cadre de leur mandat de gestion de l'eau. Ces débits ne peuvent donc pas être considérés séparément de la gestion intégrée des ressources en eau. Dans l'exemple du Guadalquivir présenté au tableau 1, le débit environnemental est pris en compte dans les valeurs de ruissellement. Le débit environnemental requis est assigné par l'autorité chargée de la gestion des eaux du Guadalquivir afin de maintenir le « bon état écologique » comme l'exige la politique européenne de l'eau, plus précisément la directive-cadre sur l'eau³⁹.

Dans le cas de l'eau verte, le **besoin environnemental d'eau verte est défini comme** « la quantité d'eau verte provenant des terres qui doit être gardée pour préserver la nature et la biodiversité ainsi que les moyens de subsistance des hommes qui dépendent des écosystèmes dans les zones naturelles » (Water Footprint Network, 2015)⁴⁰. Le besoin environnemental d'eau verte fait également partie du cadre de la gestion intégrée des ressources en eau, mais d'une manière légèrement différente. Le besoin environnemental d'eau verte, contrairement à l'allocation d'eau,

38 *Ibid.*

39 CE, « Directive-cadre sur l'eau », 2015, ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html.

40 Water Footprint Network, « Glossary of terms », *op. cit.*

concerne plutôt l'allocation de terres et dépasse donc les compétences de l'autorité chargée de la gestion de l'eau. Pour garantir une quantité d'eau verte suffisante pour l'environnement, il faut réserver aux écosystèmes naturels une surface suffisante de terres dans le bassin hydrographique. **Le débit environnemental d'eau verte requis démontre clairement la nécessité de gérer la terre et l'eau de façon intégrée et holistique.** Le onzième objectif de la convention sur la diversité biologique peut être utilisé pour fixer un objectif de débits environnementaux verts requis à l'échelle du bassin versant. Cet objectif vise à ce que d'ici à 2020, au moins 17 % des zones terrestres et d'eaux intérieures, et 10 % des zones marines et côtières⁴¹ soient conservées et intégrées dans des politiques de gestion du paysage.

Les débits environnementaux bleus et verts sont des concepts importants pour évaluer la durabilité de la consommation d'eau dans un bassin donné. Les deux concepts découlent du principe de base consistant à préserver les écosystèmes d'eau douce et estuariens afin de garantir les services fournis par le bassin hydrographique dont les populations humaines ont besoin. Cela revient à utiliser de façon durable l'eau de ce bassin hydrographique. Si les débits environnementaux sur lesquels on s'est mis d'accord ne sont pas respectés, c'est-à-dire si la quantité d'eau consommée dans le bassin versant dépasse celle qui est disponible pour l'utilisation humaine (en déduisant les débits environnementaux), on peut affirmer que la consommation d'eau dans le bassin hydrographique n'est pas durable.

2.4. LA CONSOMMATION HUMAINE ET LA POLLUTION DE L'EAU

2.4.1. Les concepts d'empreinte sur l'eau et d'eau virtuelle

L'**empreinte sur l'eau** est un indicateur proposé pour la première fois par Hoekstra⁴² pour évaluer l'appropriation et l'utilisation de l'eau par les hommes⁴³. Aujourd'hui, il est fréquemment utilisé pour déterminer la consommation humaine et évaluer la pollution des eaux.

L'empreinte sur l'eau a trois composantes : les empreintes sur l'eau verte, sur l'eau bleue, et sur l'eau grise.

- L'empreinte sur l'eau bleue désigne le volume d'eau de surface et souterraine consommé pour produire un bien ou un service. La consommation représente le volume d'eau douce utilisé puis évaporé ou incorporé dans un produit. Elle inclut également l'eau qui a été extraite des eaux de surface ou souterraines dans un bassin hydrographique et qui a été restituée à un autre bassin hydrographique ou à la mer. C'est la quantité d'eau extraite du sous-sol ou en surface qui ne retourne pas au bassin hydrographique dans lequel elle a été prélevée.
- L'empreinte sur l'eau verte désigne le volume d'eau des précipitations consommé par le processus de production. Cet indicateur s'applique particulièrement aux produits agricoles et forestiers.

41 www.cbd.int.

42 Hoekstra, A., *The Water Footprint of Modern Consumer Society*, Londres, Routledge, 2013.

43 WFN, «Glossary of terms», *op. cit.*

- L'empreinte sur l'eau grise fait référence à la pollution de l'eau exprimée sous la forme du volume d'eau douce nécessaire pour diluer une charge donnée de polluants, en fonction des conditions naturelles spécifiques et des concentrations fixées par les normes de qualité de l'eau dans le milieu ambiant. L'empreinte sur l'eau grise dépend du polluant utilisé pour le calcul. Les experts de la qualité de l'eau estiment que le fait d'exprimer la pollution en volumes est contestable. Cependant, l'utilisation d'une mesure volumétrique pour indiquer la pollution permet de réunir dans un même cadre les aspects de quantité et de qualité liés à l'utilisation de l'eau.

L'empreinte moyenne mondiale sur l'eau au cours de la période 1996-2005 a été de 9,087 Gm³/an (74 % verte, 11 % bleue et 15 % grise – l'empreinte de l'eau grise faisant référence à l'azote). Les empreintes sur l'eau au niveau mondial des secteurs agricole, industriel et des ménages s'élèvent respectivement à 92 %, 4,4 % et 3,6 % du total. L'empreinte sur l'eau bleue de l'agriculture au niveau mondial, c'est-à-dire l'eau consommée par l'irrigation, représente 10 % (945 Gm³/an) de l'empreinte totale sur l'eau à l'échelle mondiale⁴⁴. La Chine, l'Inde et les États-Unis accusent les empreintes totales sur l'eau les plus importantes sur leurs territoires.

Les principales utilisations de l'eau douce varient d'un pays à l'autre⁴⁵. Dans un pays industrialisé comme la Belgique, le secteur industriel représente 80 % de l'utilisation des ressources en eau douce⁴⁶, alors qu'en Asie du Sud, en Afrique, en Amérique centrale ou en Amérique du Sud, c'est l'agriculture qui est le premier consommateur d'eau. Dans les pays ACP, l'agriculture utilise plus de 85 % de l'eau extraite.

Le contenu en eau virtuelle d'un produit fait référence au volume d'eau douce « contenu » dans le produit, au sens virtuel et non réel. Elle désigne l'eau consommée ou polluée pour fabriquer le produit, y compris l'évapotranspiration des cultures et des fourrages. Cet indicateur est calculé exactement de la même manière que l'empreinte sur l'eau. La principale différence entre ces deux concepts est que l'empreinte sur l'eau est un indicateur multidimensionnel, exprimé dans le temps et l'espace, tandis que le contenu en eau virtuelle ne fait référence qu'à un volume. Ces deux indicateurs sont exprimés en unités d'eau, mais l'empreinte sur l'eau indique également où et quand ces volumes d'eau ont été extraits ou pollués, et tient compte de ses incidences dans le temps et l'espace.

Dans le contexte de la mondialisation, ces deux concepts gagnent de l'importance. On parle d'importation ou d'exportation d'eau virtuelle pour expliquer que si un pays importe ou exporte un produit, il importe ou exporte aussi virtuellement l'eau qui a servi à fabriquer le produit. L'importation/exportation d'eau virtuelle a été décrite comme une solution potentielle pour alléger la pression sur les ressources hydrologiques locales dans les régions déficitaires en eau. Cette notion fait référence aux importations/exportations de produits agricoles qui consomment beaucoup d'eau. D'après cette notion, dans les zones déficitaires en eau, l'eau devrait être

44 Hoekstra, A.Y. et Mekonnen, M.M., « Water Footprint of Humanity », *PNAS*, vol. 109, n° 9, 28 février 2012, www.pnas.org/content/109/9/3232.full.

45 PNUE, « Freshwater use by sector at the beginning of the 2000s », 2008, www.unep.org/dewa/vitalwater/article48.html.

46 Worldometers, 2015, www.worldometers.info/water.

allouée en priorité aux utilisations ménagères et aux activités ayant une rentabilité économique supérieure à celle de l'agriculture. Bien que le commerce soit perçu comme une solution possible pour faire face en partie aux futurs défis de l'agriculture et du manque d'eau, il doit être envisagé avec prudence du fait de ses effets secondaires, au nombre desquels l'augmentation des émissions de carbone dues aux transports, les incidences sur les écosystèmes et les moyens de subsistance dans les pays producteurs, qui sont généralement des pays en développement ayant une gouvernance faible, et enfin, la dépendance politique qu'il entraînerait pour ces régions au niveau des produits alimentaires.

2.4.2. La rareté de l'eau à travers le monde

Comme mentionné précédemment, toutes les régions du monde ne sont pas dotées des mêmes ressources en eau douce. **La rareté de l'eau se définit comme une situation dans laquelle le rapport entre l'utilisation de l'eau et la disponibilité de celle-ci dépasse un certain seuil.** Par exemple, en Inde, les bassins fluviaux sont confrontés à une situation de grande rareté de l'eau (> 200 %), ce qui signifie que l'empreinte mensuelle sur l'eau bleue dépasse 40 % du ruissellement naturel. Le ruissellement est considérablement modifié et donc les débits environnementaux requis ne sont pas respectés⁴⁷. Les indicateurs modernes de rareté de l'eau tentent d'intégrer les débits environnementaux requis également dans les indicateurs de rareté de l'eau. En raison des différences géographiques de disponibilité et d'utilisation, il existe différents modèles de rareté de l'eau à travers le monde (figure 8).

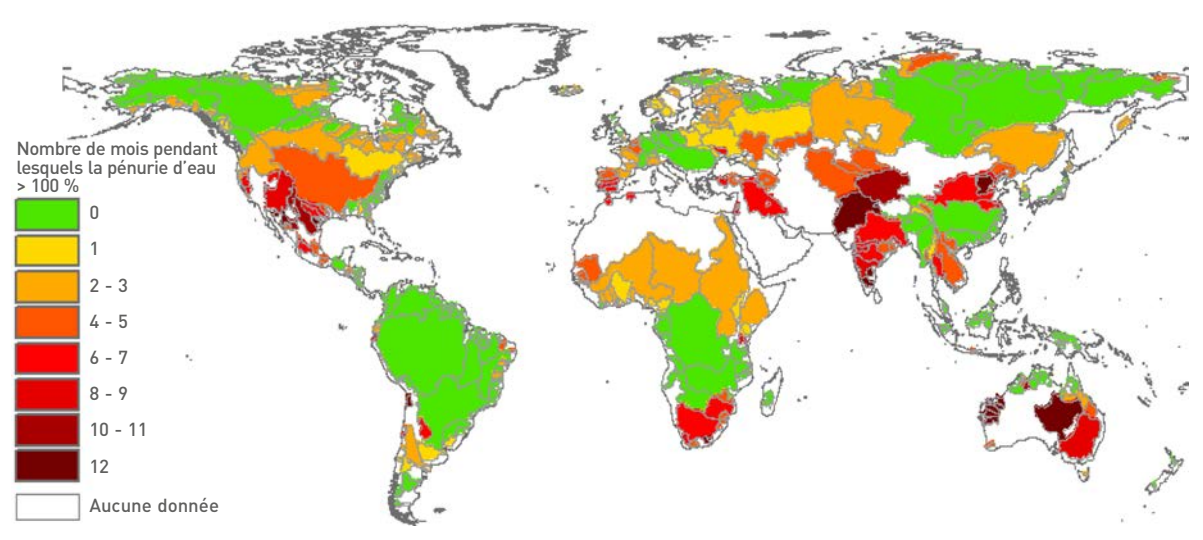


Figure 8 - Nombre de mois de l'année au cours desquels la rareté de l'eau est supérieure à 100 % pour les principaux bassins hydrographiques du monde. Période 1996-2005⁴⁸

47 Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E. et Richter, B.D., « Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability », *PLoS ONE*, vol. 7, n° 2, 2012, journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0032688.

48 Hoekstra, A.Y. et Mekonnen, M.M., « Global water scarcity: monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins », *Value of Water Research Report Series*, n° 53, Delft, UNESCO-IHE, 2011.

Près de 1,2 milliard de personnes vivent dans des zones de pénurie physique. On parle de **pénurie d'eau physique** lorsqu'il n'y a plus suffisamment d'eau pour satisfaire toutes les demandes, notamment celles qui sont nécessaires au bon fonctionnement d'un écosystème. D'ici à 2025, 600 millions de personnes supplémentaires devraient vivre dans une telle situation. En outre, 1,6 milliard de personnes sont confrontées à une **pénurie d'eau économique** (dans les pays qui ne disposent pas des infrastructures hydrauliques nécessaires pour satisfaire les besoins en eau de la population)⁴⁹. La rareté de l'eau est l'un des principaux problèmes du monde au XXI^e siècle.

De nombreux pays souffrent de la rareté de l'eau, et leur situation peut être aggravée par la faiblesse des politiques, des institutions et des cadres de financement pour la gestion de l'eau et le développement. Dans d'autres pays, il se peut que l'eau ne manque pas, mais la faiblesse des politiques peut entraîner une mauvaise efficacité de l'utilisation de l'eau et/ou provoquer des pollutions, ce qui a des conséquences environnementales, sociales ou économiques non désirées. Le climat, la politique et la façon dont les ressources en eau sont distribuées dans le monde sont autant de facteurs ayant une incidence sur la rareté de l'eau.

Le changement climatique, le changement de l'utilisation des sols, comme la déforestation et la conversion des zones humides, ont des répercussions de plus en plus fortes sur la situation hydrologique locale. Les hausses de températures conduiront à une plus forte évapotranspiration dans l'agriculture. La baisse et l'irrégularité croissante des précipitations aggraveront l'insécurité de l'approvisionnement en eau, particulièrement pour l'agriculture pluviale. Par exemple, au Sahel, les températures devraient connaître une hausse de 1,4 °C d'ici à 2050, et les précipitations deviendront plus irrégulières, avec des augmentations de volumes dans certaines régions et des diminutions dans d'autres⁵⁰. En conséquence, l'agriculture pluviale traditionnelle perd de sa fiabilité en entraînant des changements de modèles agricoles et des migrations de populations du Sahel vers le sud plus humide. Même lorsque la quantité totale des précipitations est prévue pour rester la même, la disponibilité de l'eau chutera dans de nombreux endroits, dans la mesure où les précipitations prendront la forme d'événements moins nombreux, mais plus extrêmes, qui tendront à accroître la proportion du ruissellement de surface qui finit en eau bleue.

La destruction des forêts et des zones humides naturelles réduit la capacité de rétention hydrique des paysages; en plus de cela, l'évaporation qui résulte des nouvelles utilisations des terres est généralement plus élevée que celle des utilisations qu'elles ont remplacées (comme l'agriculture intensive, les plantations). Les cycles locaux de l'eau s'en trouvent bouleversés. Avec les effets majeurs du changement climatique, ce phénomène touche des systèmes hydrologiques dans le monde entier.

49 NU, «Décennie internationale d'action: "L'eau, source de vie"», 2006, www.un.org/fr/waterforlifedecade/themes/scarcity.shtml.

50 IPCC, *The Regional Impacts of Climate Change. Special reports*, 2015, www.ipcc.ch/ipccreports/sres/regional/index.php?idp=11.

2.4.3. Les normes de qualité et les niveaux de pollution de l'eau

L'accès à une eau saine pour la consommation humaine et les usages sanitaires est une condition préalable à la santé et au bien-être des populations. De la même manière, nos écosystèmes ont un besoin essentiel d'eau saine et non polluée.

La qualité de l'eau est définie comme les «*caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de l'eau nécessaires pour les utilisations qui en sont souhaitées*»⁵¹. La qualité de l'eau fait référence à tous les aspects de la qualité de l'eau nécessaires pour préserver la durabilité des écosystèmes, de la biodiversité et du bien-être des hommes comme la santé, la production alimentaire, et le développement économique. La qualité de l'eau a donc une influence considérable sur la pauvreté, la santé et les niveaux d'éducation des hommes⁵².

Presque toutes les activités humaines ont une incidence sur la qualité de l'eau, qu'elle soit en surface ou souterraine. Deux sources de pollution sont généralement constatées : les sources de pollution ponctuelles et les sources de pollution diffuses :

- Les sources de pollution ponctuelles comme les rejets provenant du traitement des eaux usées urbaines, des industries et des exploitations piscicoles, sont définies comme des «*sites ou installations fixes rejetant des polluants*»⁵³. Les polluants habituellement rejetés par les sources ponctuelles comprennent des substances consommatrices d'oxygène (à demande élevée d'oxygène biologique ou chimique) et des produits chimiques dangereux.
- La pollution diffuse peut être provoquée par une série d'activités n'ayant pas de point de rejet particulier. L'agriculture est une source majeure de pollution diffuse, mais les terres urbanisées, l'exploitation forestière, les dépôts atmosphériques et les habitations rurales peuvent aussi être des sources de pollution importantes⁵⁴. Les principaux polluants rejetés par les sources de pollution diffuses de certaines activités agricoles ou urbaines comprennent les substances suivantes : fertilisants, pesticides, sédiments, parasites, toxines, virus, drogues humaines (produits chimiques et médicaments), pétrole, détergents, métaux lourds et microbes fécaux.

Vue sous l'angle de la gestion, la qualité de l'eau est déterminée par l'utilisation finale qu'on souhaite en faire. L'eau destinée aux loisirs, à la pêche, à la boisson et à l'habitat des organismes aquatiques exige des niveaux de pureté plus élevés, alors que pour celle consacrée à la production d'énergie hydraulique, les normes de qualité sont beaucoup moins élevées. Différents types de normes existent en fonction de l'utilisation qui est faite de l'eau. Par exemple, il existe des normes pour l'eau potable, des normes de qualité pour l'eau d'irrigation, des normes d'émission (ou d'effluents), et des normes de qualité de l'eau dans le milieu ambiant. Ces dernières sont définies comme la quantité maximale admissible d'une substance donnée dans les cours d'eau, les lacs et les eaux souterraines, exprimée en concentration. Les normes sont mises en places pour protéger contre les effets négatifs prévus

51 www.unwater.org/wwd10/faqs.html.

52 *Ibid.*

53 AEE, «Water pollution – overview», 2008, www.eea.europa.eu/themes/water/water-pollution.

54 *Ibid.*

sur la santé ou le bien-être de l'homme, la vie sauvage ou le fonctionnement des écosystèmes⁵⁵; elles peuvent être publiées pour un État particulier, un pays ou un groupe de pays⁵⁶.

Le niveau de pollution de l'eau est défini comme le degré de pollution des flux de ruissellement, mesuré pour représenter la fraction de la capacité d'assimilation des déchets du ruissellement effectivement utilisée (Hoekstra *et al.*, 2011). Un niveau de pollution de l'eau de 100 % signifie que la capacité d'assimilation des déchets des flux de ruissellement a été entièrement utilisée. Lorsque le niveau de pollution de l'eau dépasse 100 %, les normes de qualité de l'eau du milieu ambiant sont enfreintes. Le niveau de pollution de l'eau peut donner une indication du niveau de pollution global. Liu *et al.*⁵⁷ ont analysé les charges d'azote de plus de mille rivières et fleuves du monde (figure 9). En 2000, 66 % des bassins versants analysés affichaient un niveau de pollution azotée des eaux supérieur à 1, ce qui indique de sérieux problèmes de pollution.

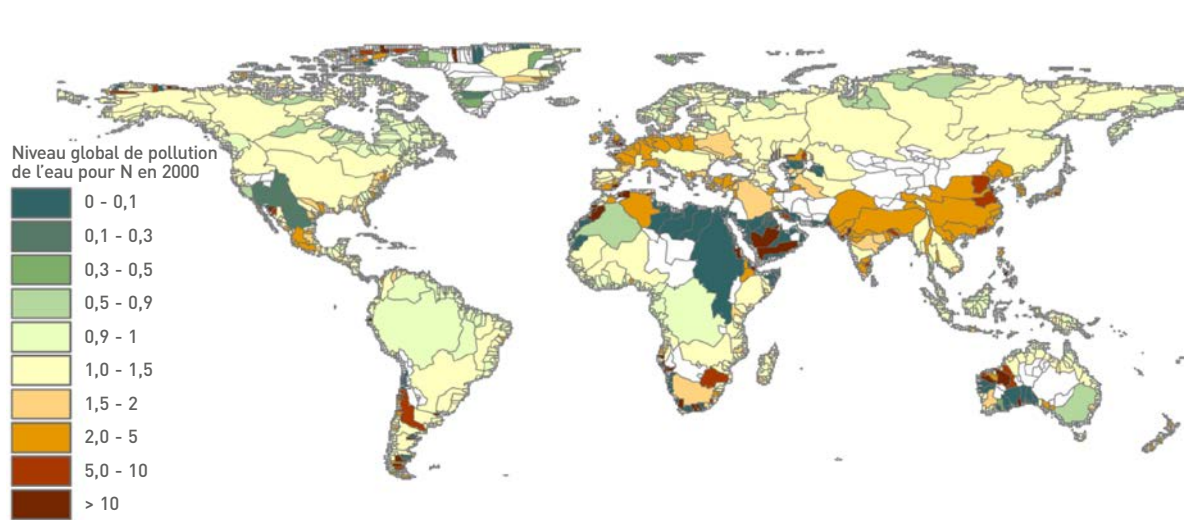


Figure 9 - Niveau de pollution de l'eau par l'azote dans les bassins hydrographiques du monde pour l'année de référence 2000

55 Hoekstra, A.Y. et Mekonnen, M.M., «Global water scarcity: monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins», *op. cit.*

56 COLEACP, Manuel de Formation. *Produire de façon durable et responsable*, 2017.

57 Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A.Y. et Gerbens-Leenes, W., «Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers», *Ecological Indicators*, n° 18, 2012, pp. 42-49.

Chapitre 3

De l'eau pour le développement des plantes

3.1. L'importance de l'eau pour les plantes	36
3.2. Besoins en eau pour les cultures	37
3.3. Sol et eau	43
3.4. Besoins en eau pour les cultures et l'irrigation	51

3.1. L'IMPORTANCE DE L'EAU POUR LES PLANTES

L'eau est à la base des nombreux processus physiologiques nécessaires à la croissance des plantes.

3.1.1. La transpiration

Le principal processus à l'origine de la circulation de l'eau dans les plantes est la transpiration, c'est-à-dire l'émission de vapeur d'eau par les végétaux (évaporation). Environ 95 % de l'eau pompée dans le sol par les plantes est utilisée pour la transpiration. Une petite partie de cette eau seulement, environ 5 %, est consommée dans la photosynthèse, qui a pour but de produire les hydrates de carbone nécessaires à la croissance des plantes.

La transpiration a lieu au niveau des stomates, situées dans les feuilles de la plante. La transpiration conditionne le gradient de potentiel hydrique des feuilles aux racines. Le potentiel hydrique de l'air au niveau des feuilles est faible, tandis que le potentiel hydrique du sol (lorsqu'il y a suffisamment d'eau) est élevé. L'eau se déplace du potentiel hydrique le plus élevé vers le plus faible. Elle remonte donc du sol vers les feuilles en passant par les racines, avant d'être rejetée dans l'atmosphère.

Le taux de transpiration des plantes dépend de la disponibilité de l'eau dans la plante et dans le sol, et de l'énergie disponible pour la vaporisation de l'eau à partir des feuilles de la plante. Par ailleurs, la transpiration varie en fonction du stade de développement de la plante (voir chapitre 3.3). La transpiration est maximale lorsque la plante est arrivée à maturité. La plus grande partie de l'énergie utilisée pour la transpiration provient directement du soleil, à travers le rayonnement solaire. Dans les régions chaudes et ensoleillées, le taux de transpiration des plantes est donc plus élevé. Par conséquent, les besoins en eau des plantes dans les régions chaudes sont également plus élevés. Pour pousser dans des régions chaudes, les plantes ont généralement besoin d'une quantité d'eau plus importante.

3.1.2. La turgescence

La masse tissulaire des plantes est composée d'environ 85 à 90 % d'eau pendant la période de croissance. Lorsque les plantes ligneuses arrivent à maturité, cette proportion tombe à 50 %, tandis que la masse tissulaire de certaines herbacées peut contenir jusqu'à 95 % d'eau. L'eau, qui exerce une pression de turgescence sur les parois des cellules végétales, permet à la plante de rester érigée. La turgescence garantit une stabilité mécanique aux tissus des plantes non ligneuses. Sans la stabilité que leur confère la turgescence, de nombreuses plantes s'affaisseraient et leurs processus physiologiques seraient inhibés. Ces processus comprennent, notamment, l'élargissement cellulaire (croissance de la plante), l'échange de gaz dans les feuilles, le transport d'eau et de sucres dans la plante.

Si la teneur en eau du sol est faible, les plantes peuvent ne pas être en mesure de maintenir leur turgescence. Lorsque cela se produit, la plante atteint son **point de flétrissement (PF)**. Le PF correspond à la teneur en eau du sol en deçà de laquelle la plante ne peut plus prélever l'eau dont elle a besoin, ce qui provoque

son flétrissement. Le flétrissement est réversible, si la plante est à nouveau alimentée en eau et si elle n'a pas atteint le **point de flétrissement permanent (PFP)**. Le **PFP** est le seuil auquel le flux continu d'eau dans le xylème et les tissus de la plante est interrompu. Si le PFP est dépassé, le flétrissement est irréversible et la plante meurt.

3.1.3. La nutrition

L'eau transporte des sucres, des nutriments et, parfois, des pesticides systémiques dans la plante. Comme nous l'avons vu précédemment, l'eau pénètre dans la plante à travers le système racinaire, en grande partie grâce à la différence de potentiel hydrique entre les racines et le sol. L'eau facilite l'absorption des nutriments par les racines, grâce à un ensemble de processus complexes, notamment le transport actif. Une fois qu'ils ont été absorbés par les racines, les nutriments deviennent disponibles pour les processus physiologiques à l'œuvre dans la plante, grâce à la circulation de l'eau des racines vers les autres parties de la plante. Le déplacement de l'eau à travers la plante résulte de deux phénomènes, le principal étant la transpiration par les feuilles (voir ci-dessus). Le second processus, qui s'opère à une échelle plus modeste, intervient lorsque l'eau remonte des racines vers les feuilles sous l'effet d'une forte concentration de solutés dans les racines. De ce fait, la pression de l'eau dans les racines augmente et l'eau est alors poussée vers le haut de la plante et expulsée par les feuilles lors de la guttation.

3.2. BESOINS EN EAU POUR LES CULTURES

3.2.1. Les principes

La FAO⁵⁸ définit les besoins en eau pour les cultures comme «la profondeur (ou la quantité) d'eau requise pour l'évapotranspiration d'une culture donnée (ET_p = évapotranspiration potentielle)». **Les besoins en eau pour les cultures sont donc entièrement corrélés à l'évapotranspiration de la culture.**

L'évapotranspiration (ET) est la somme de la transpiration par les feuilles des plantes et de l'évaporation à la surface du sol⁵⁹. L'évaporation est un terme qui couvre tous les processus au cours desquels l'eau liquide est rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

Il existe plus d'une façon d'estimer l'ET. Elle peut être évaluée à partir de données de télédétection. Les banques de données ASTER et MODIS peuvent être utilisées pour établir des estimations détaillées⁶⁰. Des méthodes de télédétection peuvent également être associées à des équations pour estimer l'évaporation. Le CGIAR

58 Brouwer, C. et Heibloem, M., *Irrigation water management: Irrigation water needs*, Rome, FAO, 1986.

59 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. et Smith, M., «Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop evapotranspiration», *Guidelines for computing crop water requirements*, FAO Irrigation and drainage paper 56, Rome, FAO, 1998.

60 French, A.N., Schmugge, T.J., Kustas, W.P. et Prueger, J.H., «Evapotranspiration Estimation Using Multispectral Thermal Infrared Data from ASTER and MODIS», *American Geophysical Union, Fall Meeting 2009, abstract #U32A-08*, 2009.

CSI (2015) a développé cette approche pour ses bases de données mondiales sur l'évaporation et l'aridité. Ces bases de données ont été construites par couplage de données d'élévation acquises par télédétection⁶¹ avec des bases de données climatiques internationales⁶² et l'équation standard de la FAO pour l'évaporation⁶³. L'ET peut aussi être établie de manière expérimentale à partir de données lysimétriques ou de données collectées sur les bacs à évaporation.

La plupart des calculs des besoins en eau pour les cultures sont réalisés en estimant l'ET à l'aide d'équations intégrant des données sur les sols, les cultures, et le climat. Plusieurs équations ont été mises au point, notamment : Penman-Monteith, Priestley-Taylor et l'équation de référence FAO-56⁶⁴. Une vue d'ensemble des différentes méthodes d'estimation de l'ET est donnée par McMahon *et al.*⁶⁵

Dans ce manuel, nous appliquons le modèle FAO-56, qui est la méthode de calcul standard⁶⁶ et reconnue pour calculer l'ET_p⁶⁷.

Ce modèle utilise l'équation Penman-Monteith pour calculer l'ET d'une culture de référence hypothétique dans un lieu donné. C'est ce que l'on appelle «l'évapotranspiration de référence», ou ET₀. Le modèle utilise des valeurs de paramètres standards : hauteur = 0,12 m, résistance de surface = 70 s m/1 et albédo = 0,23. Il estime l'ET₀ quotidienne (exprimée en mm/jour) à l'aide des paramètres climatiques suivants : heures d'ensoleillement ou de rayonnement solaire, température maximale de l'air, température minimale de l'air, humidité relative, vitesse du vent et élévation. L'évapotranspiration de référence peut être calculée pour différentes périodes (mensuelle, hebdomadaire, quotidienne et horaire). Les valeurs obtenues peuvent ensuite être utilisées pour calculer les besoins d'eau pour les différentes cultures. Des cultures différentes présentent des niveaux d'évapotranspiration différents. Pour calculer les besoins en eau d'une culture (ET_p), un coefficient spécifique aux cultures (K_c) est introduit (équation 1).

$$ET_p = K_c * ET_0$$

Équation 1

-
- 61 Jarvis, A. *et al.*, «Hole-filled SRTM for the globe Version 4», base de données CGIAR-CSI SRTM 90m, 2008, srtm.csi.cgiar.org.
- 62 Hijmans, R.J. *et al.*, «The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces», version 1.3. 2004.
- 63 Zomer, R.J. *et al.*, «Food and Agriculture Organization of the United Nations. Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation», *Agric. Ecosystems and Envir.*, FAO, n° 126, 2008, pp. 67-80.
- 64 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., «Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop evapotranspiration», *op. cit.*
- 65 McMahon, T.A. *et al.*, «Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis», *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, n° 17, 2013, pp. 1331-1363, www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/1331/2013/hess-17-1331-2013.pdf.
- 66 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., «Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop evapotranspiration», *op. cit.*
- 67 McMahon, T.A. *et al.*, «Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis», *op. cit.*

Les valeurs des coefficients de culture varient d'une culture à l'autre et en fonction des stades de croissance des cultures. L'illustration 1 donne un aperçu de la variation des valeurs de K_c pour plusieurs cultures agricoles. Il ressort clairement de l'analyse des valeurs de K_c des différentes cultures que l' ET_p du maïs ($K_c = 1,2$) sera supérieure à celle de l'ananas ($K_c = 0,3$) dans les mêmes conditions climatiques.

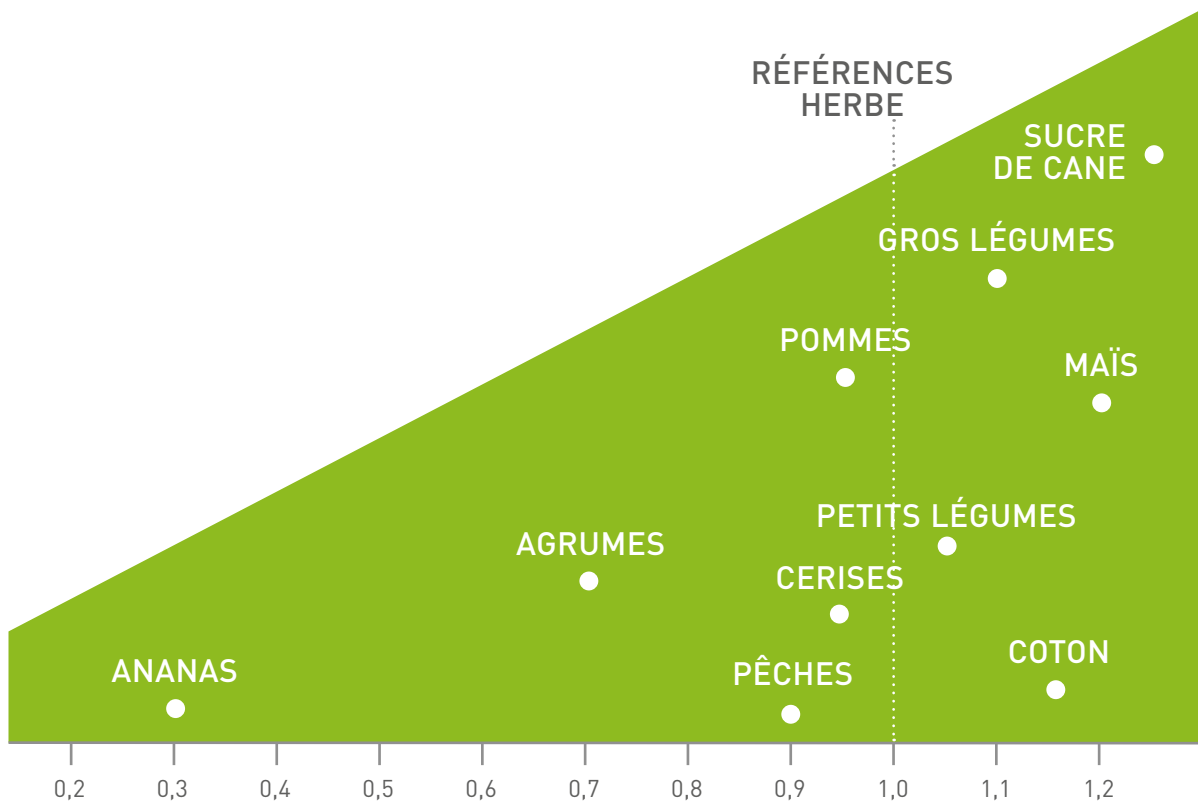


Figure 1 - Valeurs de K_c à la mi-saison pour diverses cultures agricoles.
Source: Allen et al.⁶⁸

Lorsque les plantes sont en phase de croissance, l'évapotranspiration varie. Cette variation s'explique principalement par la modification de la surface foliaire. La croissance des plantes peut être divisée en quatre phases: phase initiale, phase de développement, phase de mi-saison, phase d'arrière-saison.

1. Dans la phase initiale, l'eau s'évapore principalement du sol, compte tenu de la faible surface foliaire des plantes. L'évaporation à partir du sol est fonction de l'humidité du sol. La valeur de K_c est donc élevée lorsque le sol est mouillé et faible lorsque le sol est sec.
2. À mesure qu'une culture se développe, la couverture du sol peut passer de 10 % à 100 % (couverture intégrale du sol par la culture). Bien que K_c dépende du type de culture et de l'humidité du sol, sa valeur oscille généralement de 0,5 (sol couvert à 25-40 %) à 0,7 (sol couvert à 40-60 %).

68 Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., «Food and Agriculture Organization of the United Nations. Crop evapotranspiration», *op. cit.*

3. La phase de mi-saison commence quand la maturation débute et elle se termine par la sénescence du couvert foliaire (feuilles jaunes). La valeur de K_c atteint son niveau maximal durant cette phase.
4. La phase d'arrière-saison se termine lorsque la culture est récoltée. À la fin de la phase d'arrière-saison, la valeur de K_c (K_c final) reflète les pratiques de gestion de l'eau et des cultures.

L'illustration 2 présente la variation type des valeurs de K_c au cours des quatre phases de croissance. Veuillez vous référer à l'annexe de ce chapitre pour les valeurs K_c de différentes cultures.

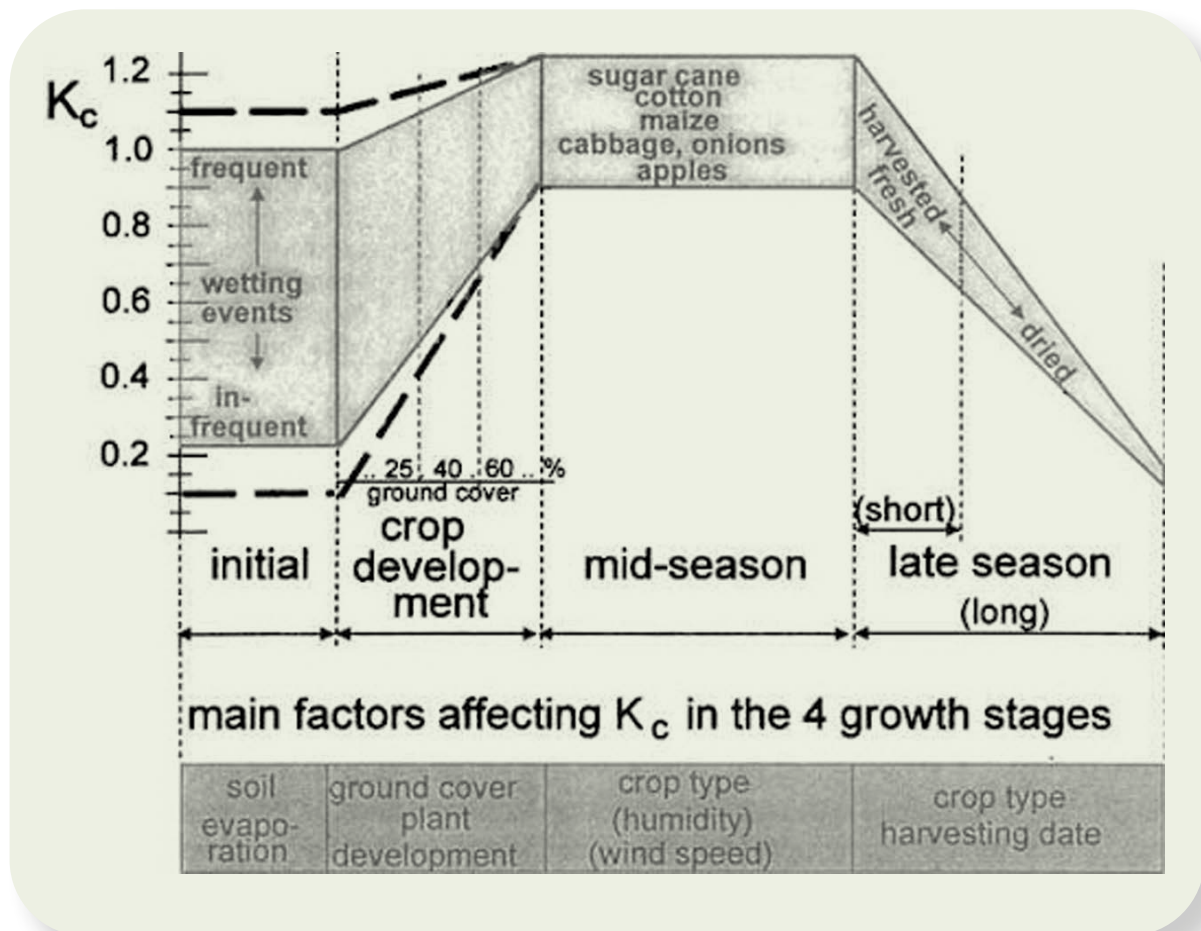


Figure 2 - Répartition type des valeurs de K_c au cours des quatre phases de croissance.
Source : Allen et al.⁶⁹

L'ET d'une culture varie également en fonction des conditions hydriques du sol et de l'aptitude des plantes à absorber l'eau présente dans le sol. Si l'eau est présente en quantité suffisante, l'ET de la culture varie en fonction des coefficients de culture au cours des quatre étapes. Si l'eau disponible est insuffisante, la culture est en condition de stress hydrique. En condition de stress hydrique, l'ET de la culture diminue. Il en résulte que l'eau ne s'évapore pas complètement, ce qui freine la croissance des plantes. En ce qui concerne les irrigateurs, il est important

69 Ibid.

de déterminer le seuil de disponibilité en eau dans le sol en deçà duquel le stress hydrique a des répercussions négatives sur les plantes.

Les plantes n'ont pas accès à la totalité de l'eau présente dans le sol. La seule teneur en eau du sol qui peut être utilisée par la plante est située dans la zone racinaire de la plante, entre la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement permanent (PFP). C'est ce que l'on appelle «l'eau disponible totale» (EDT). L'EDT correspond donc à la différence entre la teneur en eau à la capacité au champ (CC) et la teneur en eau au point de flétrissement permanent (PFP). L'EDT varie d'une culture à l'autre en fonction de la profondeur d'enracinement. En théorie, de l'eau est disponible jusqu'au point de flétrissement, mais à mesure que la quantité d'eau dans le sol diminue, les plantes se trouvent en situation de stress hydrique. Les plantes absorbent moins d'eau jusqu'à atteindre le point de flétrissement.

La quantité d'EDT qu'une culture peut puiser dans la zone racinaire avant l'apparition d'une situation de stress hydrique est appelée «l'eau immédiatement disponible» (EID); elle est donnée par le facteur p ($EID = p * EDT$). Le facteur p varie en fonction des cultures. Par exemple, le facteur p du chou est supérieur à celui de l'oignon. Le chou peut donc mieux résister à un appauvrissement du sol en eau avant l'apparition d'une situation de stress hydrique.

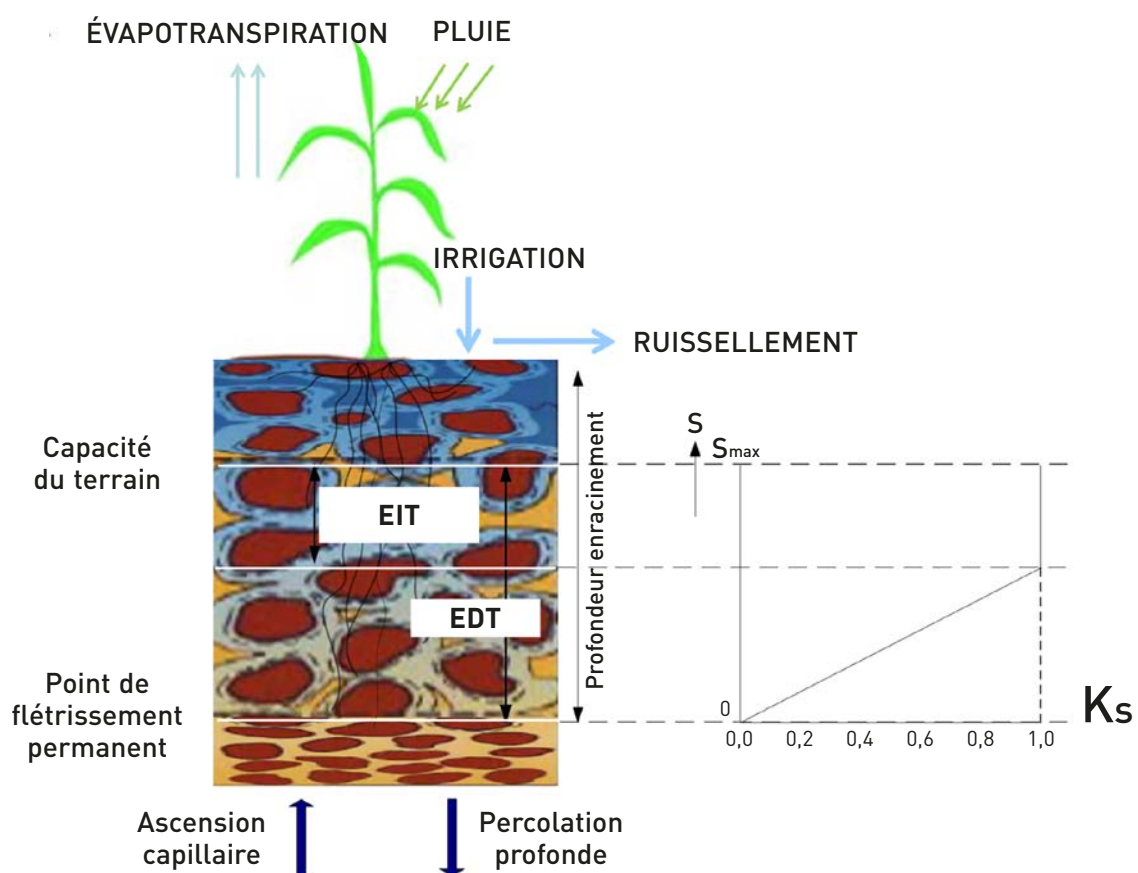


Figure 3 - Eau disponible totale dans le sol (EDT) entre la capacité au champ et le point de flétrissement et eau immédiatement disponible (EID). À droite, l'évolution de K_s lorsque la teneur en eau du sol est inférieure à l'EID.

Source : matériel de formation du Water Footprint Network.

En condition de stress hydrique, l'évaporation des cultures est moins importante. Par conséquent, on ne peut pas utiliser ET_p , qui renseigne l'évapotranspiration des cultures dans des conditions normalisées. On utilise, en revanche, $ET_{p, adj.}$, qui représente l'évapotranspiration des cultures dans des conditions atypiques (stress hydrique). Pour calculer l'évaporation d'une culture ($ET_{p, adj.}$) en condition de stress hydrique, le coefficient de culture K_c dans l'équation 1 est multiplié par un coefficient de stress K_s . Le coefficient de stress K_s varie d'une culture à l'autre. Par définition, K_s est égal à 0 au point de flétrissement et à 1 à la capacité au champ (illustration 3).

Grâce à l'équation 1, en connaissant l' ET_0 et les coefficients de culture pour les différents stades de croissance, il est possible de calculer les besoins en eau des cultures à différents instants en fonction de la résolution temporelle des données disponibles (figure 4).

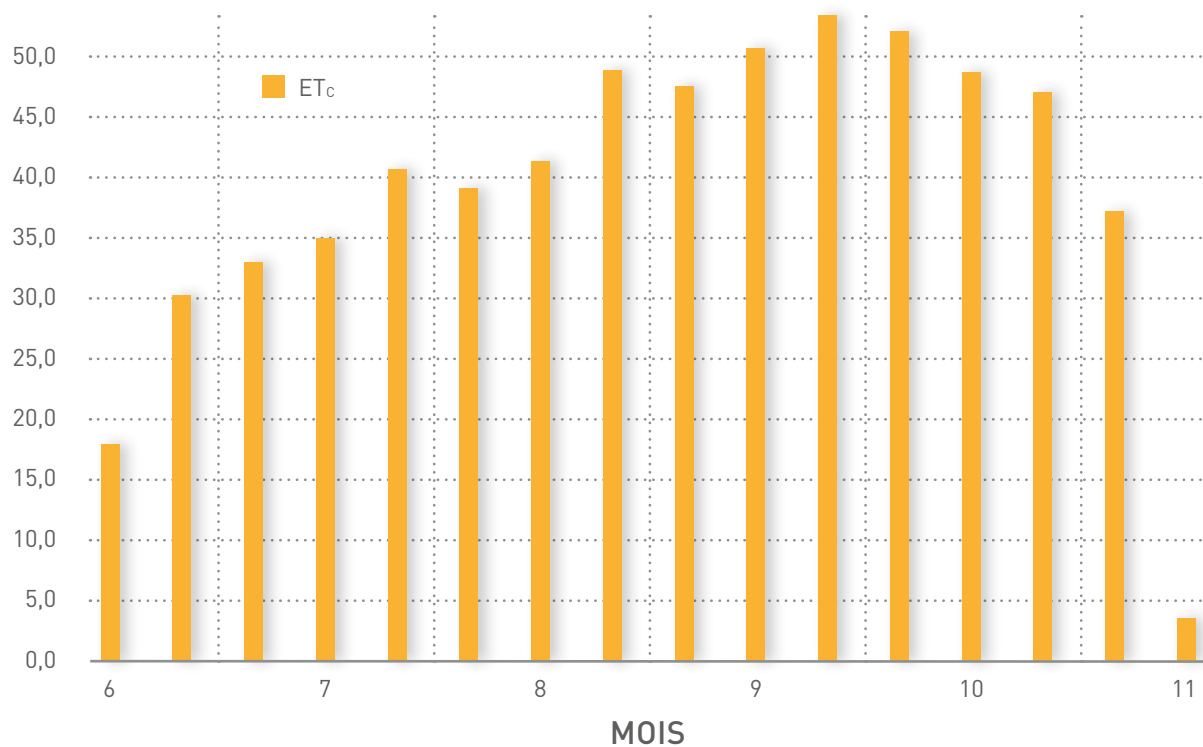


Figure 4 - Besoins d'eau pour une culture en mm pendant 10 jours tout au long de la saison de croissance (modélisation à l'aide de CROPWAT)⁷⁰

70 FAO, modèle CROPWAT, 2010, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.

3.3. SOL ET EAU

La quantité d'eau à la disposition des racines est déterminée par le taux d'humidité du sol et par les propriétés de rétention de l'eau du sol autour des racines. Bien entendu, si le sol ne contient pas assez d'eau, la plante transpire moins, ce qui provoque une perte de turgescence des cellules. La perte de stabilité de la plante provoque son flétrissement, entrave sa croissance et entraîne, à terme, la mort de la plante. Pour déterminer la quantité d'eau à la disposition des cultures, nous devons mieux comprendre les processus relatifs à l'eau et au sol ainsi que les besoins d'eau des plantes.

Ce qu'il faut savoir sur les sols est expliqué dans le Manuel de formation du COLEACP⁷¹ intitulé *Produire de façon durable et responsable*. Cette partie-ci portera sur les sols et sur les processus à l'œuvre dans les sols, principalement du point de vue de l'eau nécessaire au développement des plantes.

3.3.1. Les propriétés des sols

Le sol est un ensemble de minéraux et de matière organique vivante et morte. Le sol est composé d'un élément solide constitué de minéraux et de matière organique, complété par un élément poreux qui renferme des gaz et de l'eau. Cinq facteurs principaux influencent la formation des sols :

- la roche-mère,
- le climat,
- les organismes vivants, en particulier la végétation indigène,
- la topographie,
- le temps.

Les sols évoluent sous l'effet des processus physiques, chimiques et biologiques tels que l'altération, l'oxydation, la réduction, la formation d'argile, l'érosion et la décomposition des matières organiques par les bactéries, des champignons et des organismes invertébrés (par exemple, les insectes et les lombrics) et vertébrés (par exemple, les souris et les taupes communes). Les sols fournissent aux plantes un support physique, de l'air, de l'eau, des nutriments, une protection contre les toxines (les organismes du sol décomposent les toxines organiques) et un système de ventilation. Par ailleurs, ils modèrent la température et éliminent les organismes producteurs de toxines. Les sols naturels transforment la matière organique morte en divers nutriments, que les plantes et les animaux peuvent absorber⁷².

Les sols peuvent être classés en fonction de leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, qui influencent la capacité de rétention de l'eau des sols.

71 COLEACP, Manuel de Formation. *Produire de façon durable et responsable*, 2017.

72 Jenny, H., *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*, New York, Dover, 1994, www.soilandhealth.org/01aglibrary/010159.Jenny.pdf, extrait de www.soilandhealth.org/01aglibrary/01aglibwelcome.html.

Les propriétés physiques d'un sol sont déterminées par sa texture et sa structure. La texture et la structure des sols sont directement liées à leur porosité ainsi qu'à leur aptitude à retenir l'eau. La texture d'un sol est déterminée par la proportion de sable, de limon et d'argile qu'il contient. Ces trois types de particules se distinguent essentiellement les unes des autres par la taille (tableau 1). Pour déterminer la texture d'un sol, une personne entraînée peut réaliser une analyse sensorielle ou l'on peut calculer le pourcentage des tailles des trois types de particules.

Tableau 1 : Particules du sol et leurs tailles⁷³ (FAO, 1998)

Particule du sol	Taille (mm)
Gravier – sable graveleux	2-1
Sable graveleux – fin	1-0,05
Limon	0,05-0,002
Argile	<0,002

La structure du sol fait référence à la façon dont les particules du sol (argile, limon, sable) et les matières organiques se regroupent en composés et agrégats⁷⁴. Les matières organiques (MO) jouent un rôle central dans ce processus, en créant des complexes argile-MO. Grâce aux processus biologiques, les matières organiques se lient à des minéraux, en particulier aux particules d'argile⁷⁵. Ces agrégats structurels, contrairement aux particules isolées, ne sont pas permanents. La structure du sol évolue en permanence, sous l'effet des processus naturels, chimiques et physiques. Parmi ces processus figurent les pratiques culturales.

Les agrégats peuvent se présenter sous différentes formes : massive, prismatique, en blocs et granulaire. Les pratiques agricoles privilégient généralement les couches supérieures du sol à la structure granuleuse, car elles favorisent l'écoulement de l'eau et assurent, par conséquent, une meilleure germination des graines et une croissance optimale des plantes. La structure du sol a une incidence sur l'aération, la circulation de l'eau, la conduction de la chaleur, la croissance des racines végétales et la résistance à l'érosion⁷⁶.

Les sols sont des milieux vivants et complexes, qui possèdent des **propriétés chimiques** importantes pour les agriculteurs, en particulier celles qui ont trait à l'eau. La connaissance et la gestion de ces propriétés chimiques sont essentielles pour offrir les meilleures conditions de croissance aux cultures. Les principales propriétés chimiques des sols relatives à l'eau sont indiquées au tableau 2.

73 FAO, « Méthodes simples pour l'aquaculture », Collection FAO Formation, Rome, FAO, 1998, ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/FRA_MENU.htm.

74 FAO, « Portail d'information sur les sols, propriétés physiques », 2015, www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-properties/physical-properties/fr.

75 COLEACP, Manuel de Formation. *Produire de façon durable et responsable*.

76 FAO, « Portail d'information sur les sols, propriétés physiques », *op. cit.*

Tableau 2 : Quelques propriétés chimiques des sols relatives à l'eau⁷⁷

Propriété	Utilisation
Capacité d'échange de cations (CEC)	Utilisée comme mesure de la fertilité et de la capacité de rétention des nutriments. Influencée positivement par la teneur en carbone du sol.
pH	Influence la disponibilité des ions dans les sols. Les sols très acides (pH <5,5) ont tendance à être toxiques, tandis que les sols très alcalins tendent à se disperser et à gonfler fortement lorsqu'ils sont mouillés, ce qui limite la circulation de l'air et de l'eau dans le sol. La plupart des plantes poussent bien lorsque le sol a un pH de 6,5.
Substances nutritives des végétaux	Les nutriments sont essentiels à la croissance des plantes et des organismes vivants présents dans le sol. On distingue deux catégories distinctes : les macronutriments et les micronutriments. Parmi les macronutriments les plus importants figurent le carbone (C, puisé dans l'air, pas dans le sol), l'oxygène (O), l'hydrogène (H), l'azote (N), le phosphore (P), le potassium (K), le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S). Outre les macronutriments, les plantes ont également besoin de micronutriments (décrits en détail au chapitre 4).
Carbone organique	Le carbone organique présent dans le sol améliore les propriétés physiques du sol. Il renforce la capacité d'échange de cations, l'aptitude des sols à retenir des nutriments, et leur capacité de rétention de l'eau. Il contribue à la stabilité structurelle des sols argileux en liant les particules en agrégats.
Salinité du sol	Les sels peuvent être transportés à la surface du sol par capillarité depuis une nappe phréatique chargée en sel et s'accumuler ensuite du fait de l'évaporation. La salinité peut résulter de pratiques d'irrigation sans drainage approprié (décrites en détail au chapitre 4).
Sodicité des sols	Fait référence à une présence excessive de sodium échangeable dans le sol. Ces sols, que l'on rencontre généralement dans les régions semi-arides, ont souvent des propriétés chimiques et physiques médiocres, qui empêchent l'infiltration de l'eau, la disponibilité de l'eau et, par conséquent, la croissance des plantes.

Les microbes présents dans le sol recyclent les nutriments tels que le carbone et l'azote grâce aux **propriétés biologiques** du sol. Une grande partie de la matière organique qui s'ajoute chaque année à la litière (l'accumulation de résidus à la surface du sol) ou à la zone racinaire est presque entièrement consommée par les microbes, ce qui crée un réservoir de carbone à renouvellement rapide d'environ 1 à 3 ans dans de nombreux cas. Les sous-produits de cette consommation microbienne sont le CO₂, H₂O et une variété de composés regroupés sous l'appellation « humus ».

⁷⁷ Ibid.

L'humus est un réservoir de carbone dans le sol, dont la durée de vie oscille entre plusieurs centaines et plusieurs milliers d'années. Qu'elle soit rapide ou plus lente, la décomposition induite par les processus microbiens et les conditions climatiques produit du carbone, dont le temps moyen de résidence oscille entre 20 et 30 ans dans la plupart des sols. Les microbes présents dans le sol respirent plus rapidement si les concentrations de carbone sont plus importantes, les températures plus élevées, et les conditions plus humides. Ensemble, la décomposition rapide de la litière et la décomposition plus lente de l'humus forment les matières organiques du sol (MOS). Les matières organiques du sol sont très bénéfiques pour la rétention de l'eau dans les sols. Les MOS absorbent l'eau directement, mais elles contribuent aussi indirectement à la formation des agrégats du sol, améliorant la structure du sol et, par conséquent, sa capacité de rétention de l'eau.

Outre leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques, les sols possèdent un **profil vertical**. Dans le profil vertical d'un sol bien développé, on distingue plusieurs couches appelées « horizons » (figure 5). Les horizons sont nommés à l'aide des lettres O, A, E, B, C et R, de haut en bas. Voir tableau 3 pour les caractéristiques de chaque horizon.

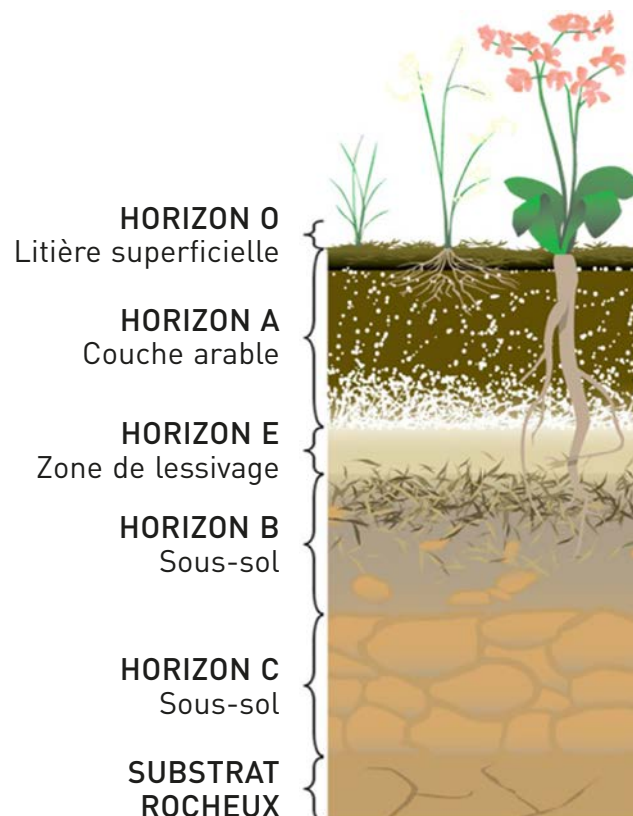


Figure 5 - Profil général d'un sol bien développé - division du sol selon les principaux horizons O, A, E, B, C et R
Source : img.sparknotes.com/figures/A/a4d938a405b10475f48eea440b31bab3/Soil_Horizons.jpg

Tableau 3 : Horizons du sol et leurs caractéristiques

Horizon	Caractéristiques
O	Couche de matière organique contenant des substances végétales fraîches et en décomposition
A	Couche principalement minérale, plus sombre que les horizons inférieurs en raison du mélange et du lessivage des matières organiques contenues dans l'horizon O. Lorsqu'un sol est labouré, les horizons O et A se mélangent et sont désignés par A _l («l» pour «labouré»).
E	Couche d'aspect généralement délavé ou blanchâtre en raison du lessivage des minéraux et des nutriments solubles du fait de la circulation de l'eau
B	Sous-sol, couche légèrement colorée, plus dense, où les éléments lessivés s'accumulent, moins riche en matières organiques que l'horizon A
C	Horizon constitué de roche-mère mélangée partiellement érodée
R	Roche de fond (peut se situer à quelques centimètres ou à quelques mètres sous la surface du sol)

3.3.2. L'eau dans le sol

Les pores d'un sol, ou la porosité du sol, déterminent la capacité de rétention de l'eau d'un sol. La porosité est calculée en pourcentage du volume du sol. La porosité caractérise, par ailleurs, la perméabilité du sol, à savoir la circulation de l'eau dans et à travers le sol. Le compactage, les précipitations atmosphériques, l'irrigation, un sol plus humide, des matières organiques ou des amendements moins nombreux et l'augmentation de la densité tendent généralement à amoindrir la perméabilité des sols. La perméabilité est parfois appelée la «conductivité hydraulique en milieu saturé», pour laquelle l'abréviation K_{sat} est employée. La perméabilité des sols sablonneux est plus élevée que celle des sols argileux (tableau 3.4). La porosité d'un sol est déterminée par la combinaison et l'interaction des caractéristiques physiques, chimiques et biologiques d'un sol (voir tableaux 2 et 4).

Tableau 4 : Perméabilité moyenne (K_{sat}) en cm/heure pour différentes textures de sol⁷⁸

Texture du sol	Perméabilité moyenne (K_{sat} , en cm/h)
Sable	5
Limon sableux	2,5
Sol limoneux	1,3
Limon argileux	0,8
Argile limoneuse	0,25
Argile	0,05

78 FAO, «Méthodes simples pour l'aquaculture», *op. cit.*

La **teneur en eau d'un sol** est la quantité d'eau retenue par le sol. La teneur en eau d'un sol peut être exprimée de multiples façons. Elle peut être exprimée en quantité d'eau (profondeur d'eau en mm) par mètre de sol. Elle peut aussi être exprimée en volume pour 1 m³ de sol, par exemple 0,150 m³, ou en pourcentage, en l'occurrence 15 %. Le sol est saturé lorsque, après des précipitations ou une irrigation, tous les pores du sol sont remplis d'eau. Les pores des sols saturés contiennent uniquement de l'eau. Les sols saturés ne contiennent pas d'air. Pour se développer, les plantes et leurs racines ont besoin à la fois d'air et d'eau. De nombreuses plantes ne peuvent résister que 2 à 5 jours sur un sol gorgé d'eau au niveau de leurs racines. Généralement, les situations d'engorgement des sols ne durent pas longtemps. Lorsque la pluie ou l'irrigation cesse, l'eau s'écoule des pores de plus grande taille sous l'effet de la gravité; elle est alors remplacée par de l'air. Lorsque le ruissellement induit par la gravité cesse, le sol a atteint sa capacité au champ. La **capacité au champ** (CC) est la situation où la teneur en air et en eau est réputée idéale pour la croissance des plantes. À la capacité au champ, les pores de plus grande taille retiennent de l'air et de l'eau, tandis que les pores de plus petite taille retiennent de l'eau. L'eau est également retenue dans une fine couche qui entoure les agrégats du sol par adhérence.

La CC peut être déterminée de multiples façons. Par exemple, l'USDA (1998), propose une méthode simple basée sur « l'aspect et le toucher » du sol dans la zone racinaire. Une méthode simple permettant de déterminer la capacité au champ est présentée à l'adresse suivante : www.youtube.com/watch?v=Xfx3bhDd7YY. La quantité d'eau dans le sol à la disposition des plantes est appelée « l'eau disponible totale » (EDT). Elle représente la différence entre la teneur en eau à la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement permanent (PFP)⁷⁹.

La teneur en eau disponible dépend fortement du type de sol (tableau 5). L'irrigation des cultures a donc pour objectif de maintenir l'eau disponible totale (EDT) entre la capacité au champ (CC) et le point de flétrissement (PF).

Tableau 5 : Teneurs en eau disponible (en mm, profondeur d'eau) des sols sablonneux, limoneux et argileux⁸⁰

Sol	Profondeur d'eau (mm/m)
Sable	25 - 100
Limon	100 - 175
Argile	175 - 250

3.3.3. La teneur en eau du sol

En pratique, la modification de la teneur en eau du sol (TES) est souvent calculée à l'aide du concept d'« assèchement de la zone racinaire », qui fait référence à la pénurie d'eau par rapport à la capacité au champ. En langage mathématique,

⁷⁹ *Ibid.*

⁸⁰ *Ibid.*

l'assèchement de la zone racinaire est représenté par A_r . À la capacité au champ, l'assèchement de la zone racinaire est égal à zéro ($A_r = 0$). Si la quantité d'eau présente dans la zone racinaire diminue, A_r augmente. La raison pour laquelle le concept d'assèchement de la zone racinaire est utilisé pour calculer la TES est d'ordre pratique: Les irrigateurs peuvent utiliser directement A_r pour déterminer la durée de l'irrigation et la quantité d'eau nécessaire. D'un point de vue mathématique, en supposant que l'humidité du sol est à la capacité au champ (CC), la TES au premier jour peut être calculée comme suit:

$$TES_{(1)} = CC - A_{r(1)}$$

Équation 2

où:

$TES_{(1)}$ = teneur en eau du sol à la fin du jour 1

CC = capacité au champ

$A_{r(1)}$ = assèchement de la zone racinaire à la fin du jour 1

La modification de la teneur en eau après la première et la deuxième journée peut être calculée comme suit:

$$A_{r(1)} = CC - TES_{(1)}$$

Équation 3

$$TES_{(2)} = CC - A_{r(2)} - A_{r(1)}$$

Équation 4

$$TES_{(2)} - CC = -A_{r(2)} - A_{r(1)}$$

Équation 5

Dans l'équation 6, $CC - TES$ (équation 5) peut être remplacé par la différence entre les apports d'eau dans le sol (CC) et les pertes (TES) d'eau du sol. Les apports sont: les précipitations (P), l'irrigation (I) et les remontées capillaires d'eaux souterraines (RC). Les pertes sont: l'évapotranspiration (ET), la percolation profonde (PP) et l'eau qui ruisselle (RO) (voir figure 6)

Enfin, en résolvant l'équation 5 qui permet de calculer l'assèchement de la zone racinaire au jour 2 ($A_{r(2)}$), on obtient:

$$A_{r(2)} = A_{r(1)} - P_1 - I_1 - RC_1 + ET_1 + PP_1 + RO_1$$

Équation 6

Par convention, $A_{r(1)}$ correspond aux conditions initiales de l'équilibre hydrique, représentées par le jour « zéro » ($A_{r,0}$), et $A_{r(2)}$ correspond à l'assèchement de la zone racinaire au jour 1 ($A_{r,1}$) (équation 7).

$$A_{r,1} = A_{r,0} - P_1 - I_1 - RC_1 + ET_1 + PP_1 + RO_1$$

Équation 7

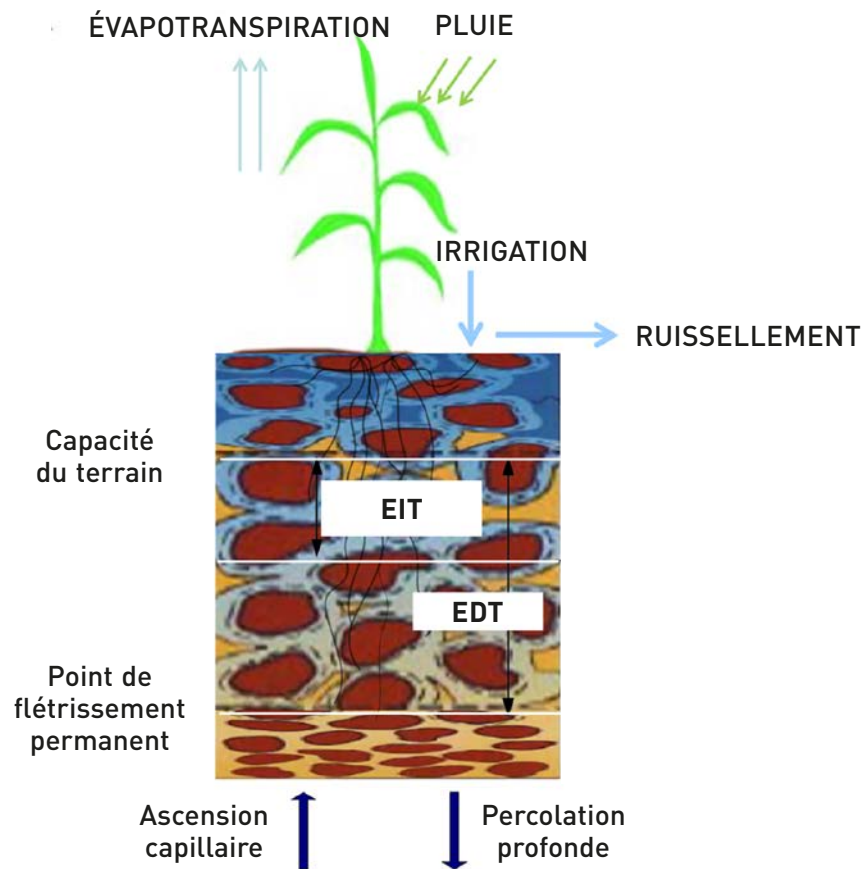


Figure 6 - Paramètres de l'équilibre hydrique du sol : apports : précipitations (P), remontées capillaires (RC), irrigation (I) et pertes : évapotranspiration (ET), ruissellement (RO), percolation profonde (PP). La teneur en eau du sol à la capacité au champ (CC) et au point de flétrissement permanent (PFP) est également représentée, ainsi que l'eau disponible totale (EDT) et l'eau immédiatement disponible (EID) (voir ci-dessous).

Source : matériel de formation du Water Footprint Network.

Si nous généralisons l'équation 7 pour calculer l'évolution de l'assèchement de la zone racinaire tout au long de la saison de croissance, nous remplaçons 0 par $i-1$ et 1 par i . L'assèchement de la zone racinaire au jour i est donc exprimé comme suit:⁸¹

$$A_{r,i} = A_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i - RC_i + ET_{c,i} + PP_i \quad \text{Équation 8}$$

où :

$A_{r,i}$ = assèchement de la zone racinaire à la fin du jour i [mm],

$A_{r,i-1}$ = teneur en eau dans la zone racinaire à la fin du jour précédent, $i-1$ [mm],

P_i = précipitations au jour i [mm],

RO_i = ruissellement de la surface du sol au jour i [mm],

I_i = profondeur nette d'irrigation au jour i , qui s'infiltré dans le sol [mm],

RC_i = remontées capillaires d'eaux souterraines au jour i [mm],

$ET_{p,i}$ = évapotranspiration le jour i [mm],

PP_i = perte d'eau de la zone racinaire par percolation profonde au jour i [mm].

La méthode permettant de déterminer l'équilibre hydrique des sols est propre à chaque type de sol. Une fois que l'équilibre hydrique du sol est connu, le risque de mouiller excessivement le sol, avec les conséquences que cela comporte (percolation profonde, ruissellement), diminue. Cela permet d'assurer une irrigation plus efficace et plus efficiente, d'éviter le stress des cultures, et de consommer moins d'eau. Le processus qui consiste à administrer la bonne quantité d'eau au bon moment, en fonction des différents paramètres, est appelé le « calendrier d'irrigation ».

3.4. BESOINS EN EAU POUR LES CULTURES ET L'IRRIGATION

3.4.1. Le modèle CROPWAT

Pour savoir si une culture doit être irriguée, en quelle quantité et à quel moment, nous devons comprendre si les modifications de la teneur en eau du sol sont telles qu'elles freinent la croissance des cultures. En d'autres termes, il faut établir l'équilibre hydrique du sol. Il existe de multiples façons de calculer la TES. En l'occurrence, nous utilisons le modèle CROPWAT de la FAO⁸². Le modèle Cropwat (dans son module de planification) calcule quotidiennement l'équilibre hydrique des sols avant qu'ils soient irrigués. À cette fin, CROPWAT utilise une version légèrement modifiée de l'équation 9. ET_y est remplacé par $ET_{p, adj}$ (évapotranspiration des cultures en conditions atypiques). La raison de ce remplacement est que, lorsqu'une

81 *Ibid.*

82 FAO, modèle CROPWAT, *op. cit.*

plante est cultivée, l'évapotranspiration de la plante est souvent différente de l'évapotranspiration dans des conditions normalisées, du fait des conditions non optimales (à savoir stress hydrique, organismes nuisibles, salinité). Pour corriger cela, on utilise $ET_{p,adj}$. L'équation du modèle CROPWAT est la suivante :

$$A_{r,i} = A_{r,i-1} - (P_i - RO_i) - I_i - RC_i + ET_{p,adj,i} + PP_i \quad \text{Équation 9}$$

où :

$A_{r,i}$ = assèchement de la zone racinaire à la fin du jour i [mm],

$A_{r,i-1}$ = teneur en eau dans la zone racinaire à la fin du jour précédent, $i-1$ [mm],

P_i = précipitations au jour i [mm],

RO_i = ruissellement de la surface du sol au jour i [mm],

I_i = profondeur nette d'irrigation au jour i , qui s'infiltre dans le sol [mm],

RC_i = remontées capillaires d'eaux souterraines au jour i [mm],

$ET_{p,adj,i}$ évapotranspiration de la plante dans des conditions atypiques au jour i [mm],

PP_i = perte d'eau de la zone racinaire par percolation profonde au jour i [mm].

Pour calculer la profondeur nette d'irrigation à partir de l'équation 9, CROPWAT résout l'équation en estimant les autres variables de l'équation. Le tableau 6 explique la manière dont CROPWAT estime les variables.

Tableau 6 : Variables de l'équilibre hydrique du sol telles qu'estimées par le modèle CROPWAT⁸³, sur la base de l'équation 9

Variable	Méthode d'estimation
P	Précipitations totales, estimées à partir des paramètres climatiques.
ET_{adj}	Évapotranspiration des cultures, estimée à partir de paramètres climatiques et de paramètres associés aux cultures (voir chapitre 3.3). Les paramètres associés aux cultures sont le coefficient de culture K_c et le coefficient de stress hydrique K_s . $ET_{adj} = K_s * K_c * ET_0$ (ET_0 est l'ET potentielle).
RO	Ruissellement, estimé à partir du taux maximum d'infiltration du sol (TMI). Le TMI, exprimé en mm/jour, représente la profondeur d'eau qui peut infiltrer le sol sur une période de 24 heures. Le TMI est un paramètre qui varie en fonction du type de sol. On suppose que RO a lieu chaque fois que P est supérieur à TMI.
PP	Percolation profonde. À la suite de précipitations abondantes ou d'un apport d'irrigation, la teneur en eau du sol peut être temporairement supérieure à CC. On suppose que la quantité totale d'eau supérieure à CC est perdue le jour même par percolation profonde.

83 *Ibid.*

	Tant que la teneur en eau du sol dans la zone racinaire est inférieure à CC, l'eau ne s'écoule pas du sol et PP est égal à zéro.
A_r	<p>Assèchement de la zone racinaire, pénurie d'eau relative à la capacité au champ (CC). On suppose que la zone racinaire est à CC à la suite de fortes précipitations ou d'une irrigation. Par conséquent, $A_r = 0$. Du fait de l'évapotranspiration, la teneur en eau dans la zone racinaire s'amenuise progressivement. Par conséquent, A_r augmente. En l'absence d'apport en eau, la teneur en eau décroît constamment, jusqu'à atteindre sa valeur minimale au point de flétrissement. À ce moment-là, il ne reste pas d'eau pour l'évapotranspiration et A_r a atteint sa valeur maximale, qui est égale à l'eau disponible totale. $0 \leq A_r \leq EDT$.</p> <p>A_r est calculé avant tout apport d'irrigation, le cas échéant.</p> <p>Assèchement initial</p> <p>Afin de trouver l'équilibre hydrique de la zone racinaire, l'assèchement initial ($A_{r,i-1}$) devrait être estimé en recourant aux mesures de la teneur en eau du sol.</p> $A_{r,i-1} = 1000 * (\theta_{FC} - \theta_{i-1}) * Z_r$ <p>Où: θ_{FC} = teneur en eau du sol à la capacité au champ, θ_{i-1} = teneur en eau du sol moyenne dans la zone racinaire, au jour $i-1$ (conditions initiales), et Z_r = profondeur d'enracinement.</p> <p>Généralement, dans un souci de simplification, l'équilibre hydrique est calculé un jour où le sol a été irrigué ou juste à la fin de la saison des pluies. On suppose donc que $A_{r,i-1}$ est égal à zéro.</p>
RC	Remontées capillaires. La quantité d'eau qui remonte par capillarité de la nappe phréatique à la zone racinaire dépend du type de sol, de la profondeur de la nappe phréatique et de l'humidité de la zone racinaire. Il est généralement supposé que RC vaut zéro, lorsque la nappe phréatique est située à plus d'1 m sous la zone racinaire. Le Bulletin d'irrigation et de drainage n° 24 de la FAO contient de plus amples informations sur les remontées capillaires.
I	<p>C'est le paramètre que nous souhaitons calculer, la profondeur nette d'irrigation.</p> <p>Pour éviter le stress hydrique, les irrigations devraient avoir lieu avant ou au moment où l'eau immédiatement disponible (EID) est épuisée ($A_{r,i} \leq EID$). Pour éviter des pertes attribuables à une percolation profonde susceptible de lessiver des nutriments importants hors de la zone racinaire, la profondeur nette d'irrigation devrait être inférieure ou égale à l'assèchement de la zone racinaire (voir le chapitre 6 pour des informations détaillées sur le calendrier d'irrigation).</p> <p>L'EID est estimée comme suit: $EID = p \times EDT$</p> <p>Où l'EDT est l'eau disponible totale et p est le facteur critique d'assèchement. p varie d'une plante à une autre et oscille généralement entre 0,3 pour les plantes à racines peu profondes présentant des taux élevés d'évapotranspiration (> 8 mm/j) et 0,7 pour les plantes à racines profondes présentant de faibles taux d'évapotranspiration (< 3 mm/j). La valeur attribuée à p pour de nombreuses plantes est généralement de 0,5.</p> <p>L'EDT est fonction du type de sol, car elle dépend des valeurs de la capacité au champ et du point de flétrissement. Elle dépend également de la profondeur d'enracinement.</p>

CROPWAT résout quotidiennement l'équation 7, en supposant que $I = 0$, jusqu'à ce que A_r (assèchement de la zone racinaire) corresponde à la valeur de l'eau immédiatement disponible (EID , voir figure 5). Le paramètre I est alors calculé en mm/jour en fonction des besoins afin de faire passer la teneur en eau du sol de EID à CC (capacité au champ) et d'obtenir un A_r égal à zéro. De cette manière, l'équation permettant de calculer l'équilibre hydrique du sol couvre l'ensemble de la période de croissance de la plante et un calendrier des profondeurs nettes d'irrigation nécessaires à un certain intervalle de temps est établi.

La profondeur nette d'irrigation, I , représente l'eau à la disposition de la plante dans sa zone racinaire. I ne tient donc pas compte des déficiences en matière de transport, de distribution de l'eau d'irrigation et de pratiques de mise en œuvre. Si seule la profondeur nette d'irrigation était utilisée pour déterminer les besoins d'irrigation, la plante ne recevrait pas suffisamment d'eau. Il convient donc de calculer la profondeur brute d'irrigation, qui tient compte de ces déficiences. La profondeur brute d'irrigation est calculée en divisant la profondeur nette d'irrigation par l'efficacité de l'irrigation. Pour assurer la bonne gestion de l'irrigation par gravité, CROPWAT utilise une valeur par défaut (70 % de l'efficacité de l'irrigation). Cela signifie que la profondeur nette d'irrigation correspond à 70 % du volume de la profondeur brute d'irrigation ; 30 % de l'eau sont donc « perdus » à cause des déficiences.

Veillez noter que les profondeurs nette et brute d'irrigation sont généralement exprimées en mm. Le volume réel d'eau nécessaire à l'irrigation peut aussi être calculé en mètre cube (m^3). Pour ce faire, les besoins d'irrigation exprimés en mm sont transformés en m (diviser par 1 000). Le chiffre obtenu est ensuite multiplié par la superficie en m^2 du champ concerné.



Chapitre 4

Agriculture et qualité de l'eau

4.1. Introduction	56
4.2. L'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau	57
4.3. L'importance de la qualité de l'eau pour l'agriculture	67
4.4. Éviter la pollution de l'eau	72

4.1. INTRODUCTION

L'agriculture et la qualité de l'eau sont étroitement liées, l'agriculture étant à la fois source de pollution de l'eau et victime de celle-ci. Elle est source de pollution à cause du déversement de polluants et de sédiment dans les eaux de surface ou les eaux souterraines, de la perte nette de sol (érosion) due aux mauvaises pratiques agricoles, et de la salinisation et de l'engorgement des terres irriguées. Elle souffre de la pollution à cause des eaux usées, des eaux de surface et des eaux souterraines polluées, ou de l'eau saline, qui contamine les cultures et transmet des maladies aux consommateurs et aux travailleurs agricoles⁸⁴. Ce chapitre examine les deux scénarios.

Il existe **deux types de source de pollution agricole : les sources ponctuelles et les sources non ponctuelles**. Dans le secteur horticole, les sources de pollution ponctuelles les plus courantes sont les effluents de l'eau utilisée pour traiter et laver les produits. Ceux-ci sont examinés plus en détail au chapitre 7. Ce chapitre examine les sources de pollution non ponctuelles de l'horticulture.

4.1.1. Les normes et réglementations applicables à la qualité de l'eau

Le chapitre 2 a présenté la définition de la qualité de l'eau, la notion de qualité par rapport à l'utilisation de l'eau, et les critères de qualité les plus intéressants. Les normes de qualité de l'eau servent de référence pour décrire les niveaux de pollution des eaux de surface ou des eaux souterraines. On recommande de respecter les normes locales de qualité de l'eau (du pays où l'activité agricole est exercée) dans la mesure du possible. En l'absence de normes nationales de qualité de l'eau, celles de l'Agence de protection de l'environnement américaine⁸⁵ ou les réglementations de l'Union européenne⁸⁶ servent de lignes directrices dans le monde entier.

Il existe divers types de normes de qualité de l'eau :

- les normes de qualité de l'eau potable (concentration maximale admissible d'une substance dans l'eau potable),
- les normes de qualité de l'eau d'irrigation (concentration maximale admissible d'une substance dans l'eau d'irrigation),
- les normes d'émission (concentration maximale admissible d'une substance dans les effluents),
- les normes de qualité ambiante de l'eau (concentration maximale admissible d'une substance dans les cours d'eau, les lacs ou les eaux souterraines).

Dans l'horticulture, toutes ces normes de qualité de l'eau ont leur importance. Le tableau 1 relie ces normes à certaines activités horticoles. Le producteur doit connaître les normes et les réglementations qui s'appliquent à ses activités et à son lieu d'implantation.

84 FAO, «Control of water pollution from agriculture», FAO irrigation and drainage paper 55, Rome, FAO, 1996, www.fao.org/docrep/w2598e/w2598e00.htm#Contents.

85 EPA, «Water Quality Standards Handbook», 2015, water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/handbook.

86 CE, directive 2000/60/CE, Protection et gestion de l'eau – directive-cadre sur l'eau, eur- eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=URISERV%3A128002b.

Les normes de qualité de l'eau	Usage horticole
Eau potable	Nécessaire pour le lavage après la récolte. Exemple : les <i>E. Coli</i> ou bactéries coliformes thermotolérantes ne doivent être décelables dans aucun échantillon de 100 ml (GLOBALG.A.P., 2015).
Irrigation	Qualité de l'eau minimale requise pour l'irrigation Exemple : pH entre 6,5 et 8. L'OMS ⁸⁷ et la FAO ⁸⁸ proposent une liste de paramètres de qualité de l'eau d'irrigation et des lignes directrices sur les concentrations maximales admissibles.
Émissions (effluents)	Sources de pollution ponctuelles, par exemple, effluents des activités post-récolte ou utilisation domestique de l'eau. Exemple : concentration DBO ₅ maximale de 25 mg/l dans les eaux urbaines résiduaires après traitement (CE – directive relative au traitement des eaux urbaines résiduaires) ⁸⁹ .
Qualité ambiante	Crucial pour comprendre la situation des sources d'eau d'intérêt sur le plan de la pollution, lorsqu'on relie ces normes aux niveaux réels de polluants. Exemple : les eaux de surface et les eaux souterraines ne peuvent dépasser une concentration de 50 mg/l de NO ₃ ⁹⁰ .

4.2. L'IMPACT DE L'AGRICULTURE SUR LA QUALITÉ DE L'EAU

Dans le monde entier, l'agriculture constitue une cause majeure de dégradation de la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines. Selon la FAO⁹¹, les principaux problèmes de qualité de l'eau directement liés à l'agriculture dans le monde sont la salinisation, les charges en nutriments dans les sources d'eau dues au lessivage des engrais, et la pollution par les pesticides. Les sédiments dus à l'érosion des sols sont aussi une conséquence directe des mauvaises pratiques agricoles. La libération d'agents pathogènes constitue un problème de pollution indirecte.

87 OMS, *Utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*, vol. 2. *Utilisation des eaux usées en agriculture*, Rome, OMS, 2006, whqlibdoc.who.int/publications/2006/9241546832_eng.pdf?ua=1References chapter 4.docx.

88 FAO, «Control of water pollution from agriculture», *op. cit.*

89 CE, directive 91/271/CEE relative au traitement des eaux urbaines résiduaires, eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX:31991L0271.

90 CE, directive 2000/60/CE, Protection et gestion de l'eau – directive-cadre sur l'eau, *op. cit.*

91 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, rapport thématique 08, Rome, FAO, 2011.

4.2.1. La salinisation

L'eau saline est de l'eau qui contient des concentrations élevées de sels dissous. Il s'agit non seulement de sel commun tel que nous le connaissons (le chlorure de sodium NaCl, Na⁺ et Cl⁻ dans sa forme dissoute), mais aussi d'autres cations et anions tels que le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺), le sulfate (SO₄²⁻) ou le bicarbonate (HCO₃).

La concentration en sels peut être mesurée en parties par million (ppm) ou en parties par mille (‰). L'eau est légèrement saline entre 1 000 et 3 000 ppm de sels, modérément saline entre 3 000 et 10 000 ppm et très saline entre 10 000 et 35 000 ppm (l'eau de mer contient environ 35 000 ppm de sels). L'eau douce peut naturellement devenir saline en entrant en contact avec des sols ou des matières géologiques qui contiennent des niveaux élevés de sels. Elle peut aussi devenir saline lorsque l'évaporation concentre les sels naturels, ou dans les régions côtières, en cas d'intrusion d'eau saline dans les sources d'eau douce.

Lorsque l'eau contient une proportion relativement élevée de sodium (Na⁺) par rapport aux concentrations des autres cations (Ca²⁺, Mg²⁺), on parle d'eau sodique. Cette distinction est faite parce que le sodium a des incidences plus importantes sur les sols et sur les cultures que les autres cations.

4.2.1.1. Les causes de la salinité

La salinité est un problème qui concerne à la fois le sol et l'eau, car l'un influence l'autre. La salinisation est le processus d'accumulation de sels dans le sol après évaporation d'eau d'irrigation contenant des sels. Certains sols sont naturellement salins ou sodiques, mais l'activité humaine, comme l'épandage de certains engrais (par exemple, KCl), ou de certains amendements pour sol (gypse ou chaux) et de fumier et d'eaux usées peut contribuer aux problèmes de salinité des sols. Comme les sels sont solubles dans l'eau, si de l'eau douce est appliquée sur ces sols, les sels se dissolvent et peuvent être emportés avec le drainage. Toutefois, si les eaux de drainage sont utilisées en aval pour l'irrigation, les sels seront transportés et déposés sur le nouveau site.

4.2.1.2. Les effets de la salinité

L'eau est considérée comme « saline » ou « sodique » lorsqu'elle devient un risque pour la croissance et le rendement des cultures. À mesure que la salinité du sol augmente, le rendement des cultures diminue. Les fortes concentrations en sels peuvent entraver l'absorption de l'eau par les plantes et entraîner une diminution du rendement des cultures. Les sels s'accumulent dans la zone racinaire, à tel point que la plante n'est plus capable d'extraire assez d'eau de la solution du sol salé, ce qui entraîne un stress hydrique. Si l'absorption d'eau est réduite de manière significative, la plante ralentit son taux de croissance et présente des symptômes semblables à ceux de la sécheresse. À ses premiers stades de développement, la salinisation des sols réduit la productivité des sols, mais elle peut en fin de compte tuer toute végétation et transformer une terre productive en terre aride⁹² (figure 1).

92 *Ibid.*



Figure 1 - Champ affecté par le sel à Grand Valley, Colorado
Crédit photo : Donald Suarez – Source : Salinity Forum, 2014

Pour chaque espèce végétale, il existe un seuil de salinité en dessous duquel le rendement ne diminue pas, puis une diminution du rendement à mesure que la salinité augmente (figure 2).

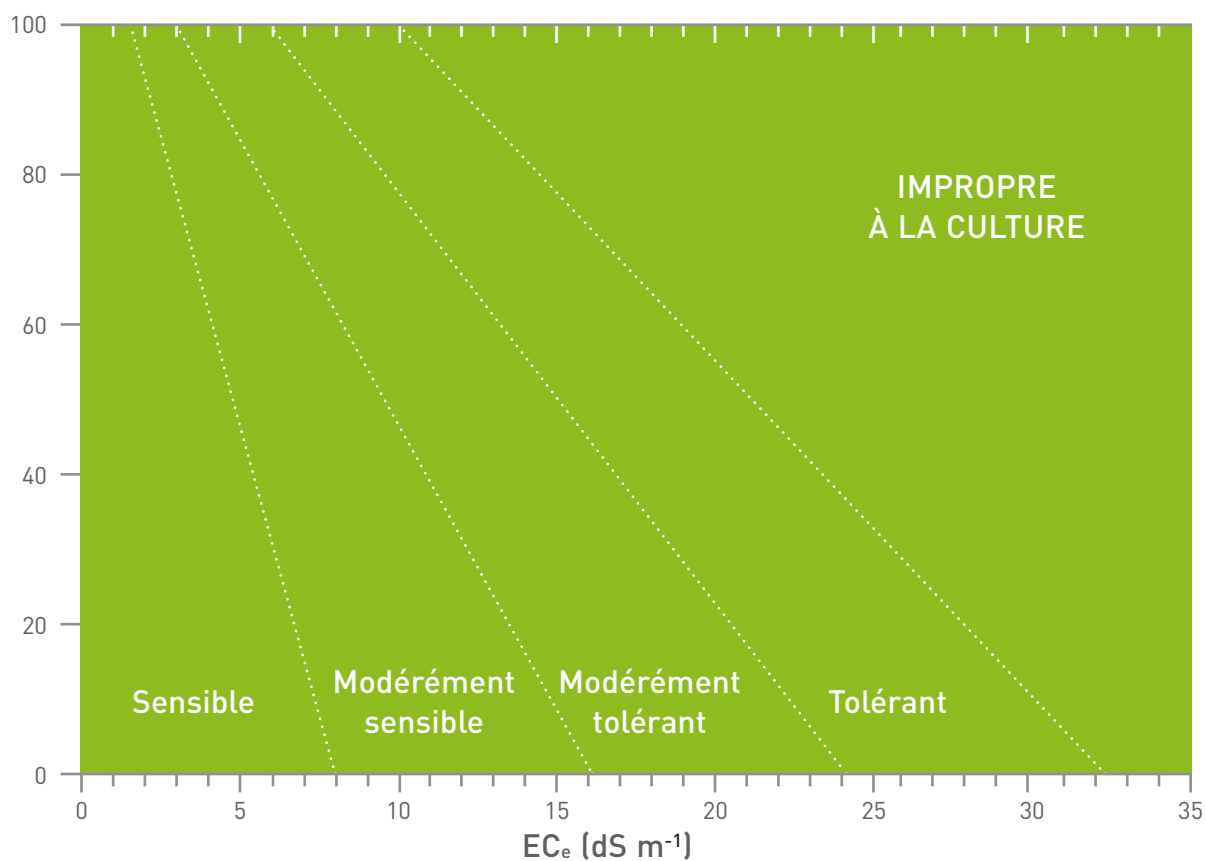


Figure 2 - Classification de la tolérance des cultures à la salinité selon le laboratoire de salinité de l'USDA (2015)

Dans le cas de l'eau sodique, selon le type de sol (par exemple, sols argileux), le sodium peut altérer les propriétés physiques du sol et entraîner un mauvais drainage et la formation de croûtes. De plus, des concentrations élevées de sodium et de chlorure dans l'eau peuvent nuire aux végétaux en raison de la toxicité directe. Le sodium peut aussi nuire à la croissance des cultures en causant des déficiences en calcium, en potassium et en magnésium⁹³.

4.2.1.3. Les outils et les méthodes de mesure

Comme on l'explique au début de ce chapitre, les solides dissous totaux sont un bon indicateur des niveaux élevés de sels dans l'eau. Cette mesure peut être réalisée sans grande dépense au moyen d'un hydromètre (qui mesure la gravité spécifique de l'eau par rapport à l'eau pure et fournit une mesure indirecte des sels), ou d'un réfractomètre (qui mesure la quantité de lumière qui se réfracte lorsqu'elle entre dans l'échantillon d'eau. Plus la concentration en sels est élevée, plus la lumière rencontrera de résistance et plus elle se courbera. Les réfractomètres sont plus précis que les hydromètres).

La salinité des sols et de l'eau peut aussi être mesurée à l'aide d'un mètre de conductivité électrique (CE). Ces appareils envoient un courant électrique à travers la matière et mesurent la résistance de celle-ci au passage de ce courant. Plus il y a de sels dans l'eau ou le sol, plus la conductivité, exprimée en déci-Siemens par mètre (dS/m), est grande.

La sodicité de l'eau est exprimée comme le coefficient d'absorption du sodium (CAS), qui représente un rapport mathématique entre les concentrations en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} . L'eau sodique est définie comme de l'eau ayant un CAS supérieur à 12. Si l'eau a une CE supérieure à 4 ds/m (ou 2 ds/m pour l'horticulture) et un CAS supérieur à 12, elle est considérée comme saline-sodique (université du Montana, 2015). La CE et le CAS sont donc tous deux des paramètres importants de la qualité de l'eau d'irrigation.

En l'absence de mesures, un agriculteur peut constater un problème de salinité/sodicité du sol, car cela est souvent clairement visible. Souvent, l'excès de sels solubles se cristallise et forme des croûtes de sel blanches éparses. De plus, les sols salins ont tendance à inhiber la germination et l'émergence des plantes, de sorte que la croissance dans les champs cultivés sera mauvaise et éparse. En cas de stress sévère dû au sel, les plantes herbacées ont un aspect bleuâtre-vert, l'extrémité des feuilles brûle, et les feuilles plus anciennes meurent et tombent. Le champ semble pousser par plaques.

Enfin, afin de gérer et d'empêcher les niveaux élevés de sels dans le sol, l'agriculteur doit connaître les niveaux de concentration de sels dans son eau d'irrigation. Si les sels sont élevés, l'agriculteur doit ajouter un supplément d'eau pour éliminer l'excès de sels. Ce supplément d'eau représente les besoins de lessivage pour les sels.

93 Université du Montana, «Saline and/or sodic water and soils», 2015, waterquality.montana.edu/docs/methane/saline-sodic_faq.shtml.

4.2.2. Les nutriments

Les nutriments sont essentiels aux plantes et sont naturellement présents dans les sols. Ils sont dissous dans l'eau et absorbés par les racines de la plante. Ils se subdivisent en macronutriments, nutriments secondaires, et micronutriments. L'azote, le phosphore et le potassium sont des macronutriments. Le magnésium, le soufre et le calcium correspondent aux nutriments secondaires. Le bore, le chlore, le manganèse, le fer, le nickel, le cuivre, le zinc et le molybdène sont des micronutriments.

4.2.2.1. Les causes de la pollution par les nutriments

Les sols manquent souvent de macronutriments, car ceux-ci sont utilisés en grandes quantités par les plantes; celles-ci ont besoin de quantités moindres de nutriments secondaires et de micronutriments. Les agriculteurs utilisent des fumiers et des engrais synthétiques pour s'assurer que les besoins des plantes en nutriments sont couverts, en particulier dans le cas des macronutriments, et que les rendements optimaux sont obtenus.

L'application abusive d'engrais peut entraîner des problèmes de qualité de l'eau tant localement qu'en aval. La pollution se produit lorsque le fumier et l'engrais sont appliqués à un moment où les nutriments peuvent être facilement nettoyés par le ruissellement de surface des eaux de pluie, l'excédent d'irrigation, ou la fonte des neiges. Elle se produit aussi lorsque les quantités appliquées ne peuvent pas être entièrement absorbées par la plante⁹⁴ et que le ruissellement et le lessivage nettoient la surface et atteignent les sources d'eau souterraine. Le moment de l'application ainsi que la quantité d'engrais appliquée sont donc cruciaux.

4.2.2.2. Incidences de l'excès de nutriments dans l'environnement

En fabriquant des engrais de manière synthétique, les humains ont altéré les cycles de l'azote et du phosphore sur Terre. La surabondance d'azote et de phosphore biodisponibles crée d'énormes problèmes de qualité de l'eau. Un de ces problèmes est l'eutrophisation, qui est l'enrichissement des eaux de surface par les engrais pour végétaux (figure 3). La présence de niveaux élevés de nutriments dans l'eau provoque une prolifération des plantes aquatiques, du phytoplancton, des algues et des macrophytes. Cela entraîne une augmentation de la biomasse et des changements importants des écosystèmes et des impacts connexes. Plus important encore, l'augmentation de la biomasse et la prolifération des algues peuvent induire une désoxygénation de l'eau; dans les cas sévères, cela peut entraîner la mort du poisson et des autres formes de vie aquatique. L'eutrophisation peut aussi provoquer une modification des caractéristiques de l'habitat, avec des changements dans la composition des espèces végétales aquatiques, et le remplacement d'espèces de poisson désirables par des espèces moins désirables (et la perte économique qui l'accompagne). La production de toxines par certaines algues fait monter les frais d'exploitation de l'approvisionnement public en eau (pour résoudre les problèmes de goût et d'odeur). L'eutrophisation peut aussi conduire à l'encombrement et à l'obstruction des canaux d'irrigation par des plantes aquatiques, à la perte de l'usage récréatif de l'eau, aux entraves à la navigation, etc⁹⁵.

94 EPA, 2015b. US Environmental Protection Agency. Nutrient Management. <http://www.epa.gov/oecaagct/ag101/croplnutrientmgt.html>.

95 FAO, «Control of water pollution from agriculture», *op. cit.*



Figure 3 - La pollution par les nutriments est souvent à l'origine d'une explosion de la croissance des algues qui prive les eaux d'oxygène lorsque celles-ci meurent. Des composés toxiques à l'odeur nauséabonde peuvent être produits. Source : site Weeks Bay NERRS

La pollution par les nutriments (principalement les nitrates) atteint aussi les eaux souterraines. Dans plusieurs régions du monde, les eaux souterraines sont polluées à un point tel que les normes applicables à la présence de nitrates dans l'eau potable ne sont pas respectées. C'est en fait le contaminant chimique le plus courant des aquifères souterrains du monde.

Les zones marines côtières peu profondes subissent aussi les effets de l'excès de nutriments qui sont finalement transportés par les cours d'eau vers la mer. Les problèmes d'hypoxie (faibles niveaux d'oxygène dans l'eau) et d'anoxie (manque d'oxygène dans l'eau) signalés dans ces zones sont liés à l'excès de nutriments⁹⁶.

4.2.3. Les pesticides

Les ravageurs (qui comptent les insectes, les acariens, les champignons, les bactéries, les virus, les nématodes, etc.) sont des organismes vivants qui apparaissent là où ils sont indésirables et nuisent aux cultures, aux êtres humains et aux autres animaux. Les substances ou mélanges de substances destinés à prévenir, détruire, éloigner les ravageurs ou à en atténuer les ravages sont appelés pesticides. Ceux-ci comprennent les insecticides, les herbicides, les fongicides, les nématicides, les rodenticides, et diverses autres substances utilisées pour lutter contre les

96 *Ibid.*

ravageurs⁹⁷. Les pesticides de synthèse ont été introduits dans les années 40 et ont été considérés comme des «substances miracles» en raison des résultats enregistrés dans l'amélioration du rendement des cultures. Selon l'EPA⁹⁸, à côté de la sélection des végétaux et de l'utilisation d'engrais, les pesticides ont joué un rôle majeur dans la révolution verte des années 50 et ont contribué massivement à accroître la quantité de denrées alimentaires produites.

4.2.3.1. Les causes de la pollution par les pesticides

Environ deux mille principes actifs (les substances chimiques présentes dans les produits pesticides qui tuent, limitent ou éloignent les ravageurs) ont été développés. Ceux-ci sont disponibles sur le marché sous la forme de produits commerciaux qui combinent les principes actifs à des composés inertes et des solvants.

Une partie de ces principes actifs atteignent une destination autre que leur cible (les ravageurs) et entrent dans l'air, dans l'eau, dans le sol, dans les sédiments, et même dans nos aliments, en particulier lorsqu'ils sont utilisés de façon abusive. On les trouve dans la pluie, les eaux souterraines, les cours d'eau, les lacs et les océans. Il existe quatre trajectoires principales que les pesticides peuvent suivre avant d'atteindre l'eau⁹⁹:

- ils peuvent dériver en dehors de la zone où ils ont été pulvérisés,
- ils peuvent s'infiltrer dans le sol (percoler et atteindre les eaux souterraines),
- ils peuvent être emportés par l'eau de ruissellement,
- ils peuvent se répandre accidentellement.

La circulation des pesticides est complexe et ne s'effectue pas seulement dans la zone d'application, mais peut aussi impliquer un transport sur de longues distances rendu possible par leur solubilité (de nombreux principes actifs sont solubles dans l'eau), par leur volatilité (contamination potentielle de l'eau de pluie), par leur absorption dans les particules des sols, ou encore par leurs propriétés persistantes.

Grâce à des programmes plus approfondis de contrôle de l'eau mis en œuvre depuis les années 90, en particulier dans les pays développés, un nombre croissant de pesticides sont détectés dans les masses d'eau¹⁰⁰. Des études du gouvernement britannique montrent par exemple que les concentrations en pesticides dépassent les concentrations autorisées pour l'eau potable dans certains échantillons d'eau de rivière et d'eau souterraine¹⁰¹.

Les taux d'augmentation de l'utilisation des pesticides sont désormais plus importants dans les économies en développement. Les ventes mondiales de pesticides par région (graphique 4) montrent que c'est le cas pour l'Asie, pour l'Amérique latine et, dans une moindre mesure, pour l'Europe (Europe orientale). On peut donc s'attendre à un surcroît de pression sur les ressources en eau, provoqué par ces polluants.

97 EPA, «About Pesticides», 2015, www.epa.gov/pesticides/about.

98 *Ibid.*

99 PAN, «Environmental Effects of Pesticides», 2015, www.pan-uk.org/environment/environmental-effects-of-pesticides.

100 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, *op. cit.*

101 PAN, «Environmental Effects of Pesticides», *op. cit.*

VENTES MONDIALES DE PESTICIDES PAR RÉGION

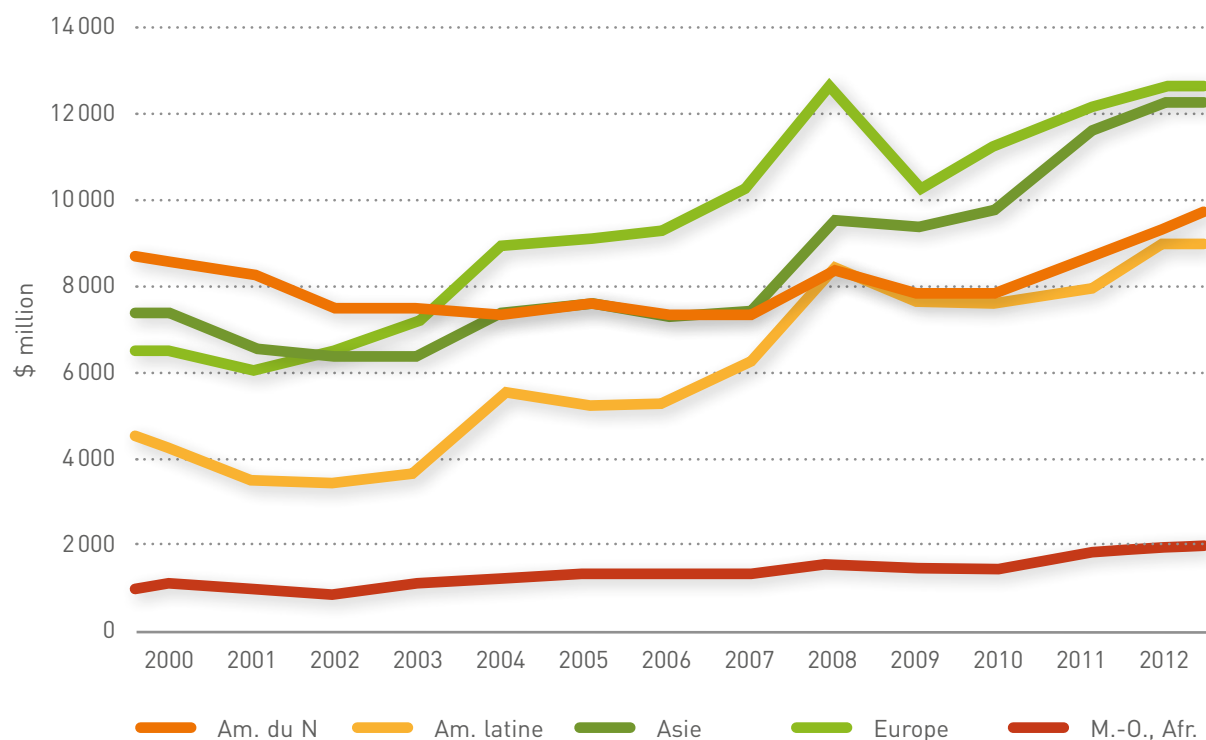


Figure 4 - Ventes mondiales de pesticides par région
Source: The Washington Post, 2013

4.2.3.2. Les effets des pesticides

Les pesticides chimiques sont des produits de synthèse qui n'existent pas à l'état naturel. Les biopesticides sont des agents de gestion des ravageurs basés sur des microorganismes vivants ou sur des produits naturels. Depuis les années 80 et 90, les biopesticides sont disponibles dans le commerce et font partie intégrante des stratégies de gestion intégrée des ravageurs¹⁰².

Le problème des pesticides chimiques ou de synthèse est que s'ils entrent dans l'environnement comme polluants, ils peuvent nuire à des organismes non ciblés, et s'ils entrent dans la chaîne alimentaire à des niveaux élevés, ils pourraient avoir des effets négatifs sur les consommateurs. La pollution par les pesticides est dans une large mesure le résultat d'une mauvaise utilisation de ceux-ci. Les recommandations pour l'utilisation de chaque produit commercial sont censées garantir que ces effets négatifs potentiels sont évités ou réduits au minimum. De plus, les premiers composés, qui étaient plus toxiques, ont désormais été remplacés par des principes actifs qui présentent moins de risques.

102 Chandler, D., Bailey, A., Tatchell, G., Davidson, G., Greaves, J. et Grant, W., «The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management», *Philosophical Transactions B*, vol. 366, iss. 1573, Londres, The Royal Society, 2011, rstb.royalsocietypublishing.org/content/366/1573/1987.

4.2.3.3. Les normes et les réglementations applicables à la qualité de l'eau du point de vue des pesticides

La directive européenne relative à l'eau potable prévoit les concentrations maximales admissibles très strictes de 0,1 µg/l pour n'importe quel pesticide pris individuellement, et de 0,5 µg/l au maximum pour la somme de tous les pesticides présents dans l'eau potable.

Les lignes directrices de l'OMS¹⁰³ et les niveaux maximaux de contaminants de l'EPA américaine sont dérivés d'évaluations individuelles basées sur la toxicité de chaque substance. Le projet américain *Pesticide National Synthesis Project*¹⁰⁴ propose une liste de types et de sources de critères de référence de la qualité de l'eau pour les pesticides, dont l'EPA se sert pour établir des normes de qualité pour l'eau potable, les eaux de surface ambiantes, le sédiment benthique, et les tissus des poissons et des fruits de mer. Il fournit aussi une catégorisation des pesticides en fonction de leur dangerosité pour la santé humaine, ainsi que les lignes directrices homologues canadiennes.

Plusieurs initiatives internationales ont été mises en place pour répondre aux problèmes des pesticides. Avec le développement du commerce mondial des produits agricoles, ces accords multilatéraux fournissent des lignes directrices concernant l'utilisation des pesticides et constituent une base pour la politique à mener à cet égard, puisque les pays sont juridiquement liés par ces accords. Parmi ceux-ci¹⁰⁵ :

- la Convention de Rotterdam, pour l'information et le consentement, qui place les substances chimiques sur une liste de surveillance mondiale à partir de laquelle les gouvernements doivent déclarer s'ils interdisent ou autorisent leur importation. Il s'agit de la procédure de «consentement préalable en connaissance de cause» (procédure PIC) ;
- la Convention de Stockholm, pour l'élimination des polluants organiques persistants (dont certains entrent dans la composition de pesticides), qui prévoit un calendrier pour la réduction et, finalement, l'élimination de ces produits polluants persistants ;
- la Convention de Bâle pour l'arrêt du commerce des déchets dangereux, qui prévoit un code de conduite international sur la distribution et l'utilisation des pesticides et qui contient des lignes directrices visant à protéger la santé et l'environnement, à suivre et à collecter des données, et à éliminer progressivement les pesticides les plus dangereux.

En outre, la FAO¹⁰⁶ a publié le code de conduite international sur la gestion des pesticides. Ce code de conduite sert de cadre pour toutes les entités publiques et privées actives dans la production, la réglementation et la gestion des pesticides ou associées à ces domaines.

103 OMS, «Guidelines for drinking water quality», 4^e éd., 2011, www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en/.

104 USGS, US Pesticide National Synthesis Project, 2014, water.usgs.gov/nawqa/pnsp/benchmarks/source.html.

105 PAN, «Environmental Effects of Pesticides», *op. cit.*

106 FAO, «Integrated Plant Nutrient Management», Rome, FAO, 2015, www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/scpi-home/managing-ecosystems/integrated-plant-nutrient-management/ipnm-what/en/#b.

4.2.4. L'érosion des sols et les sédiments

Si l'érosion des sols est un processus naturel, une grande partie de l'érosion plus sérieuse est la conséquence de l'activité humaine, en particulier de l'utilisation des sols et des pratiques sur les terres agricoles, les terres boisées, les rives des cours d'eau, les routes, et les sites de construction et d'extraction. L'érosion des sols se caractérise par la perte de particules du sol qui sont emportées par l'eau ou le vent. Ce chapitre s'intéressera plus particulièrement à l'érosion produite par l'eau.

Les particules transportées par l'eau sont appelées sédiment. Le sédiment dans l'eau est un mélange complexe de matière minérale et organique. Il est principalement composé de petites particules d'argile, de limon et de sable fin, mais il peut aussi comprendre du sable moyen et gros et du gravier de rivière. Le sédiment comprend aussi des matières organiques, érodées des sols ou se développant naturellement dans les cours d'eau et les lacs. Le transport des sédiments dans les cours d'eau est un phénomène naturel important pour le maintien de l'équilibre hydraulique dans les chenaux, pour le développement naturel des digues des rivières, pour la fertilisation des zones inondables des cours d'eau et pour l'apport de sédiments aux littoraux afin d'éviter leur érosion¹⁰⁷.

4.2.4.1. Les causes de l'érosion

Les causes de l'érosion dans l'agriculture sont la déforestation, le pâturage excessif des animaux d'élevage, le défrichage des terres à des fins agricoles, et les mauvaises pratiques agricoles (figure 5). Voir le manuel COLEACP *Produire de façon durable et responsable*, section 2.3, pour une vue détaillée des causes de l'érosion.



Figure 5 - Érosion des sols due au labour. Source : FAO.org

107 FAO, *Guidelines to control water pollution from agriculture in China – Decoupling water pollution from agricultural production*, FAO Water reports 40, Rome, FAO, 2013.

4.2.4.2. Les impacts de l'érosion

Une grande partie de l'excès de sédiments apporté aux cours d'eau, aux lacs, aux estuaires et finalement aux océans provient de l'agriculture. La pollution par les sédiments comprend deux dimensions majeures : l'une physique et l'autre chimique. La dimension physique concerne la perte de terre arable ; à la source, elle entraîne une dégradation des terres et une perte de potentiel de production. En aval, cela se traduit par des niveaux excessifs de turbidité dans les eaux réceptrices, et ailleurs par des impacts physiques et écologiques à cause du dépôt de cet excès de sédiments dans les lits des cours d'eau et des lacs. La dimension chimique concerne les fractions de limon et d'argile présentes dans les sédiments, qui sont les premiers vecteurs des substances chimiques absorbées, en particulier le phosphore, les pesticides, et les métaux lourds, et qui sont transportées par les sédiments dans le système aquatique (*ibid.*).

4.2.5. Les agents pathogènes

L'élevage et le fumier organique qui en résulte sont une source significative d'agents pathogènes et de risques sanitaires associés pour les sources d'eau. C'est également le cas des eaux d'égout des implantations humaines. L'utilisation d'eaux usées pour l'irrigation implique elle aussi des sources potentielles d'agents pathogènes. Voir le chapitre 4.3.2 du manuel COLEACP *Produire de façon durable et responsable* pour un aperçu des principaux risques de pollution liés aux agents pathogènes.

4.3. L'IMPORTANCE DE LA QUALITÉ DE L'EAU POUR L'AGRICULTURE

Si les agriculteurs ont besoin d'eau pour l'irrigation, ils doivent trouver une source valable à partir des ressources qui sont physiquement et économiquement disponibles. Avec l'augmentation générale de la concurrence pour l'eau et la dégradation de la qualité de l'eau, l'utilisation d'eau de qualité médiocre pour l'irrigation est devenue une pratique courante pour des millions d'agriculteurs dans le monde. L'eau de qualité médiocre se définit comme suit : « eau qui possède des caractéristiques qui ont le potentiel de causer des problèmes lorsqu'elle est utilisée aux fins pour lesquelles elle est prévue ». Par exemple, l'eau saumâtre ou les eaux usées municipales sont de qualité médiocre lorsqu'elles sont utilisées pour l'agriculture, à cause de la forte teneur en sels dissous et des risques sanitaires qui y sont associés. La qualité médiocre de l'eau peut aussi avoir des effets négatifs sur le rendement des cultures, comme le montrent les exemples de réduction du rendement aux différents niveaux de salinité (figure 2).

De manière générale, l'eau d'irrigation peut être de qualité médiocre de trois façons différentes :

- chimique : risques de salinité/toxicité pour les sols, les plantes et même pour le système d'irrigation à cause de la corrosion des conduites ou d'une obstruction chimique,
- physique : problèmes de blocages dus aux particules solides en suspension et à d'autres impuretés,
- biologique : agents pathogènes nocifs pour la santé humaine et animale ainsi que pour les sols, les plantes et le système d'irrigation¹⁰⁸.

Les paramètres suivants devraient être analysés lorsque l'utilisation d'eau de qualité médiocre est envisagée pour l'irrigation¹⁰⁹. Les niveaux de chaque paramètre devraient être comparés aux normes de qualité de l'eau d'irrigation locales ou, à défaut, les normes proposées par l'OMS¹¹⁰, la FAO¹¹¹ ou Abbot et Hasnip¹¹² peuvent être employées.

- Salinité totale (dS/m)
- Teneur en sodium (meq/l)
- Teneur en calcium (meq/l)
- Teneur en magnésium (meq/l)
- Teneur en chlore (meq/l)
- Teneur en bore (meq/l)
- pH
- Concentrations en éléments traces (mg/l) (par exemple, métaux lourds et fluorure)
- Niveaux de nutriments (mg/l)
- Coliformes fécaux (nombre par 100 ml)
- Nématodes intestinaux (œufs par litre)
- Polluants organiques (µg/l)

Selon la FAO¹¹³, les types d'eau de qualité médiocre les plus courants sont :

- les eaux usées des activités domestiques et autres activités urbaines,
- les eaux de drainage agricoles et les eaux souterraines salines ou sodiques.

108 FAO, *Handbook on Pressurized Irrigation Techniques*, Rome, FAO, 2007, www.fao.org/docrep/010/a1336e/a1336e00.htm.

109 Abbott, C.L. et Hasnip, N.J., *The safe use of marginal quality water in agriculture. A guide for the water resource planner*, HR Wallingford. Report OD 140, 1997, eprints.hrwallingford.co.uk/101/1/od140.pdf.

110 OMS, *Utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*, op. cit.

111 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, op. cit.

112 Abbott, C.L. et Hasnip, N.J., *The safe use of marginal quality water in agriculture. A guide for the water resource planner*, op. cit.

113 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, op. cit.

4.3.1. L'utilisation des eaux usées urbaines dans l'agriculture

Les eaux usées urbaines sont généralement une combinaison d'effluents domestiques (eau des cuisines et des salles de bain), d'effluents des établissements commerciaux ou institutionnels, notamment les hôpitaux, d'effluents industriels, le cas échéant, et d'eaux pluviales et autres eaux de ruissellement urbaines.

Dans l'agriculture, les eaux usées peuvent être utilisées traitées ou non traitées, de manière directe ou indirecte. Dans le cas de l'utilisation directe d'eaux usées non traitées, l'eau est directement déversée sur des terres destinées à la culture, tandis que dans celui de l'utilisation directe d'eaux usées traitées, l'eau est recyclée pour l'agriculture après traitement, généralement de manière planifiée. Dans le cas de l'utilisation indirecte d'eaux usées urbaines traitées ou non, l'eau d'un cours d'eau qui reçoit les eaux usées urbaines est extraite en aval par les agriculteurs à des fins d'irrigation.

Les eaux usées urbaines contiennent souvent toute une série de polluants: sels, métaux, agents pathogènes, résidus de médicaments, composés organiques, perturbateurs endocriniens et résidus actifs de produits de soins personnels. Bon nombre de ces substances persistent dans l'eau même après traitement. Elles peuvent nuire à la santé humaine: les agriculteurs peuvent subir leurs effets néfastes à la suite d'un contact direct avec les eaux usées, tandis que les consommateurs courent le risque de manger des légumes et des céréales irriguées avec des eaux usées¹¹⁴.

L'utilisation d'eaux usées pour l'agriculture peut aussi nuire à l'environnement, en particulier en ce qui concerne la pollution des sols et des eaux souterraines. En général, l'utilisation d'eaux usées domestiques représente un risque moins sérieux pour l'environnement que l'utilisation d'eaux usées industrielles. Le problème est que, dans de nombreux pays, les rejets industriels qui contiennent des substances chimiques toxiques sont mélangés aux eaux usées domestiques. Des efforts devraient être consentis afin de réduire le mélange et l'utilisation de ces eaux usées mixtes pour l'agriculture (*ibid*).

L'utilisation d'eaux usées traitées dans l'agriculture peut aussi avoir des effets positifs: il s'agit d'une nouvelle source d'engrais, car les eaux usées contiennent des macro- et des micronutriments, et elles sont disponibles toute l'année. L'utilisation agricole peut même constituer un traitement des eaux usées à bas coût grâce à la capacité des sols et des plantes à éliminer naturellement la contamination. La FAO¹¹⁵ reconnaît que moyennant une planification et une gestion rigoureuses, l'utilisation d'eaux usées traitées pour l'agriculture peut être bénéfique pour les agriculteurs, pour les villes et pour l'environnement.

L'utilisation d'eaux usées non traitées n'est pas recommandée. Pourtant, dans la réalité, l'irrigation superficielle à l'aide d'eaux usées non traitées est considérablement plus répandue que l'irrigation à l'aide d'eaux usées traitées, en particulier dans les pays en développement¹¹⁶.

114 *Ibid.*

115 *Ibid.*

116 *Ibid.*

Des lignes directrices existent pour aider les agriculteurs à utiliser les eaux usées pour l'agriculture. Elles contiennent des informations sur les paramètres à analyser pour éviter ou réduire au minimum les risques sanitaires et environnementaux, et pour garantir un rendement optimal des cultures. Par exemple, l'Organisation mondiale de la santé¹¹⁷ a publié des lignes directrices pour une utilisation sans risque des eaux usées dans l'agriculture. La FAO¹¹⁸ répertorie les paramètres importants de qualité de l'eau agricole, qui présentent un intérêt pour le rendement et la qualité des cultures, le maintien de la productivité des sols, et la protection de l'environnement. Parmi ceux-ci, la concentration totale en sels, la conductivité électrique (CE), le coefficient d'absorption de sodium (CAS), les ions toxiques, les éléments traces et les métaux lourds, et le pH.

En appliquant certaines stratégies de gestion, les agriculteurs peuvent maximiser les avantages de l'utilisation d'eaux usées traitées dans l'agriculture. Cela demande une bonne analyse des paramètres de qualité de l'eau pertinents pour l'agriculture. Parmi celles-ci¹¹⁹:

- Une sélection adéquate des cultures, des pratiques agricoles et des technologies: il convient de choisir la bonne technologie d'irrigation et les bonnes pratiques agricoles pour gérer les solides en suspension qui causeraient autrement une obstruction. Les cultures résistantes à la faible qualité de l'eau et à une salinité élevée devraient être sélectionnées. Par exemple, la tolérance aux sels de l'artichaut est élevée (6,1 dS/m), celle du concombre moyenne (2,5 dS/m), et celle de la fraise faible (1,0 dS/m)¹²⁰.
- Une gestion des nutriments pour répondre aux besoins des végétaux: les eaux usées peuvent être riches en nutriments, et les agriculteurs devraient mesurer ou au moins disposer d'un indicateur de la teneur moyenne en nutriments des eaux usées, afin d'ajuster l'application des nutriments et éviter les excès.
- Une approche du marché et des consommateurs: les acheteurs sont souvent réticents à acheter des produits irrigués à l'aide d'eaux usées. Il convient d'être transparent, mais aussi de renforcer la confiance des consommateurs, par exemple, grâce à des programmes de certification sur la production de cultures dans un environnement sûr et sur l'usage sans risque des eaux usées.

La politique gouvernementale en vigueur pour aider les agriculteurs à utiliser les eaux usées dans l'agriculture revêt aussi une importance fondamentale pour maximiser les bénéfices et réduire les risques au minimum. Une politique forte devrait être mise en place dans ce domaine. Mais dans de nombreux pays où les eaux usées sont utilisées dans l'agriculture, ces cadres stratégiques sont inexistantes ou très faibles. Il est essentiel de bien connaître le cadre institutionnel actuel et de clarifier le rôle des diverses institutions (ministères, agences) au niveau tant national que local. À défaut, l'OMS¹²¹ propose des lignes directrices complètes pour l'utilisation

117 OMS, *Utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*, op. cit.

118 FAO, «Control of water pollution from agriculture», op. cit.

119 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, op. cit.

120 FAO, «Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas», FAO irrigation and drainage paper 61, Rome, FAO, 2002, www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e00.htm#Contents.

121 OMS, *Utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*, op. cit.

rationnelle des eaux usées, des excréments, et des eaux ménagères (grises) dans l'agriculture. Comme indiqué ci-dessus, la FAO¹²² et Abbot et Hasnip¹²³ constituent d'autres bonnes références.

4.3.2. L'utilisation d'eau saline et sodique dans l'agriculture

Les problèmes de salinité et de sodicité ont été expliqués ci-dessus. La concentration totale en sels (pour tous les usages pratiques, les solides dissous totaux) est l'un des paramètres les plus importants de la qualité de l'eau agricole. La croissance des plantes, le rendement des cultures et la qualité des produits sont affectés par la quantité totale de sels dissous dans l'eau d'irrigation. De même, le taux d'accumulation des sels dans le sol, ou salinisation du sol, est aussi directement influencé par la salinité de l'eau d'irrigation. Dans le rapport de la FAO sur la gestion de l'eau de drainage agricole¹²⁴, le lecteur trouvera une longue annexe contenant des données de tolérance aux sels des cultures.

4.3.3. L'utilisation d'eau chargée d'arsenic dans l'agriculture

Il n'est pas rare de trouver de l'arsenic naturel dans les eaux souterraines à des concentrations supérieures à la norme de l'OMS pour l'eau potable, soit 10 µg/litre¹²⁵. Les êtres humains contribuent eux aussi à la charge en arsenic des sources d'eau par l'extraction minière et le traitement des déchets, les activités liées à l'alimentation de la volaille et des porcins, les pesticides et les stocks de trioxyde d'arsenic hautement soluble (utilisé dans de nombreuses applications commerciales comme précurseur pour les produits pour la sylviculture, dans la production de verre incolore et dans l'électronique). Les estimations de la toxicité de l'arsenic dans l'eau potable, qui provoque des lésions cutanées et divers types de cancers, indiquent que 130 millions de personnes environ sont touchées (*ibid.*). Il existe aussi des craintes que des niveaux potentiels d'arsenic n'entrent dans la chaîne alimentaire par absorption par les cultures à partir de l'eau d'irrigation.

Bien que la chimie de l'arsenic soit bien comprise, la gravité du problème n'a pas été quantifiée, par exemple la présence d'arsenic dans la chaîne alimentaire. Il est actuellement impossible de prédire l'absorption et la toxicité de l'arsenic dans les cultures. La FAO¹²⁶ a étudié certaines options de gestion pour la prévention et l'atténuation de la contamination des terres agricoles par l'arsenic. Dans le cas du riz, par exemple, certaines expériences ont montré que cultiver du riz en milieu aérobie, où l'arsenic est adsorbé par les éléments métalliques, empêchait ce polluant d'atteindre le riz paddy. L'arsenic fait partie de la liste des constituants inorganiques présents dans l'eau potable présentant des risques pour la santé.

122 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, *op. cit.*

123 Abbott, C.L. et Hasnip, N.J., *The safe use of marginal quality water in agriculture. A guide for the water resource planner*, *op. ci*

124 FAO, «Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas», *op. cit.*

125 FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*, *op. cit.*

126 *Ibid.*

4.4. ÉVITER LA POLLUTION DE L'EAU

De manière générale, la pollution de l'eau due à l'agriculture peut être évitée ou réduite de deux manières : 1) le traitement des eaux usées, et 2) la réduction des rejets de polluants dans l'environnement, afin de réduire ainsi les risques que ces polluants n'atteignent les sources d'eau.

1. Le traitement est une option pour les sources de pollution ponctuelles, parce que les effluents peuvent être aisément collectés et traités. Cependant, dans la réalité, le traitement des eaux usées agricoles est rare, sauf dans des cas exceptionnels, par exemple à l'aide de marais artificiels ou de zones tampons, ou dans les systèmes fermés de haute technologie comme les cultures hydroponiques (figure 6). Les sources de pollution diffuses ou non ponctuelles, typiquement produites par l'agriculture (et abordées dans le présent chapitre), sont plus difficiles à traiter, simplement parce qu'il est plus difficile de collecter les effluents.
2. Il existe toute une série de pratiques visant à réduire les rejets de polluants dans l'environnement.



Figure 6 - Ripisylve le long d'une rivière au Bénin
Source : en.wikipedia.org/wiki/Wildlife_of_Benin

La première étape pour éviter la pollution par des sources diffuses d'origine agricole est d'être conscient des impacts majeurs de l'agriculture sur l'environnement et sur la santé. Deuxièmement, il convient d'adopter une attitude responsable et de s'informer et d'étudier les meilleures options possibles. Souvent, une partie non négligeable de la pollution de l'eau peut être évitée par de simples changements au niveau de l'exploitation agricole et dans les pratiques agricoles. Quelques techniques très répandues sont présentées ci-dessous.

4.4.1. Le plan de gestion des nutriments

La gestion des nutriments est la gestion des apports en nutriments aux plantes (matières organiques, fumier et produits dérivés du bétail, et engrais commerciaux inorganiques) tant pour une croissance efficiente des cultures que pour la protection de la qualité de l'eau. Les plans de gestion des nutriments sont des stratégies agricoles qui visent à atteindre ces deux objectifs. Ils peuvent être décrits en quatre étapes fondamentales :

1. savoir ce dont vous disposez,
2. savoir ce dont vous avez besoin,
3. gérer de manière rationnelle, et
4. documenter votre gestion.

Le plan de gestion des nutriments doit être propre au site, adapté aux sols, aux paysages et aux objectifs de gestion de l'exploitation agricole¹²⁷. Il doit être établi sur la base des entrées et des sorties d'azote et de phosphore. L'étape 1 suppose que le sol soit analysé afin de déterminer sa teneur en nutriments et de formuler des recommandations quant aux meilleurs taux d'application pour le sol et la culture en question.

4.4.2. La gestion intégrée des nutriments pour végétaux (GINV)

Cette technique est le fruit de la prise de conscience que le meilleur moyen de répondre aux besoins de nutriments des plantes est un usage intégré des diverses sources de nutriments. Elle englobe donc les pratiques de gestion des sols, des nutriments, de l'eau, des cultures et de la végétation conçues spécialement pour un système particulier de culture et d'élevage appliqué dans le but d'améliorer et de maintenir la fertilité du sol et la productivité des terres et de réduire la dégradation de l'environnement. La GINV vise à optimiser l'état du sol, sur le plan de ses propriétés physiques, chimiques, biologiques et hydrologiques, dans le but d'améliorer la productivité de l'exploitation agricole, tout en réduisant au minimum la dégradation des terres¹²⁸. Pour ce faire, elle combine des pratiques complémentaires de gestion des cultures, du bétail et des terres, qui maximisent l'apport de matières organiques et qui recyclent les déchets agricoles, de manière à maintenir et à accroître les niveaux de matière organique¹²⁹.

4.4.3. La gestion intégrée des ravageurs (GIR)

La GIR est une approche écosystémique de la production et de la protection des cultures qui combine différentes stratégies et pratiques de gestion en vue d'obtenir des cultures saines et de réduire l'utilisation des pesticides au minimum. Par exemple, des méthodes physiques de GIR telles que les désherbeurs mécaniques, sont combinées à des méthodes chimiques qui ont recours aux herbicides. Le Manuel

127 Mississippi State University, « Nutrient Management », 2015, msucares.com/crops/soils/nutrient.html.

128 FAO, Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management. Rome, FAO, 2006, [ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0443e/a0443e.pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0443e/a0443e.pdf).

129 FAO, « Integrated Plant Nutrient Management », *op. cit.*

de formation COLEACP Gestion intégrée des bioagresseurs (COLEACP, 2017) détaille l'approche de la GIR dans le cadre d'une stratégie de gestion intégrée des cultures (GIC) qui cherche à s'orienter vers une agriculture durable.

Les principes essentiels de la GIR sont les suivants¹³⁰ :

- l'utilisation de pesticides chimiques de synthèse qui ont des niveaux de sélectivité élevés et qui sont classés par les régulateurs parmi les composés à faible risque ;
- des pratiques de culture telles que la rotation des cultures, la culture intercalaire et le sous-semis ;
- des méthodes physiques telles que les désherbeurs mécaniques ;
- des produits naturels tels que les substances sémiocchimiques ou les extraits végétaux biocides ;
- la lutte biologique à l'aide des ennemis naturels ;
- les outils d'aide à la gestion afin d'informer les agriculteurs lorsqu'il est économiquement intéressant pour eux d'utiliser des pesticides et d'autres moyens de lutte contre les ravageurs.

4.4.4. La lutte contre l'érosion

L'érosion peut aisément être réduite par les pratiques d'utilisation des terres au niveau de l'exploitation agricole. Voir le chapitre 2.4 du manuel COLEACP *Produire de façon durable et responsable* pour une vue d'ensemble des principales pratiques de protection des sols et de lutte contre l'érosion. Le chapitre 6 de ce manuel donne une liste des bonnes pratiques agricoles de conservation de l'eau, qui comprennent la réduction de l'érosion.

4.4.5. La récupération et le traitement des eaux de ruissellement agricoles

Les eaux de ruissellement et de drainage agricoles peuvent être récupérées de manière à ce qu'après l'arrosage des champs, l'eau de drainage passe par des structures construites par l'homme, par ex. des lits de graviers ou des marais artificiels, qui fonctionnent comme des purificateurs d'eau naturels. Si l'espace dans le champ le permet, il s'agit d'un moyen bon marché, simple et écologique de traiter l'eau et de piéger les polluants tels que les nutriments.

4.4.6. Le recyclage

Les applications potentielles pour les eaux « usées » à l'intérieur de la même exploitation agricole devraient être évaluées. Par exemple, si la qualité de l'eau est acceptable, l'eau utilisée pour le traitement et le nettoyage peut ensuite être utilisée pour l'irrigation.

130 Chandler, D., Bailey, A., Tatchell, G., Davidson, G., Greaves, J. et Grant, W., « The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management », *op. cit.*

Chapitre 5

Irrigation

5.1. Introduction	76
5.2. Les méthodes d'irrigation	77
5.3. Le choix de méthodes d'irrigation adaptées	87
5.4. La conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation	90
5.5. Les sources d'eau d'irrigation, le captage, le stockage et le recyclage de l'eau	101
5.6. Les performances des systèmes d'irrigation	107

5.1. INTRODUCTION

5.1.1. Contexte

Les connaissances que nous avons acquises en matière d'irrigation et de méthodes d'irrigation sont le résultat d'une évolution millénaire. Les hommes ont commencé à irriguer les terres vers l'an 6 000 av. J.-C., quand les Égyptiens et les Mésopotamiens ont mis en place un système d'irrigation leur permettant d'exploiter les crues des fleuves. Les crues du Nil étaient utilisées pour inonder les terres basses ceintes de digues, qui servaient alors de réservoirs. En 3 500 av. J.-C., les Égyptiens mesuraient déjà le niveau du fleuve à l'aide de « nilomètres »¹³¹. Des vestiges archéologiques attestent de l'existence de systèmes d'irrigation et de stockage de l'eau dans la vallée de l'Indus, dans le nord de l'Inde, en 2 600 av. J.-C., tandis qu'en Amérique latine, les systèmes d'irrigation en terrasse et des méthodes de collecte et de stockage de l'eau ont été développés vers 750 av. J.-C.¹³². En Europe, les Romains utilisaient déjà des tuyaux de béton pour transporter l'eau. Ils ont construit le premier aqueduc vers 300 av. J.-C.¹³³.

Les techniques et les méthodes d'irrigation utilisées aujourd'hui en agriculture sont l'héritage direct des siècles de développement technique de toutes ces civilisations. Aujourd'hui encore, on utilise des techniques similaires d'irrigation dans de nombreuses régions. Des systèmes très modernes d'une haute technicité sont cependant utilisés en complément de ces méthodes.

L'irrigation a pour but de compléter les besoins en eau des cultures lorsque les précipitations sont insuffisantes, afin garantir la croissance optimale des cultures. Comme nous l'avons vu précédemment, les facteurs qui influencent les besoins en eau des cultures sont le type de culture, le système cultural, le climat, le type de sol et la topographie. Les systèmes et les méthodes d'irrigation doivent être sélectionnés et mis en œuvre en tenant compte de ces facteurs. L'irrigation peut également être utilisée à des fins non agricoles, comme la sauvegarde des paysages, la reconstitution de la végétation ou la prévention du durcissement du sol.

Ce chapitre traite des différentes méthodes d'irrigation existantes. Le chapitre 5.3 présente les facteurs qui influencent la sélection de la méthode d'irrigation la plus appropriée. La conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation sont expliqués au chapitre 5.4. Enfin, le chapitre 5.5 présenter les méthodes de traitement et de recyclage de l'eau du point de vue de l'amélioration de l'efficacité de l'irrigation, laquelle est abordée au chapitre 5.6.

131 Whitcher, B., Byers, S., Guttorp, P. et Percival, D., « Testing for Homogeneity of Variance in Time Series: Long Memory, Wavelets and the Nile River », *Water Resources Research*, n° 38, 2002.

132 Bifani, P., *Medio ambiente y desarrollo sostenible*, 4^e éd., Madrid, Instituto de Estudios Políticos para América Latina y África (IEPALA), 1999.

133 Hansen, R., « Water and wastewater systems in imperial Rome », Waterhistory.org, 2015, www.waterhistory.org/histories/rome/rome.pdf.

5.1.2. Quelques considérations importantes

Si l'irrigation peut être fondamentale pour assurer le rendement optimal des cultures, la méthode utilisée et la bonne gestion générale des systèmes d'irrigation ont des conséquences importantes. L'irrigation est l'un des principaux consommateurs d'eau, en particulier pour les cultures intensives telles que l'horticulture. Ceci peut déboucher sur des problèmes et des conflits, si d'autres utilisateurs (notamment les ménages et les petits agriculteurs) ont également besoin des mêmes ressources d'eau insuffisamment disponibles. Les systèmes les plus élémentaires peuvent se révéler particulièrement problématiques : l'irrigation par submersion, par exemple, est sans doute plus praticable et d'un coût plus abordable dans les systèmes de production recourant à des technologies rudimentaires, mais elle est en général moins efficace en termes d'utilisation de l'eau.

Recourir à un meilleur type de système d'irrigation, assurer un bon entretien des infrastructures, et avoir des pratiques de gestion adaptées peut alléger la pression qui pèse sur les approvisionnements en eau et permettre aux entreprises et aux exploitations agricoles de réaliser des économies substantielles (en coûts de captage, frais de pompage, achats d'engrais).

5.2. LES MÉTHODES D'IRRIGATION

Il existe une grande variété de méthodes d'irrigation, qui peuvent être subdivisées en deux catégories principales :

- l'irrigation par gravité : bassin, sillon, bordure ;
- l'irrigation sous pression : aspersion et irrigation goutte-à-goutte.

5.2.1. Les méthodes d'irrigation par gravité

L'irrigation par gravité est la méthode utilisée depuis des siècles qui reste la plus largement utilisée. Au XX^e siècle, cette méthode a été fortement améliorée grâce à la technologie. L'irrigation par gravité utilise le sol comme conduite et la gravité comme conducteur. L'eau, qui est répandue sur le champ à l'aide de siphons ou de structures de distribution, s'écoule sur jusqu'à ce qu'elle recouvre l'entièreté de la surface à irriguer. L'eau s'écoule alors du champ ou stagne à la surface de celui-ci. La période de drainage est comprise entre la phase d'assèchement, soit l'intervalle de temps entre l'arrêt de l'irrigation et l'apparition du sol nu sous l'eau, et la phase de récession. La récession commence à ce moment-là et se poursuit jusqu'à ce que l'eau de surface soit drainée.

Cette méthode est généralement utilisée sur des pentes douces et régulières, et sur des sols dont le taux d'infiltration est moyen à faible et dont la texture est moyenne à fine. Elle a pour but de favoriser l'écoulement latéral de l'eau à la surface du champ. Dans ces conditions, l'irrigation par gravité est la méthode d'irrigation la plus simple et la moins coûteuse, puisqu'aucun investissement supplémentaire ni aucune machine ne sont requis pour niveler le champ. Les méthodes d'irrigation par gravité les plus courantes sont l'irrigation par bassins, bordures et sillons.

5.2.1.1. Méthode d'irrigation par submersion (ou irrigation par bassins)



Figure 1 - Terrasses incas au Pérou¹³⁴

Cette méthode est principalement utilisée sur des terres de forme carrée, bien qu'elle puisse aussi être appliquée à des champs rectangulaires ou de forme irrégulière. Le terrain doit être très légèrement nivelé dans toutes les directions (pas plus de 0,1 %), ce qui permet à l'eau de s'écouler tous azimuts tandis que des digues entourant le terrain empêchent le ruissellement, ce qui provoque un écoulement d'eau sans direction particulière sur le terrain. Comme on l'a écrit plus haut, cette méthode est particulièrement recommandée pour les terrains plats, parce que l'investissement en main-d'œuvre et en technologie est peu élevé. Sur les terrains en pente, des cuvettes peuvent être aménagées

L'irrigation par submersion n'est pas très efficace, si on la compare aux autres méthodes modernes d'irrigation. Environ la moitié de l'eau peut être perdue par évaporation, ruissellement ou percolation. Il existe toutefois des pratiques qui peuvent être utilisées pour améliorer l'efficacité de la méthode. Il est possible, par exemple, de niveler le terrain avec précision au moyen de la technologie laser, d'inonder la parcelle à intervalles réguliers, et de recycler l'eau de ruissellement.

¹³⁴ Wright, K.R., Zegarra, A.V. et Lorah, W.L., « Ancient Machu Picchu Drainage Engineering », *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, novembre/décembre 1999.

L'irrigation par submersion convient à de nombreuses cultures de plein champ. En horticulture, par exemple, l'irrigation par submersion est utilisée pendant le premier stade de croissance des agrumes. Elle est particulièrement adaptée aux cultures en rangs serrés et aux plantes à racines profondes comme le riz paddy, les pâturages, et les céréales. Il est préférable que les sols destinés à l'utilisation horticole soient limoneux¹³⁵. L'irrigation par submersion peut aussi servir de mesure de contrôle des pathogènes et des organismes nuisibles et des risques qui leur sont associés. Une longue période d'inondation peut les réduire.

5.2.1.2. Méthode d'irrigation par bordures



Figure 2. - Cultures arbustives irriguées par un système d'irrigation de surface par bordures

Cette méthode est une variante de l'irrigation par cuvettes. Elle est adaptée aux terrains en pente, généralement de forme allongée et rectangulaire (figure 2)¹³⁶. Le trait distinctif de cette méthode est le fait que l'intention n'est pas de contenir l'eau, mais de lui permettre de s'écouler le long du terrain. Cette méthode n'est praticable que sur des terrains qui présentent une pente uniforme et modérée (0,05 % à 2 %) dans une seule direction, pour éviter les problèmes d'érosion des sols. Elle convient également aux exploitations de grande taille où les travaux agricoles sont mécanisés.

135 FAO, *Gestion des eaux en irrigation. Méthodes d'irrigation*, manuel de formation n° 5, Rome, FAO, 1988, www.fao.org/docrep/s8684e/s8684e00.HTM.

136 UCCE, «Ground Water Protection Area. Irrigation Systems and their Performance», San Diego, UCCE, 2005, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UCCE%202005%20Irrigation%20Systems%20and%20their%20Performance.pdf.

L'eau est libérée à l'extrémité supérieure du champ et les bordures guident l'écoulement de l'eau, qui se répand uniformément sur toute la surface du champ en fine couche¹³⁷.

Les champs peuvent atteindre 800 m de longueur, tandis que leur largeur varie de 3 à 30 m. Cette technique n'est pas recommandée pour les sols argileux lourds, où l'infiltration des eaux est assez lente. Les sols limoneux ayant des taux d'infiltration moyens leur sont préférables. Le secret de cette méthode est le contrôle de la quantité d'eau libérée. Si le flux d'eau est interrompu trop tôt, celle-ci peut ne pas recouvrir l'entièreté de la surface. Si on laisse couler l'eau trop longtemps, elle va aller s'accumuler dans la partie la plus basse du champ et se perdre plus loin dans le système de drainage. En règle générale, en sols sablonneux, le flux d'eau n'est pas interrompu avant que l'eau n'atteigne l'autre bout du champ, tandis qu'en sols argileux, on coupe l'eau quand elle recouvre 60 % du sol. Cette technique convient à la culture du blé et des autres petites céréales.

5.2.1.3. Méthode d'irrigation par sillons

La principale caractéristique de cette méthode, ce sont les tranchées ou rigoles creusées entre les rangées de semis (figure 3). L'eau est libérée à l'extrémité supérieure du canal quaternaire par des siphons ou des tuyaux d'alimentation. Elle s'écoule alors par gravité dans les rigoles et s'infiltré verticalement et horizontalement dans le sol pour reconstituer ses réserves en eau.



Figure 3 - Irrigation par sillons
Source: www.morguefile.com

137 Tacker, P., «Border irrigation good alternative», Delta Farm Press, 2003, deltafarmpress.com/soybeans/border-irrigation-good-alternative.

Contrairement aux méthodes par bassins ou bordures, l'irrigation par sillons permet de contrôler individuellement chaque rigole d'irrigation, ce qui permet de gérer l'irrigation plus efficacement et d'améliorer son rendement. Le remplacement des siphons à écoulement continu par des tuyaux munis d'un clapet d'ouverture-fermeture (les «vannettes») est une autre technique qui permet de gagner en efficacité. Les principaux avantages de l'irrigation par sillons par rapport à l'irrigation par submersion sont les suivants :

- l'irrigation peut se faire en présence de couvert végétal ; et
- le plan d'eau est moins étendu et les pertes par évaporation sont donc plus faibles.

La pente ne doit pas dépasser 2 %. La méthode d'irrigation par sillons convient à la plupart des sols, à l'exception des sols sablonneux qui ont un taux d'infiltration élevé. Le débit doit être adapté aux conditions, mais il ne doit pas dépasser 3 litres par seconde. L'irrigation par sillons convient bien à presque tous les types de culture, en ce compris les cultures en ligne, par exemple, les cultures arbustives. Les cultures comme celles des tomates et des pommes de terre, qui ne donnent pas bien quand elles sont irriguées par bassins ou par bordures, peuvent être irriguées de manière efficace grâce à la technique des rigoles. Les feuilles de ces deux cultures tolèrent mal d'être recouvertes d'eau. L'irrigation par sillons suppose que le feuillage des cultures n'entre pas directement en contact avec les eaux d'irrigation, puisque les plantes sont placées sur les billons et que l'eau s'écoule dans les rigoles. Cette méthode requiert un investissement en temps plus important. L'irrigation par sillons est peu coûteuse et ne demande qu'un faible niveau de technicité, ce qui la rend particulièrement intéressante dans les zones où l'irrigation mécanisée est difficile à utiliser^{138 139}.

5.2.2. Les méthodes d'irrigation sous pression

Les systèmes d'irrigation sous pression conviennent à toutes les surfaces, y compris aux surfaces irrégulières. Ils assurent généralement une application plus efficace et plus efficiente des eaux d'irrigation à la parcelle. Comme leur nom l'indique, ces méthodes d'irrigation propulsent de l'eau dans un système de tuyaux grâce à la pression. Les méthodes d'irrigation sous pression les plus courantes sont les systèmes par aspersion, les canons d'arrosage, et l'irrigation goutte-à-goutte. En règle générale, ces systèmes assurent une aspersion plus précise des eaux d'irrigation sur les champs et les cultures. Ils peuvent également contribuer à une utilisation plus efficace des terres et de l'eau et réduire le besoin de main-d'œuvre¹⁴⁰. Les méthodes d'irrigation sous pression exploitent mieux les ressources hydriques et sont particulièrement recommandées dans les régions déficitaires en eau. Bien entendu, une autre différence majeure avec les systèmes traditionnels d'irrigation réside dans le fait que les méthodes sous pression ont besoin d'énergie extérieure pour générer la pression nécessaire (minimum 2 à 3 bars générés par des pompes ou par des réservoirs situés à des niveaux plus élevés)¹⁴¹.

138 FAO, *Gestion des eaux en irrigation. Méthodes d'irrigation, op. cit.*

139 Walker, W.R., «Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems», Irrigation and drainage paper n° 45, Rome, FAO, 1989, www.fao.org/docrep/t0231e/t0231e00.htm#Content.

140 ICID, «Irrigation and drainage journal», 2014, www.icid.org/press_irri.html.

141 Phocaidés, A., *Technical handbook on pressurized irrigation techniques*, Rome, FAO, 2000, ftp.fao.org/agl/aglw/docs/pressirrig.pdf.

5.2.2.1. Asperseurs

Cette méthode d'irrigation également appelée « irrigation par aspersion » est conçue sur le modèle de la pluie naturelle. Elle est utilisée dans le monde entier, sur des champs de petite et grande taille. Ce système peut simplement se composer de longs tuyaux équipés d'asperseurs sur toute leur longueur ou d'un système de pivots centraux qui arrosent une surface circulaire. Dans les petites ou moyennes exploitations, les systèmes les plus courants sont les systèmes à déplacement manuel fonctionnant à une pression de service relativement faible (pas plus de 3,5 bars), avec des asperseurs espacés de manière régulière le long des conduites latérales et placés à intervalles réguliers, pour que l'eau soit vaporisée uniformément sur toute la surface du champ. Ce système permet d'irriguer totalement des cultures comme le coton ou le maïs. Par ailleurs, d'autres types d'asperseurs, par exemple, des mini-asperseurs, peuvent être utilisés pour les cultures arbustives.

Les asperseurs sont équipés de deux gicleurs pour l'éjection de l'eau : un gicleur qui propulse un jet à longue portée, et un gicleur horizontal à faible portée. Le premier, d'un diamètre supérieur, projette un jet d'eau qui couvre la zone éloignée de l'asperseur, et active en même temps le système de rotation. Le second pulvérise l'eau à proximité de l'asperseur (figure 4). Les deux peuvent être gérés et adaptés aux cultures et autres circonstances. L'un des facteurs qui interviennent dans l'utilisation des asperseurs est le vent. L'espace entre les asperseurs doit être adapté en fonction des conditions météorologiques. En cas de vent violent, l'utilisation des asperseurs n'est pas recommandée.

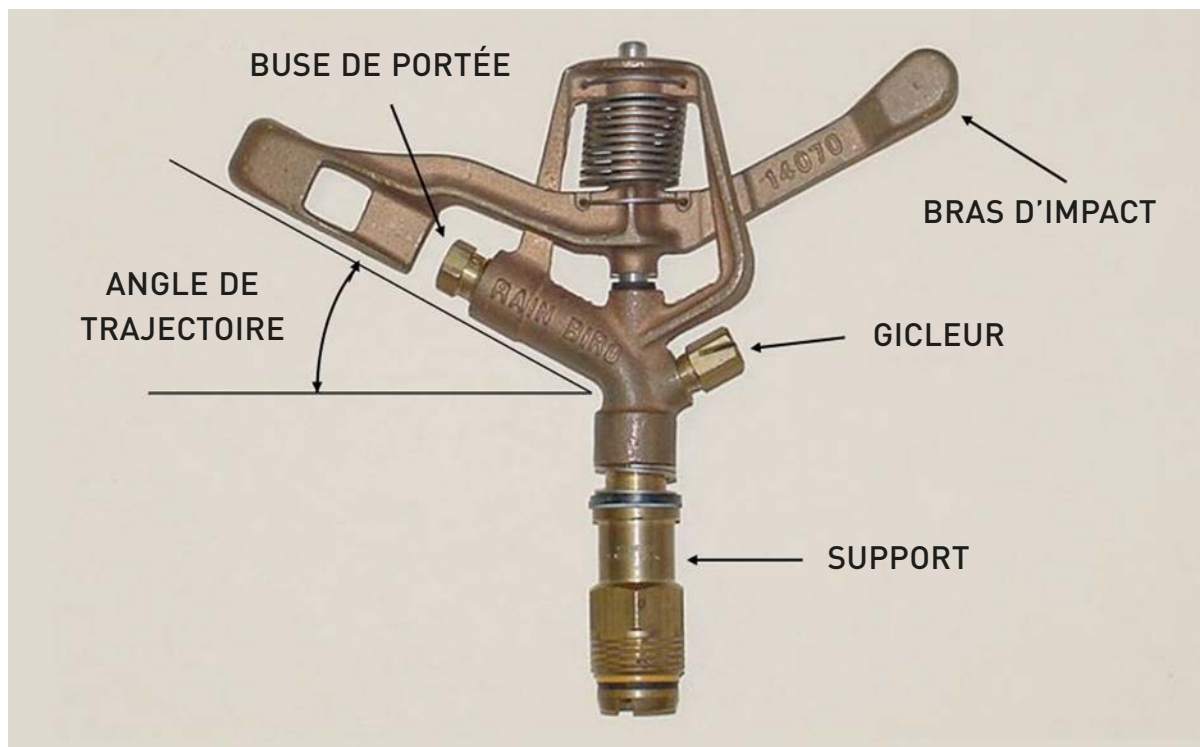


Figure 4 - Les différentes parties d'un asperseur

Source : www.slideshare.net/kaushalgadariya/sprinkler-irrigation-kvg

Les systèmes d'irrigation par aspersion sont adaptables à tous les types de sols, de cultures et de surfaces (figure 5). Le rendement hydraulique peut dépasser 75 % (voir le chapitre 5.6 pour la définition du rendement hydraulique) L'installation et l'utilisation de ces systèmes sont relativement bon marché et simples et ne requièrent pas de compétences spécialisées, même si les systèmes utilisant des asperseurs demandent pas mal de main-d'œuvre et de temps en l'absence des machines nécessaires. Et, c'est important, le système demande d'être entretenu soigneusement.



Figure 5 - Irrigation par aspersion dans une exploitation africaine
Source : climatetechwiki.org

L'irrigation par canon d'arrosage est une autre méthode d'irrigation sous pression, qui peut être considérée comme une variante du système par aspersion. Un gicleur de grand format opérant à une pression élevée propulse l'eau dans un tuyau tiré le long d'un couloir dans le champ (figure 6). Ce système s'adapte particulièrement bien à différentes hauteurs de culture, vitesses de déplacement, aux terrains de forme irrégulière, et aux terrains accidentés. Il nécessite un investissement initial plus élevé (bien que modéré) et plus de main-d'œuvre que les autres systèmes par aspersion¹⁴².

142 Scherer, T., «Selecting a Sprinkler Irrigation System», Fargo, NDSU, 2010, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHERER%202010%20Selecting%20a%20Sprinkler%20Irrigation%20System.pdf.



Figure 6 - Système d'irrigation par canon d'arrosage

5.2.2.2. *Irrigation goutte-à-goutte*

Cette méthode consiste à arroser chaque plante séparément d'une quantité précise d'eau grâce à des goutteurs. L'eau tombe constamment au même endroit. Elle s'infiltre verticalement dans le sol et humidifie la zone racinaire par gravité, et latéralement par capillarité. **Appelée irrigation goutte-à-goutte, micro-irrigation, ou irrigation localisée**, cette méthode permet à l'eau de s'introduire lentement dans le sol jusqu'aux racines de la plante (figure 7) ou de parvenir directement dans la zone racinaire par écoulement souterrain. Ce système repose sur un mécanisme parfois complexe de vannes, tubes, tuyaux et distributeurs, qui acheminent l'eau directement à la base des plantes¹⁴³.

143 ICID, «Irrigation and drainage journal», *op. cit.*



Figure 7 - Irrigation de surface goutte-à-goutte

Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte varient avec le type de sol, sa texture et sa structure. Dans les sols moyens à lourds de bonne structure, le mouvement latéral de l'eau sous la surface est plus important que dans les sols sablonneux. Si le débit des goutteurs est supérieur au taux d'infiltration de l'eau dans le sol et à la conductivité hydraulique, l'eau stagne à la surface. L'eau tend alors à se répandre latéralement plutôt qu'à s'infiltrer verticalement.

Les systèmes modernes d'irrigation goutte-à-goutte ont été développés en Afghanistan dans la seconde moitié du XIX^e siècle, quand des scientifiques ont commencé à procéder à des essais d'irrigation au moyen de tuyaux en terre cuite pour combiner irrigation et systèmes de drainage.



Figure 8 - Système d'irrigation rudimentaire en Afrique : un seau sert de réservoir et l'eau est distribuée grâce à de simples tuyaux en plastique

Il importe de faire la distinction entre les systèmes d'irrigation goutteborne-à-goutte sous pression et les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte par gravité, dans lesquels la pression est assurée par la gravité et non par une source d'énergie externe. Le système par gravité convient le mieux aux petites surfaces. Il est particulièrement rentable si les précipitations locales suffisent à remplir un réservoir de collecte d'eau de pluie (voir la deuxième partie de ce manuel). Le système de base se compose d'un réservoir surélevé percé d'un tuyau à la base, qui fournit de l'eau à un système d'irrigation goutte-à-goutte géré manuellement ou à l'aide d'une minuterie sur piles permettant de contrôler le rythme d'arrosage des cultures¹⁴⁴. Ce système élémentaire est représenté dans la figure 8.

L'irrigation goutte-à-goutte peut augmenter les rendements, car elle peut être utilisée pour maintenir la teneur en eau du sol près de la capacité au champ, assurant ainsi un apport optimal en eau et en nutriments aux racines. Comme l'eau peut être répandue en fonction des besoins des cultures, ce système est plus efficace que d'autres et il consomme moins d'eau et d'engrais. Les besoins de main-d'œuvre sont également moins importants, à condition que le système soit bien géré.

144 Standish, S., «How to Irrigate On A Shoestring», Portland, Global Envision, 2009, www.globalenvision.org/2009/11/19/how-irrigate-shoestring; Infonet-biovision (ed.), *Water for Irrigation*, Zürich, Biovision, 2010.

L'utilisation d'un système d'irrigation goutte-à-goutte permet d'envisager l'irrigation fertilisante. Cette technique consiste à injecter des produits hydrosolubles (engrais, nutriments, amendements de sol) dans les eaux d'irrigation. La plus grande efficacité de l'irrigation goutte-à-goutte, qui fournit des quantités précises d'eau directement dans la zone racinaire, peut également être mise à profit pour ajouter des quantités précises de nutriments en fonction des besoins des plantes. L'utilisation réduite d'eau et d'engrais dans l'ensemble permet de réaliser des économies et aussi de limiter l'érosion des sols et le ruissellement.

Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte permettent également d'irriguer les terrains de forme irrégulière, qui ne sont pas adaptés à l'irrigation par submersion, et d'utiliser des eaux à plus forte teneur en sel. L'apport fréquent d'eau permet de maintenir la force de succion du sol à un faible niveau dans la zone racinaire. Les sels dissous dans les eaux d'irrigation s'accumulent à la périphérie du sol humide, et les plantes peuvent alors facilement absorber l'eau dont elles ont besoin. Ceci permet d'utiliser de l'eau légèrement plus salée, qui ne convient pas aux autres méthodes d'irrigation décrites dans ce manuel.

D'un autre côté, l'irrigation au goutte-à-goutte est une technique assez coûteuse, qui nécessite un entretien régulier et minutieux et une gestion précise. Il n'est pas rare que des sédiments ou des sels obstruent les goutteurs, qui doivent alors être remplacés.

Tableau 1 : Aperçu des différentes méthodes d'irrigation

Méthode		Efficacité (%)	Flexibilité de la surface	Caractéristiques du sol	Coût économique (technologie, énergie, etc.)	Main-d'œuvre (utilisation, entretien, etc.)
Surface	Cuvette	60-65	Faible	Texture fine, taux d'infiltration faible/moyen	Faible	Moyen/élevé
	Rigoles					
	Planches					
Aspersion		80-87.5	Moyen	Taux d'infiltration moyen/élevé	Moyen/élevé	Moyen
Goutte-à-goutte		95	Élevé	Taux d'infiltration moyen/élevé	Élevé	Faible

5.3. LE CHOIX DE MÉTHODES D'IRRIGATION ADAPTÉES

5.3.1. Aperçu

Pour trouver la méthode d'irrigation la plus appropriée à une culture et une situation particulières, il importe de connaître leurs particularités, leurs avantages et leurs inconvénients, ainsi que les divers facteurs naturels, sociaux et économiques qui entrent en jeu. Le tableau 2 donne un aperçu général de ces facteurs et de la méthode

la plus recommandée pour chaque cas de figure. Pourtant, dans de nombreux cas, il n'existe pas de solution unique : toutes les méthodes présentent des avantages et des inconvénients¹⁴⁵. Ce qui est crucial, c'est d'avoir une bonne connaissance des conditions locales avant de prendre une décision.

Tableau 2 : Aperçu des conditions (facteurs) et des méthodes d'irrigation recommandées pour chaque cas de figure (selon Good Stuff International)

Facteurs		Méthode recommandée	Commentaires	
Conditions naturelles	Type de sol	Faible taux d'infiltration	Surface	L'irrigation de surface convient mieux aux sols dont le taux d'infiltration est faible, tandis que les méthodes par aspersion et goutte-à-goutte sont adaptées aux sols dont le taux d'infiltration est élevé.
		Taux d'infiltration élevé	Aspersion/ goutte-à-goutte	
	Pentes	Irrégulière	Goutte-à-goutte	Les méthodes d'irrigation de surface sont adaptées aux terrains plats, mais aussi aux terrains en pente, à condition de construire des terrasses. La flexibilité de l'irrigation goutte-à-goutte convient aux surfaces irrégulières.
		Plate	Surface/ aspersion	
	Climat	Pluvieux	Surface	Dans les régions sèches, l'irrigation par aspersion ou goutte-à-goutte est plus économe en eau. Dans les régions venteuses, l'irrigation par aspersion n'est pas recommandée.
		Sec	Aspersion/ goutte-à-goutte	
		Venteux	Surface/goutte- à-goutte	
	Disponi-bilité de l'eau	Constante	Surface	L'irrigation de surface est adaptée aux régions où l'approvisionnement en eau est fiable. L'irrigation par aspersion ou au goutte-à-goutte est recommandée dans les régions où la disponibilité en eau est faible ou saisonnière.
		Saisonnière	Surface/ aspersion	
		Rareté	Aspersion/ goutte-à-goutte	
	Qualité de l'eau	Salée	Surface/goutte- à-goutte	Le sel se dissout facilement dans les asperseurs, mais les eaux à forte concentration en sédiments ne sont pas recommandées, car elles obstruent les goutteurs.
		Forte concentration de sédiments	Surface	

145 FAO, *Gestion des eaux en irrigation. Méthodes d'irrigation, op. cit.*

Type de culture	Cultures à hauts rendements	Aspersion/ goutte-à-goutte	Les systèmes par aspersion ou goutte-à-goutte peuvent atteindre de meilleurs niveaux d'efficacité. S'ils sont appliqués à des cultures à hauts rendements comme les arbres fruitiers ou certains légumes, il est possible de rentrer dans ses frais. L'irrigation goutte-à-goutte est recommandée pour les légumes ou les arbres individuels. L'irrigation par aspersion est généralement utilisée pour la germination des graines et le développement du couvert végétal de cultures telles que la laitue ou la luzerne. L'irrigation de surface convient à la plupart des cultures, mais plus particulièrement aux plantations denses (rizières).
	Plantes ou arbres individuels (légumes, cannes à sucre, etc.)	Goutte-à-goutte	
	Germination des graines et développement du couvert végétal	Aspersion	
	Plantations denses	Surface	
Technologie	Solides connaissances technologiques	Aspersion/ goutte-à-goutte	Les systèmes par aspersion et goutte-à-goutte supposent un niveau plus élevé de technologies complexes et requièrent des personnes capables d'utiliser et d'entretenir le matériel. Ils doivent par ailleurs être constamment approvisionnés en énergie. L'irrigation de surface nécessite moins de technologie, mais plus de main-d'œuvre pour construire et entretenir le matériel.
	Approvisionnement régulier en énergie	Aspersion/ goutte-à-goutte	
	Main-d'œuvre	Surface	
	Peu d'entretien	Surface	
Tradition et culture en matière d'irrigation	L'introduction inopportune d'une nouvelle méthode inconnue peut causer de nouveaux problèmes inattendus. Les agriculteurs rechignent parfois à accepter la nouvelle méthode tant qu'elle n'a pas fait ses preuves. Il est plus facile et plus logique d'améliorer les méthodes traditionnelles d'irrigation que d'introduire une méthode entièrement nouvelle.		

Économie	Coûts et bénéfices	Les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte coûtent plus cher, mais ils assurent potentiellement de meilleurs bénéfices.	L'efficacité du point de vue irrigation et énergétique, les types d'asperseur ou de système d'irrigation au goutte-à-goutte, le matériel, les coûts d'exploitation, les coûts en ressources humaines et les fluctuations du marché influencent fortement cette analyse. Une analyse coûts-bénéfices détaillée doit être entreprise sur la base des données les plus récentes sur les prix et les marchés, en étudiant toutes les options possibles.
	Main-d'œuvre	Il faut plus de main-d'œuvre pour la construction et l'entretien des méthodes d'irrigation de surface	

5.4. LA CONCEPTION ET L'AMÉNAGEMENT DES SYSTÈMES D'IRRIGATION

Une bonne connaissance des conditions locales et des facteurs mentionnés dans le chapitre précédent permet de sélectionner la ou les méthodes d'irrigation appropriées. Un système d'irrigation doit ensuite être développé pour chaque situation particulière.

Divers systèmes d'irrigation peuvent être aménagés à diverses échelles pour utiliser diverses sources d'eau, notamment l'eau souterraine provenant des sources, des puits ou des forages, l'eau de surface provenant des cours d'eau, des lacs ou des réservoirs, ou des sources non conventionnelles telles que les eaux usées, l'eau dessalée, l'eau de pluie collectée, ou l'eau de drainage ¹⁴⁶

146 ICID, «Irrigation and drainage journal», *op. cit.*

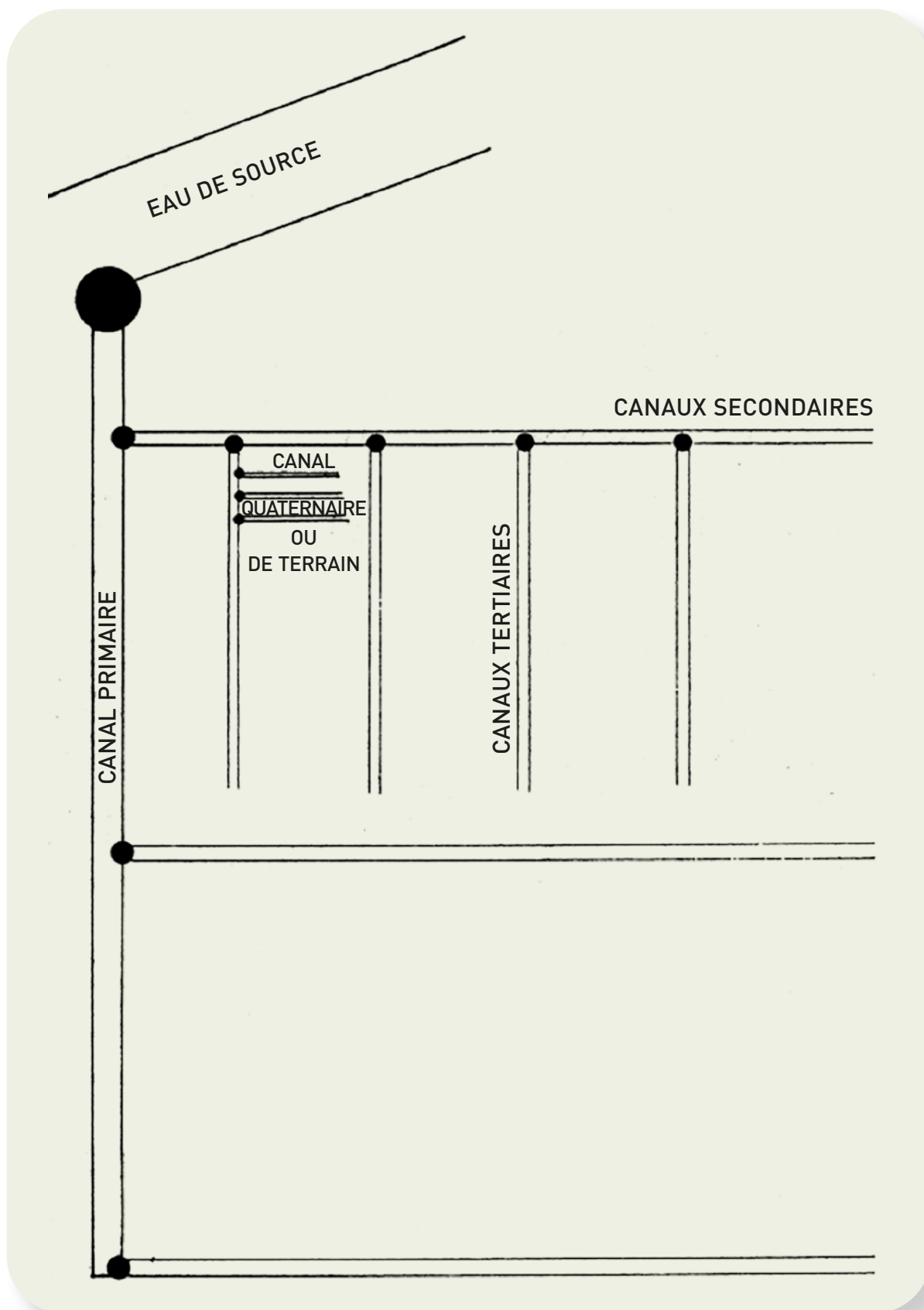


Figure 9 - Système d'irrigation avec canal primaire, secondaire, tertiaire et quaternaire¹⁴⁷

147 FAO, *Gestion des eaux en irrigation: Calendrier d'irrigation*, manuel de formation n° 4, Rome, FAO, 1989, www.fao.org/docrep/s8684e/s8684e00.HTM.

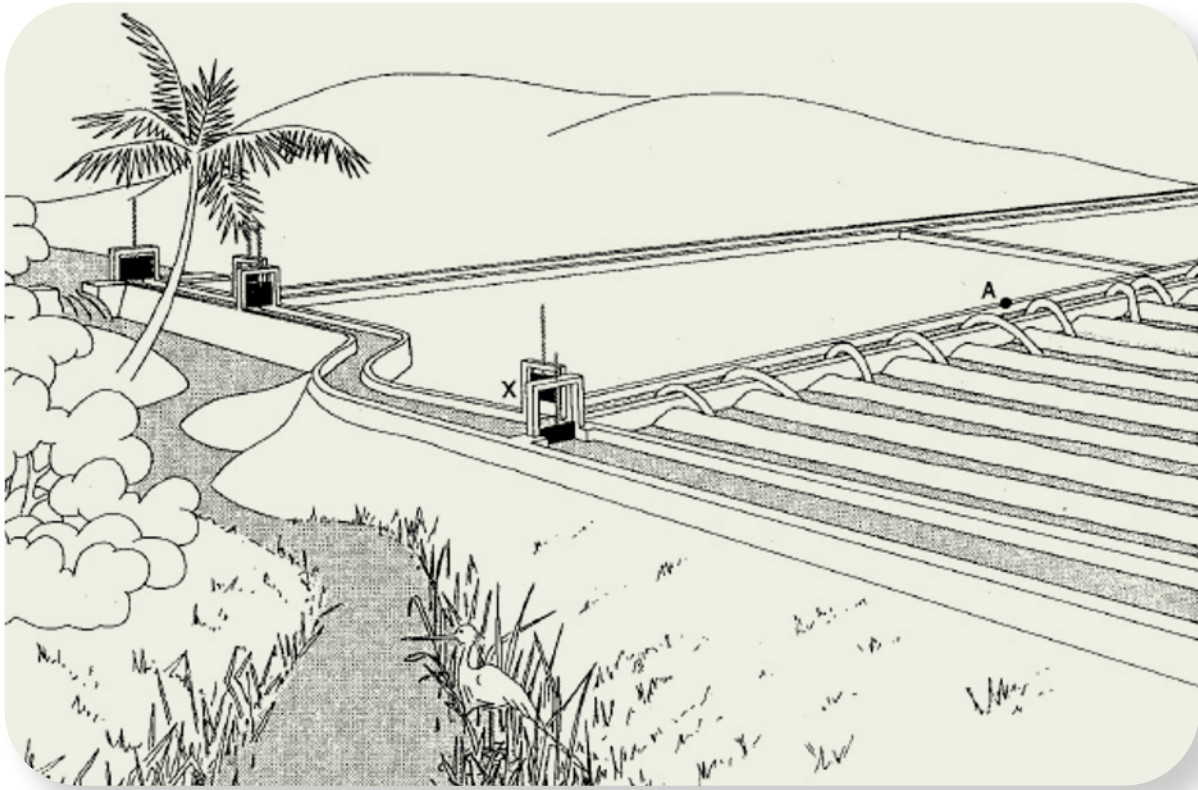


Figure 10 - Petit système d'irrigation par canaux¹⁴⁸

Dans un système d'irrigation par gravité, l'eau ruisselle sur le terrain sous l'effet de la gravité, après avoir été détournée d'un cours d'eau ou d'une autre source. Ce système consiste en un réseau de canaux qui permettent à l'eau du cours d'eau de s'écouler sur le champ. Le débit d'eau est contrôlé par des vannes placées le long des canaux. La figure 9 représente un système typique d'irrigation à grande échelle (périmètre d'irrigation), divisé en conduites primaires, secondaires et tertiaires qui distribuent le flux d'eau dérivé de la source vers le champ.

Les coûts initiaux de conception et de construction d'un périmètre d'irrigation par gravité peuvent être importants, mais les frais d'entretien sont généralement peu élevés. En règle générale, aucune alimentation électrique n'est nécessaire (et certains systèmes peuvent même produire de l'hydroélectricité). Cependant, en certains endroits, l'eau présente dans le sol ou les masses d'eau de surface doit d'abord être pompée avant d'être déviée vers le réseau de canaux, les champs et les canaux de distribution. Les coûts de pompage peuvent représenter une dépense considérable pour les agriculteurs, même s'ils utilisent un système d'irrigation par gravité.

La figure 10 montre un système typique d'irrigation à plus petite échelle.

La figure 11 montre clairement **les différents éléments qui constituent normalement un système d'irrigation de surface**. Le premier de ces éléments est l'alimentation en eau ou la source (dans ce cas-ci un barrage). Un canal jaugeur Parshall (structure hydraulique fixe avec étranglement des parois et un fond profilé) peut être installé

148 FAO, «Gestion des eaux en irrigation», manuel de formation n° 6, *Besoins et alimentation en eau des réseaux d'irrigation*, Rome, FAO, 1992, www.fao.org/docrep/u5835e/u5835e00.htm#Contents.

pour mesurer le débit des eaux de surface et des eaux irrigation. Le système peut être aménagé sur des terrains présentant des dénivelés. Après être passé dans le canal quaternaire, le courant d'eau est réparti dans les différentes conduites à l'aide d'un partiteur.

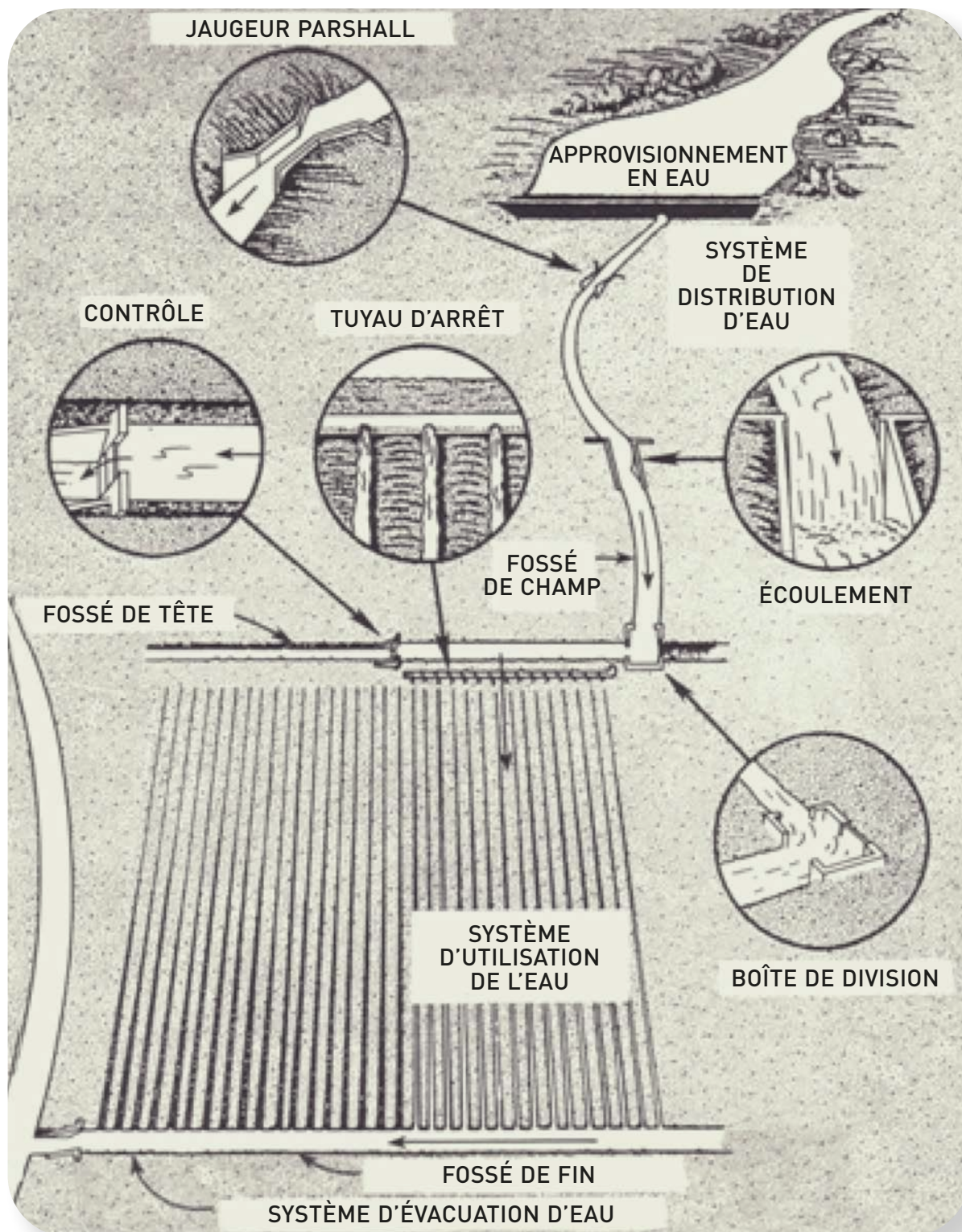


Figure 11 - Éléments typiques d'un système d'irrigation de surface¹⁴⁹

149 Walker, W.R., «Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems», *op. cit.*

Le canal d'amenée est le canal à partir duquel l'eau est distribuée dans le champ. Le canal quaternaire est équipé d'un régulateur, qui peut être utilisé pour bloquer temporairement le canal d'amenée afin d'élever le niveau d'eau en amont.

L'eau est en fin de compte distribuée dans le champ à l'aide d'un tuyau d'alimentation sur lequel de petites prises d'eau ont été aménagées pour introduire l'eau dans les sillons. L'eau qui ne pénètre pas dans le sol, mais qui ruisselle hors du terrain, se déverse dans le fossé en aval, qui est relié au système de drainage ou d'évacuation d'eau.

5.4.1. Les systèmes d'irrigation sous pression

Les systèmes d'irrigation sous pression se composent d'un réseau de tuyaux, de raccords et d'autres dispositifs conçus et installés pour distribuer de l'eau sous pression dans la zone à irriguer. Parmi les systèmes d'irrigation sous pression figurent notamment l'irrigation par mini-aspersion et micro-aspersion, l'irrigation goutte-à-goutte, et les simples systèmes de tuyaux d'irrigation.

Les principales différences entre les systèmes d'irrigation sous pression et les systèmes d'irrigation par gravité sont les suivantes :

- des débits modestes peuvent être utilisés sous pression, tandis que l'irrigation par gravité requiert généralement des débits beaucoup plus considérables ;
- le flux d'eau peut suivre le tracé le plus direct sous pression (même s'il défie les lois de la gravité) ;
- les systèmes sous pression peuvent répandre de petites quantités d'eau sur de très larges superficies, tandis que les systèmes par gravité répandent toujours de grandes quantités d'eau ;
- une énergie auxiliaire est nécessaire pour faire monter la pression (de 2-3,5 bars dans les systèmes à basse pression à 5 bars dans les systèmes à haute pression).

Un système d'irrigation sous pression se compose généralement des éléments suivants :

- une source d'eau (étang, forage, cours d'eau, canal, etc.) ;
- une pompe ;
- une canalisation principale (tuyau noir rigide sous haute pression en polyéthylène-PVC). Cette conduite a le diamètre le plus grand du réseau (60 à 160 mm en fonction de la taille de l'exploitation agricole) ;
- des canalisations secondaires (tuyaux de plus petite dimension rattachés à la canalisation principale, qui transportent et distribuent l'eau sur les diverses parcelles). En fonction de la taille du système, elles peuvent être connectées à des bornes-fontaines reliées aux lignes d'alimentation ;
- des conduites latérales équipées de distributeurs (micro-asperseurs, asperseurs ou goutteurs). Des bouchons sont placés à l'extrémité des conduites latérales ;
- divers raccords pour relier la canalisation principale, les canalisations secondaires et les conduites latérales ;

- des dispositifs de réglage du débit ;
 - des dispositifs directionnels : vannes de sectionnement, vannes de contrôle ;
 - des instruments de mesure tels que des débitmètres et des tensiomètres ;
 - des dispositifs auxiliaires tels que des soupapes de sécurité et des soupapes de déversement ;
- des filtres :
 - un filtre à gravier, une cuve cylindrique qui contient une couche filtrante de gravier ou de sable, installée juste derrière la prise d'eau. L'eau passe à travers le filtre, qui retient les particules de grande taille et les matières organiques (algues). L'eau sort du filtre par la base de la cuve ;
 - un filtre hydrocyclone pour séparer le sable du limon et filtrer les sédiments des eaux d'irrigation afin d'éviter l'obstruction du système ;
 - des filtres à tamis/à disques, installés avant la canalisation principale, pour une dernière filtration ;
- du matériel d'irrigation fertilisante pour injecter des engrais dans le système sous pression. Il peut se composer :
 - d'une trémie d'engrais placée sur une dérivation (ce système ne permet pas l'injection précise des engrais, mais il est peu coûteux) ou
 - d'un réservoir de type Venturi placé sur une dérivation (coûts légèrement supérieurs, mais injection plus précise) ;
 - une pompe à piston installée directement sur la ligne d'approvisionnement ;
- du matériel d'automatisation des doses d'arrosage.

La figure 12 donne un aperçu général d'un système d'irrigation sous pression.

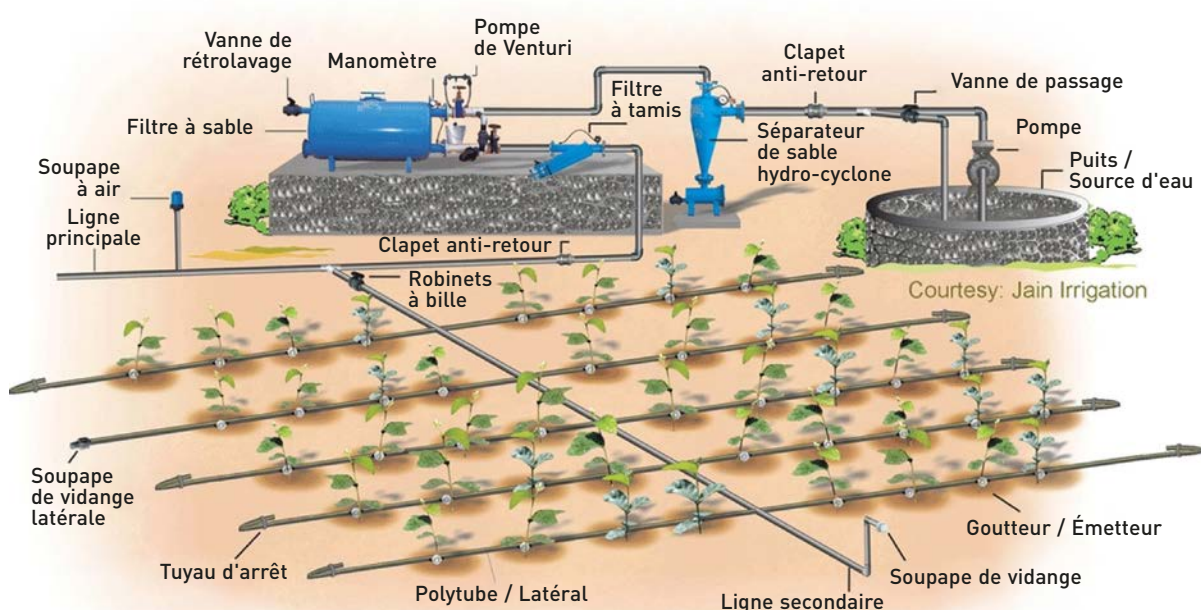


Figure 12 - Aperçu général d'un système d'irrigation sous pression et de ses principaux composants

Avant d'installer un système d'irrigation sous pression, il faut en concevoir le plan détaillé et à cet effet, l'aide d'un spécialiste s'impose. Les étapes et l'approche générale de la conception d'un système d'irrigation sous pression sont les suivantes¹⁵⁰ :

1. Décider de la surface sur laquelle l'appliquer: par exemple, 120 m*83 m environ 1 ha.
2. Décider de l'aménagement des cultures. Par exemple, dans le cas des pastèques, les rangées sont espacées de 2,20 m tandis que les plants sont espacés de 0,5 m, soit 81 plants par rangée et un total de 108 rangées. La parcelle est divisée en deux parties (chaque partie = 40,5 m de longueur et 54 rangées).
3. Sélectionner la meilleure méthode d'émission en fonction du type de sol, de culture, et des besoins en eau des cultures (par exemple, irrigation goutte-à-goutte).
4. Calculer les besoins d'irrigation. Si les cultures ont besoin de 3,55 mm d'eau par jour et si le système est efficace à 90 %, alors 39,5 m³ d'eau doivent être distribués chaque jour.
5. Définir les caractéristiques de la sortie d'eau. Par exemple, un débit de 4 litres/heure à 1 bar pour un système d'irrigation goutte-à-goutte. Dans ce cas, la filtration des eaux d'irrigation doit être très efficace pour éviter toute défaillance du système.
6. Définir les caractéristiques des conduites latérales avec goutteurs. Longueur des tuyaux (16 mm LDPE, 4 bars): 41 m, nombre de goutteurs: 81, débit: 342 l/h (81*4l/h). Nombre total de conduites latérales: 108. Nombre total de goutteurs: 8748.
7. Définir le débit nécessaire au fonctionnement simultané des conduites latérales: par exemple, 35 m³/h. Si ce débit ne peut être atteint, l'irrigation peut devoir être effectuée par tranches (par ex. trois tranches de 12 m³ à l'heure).
8. La charge totale (pression) du système est 2,65 bars (voir tableau 5.3).
9. Sélectionner la source d'eau.
10. Définir la longueur et l'emplacement des canalisations principales et secondaires, l'emplacement de la pompe, des filtres, du matériel d'irrigation fertilisante, des connecteurs, des vannes, des compteurs, etc.
11. Calculer avec précision les quantités en détaillant le matériel nécessaire.

150 FAO, *Manuel des techniques d'irrigation sous pression*, Rome, FAO, 2000, extrait le 8 décembre 2015, <ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1336f/a1336f00.pdf>.

Tableau 3: Définir la pression de la pompe dans un système d'irrigation sous pression

Pression nécessaire au goutteur	1 bar
Pertes par frottement dans la rampe	0,10 bar
Pertes par frottement dans la canalisation principale	0,43 bar
Pertes par frottement dans l'ouvrage de tête	0,90 bar
Pertes locales mineures	0,22 bar
Pression totale nécessaire à la pompe	2,65 bars

Vous pouvez trouver des informations supplémentaires sur la conception des systèmes d'irrigation sous pression à l'adresse suivante : <ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1336f/a1336f00.pdf>

5.4.2. L'irrigation fertilisante dans les systèmes d'irrigation sous pression

L'irrigation fertilisante est l'administration combinée de nutriments et d'eau à une culture, un mélange d'engrais et d'irrigation. L'efficacité de l'utilisation des engrais pour N est de 30 à 50 % lorsque les engrais sont épandus sur le sol, tandis qu'elle peut monter jusqu'à 95 % en cas d'irrigation fertilisante¹⁵¹. S'agissant du phosphore, l'efficacité des engrais en cas d'épandage sur le sol et d'irrigation fertilisante est respectivement de 20 % et 45 %.

Les **avantages de l'irrigation fertilisante sont les suivants**¹⁵² :

- Les nutriments et l'eau sont distribués près de la zone racinaire active, ce qui en améliore l'absorption par les cultures. L'irrigation fertilisante permet un contrôle précis de tous les nutriments minéraux.
- Les solutions nutritives peuvent être adaptées ou modifiées facilement en fonction des espèces ou du stade de développement des plantes.
- L'eau et l'engrais étant distribués de façon uniforme à toutes les cultures, on peut espérer des rendements plus élevés (augmentation estimée des rendements de 25 à 50 %).
- La plus grande efficacité de l'utilisation des engrais permet de sauver au moins 25 % des nutriments, ce qui se traduit par des économies substantielles, compte tenu du prix des engrais. Lorsque l'irrigation fertilisante est correctement mise en œuvre, les risques de fertilisation excessive sont très faibles, ainsi que les dommages dus au sel qui en résultent.
- Elle permet des économies de temps et d'énergie (en plus des économies de coûts).
- Elle permet une réduction du lessivage des nutriments et, par conséquent, de la pollution.

151 TNAU, Tnau Agritech portal, 2015, agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri_nutrientmgt_fertigation.html.

152 *Ibid.* ; Landis, T., Pinto, R. et Davis, A., «Fertigation – Injecting soluble fertilizers into the irrigation system», *Great lakes Christmas tree journal*, 2010, christmastree.for.msu.edu/pdf/nutrition_manage/Fertigation.PDF.

L'irrigation fertilisante pose aussi certains problèmes, notamment¹⁵³ :

- Pour une efficacité maximale des nutriments, il faut utiliser des injecteurs.
- Mélanger et appliquer régulièrement des engrais liquides peut faire monter les coûts de main-d'œuvre.
- Un système d'irrigation automatisé et bien conçu est essentiel pour garantir une application uniforme des engrais.
- Si elle n'est pas correctement mise en œuvre, l'irrigation fertilisante peut endommager les cultures de pépinières et polluer l'environnement.

Tout système d'irrigation fertilisante suppose trois actions :

1. La formulation et la préparation de solutions d'engrais, soit en utilisant un mélange commercial d'engrais soluble soit en créant un engrais sur mesure à partir de produits chimiques.
2. Le contrôle de la qualité des eaux d'irrigation. La qualité de l'eau a une influence considérable sur les programmes d'irrigation fertilisante. Les éléments les plus importants à prendre en considération sont le niveau total de sel mesuré par la conductivité électrique et les concentrations en minéraux de l'eau qui sera administrée à la culture.
3. Troisième élément à considérer : le contrôle de la qualité de la solution d'irrigation fertilisante ; le pH et la conductivité électrique de la solution sont des indicateurs du fonctionnement du système tout entier et devraient être contrôlés au minimum chaque semaine¹⁵⁴.

Les détails de conception des systèmes d'irrigation fertilisante ne sont pas repris dans ce manuel. Pour plus d'informations, veuillez consulter le manuel de la FAO sur l'irrigation fertilisante.¹⁵⁵

153 *Ibid.*

154 *Ibid.*

155 FAO, « Manuel des techniques d'irrigation sous pression », *L'irrigation fertilisante*, Rome, FAO, 2007, <ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1336f/a1336f00.pdf>.

5.4.3. L'hydroponie



Figure 13 - Système hydroponique dans une serre
(Source: www.lerablog.org)

L'hydroponie consiste à cultiver des plantes hors sol ou dans un milieu aquatique. Les plantes sont cultivées dans un milieu inerte (laine de roche, perlite, vermiculite, fibre de coco, gravier, sable, etc.) tandis qu'une solution nutritive très soluble, équilibrée, et au pH ajusté est appliquée aux racines. Les systèmes hydroponiques sont efficaces et productifs, car les plantes reçoivent exactement ce dont elles ont besoin, au moment où elles en ont besoin¹⁵⁶.

Les systèmes hydroponiques, lorsqu'ils fonctionnent en circuit fermé, permettent de réduire au minimum l'incidence sur l'environnement de la pollution liée à l'eau. Toutefois, le recyclage des milieux inertes peut poser des problèmes environnementaux.

156 Simply hydro, «What is hydroponics?», 2008, www.simplyhydro.com/whatis.htm.

5.4.4. Le drainage

Le drainage joue un très rôle important en irrigation : il élimine les eaux d'irrigation excédentaires des systèmes d'irrigation par gravité. Il permet de cultiver des terres agricoles bien drainées, il empêche la salinisation, il prévient la baisse du niveau de la nappe phréatique, et il élimine les sels et les toxines qui se sont accumulés. Un système de drainage se compose généralement d'un drain principal (ciblant à la fois le drainage de surface et le drainage en profondeur) et d'un point d'écoulement. Au point d'écoulement, l'eau est déversée dans une autre étendue d'eau. Comme le montre la figure 14, les eaux de drainage peuvent être déversées dans des puits, des bassins d'évaporation, ou être réutilisées pour l'irrigation des cultures, si c'est possible.

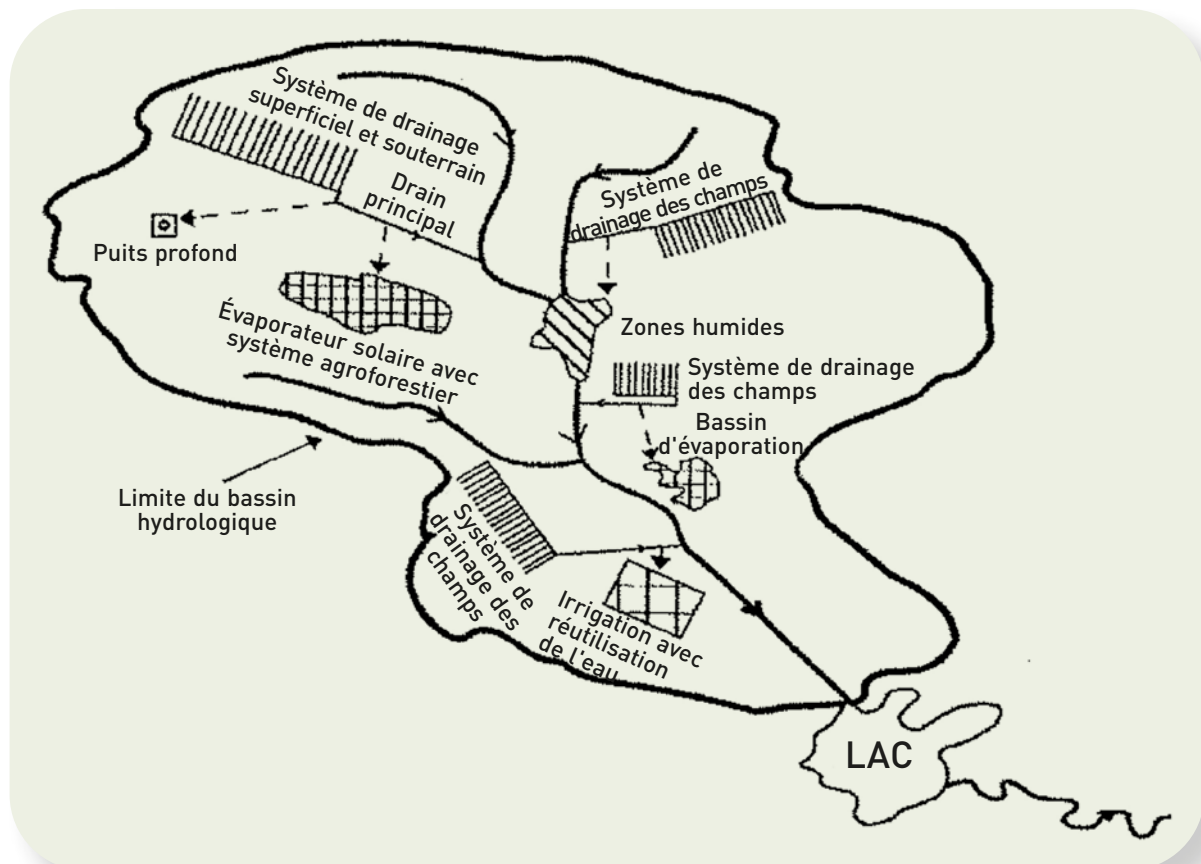


Figure 14 - Options d'évacuation des eaux de drainage dans une zone de captage¹⁵⁷

157 FAO, *Gestion de la qualité de l'eau du drainage agricole*, rapport FAO sur l'eau n° 13, Rome, FAO, 1997, www.fao.org/docrep/w7224e/w7224e00.htm#Contents.

5.5. LES SOURCES D'EAU D'IRRIGATION, LE CAPTAGE, LE STOCKAGE ET LE RECYCLAGE DE L'EAU

5.5.1. Les sources d'eau

La source d'eau utilisée pour l'irrigation dépend principalement de la disponibilité de l'eau dans une zone géographique donnée. Les sources les plus courantes sont les cours d'eau, les lacs, les réservoirs, et l'eau souterraine. Alors que la disponibilité de l'eau diminue, d'autres techniques plus innovantes sont de plus en plus utilisées pour obtenir de l'eau (eau de pluie, collecte du brouillard, réutilisation des eaux usées, dessalement).

La disponibilité de l'eau est fonction de plusieurs facteurs, notamment des saisons, de la pollution, des autres utilisations qui sont faites de l'eau dans la même zone, de l'existence de systèmes de rétention d'eau. Pour développer un système d'irrigation, il est essentiel de comprendre la disponibilité de l'eau dans la zone géographique concernée. Cette exigence est particulièrement importante lorsque les sources d'eau sont partagées par plusieurs utilisateurs et que des «accords de partage» doivent être négociés. Il n'est pas rare que les utilisateurs s'approvisionnent à différentes sources pour couvrir leurs besoins en eau d'irrigation¹⁵⁸.

Les cours d'eau sont utilisés depuis des siècles pour l'irrigation. L'eau s'y écoule de façon constante, ce qui a souvent pour conséquence que la quantité d'eau disponible dans les cours d'eau fluctue au fil du temps. Pour comprendre la variation des débits, il importe de considérer les cours d'eau comme faisant partie d'une zone de captage (la zone de captage, ou bassin versant, est l'espace qui alimente le cours d'eau en eau sous l'effet du ruissellement et du drainage). Les pentes, les aspérités du terrain, la végétation, les sédiments et le climat dans la zone de captage influencent le débit des cours d'eau¹⁵⁹. De la même manière, les activités humaines (prélèvement et stockage de l'eau) font varier le débit.

5.5.2. Le captage, le stockage et le recyclage de l'eau

En plus de recenser les sources potentielles d'eau d'irrigation, il importe de comprendre et de planifier la manière de capter l'eau. Le tableau 3 présente un résumé des sources et des méthodes de collecte. Ci-dessous, les méthodes de collecte les plus courantes sont expliquées de façon plus détaillée :

- **Prises d'eau** pouvant être munies d'une vanne, pour que la prise d'eau et l'approvisionnement des canaux d'irrigation puissent être contrôlés.
- Capturer l'eau des cours d'eau relève parfois de la gageure, lorsque leur débit fluctue. Les **barrages** permettent de contrôler la variation du niveau des cours d'eau. Les barrages font monter le niveau de l'eau des cours d'eau, de sorte que l'eau reste disponible au niveau requis par le système d'irrigation pendant les périodes les plus sèches (figure 15).

158 FAO, «Gestion des eaux en irrigation», manuel de formation n° 7, *Canaux*, Rome, FAO, 1992, <ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai585e/ai585e03.pdf>.

159 *Ibid.*

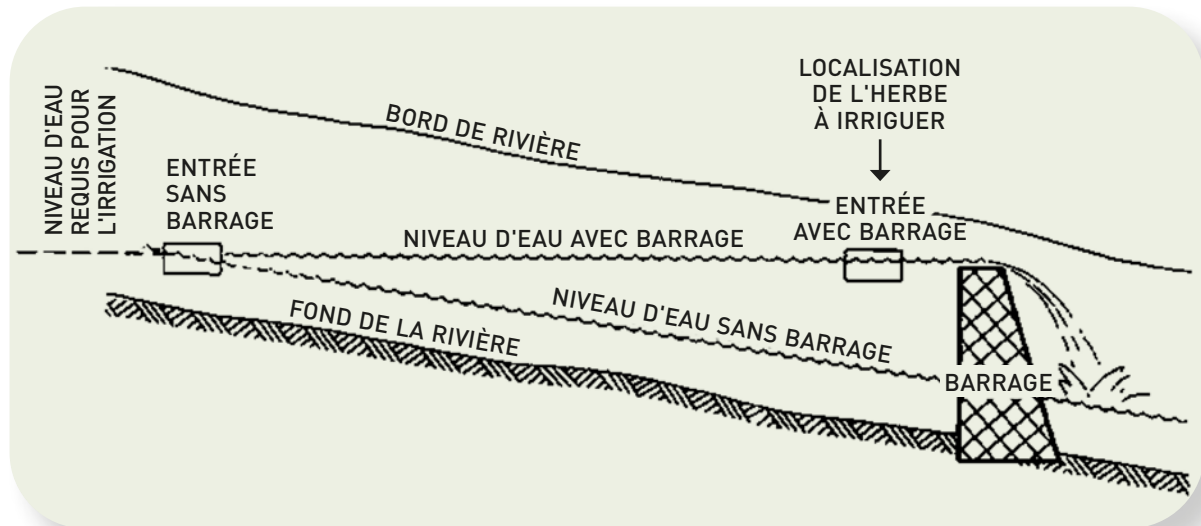


Figure 15 - Prise d'eau dans un cours d'eau avec et sans barrage¹⁶⁰

- Il est également possible de **pomper** de l'eau dans un cours d'eau, lorsque l'eau ne peut être déviée par gravité. Pomper de l'eau coûte généralement plus cher que construire un barrage pour la stocker.
- Les réservoirs sont des constructions artificielles destinées à stocker l'eau. La construction d'un réservoir dans une vallée permet d'accumuler de l'eau. Par ailleurs, l'eau peut être déviée vers les bras morts d'un cours d'eau pour y être stockée. L'eau stockée peut irriguer une vallée par gravité ou grâce à un système de **tuyaux**. L'eau stockée dans un réservoir peut également être pompée en amont, en particulier durant la saison sèche, lorsque les besoins d'irrigation sont plus importants.
- Les nappes d'eau souterraine sont une autre source d'eau importante couramment utilisée à travers le monde, en particulier pour l'irrigation à petite échelle. Les eaux souterraines peuvent être prélevées naturellement (**sources**) et artificiellement (**pompes, puits**). En présence d'aquifères superficiels, des puits peuvent être construits manuellement, mais des pompes submersibles sont nécessaires si les eaux souterraines sont profondes. La disponibilité de l'eau des sources souterraines est généralement plus stable que celle des cours d'eau ou des lacs, à l'exception des aquifères superficiels qui peuvent s'assécher en période de sécheresse. Le principe de base de l'utilisation des eaux souterraines est que l'extraction ne devrait jamais dépasser la recharge. Ceci exige une bonne coopération entre les utilisateurs de l'eau et des relevés précis du niveau des eaux souterraines.

- La figure 16 donne un exemple visuel du prélèvement d'eau pour irrigation à partir de différentes sources d'eau.

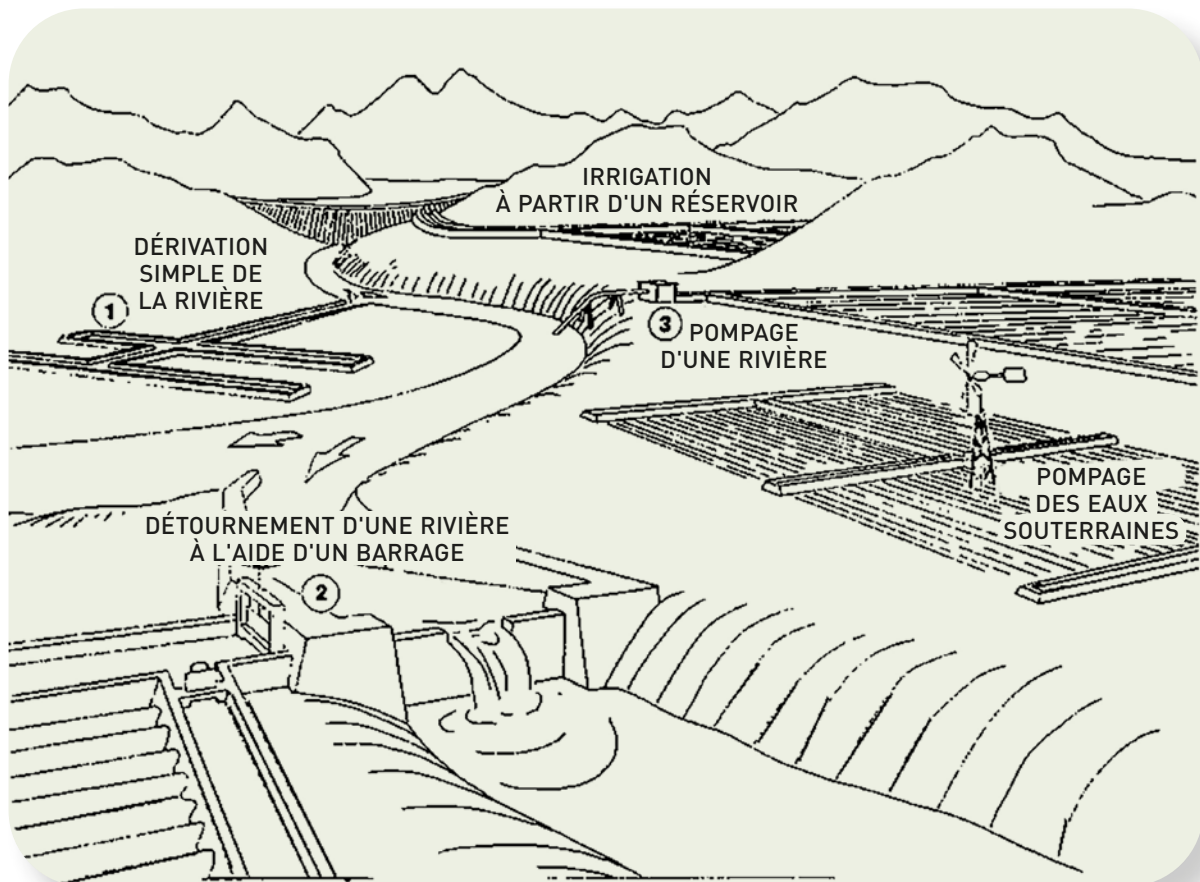


Figure 16 - Prélèvement de l'eau à partir de différentes sources d'eau¹⁶¹

- Les eaux de pluie peuvent être collectées et stockées pour l'irrigation. Cette opération peut s'effectuer, par exemple, en utilisant des toits-terrasses. Cette technique simple et peu coûteuse est particulièrement bien adaptée aux usages à petite échelle¹⁶². Les eaux de pluie sont déviées vers des réservoirs de stockage, puis utilisées pour l'irrigation ou pour recharger des puits. Ce système est particulièrement bien adapté aux petites exploitations, mais il peut aussi être appliqué à de plus grands systèmes de production ou à des serres. Différents systèmes de captage et de stockage de l'eau ont été développés. La collecte et le stockage d'eaux de pluie peuvent compléter d'autres sources d'eau en période de sécheresse. L'infrastructure nécessaire, généralement peu coûteuse, peut être facilement adaptée et installée dans des conditions variées. Ce système convient bien aux régions rurales des pays tropicaux, caractérisées par des saisons sèches et des saisons humides.

161 *Ibid.*

162 Hatum, T. et Worm, J., *Rainwater Harvesting for Domestic USE*, Wageningen, Agrosima/CTA, 2006, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HATUM%20and%20WORM%202006%20Rainwater%20Harvesting%20for%20Domestic%20USE.pdf.

- Les **barrages de contrôle** constituent une autre technique particulièrement bien adaptée aux pays ACP. Ces barrages de petites dimensions sont construits en travers des cours d'eau pour ralentir la vitesse d'écoulement de l'eau après les orages. L'eau, dont le débit est moins rapide, peut alors s'infiltrer dans les aquifères souterrains et les recharger. Ces barrages peuvent être construits à l'aide de rondins de bois, de pierres, de gravillons ou de briques. Ils limitent également l'érosion des sols, en permettant aux sédiments et aux autres polluants de se fixer dans le sol¹⁶³.



Figure 17 - Barrage de contrôle en pierres en Afrique de l'Est¹⁶⁴

- D'autres techniques peuvent être utilisées pour adapter des éléments paysagers naturels ou artificiels pour contrôler l'écoulement ou le ruissellement des eaux. Les **matelas de rameaux** formés de broussailles, de branches d'arbres et de tiges sont posés en continu dans de petites ravines. Ils ont pour objectif principal de remplir et fermer la ravine avec le sol retenu par les broussailles. C'est une méthode efficace et peu coûteuse là où le maquis est dense. Les **bouchons de terre** sont de petites structures construites en travers des ravines pour retenir l'eau et lui permettre de percoler dans le sol. De petits fossés de dérivation peuvent être aménagés pour évacuer l'excédent d'eau

163 FAO, *Guide pratique d'aménagement des bassins versants*, Gully Control, Rome, FAO, 1986, www.fao.org/docrep/006/ad082e/AD082e00.htm#cont.

164 Malesu, M.M., Oduor, A.R. et Odhiambo, O.J. (eds), *Green Water Management Handbook, Rainwater Harvesting for Agricultural Production and Ecological Sustainability*, Nairobi, The World Agroforestry Centre, 2007, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MALESU%202007%20Green%20Water%20Management%20Handbook.pdf.

au contact des extrémités des bouchons, afin d'éviter les dégâts d'érosion et de permettre à l'eau de se répandre. La distribution des bouchons de terre dépend de la pente de la ravine.¹⁶⁵

- **Les systèmes d'infiltration et d'emmagasinement dans le sol** ont pour but de collecter les eaux de pluie ruisselant des toits des bâtiments ou des serres et de les diriger vers le sous-sol pour qu'elles s'infiltrent dans le sol. Ce système se compose de gouttières et de tuyaux de descente recueillant les eaux de ruissellement, d'un bassin collecteur capturant les débris, de tranchées souterraines où s'accumule l'eau tandis qu'elle s'infiltré doucement dans le sol, et d'un point d'observation pour l'entretien. Pendant que les tranchées se remplissent d'eau pendant une tempête, l'eau excédentaire coule sur la surface du sol grâce aux gouttières. Les systèmes d'infiltration et d'emmagasinement dans le sol réduisent les ruissellements, capturent les contaminants éventuels, et augmentent la quantité d'eau qui pénètre dans le sol pour recharger les nappes souterraines¹⁶⁶.
- **La collecte du brouillard** est utile dans les régions arides et semi-arides. Des filets capturent le brouillard (gouttelettes d'eau condensées) lorsque le vent souffle. Les gouttelettes s'écoulent par des gouttières vers un bassin d'emmagasinement¹⁶⁷.
- L'eau dessalée est une source potentielle d'eau dans les zones côtières. **Les usines de dessalement** font subir un traitement thermique à l'eau de mer ou utilisent une technologie employant des membranes pour en faire de l'eau potable¹⁶⁸. Mais le coût élevé de cette technique ne rend son application possible que dans certains cas précis.
- L'eau peut être réutilisée ou **recyclée** en construisant des systèmes qui permettent aux eaux de drainage et même aux eaux usées de réintégrer le système et d'être réutilisées, notamment pour l'irrigation. Le recyclage de l'eau est une bonne option, en particulier pour les petites exploitations. Les eaux sanitaires peuvent également être recyclées pour de l'irrigation à petite échelle. Par exemple, dans certaines exploitations situées au Kenya, l'eau utilisée dans les entrepôts pour laver les fruits sert ensuite à irriguer les cultures. Il faut prendre soin de contrôler la qualité des eaux de drainage et des eaux usées qui sont réutilisées, car une qualité insuffisante peut provoquer une contamination. Il est recommandé de tester les eaux recyclées, et leur traitement peut s'avérer nécessaire pour certains usages.






165 FAO, *Guide pratique d'aménagement des bassins versants*, op. cit.

166 Mechell, J., «Rainwater Harvesting: Soil Storage and Infiltration Systems», The Texas A&M University System, 2005, www.ctahr.hawaii.edu/hawaiirain/Library/papers/Mechell_Justin.pdf.

167 Schemenauer, R. et Cereceda, P., «Global warming and the third world», Fog Collection, *Tiempo*, 1997, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHEMENAUER%20and%20CERECEDA%201997%20Fog%20Collection.pdf.

168 Clayton, R., «A Review of Current Knowledge Desalination for Water Supply», Bucks, Foundation for Water Research, 2011, www.fwr.org/desal.pdf.

Tableau 4 : Résumé des méthodes de captage et de recyclage de l'eau en fonction des différentes sources d'eau. Source des photographies : www.morguefile.com

Sources		Méthodes de captage
Cours d'eau, lacs, réservoirs, etc.		Canaux Pompes Tuyaux Dérivation fluviale
Eaux souterraines		Sources Puits Pompes
Dessalement		Usines de dessalement
Collecte des eaux de pluie		Toits-terrasses, filets à brouillard, barrages de contrôle, etc.
Eau recyclée		Systèmes de drainage, recyclage des eaux sanitaires

L'utilisation combinée de plusieurs sources d'eau constitue le meilleur moyen de garantir un approvisionnement en eau durable et efficace à long terme. Si des eaux de surface et des eaux souterraines sont disponibles et si d'autres systèmes à petite échelle (par exemple, collecte et recyclage de l'eau) peuvent être envisagés, la disponibilité de l'eau peut être plus élevée et mieux assurée. Ceci permet d'assurer un approvisionnement à plus long terme, ainsi que pendant les périodes de stress hydrique.

Cette stratégie devient un élément important de la résistance au changement climatique, de la recharge des nappes phréatiques, de la réduction des incidences environnementales, et du renforcement de l'efficacité agricole¹⁶⁹.

5.6. LES PERFORMANCES DES SYSTÈMES D'IRRIGATION

Les performances des systèmes d'irrigation peuvent être évaluées de deux manières : du point de vue de l'efficacité de l'irrigation (EI), et du point de vue de l'uniformité de la distribution (UR). Si EI et UR sont liées, leur pertinence pour la performance d'un système d'irrigation relève de deux perspectives différentes.

5.6.1. L'efficacité de l'irrigation

Le renforcement de l'efficacité de l'irrigation (EI) est essentiel pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation et le rendement hydraulique. Dans ce manuel, lorsque nous parlons d'efficacité de l'irrigation (EI), nous faisons référence au pourcentage du volume d'eau capté et dirigé vers un système d'irrigation, qui est effectivement utilisé (évalué) par les plantes.

L'efficacité de l'irrigation peut être ramenée à deux facteurs :

- **L'efficacité du transport (ec)** : c'est-à-dire l'efficacité du transport de l'eau de la source au champ. Les facteurs qui influencent l'efficacité du transport sont la longueur des canalisations, la perméabilité du type de sol, l'état et l'entretien des canaux. Dans les grands systèmes d'irrigation, les pertes d'eau sont plus importantes, car les canaux sont plus longs. De la même façon, si les canalisations ne sont pas revêtues de briques ou de plastique, par exemple, le pourcentage des pertes d'eau est plus élevé. Les pertes dans les canalisations dépourvues de revêtement posées sur les sols sablonneux sont plus importantes que dans les mêmes canalisations sur des sols limoneux ou argileux, où l'efficacité peut atteindre 80 à 90 % en fonction de la longueur des canaux. Enfin, si les canalisations ne sont pas correctement entretenues, les pertes d'eau augmenteront d'année en année.
- **L'efficacité d'application de l'irrigation (ea)** : c'est le paramètre qui indique l'efficacité de la distribution de l'eau sur le champ. Les facteurs qui influencent ce paramètre sont principalement la méthode d'irrigation utilisée et la discipline dont l'agriculteur fait preuve tandis qu'il applique cette méthode. L'efficacité d'application, en ce qui concerne les méthodes d'irrigation par gravité, est d'environ 60 %. S'agissant des systèmes d'irrigation par aspersion ou goutte-à-goutte, l'efficacité peut atteindre 75 % et 90 % respectivement¹⁷⁰.

169 Dudley, T. et Fulton, A., *Conjunctive Water Management. What is it? Why consider it? What are the Challenges?*, Red Bluff, U. Ca., 2005.

170 FAO, *Gestion des eaux en irrigation : Calendrier d'irrigation*, op. cit.

- Avec les deux paramètres susmentionnés, l'efficacité de l'irrigation (EI) peut être calculée à l'aide de la formule suivante :

$$IE = \frac{ec \times ea}{100}$$

Si l'efficacité atteint 50 à 60 %, elle peut être considérée comme satisfaisante, toujours en fonction de la méthode d'irrigation et des autres facteurs susmentionnés¹⁷¹.

L'EI dépend principalement des pertes d'eau à toutes les étapes. Lors du transport, de l'eau peut s'évaporer à la surface de l'eau ou percoler dans les nappes souterraines à travers des orifices ou des interstices au niveau des joints qui relient les canalisations. Une fois l'eau distribuée sur le champ, les pertes d'eau résultent de l'évaporation au niveau du sol, de la percolation profonde, et/ou du ruissellement de surface. L'efficacité de l'irrigation n'est jamais égale à 1, parce que certaines pertes d'eau sont inévitables. Cependant, l'efficacité de l'irrigation peut être améliorée grâce à un entretien efficace des canaux, l'utilisation de méthodes d'irrigation efficaces et appropriées, et de bonnes pratiques agricoles. Il importe de comprendre qu'une EI limitée n'implique pas forcément d'importantes pertes d'eau d'irrigation. Une partie de l'eau «perdue» peut être réutilisée ou utilisée pour l'irrigation dans d'autres parties de l'exploitation ou du bassin versant¹⁷².

Le rendement hydraulique d'une irrigation (RHI) est le rapport entre la matière sèche produite et le taux de transpiration. Le **rendement hydraulique** global du système est le rapport entre la quantité d'eau captée et le rendement agricole ou le profit généré. **Le stockage de l'eau joue également un rôle crucial dans l'efficacité de l'irrigation**, la disponibilité de l'eau pouvant en dépendre aux périodes critiques. Connaître la quantité d'eau stockée et les conditions de stockage permet de contrôler la disponibilité de l'eau à court et long terme. Bien souvent, l'efficacité du stockage en réservoirs n'est pas prise en considération dans la conception et la gestion des eaux d'irrigation. De récentes études scientifiques démontrent que l'évaporation peut entraîner une diminution de l'efficacité du stockage en réservoirs, le climat et le modèle du réservoir étant les facteurs déterminants¹⁷³.

Les informations de base nécessaires à la conception de mesures destinées à améliorer l'efficacité de l'irrigation sont notamment :

- le volume de l'eau captée et stockée au fil du temps ;
- les méthodes de stockage et de distribution ;
- la distribution sur le champ ;

171 *Ibid.*

172 ITF, *Irrigation Water Use and Management*, Washington, DC, US Gov't Printing Office, 1979.

173 Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y., *The blue water footprint of electricity from hydropower*, U. Twente, Enschede, Dept Water Engineering and Management, 2012.

- l'infiltration dans le sol ;
- l'évaporation au niveau du sol ;
- la capacité de rétention de l'eau du sol ;
- type de culture ;
- besoins de drainage.

Comme le montre le tableau 5, la fraction d'eau perdue par percolation ou ruissellement dépend de la méthode d'irrigation utilisée. L'efficacité de l'irrigation augmente à mesure que cette fraction diminue.

Tableau 5 : Efficacité de l'irrigation escomptée de quelques systèmes d'irrigation en Californie¹⁷⁴

Système d'irrigation	Efficacité de l'irrigation (%)	Pourcentage de percolation (%)	Pourcentage de ruissellement (%)
Rigoles normales	60	17,5	22,5
Tuyau d'alimentation	67,5	14,2	18,3
Court terme	70	13,3	16,7
Collecte d'eau en aval	73,2	21,3	5,5
Asperseur à déplacement manuel	80	8,75	11,3
Asperseur à déplacement latéral	87,5	5,5	7
Goutte-à-goutte	95	4	1

Chaque système a développé une approche qui lui est propre pour atteindre le meilleur niveau d'efficacité possible. L'expérience et les connaissances accumulées par les agriculteurs et les spécialistes de l'irrigation sont compilées dans des ouvrages spécialisés, qui reprennent quelques « règles de base ». Par exemple, la « règle du quart »¹⁷⁵ applicable à l'irrigation de surface. Dans l'irrigation par rigoles, le débit du courant d'eau devrait être tel que l'eau couvre la totalité du champ au bout du quart du temps nécessaire à l'infiltration d'une quantité d'eau suffisante dans la zone radiculaire. Le temps nécessaire à l'infiltration d'une certaine quantité d'eau est appelé le « temps de contact ».

S'agissant des installations de stockage des eaux, du transport et de la distribution sur le champ, un bon entretien est essentiel pour assurer un niveau élevé

174 California SWRCB 1987, Regulation of Agricultural Drainage to the San Joaquin River: Executive Summary. California State Water Resources Control Board. Doc. n° WQ-85-1.

175 FAO, « Gestion des eaux en irrigation », manuel de formation n° 7, *Canaux*, Rome, FAO, 1992, <ftp.fao.org/agl/aglw/fwm/Manual7.pdf>.

d'efficacité. Dans l'irrigation de surface, les rigoles, les planches et les digues doivent être correctement construites et entretenues. Dans les systèmes d'irrigation sous pression, les asperseurs ou les goutteurs doivent être bien entretenus, car ils s'abîment facilement.

Des techniques modernes, comme le nivellement au laser, la micro-irrigation, et les pratiques agronomiques améliorées pour le drainage ou les canalisations, permettent d'éviter des problèmes comme l'érosion ou l'assèchement des nappes phréatiques. Par ailleurs, les technologies de l'information (TI) peuvent contribuer à améliorer le rendement hydraulique et la gestion des terres, en utilisant des logiciels de calcul des besoins en eau des cultures combinés aux SIG (systèmes d'information géographique). Une meilleure gestion des terres, de l'eau et des cultures accroît leur productivité et améliore l'efficacité de l'irrigation.

5.6.2. L'uniformité de la distribution

L'uniformité de la distribution (UD) indique la mesure dans laquelle l'eau s'infiltré uniformément dans le sol au cours de l'irrigation. L'uniformité de la distribution peut être calculée comme une mesure des performances de l'irrigation. Sa valeur oscille entre 100 % et 0 % (en théorie). Elle correspond au rapport entre le volume moyen d'irrigation et la zone la plus sèche du champ, divisé par le volume moyen appliqué à la totalité du champ. Si l'UD est élevée, la quantité d'eau qui percole sous la zone racinaire (percolation profonde) est réduite au minimum.

5.6.2.1. UD des systèmes d'irrigation sous pression

Pour calculer l'UD dans un champ, des échantillons doivent être prélevés au cours de l'irrigation. Par exemple, en présence d'un système d'irrigation par aspersion, des bidons peuvent être placés en quadrillage pour collecter l'eau émise par les goutteurs. Après que l'eau a été distribuée, la quantité d'eau récoltée dans les divers bidons peut être mesurée (en mm) et la zone la plus sèche peut être déterminée.

À titre d'exemple, 8 bidons ont été placés dans un champ et les mesures de la quantité d'eau dans les bidons sont reportées dans le tableau 6 ci-dessous.

Tableau 6 : Exemple d'échantillonnage (en mm) dans un système d'irrigation par aspersion visant à déterminer l'uniformité de la distribution sur le champ

Bidon 1	Bidon 2	Bidon 3	Bidon 4	Bidon 5	Bidon 6	Bidon 7	Bidon 8
2	5	20	6	15	12	13	15

Le bidon 1 et le bidon 2 sont les moins remplis (2 et 5 mm d'eau, respectivement). La moyenne pour la zone la moins irriguée est donc de 3,5 mm. La moyenne totale est de 11 mm. Cela signifie que l'UD = $3.5/11 \times 100 \%$ = 32 %. Cette UD est très faible par rapport à l'UD habituelle des différents types d'irrigation par aspersion (voir tableau 7) et le rendement serait probablement irrégulier d'un bout à l'autre du champ. Il est possible d'améliorer l'UD en positionnant mieux les asperseurs sur le champ et en veillant à ce que le débit et la pression dynamique dans le système soient suffisamment élevés pour que l'eau atteigne les asperseurs les plus éloignés.

Enfin, il est possible d'améliorer l'UD en vérifiant régulièrement s'il y a des fuites et en remplaçant les pièces défectueuses.

Tableau 7 : Niveaux d'UD de différents systèmes d'irrigation, réalisables conformément aux spécifications techniques du système, sur la base des données historiques selon www.irrigation.org (* obtenu en soustrayant 20 %)

Système	UD possible	UD réelle
Asperseurs rotatifs	75-85 %	55-65 %
Asperseurs vaporisateurs	65-75 %	45-55 %
Canon et asperseurs fixes	85 %	65 %
Asperseurs avec pivot central	90 %	70 %
Micro-asperseurs et jauges	95 %	75 %

5.6.2.2. UD des systèmes d'irrigation par gravité

Calculer le paramètre d'avancement est un moyen simple de déterminer l'uniformité de la distribution dans les systèmes d'irrigation par gravité (irrigation par submersion, par cuvettes et par rigoles) (Hanson, 2011)¹⁷⁶. Le paramètre d'avancement est le rapport entre la durée d'irrigation et la durée de progression. La durée d'irrigation correspond au temps total nécessaire pour irriguer un champ. La durée de progression est calculée à partir du moment où l'irrigation est enclenchée jusqu'au moment où l'eau atteint l'autre bout du champ. Par exemple, si l'irrigation et la progression ont respectivement une durée totale de 2 heures et de 45 minutes, le paramètre d'avancement vaut $120/45 = 2,7$. Dans l'hypothèse où le sol est sablonneux, le tableau 8 nous indique que l'UD correspondante devrait osciller entre 80 et 85 %. Si l'UD est inférieure à 70 %, elle est jugée médiocre. L'UD dans notre exemple est donc satisfaisante. Pour améliorer l'UD dans les systèmes d'irrigation par gravité, des pratiques telles que le nivellement du sol au laser peuvent être employées.

Tableau 8 : Paramètre d'avancement et uniformité de la distribution (UD) connexe dans les sols sablonneux, limoneux/argileux¹⁷⁷

Paramètre d'avancement	UD sable	UD limon/argile
1-1,5	Moins de 65 %	Moins de 70 %
1,5-2	75-80 %	80-85 %
2,5-3	80-85 %	Au moins 90 %
4	> 90 %	

176 Hanson, B., «A simple way to estimate the distribution uniformity in furrow irrigation systems», U. Ca., 2011, extrait le 8 décembre 2015 de cetulare.ucanr.edu/files/82038.pdf.

177 *Ibid.*

Chapitre 6

Gestion de l'irrigation

6.1. Qu'est-ce que la gestion de l'irrigation?	114
6.2. Les mesures pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation	114
6.3. La gestion des eaux drainées	125
6.4. Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation	127
6.5. Les mesures d'atténuation des incidences sociales	129

6.1. QU'EST-CE QUE LA GESTION DE L'IRRIGATION ?

6.1.1. Aperçu

Le chapitre 5 nous a présenté différents types de système d'irrigation, avec leurs conceptions et leurs modèles, ainsi que les critères utilisés pour choisir le meilleur système et la meilleure technologie d'irrigation. Une fois mis en place, le système d'irrigation doit être géré. La gestion de l'irrigation doit viser à utiliser l'eau de la manière la plus efficace possible, tout en s'employant à économiser l'énergie et à réduire au minimum la pollution et les autres incidences environnementales et sociales négatives. La bonne gestion doit être appliquée à toutes les étapes du système: du point de prélèvement ou de la station de pompage, du système de transport et du système de distribution au système d'application au champ et au drainage¹⁷⁸. Un système d'irrigation bien conçu et bien géré réduit les pertes d'eau par évaporation, par percolation profonde et par ruissellement, tout en limitant l'érosion due à l'eau d'irrigation appliquée.

Ce chapitre présente de façon pratique la gestion de l'irrigation en fournissant au lecteur les principales informations à prendre en considération en vue d'une gestion optimale du système d'irrigation pour :

- réduire au minimum les pertes d'eau ;
- accroître au maximum les rendements avec l'eau disponible ;
- gérer les eaux drainées ;
- réduire au minimum les incidences négatives sur les écosystèmes ;
- réduire au minimum les incidences sociales négatives.

Les mesures visant à une utilisation efficace de l'eau dans l'irrigation et le drainage sont décrites aux chapitres 6.2 et 6.3. Des mesures de réduction des incidences environnementales et sociales sont présentées aux chapitres 6.4 et 6.5. Il est conseillé au lecteur de compléter les informations présentées dans le présent chapitre par le manuel n° 9 du COLEACP (*Produire de façon durable et responsable*) qui apporte des informations supplémentaires sur la conservation des sols et des eaux.

6.2. LES MESURES POUR UNE UTILISATION EFFICACE DE L'EAU D'IRRIGATION

6.2.1. La notion de conservation de l'eau

La conservation de l'eau se définit comme toute réduction bénéfique de l'utilisation, des pertes ou du gaspillage de l'eau. En d'autres termes, cette notion fait référence à une amélioration de la gestion de l'eau et des pratiques agricoles qui optimise l'utilisation des ressources en eau et profite, en fin de compte, à la population et à l'environnement¹⁷⁹. La question de la conservation des eaux agricoles concerne

178 FAO, «Irrigation water management», Training manual No. 1, *Introduction to Irrigation*, Rome, FAO, 1985, www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e00.htm.

179 Alberta Water Council, «Water conservation», 2015, www.waterforlife.alberta.ca/01549.html.

à la fois l'exploitation agricole et le bassin versant. Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les efforts consentis pour la conservation de l'eau sont coordonnés aux deux niveaux.

Il est important de comprendre pourquoi la conservation de l'eau est si importante pour la gestion de l'irrigation. La conservation de l'eau ne vise pas seulement à protéger les ressources en eau d'un point de vue environnemental, elle concerne également la réduction des risques physiques, sociaux et économiques liés à l'eau. Dans ce chapitre, nous présentons les mesures les plus courantes et les plus facilement réalisables pour la conservation de l'eau pendant l'irrigation.

Dans un système d'irrigation, la conservation de l'eau peut être poursuivie par :

- la réduction des pertes pendant l'adduction et le transport de l'eau d'irrigation ;
- un calendrier optimal des apports d'eau d'irrigation grâce à la planification de celle-ci ;
- la réduction au minimum des besoins d'irrigation par l'amélioration des pratiques agricoles.

6.2.2. L'efficacité du transport de l'eau d'irrigation

Nous rappelons au lecteur qu'il existe plusieurs types d'efficacité de l'irrigation, notamment l'efficacité de l'adduction (distribution de l'eau de la source à l'exploitation), et l'efficacité de l'application sur le champ (sur l'exploitation ; le rapport entre l'eau utilisée et l'eau répandue sur le champ). L'objectif est de réduire le plus possible les pertes d'eau et d'augmenter au maximum les rendements en faisant le meilleur usage de l'eau disponible. Les pertes d'eau sont définies par le fait que les zones racinaires des plantes ne sont pas atteintes par la totalité de l'eau prélevée à la source (rivière, lac, eau souterraine ou réservoir). Les pertes d'eau sont inévitables, mais elles peuvent être limitées grâce au bon fonctionnement et au bon entretien du système d'irrigation ainsi qu'à la bonne gestion de l'eau d'irrigation.

Les pertes pendant le transport peuvent représenter 50 % de l'eau d'irrigation ou plus dans les canaux à ciel ouvert longs et sans revêtement, selon le type de sol des canaux. Les pertes dans les canaux à ciel ouvert dépourvus de revêtement sont dues à l'infiltration, à la percolation, à l'écoulement, aux débordements et à l'évaporation. Deux problèmes sont générés par les pertes pendant le transport :

1. l'eau perdue n'est plus disponible dans la rivière pour approvisionner son écosystème ; elle n'est pas non plus utilisée pour la production de cultures ;
2. l'exploitant doit payer le coût total de l'eau extraite et transportée (énergie, infrastructure), alors qu'il n'utilise qu'une partie de l'eau.

L'eau perdue pour la production de cultures peut retourner dans l'écosystème par percolation ou infiltration dans le sol en rechargeant ainsi les sources d'eaux souterraines. Une autre partie de l'eau disparaît complètement par évaporation.

Un moyen de limiter ces types de perte consiste à passer d'un système de canaux à ciel ouvert à un réseau de conduites. Cependant, ce changement doit préalablement faire l'objet d'une évaluation complète, car il peut avoir une incidence sur la vie

sauvage et les moyens de subsistance en raison de la perte de zones humides favorables à la vie sauvage et de la réduction de l'accès à l'eau pour le bétail et les autres utilisateurs¹⁸⁰. Une évaluation des incidences sur l'environnement peut être exigée avant la transformation en réseau de conduites.

Dans les canaux à ciel ouvert, la bonne gestion et l'efficacité de l'entretien sont essentiels au bon rendement du système. Les canaux d'irrigation fonctionnent bien tant qu'ils sont propres et qu'ils ne fuient pas. Si l'entretien est négligé, des plantes peuvent se développer et les sédiments s'accumuler, ce qui augmente les écoulements et les débordements, réduisant ainsi le débit. Les canaux peuvent aussi être affectés par des fuites, notamment celles dues aux racines des arbres qui ouvrent le sol compacté des berges des canaux. Après chaque saison de production agricole, il est important d'inspecter les canaux pour déterminer les éventuelles opérations d'entretien nécessaires. L'inspection consiste à rechercher les plantes, la vase et les débris qui doivent être éliminés dans le canal ; les brèches, trous et autres fuites qui doivent être réparés, et les sections érodées qui doivent être reconstituées. Les abords des canaux doivent également être inspectés pour détecter les eaux stagnantes (dues aux pertes fuites provenant des canaux), et les fuites qui diminuent la perméabilité des berges du canal doivent être réparées. En outre, la forme originale de la section du canal doit être conservée intacte. Cette opération ne peut être réalisée qu'avec un cadre ou un gabarit de bois ayant les mêmes dimensions que les dimensions originales de conception de la section du canal¹⁸¹.

Si plusieurs agriculteurs sont desservis par un même canal d'irrigation, ils peuvent former un groupe d'utilisateurs de l'eau d'irrigation. Ce groupe peut faciliter le partage des responsabilités et des travaux d'inspection, d'entretien et de réparation des canaux (figure 1).

180 EPA, « National Management measures to control nonpoint source pollution from agriculture. Irrigation water management », Washington D.C, 2003, water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture/upload/2003_09_24_NPS_agmm_chap4f.pdf.

181 FAO, « Irrigation water management », Training manual No. 7. *Canals*, Rome, FAO, 1992, ftp.fao.org/docrep/fao/010/ai585e/ai585e03.pdf.



Figure 1 - Agriculteurs de Kunduz en train de désenvaser le système d'irrigation du district de Char Dara dans le nord de l'Afghanistan
Source : RAMP, Afghanistan, Susan Decamp¹⁸²

6.2.3. La planification de l'irrigation

Il est essentiel de planifier correctement l'irrigation pour améliorer le rendement hydraulique à l'échelle de l'exploitation. Dans les grandes lignes, la planification de l'irrigation fait référence à la prise en compte quotidienne du budget de l'eau au champ (ou du bilan hydrique du sol), et à la détermination et au contrôle du rythme, de la quantité et du calendrier des apports d'eau d'irrigation de façon planifiée et efficiente.¹⁸³ L'objectif est de déterminer et d'appliquer uniquement et entièrement la quantité d'eau dont les cultures ont besoin pour atteindre une croissance optimale, avec des applications contrôlées et programmées dans le temps (figure 2).

Pour savoir si une culture a besoin d'irrigation et déterminer combien et quand elle en a besoin, nous devons évaluer si la teneur en eau du sol est telle que la réserve en eau facilement utilisable (RFU) est épuisée et que les cultures commencent à souffrir de stress hydrique. Le point de flétrissement permanent est utilisé pour estimer ce phénomène. L'irrigation (I) est supposée nulle jusqu'à ce que le point de flétrissement permanent atteigne le niveau de la RFU. Si le point de flétrissement atteint la RFU, on procède à l'irrigation avec le volume d'eau nécessaire pour faire remonter la teneur en eau du sol de la RFU à la capacité au champ, et donc parvenir à un point de flétrissement égal à zéro (voir figure 2).

182 USAID, «Rehabilitation of irrigation systems in Afghanistan», 2015, www.usaid.gov/results-data/success-stories/rehabilitation-irrigation-systems-afghanistan.

183 EPA, «National Management measures to control nonpoint source pollution from agriculture. Irrigation water management», *op. cit.*

Une mauvaise planification de l'irrigation peut entraîner un apport d'eau insuffisant pour les cultures, ou un apport réalisé au mauvais moment, ce qui peut entraîner une sous-irrigation. L'irrigation excessive se produit lorsque la quantité d'eau apportée est excédentaire, ou que cette quantité d'eau est apportée trop tôt. La sous-irrigation et l'irrigation excessive entraînent une réduction des rendements, une baisse de la qualité des cultures, et une utilisation inefficace des nutriments et des pesticides.

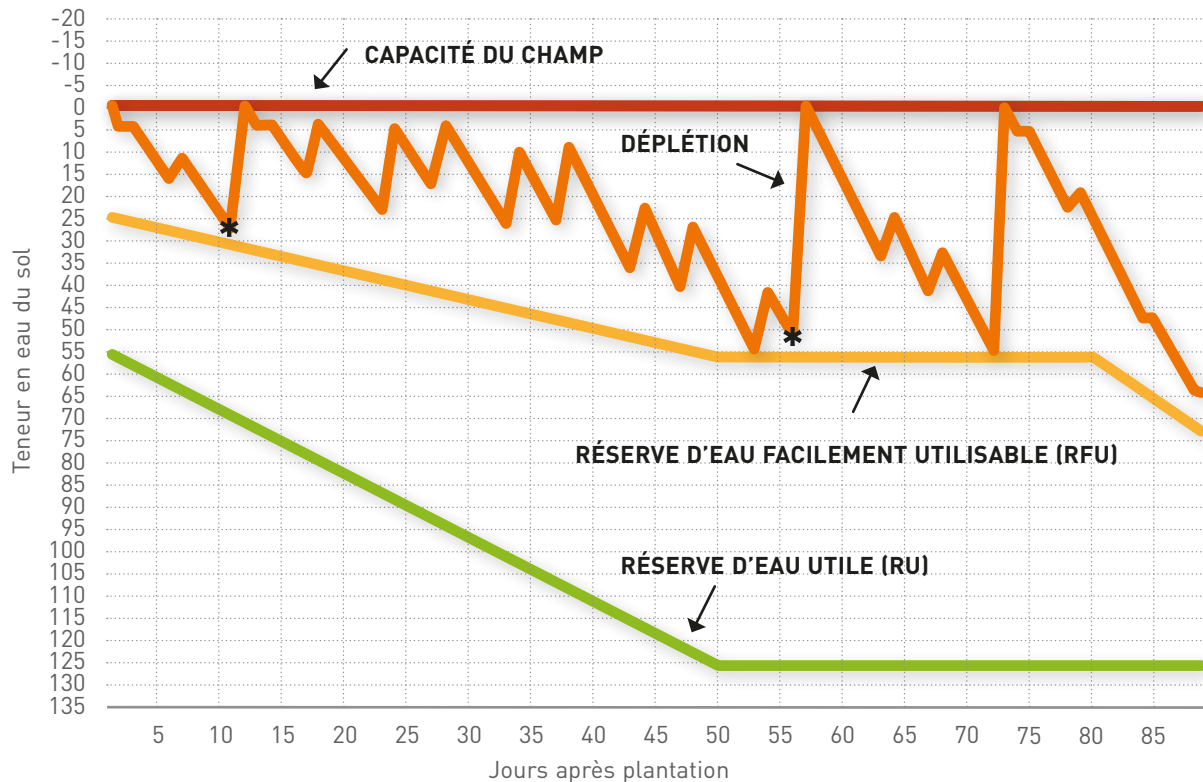


Figure 2 - Graphique de planification de l'irrigation montrant la capacité au champ, la réserve utile d'eau (RU, ligne verte), et la réserve d'eau facilement utilisable (RFU, ligne brune) ainsi que la réduction de la teneur en humidité du sol (ligne rouge) au cours de la saison culturale. L'irrigation est mise en place au point où la déplétion de l'humidité atteint la RFU (signalé par *)

(Source : CROPWAT irrigation schedule for Green beans in Taita Taveta Kenya, GSI, 2015)

La figure 2 montre que pour garantir une planification appropriée de l'irrigation, les informations minimales dont l'exploitant a besoin sont les suivantes :

- la capacité au champ du sol ;
- la réserve facilement utilisable pour les différentes étapes de croissance de la plante ;
- la déplétion de l'humidité du sol pendant la saison culturale.

6.2.3.1. Aperçu des méthodes de planification de l'irrigation

L'essentiel de la planification de l'irrigation est de **déterminer le moment où les cultures ont besoin d'eau et la quantité qui leur est nécessaire**. Il existe plusieurs méthodes et outils pour s'y retrouver, qui vont du suivi direct de l'humidité du sol et des plantes, aux calculs du bilan hydrique du sol et à la planification à l'aide de modèles de simulation¹⁸⁴. Toutes ces méthodes permettent de **mesurer la consommation d'eau par les cultures** et la teneur en eau du sol. Elles peuvent être classées en trois types :

- **La méthode observationnelle**, fondée sur une simple appréciation visuelle et tactile. Lors des visites au champ, il est possible d'évaluer, sur la base de l'expérience personnelle, l'état de stress des plantes et l'humidité du sol. Cette méthode ne nécessite ni équipement ni moyens techniques, elle est bon marché et facile. Elle présente toutefois l'inconvénient que les observations ne sont généralement pas très précises et qu'elles doivent être pondérées par l'application d'une marge d'erreur assez large. En plus de cela, quand les plantes présentent des signes de stress hydrique, il se peut que ce soit parce que l'eau d'irrigation n'a pas été distribuée pendant une trop longue période, ce qui peut donner lieu à des pertes de rendement. La combinaison de l'observation des plantes avec une évaluation du sol à l'aide d'une bêche ou d'une sonde manuelle selon la méthode « sensorielle », pour estimer la teneur en humidité du sol dans la zone racinaire, aide à décider du meilleur moment pour apporter l'eau d'irrigation, avant même que les plantes ne présentent des symptômes de stress hydrique.
- **La mesure de la teneur en humidité du sol** à l'aide d'équipements spécialisés prévus à cet effet. Cette pratique est fréquemment utilisée dans la planification de l'irrigation, parce que le suivi quotidien de l'humidité du sol permet de déterminer la quantité d'eau d'irrigation à apporter et le moment où l'apport doit être effectué.
- **La modélisation du point de flétrissement permanent** pendant la saison culturale à l'aide du bilan hydrique du sol (figure 2). Cette méthode s'appuie sur l'estimation des pertes d'eau quotidiennes par évapotranspiration (ET) du sol pour déterminer les besoins en eau d'irrigation. L'idée est d'apporter un volume net équivalent aux pertes par ET accumulées depuis la dernière irrigation (le volume net équivalent signifie qu'on tient compte de l'efficacité de l'irrigation sur l'exploitation). La zone racinaire est ensuite rechargée jusqu'à la capacité au champ. Ces méthodes requièrent une gestion précise des données ainsi que des informations d'entrée précises concernant les précipitations, les cultures et le sol. Elles requièrent également que l'exploitant connaisse le niveau de déplétion associé au seuil de rendement, en dessous duquel les cultures sont affectées par le stress hydrique (et en dessous duquel le rendement diminue). Ce niveau est utilisé pour déclencher l'irrigation. Le tableau 1 présente un résumé des méthodes de mesure de l'humidité du sol et des méthodes de planification de l'irrigation.



Figure 3 - Tensiometre
Source : www.specmeters.com



Figure 4 - Sonde TDR
(Source : www.specmeters.com)

Tableau 1 : Différentes méthodes de mesure de l'humidité du sol et de planification de l'irrigation. *Source : Broner, 2005*

Méthode	Paramètre mesuré	Équipement nécessaire	Critère d'irrigation	Avantages	Inconvénients
Sensation tactile et apparence du sol	Teneur en humidité du sol grâce aux sensations tactiles	Sondage manuel	Point de flétrissement permanent en % de la capacité au champ (CC), l'irrigation représente jusqu'à 100 % de la CC	Utilisation facile ; simple, la précision s'améliore avec l'expérience	Faible précision ; travail de terrain nécessaire pour prélever les échantillons
Méthode gravimétrique par prélèvement d'échantillons pour déterminer l'humidité du sol	Teneur en humidité du sol par prélèvement d'échantillons	Vis sans fin, capsules, four. Échelles de précision	Teneur en humidité du sol en poids (grammes)	Grande précision.	Charge de travail importante, notamment sur le terrain ; intervalle de temps entre le prélèvement des échantillons et les résultats
Tensiomètre	Potentiel hydrique	Tensiomètres avec manomètre à vide	Potentiel hydrique en centibars (cbars, 1-100) Les valeurs qui déclenchent l'irrigation dépendent de la texture/structure et varient de 30 cbar (sols grossiers) à 40-80 cbar (sols moyens) et à 50-150 cb pour les sols fins	Bonne précision ; lecture instantanée du potentiel hydrique	Travail pour la lecture ; entretien nécessaire ; la colonne d'eau se rompt lorsque la tension dépasse 0,7 atm ou 0,8 bar
Sondes TDR	Constante diélectrique du sol grâce au suivi de la durée de parcours d'une impulsion électromagnétique sur une distance définie	Sonde TDR avec afficheur et/ou enregistreur de données	Humidité volumétrique du sol en % de volume	Lecture instantanée, connexion possible au GPS, enregistreurs de données	Influencée par la salinité des sols ; équipement relativement onéreux

Blocs de résistance électrique (blocs de gypse)	Résistance électrique de l'humidité du sol. Plus le sol est sec, plus la résistance est élevée	Pont de mesure en courant alternatif avec blocs de résistance	Potentiel hydrique. Voir les tensiomètres pour le déclenchement de l'irrigation	Lecture instantanée; fonctionne sur de grandes plages de tensions; utilisable pour la lecture à distance	Influencée par la salinité des sols; non sensible à des tensions faibles; nécessite de l'entretien et une lecture sur le terrain
Point de flétrissement permanent à l'aide du modèle Cropwat (FAO, 2010a)	Paramètres climatiques: température, radiations, vent, humidité et précipitations prévues, selon le modèle utilisé pour prédire l'ET	Station météorologique ou informations météorologiques disponibles	Estimation de la réduction de l'humidité du sol au niveau de la zone racinaire en mm, si la déplétion de la zone racinaire s'approche d'un niveau critique, l'irrigation doit être activée	Aucun travail de terrain nécessaire; flexible; peut prévoir les besoins d'irrigation dans le futur; possibilité de planifier de nombreux champs avec le même équipement	Nécessite des étalonnages et des ajustements périodiques, car ce n'est qu'une estimation; calculs fastidieux sans ordinateur

6.2.3.2. Le modèle CROPWAT de la FAO

Le modèle **Cropwat** de la FAO¹⁸⁵ est un modèle informatique qui établit quotidiennement le bilan hydrique du sol à l'aide de données sur le climat, la culture, le sol et l'irrigation. Il possède une série d'options que l'utilisateur peut configurer. L'utilisateur peut configurer les critères afin de déterminer le meilleur moment pour irriguer, par exemple lorsque le niveau critique de déplétion est atteint (lié au niveau du seuil de rendement décrit précédemment). Ce modèle peut être téléchargé gratuitement et fonctionne sur PC avec Windows. Il comprend une base de données regroupant les informations sur les cultures et le sol, qui peut être utilisée par défaut si aucune information locale n'est disponible. En outre, les données climatiques provenant de la base de données **Climwat** de la FAO¹⁸⁶ peuvent être chargées dans le modèle. Les données **Climwat** peuvent aussi être téléchargées gratuitement. **Cropwat** requiert un certain niveau de compétence en informatique et en gestion de feuilles de calcul, mais ne représente aucune difficulté pour les techniciens.

Cropwat est un outil pratique de planification de l'irrigation (voir également la figure 2 qui présente un graphique de planification d'irrigation tiré de **Cropwat**). Idéalement, les résultats obtenus avec cet outil devraient être validés, au moins par une simple inspection visuelle des plantes et du sol. Le site web de la FAO fournit un manuel complet, le progiciel d'installation, ainsi qu'un exemple d'utilisation de **Cropwat** 8.0. (Voir www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html).

185 FAO, « CROPWAT model », 2010, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.

186 FAO, « CLIMWAT model », 2010, www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html.

6.2.3.3. Planification de l'irrigation déficitaire

La planification de l'irrigation peut être mise en place avec pour objectif de couvrir l'ensemble des besoins d'eau des cultures, ou alors elle peut être conçue pour assurer l'utilisation optimale de l'eau par les cultures. Dans cette dernière solution, la quantité d'eau effectivement apportée peut quelquefois être inférieure à la quantité nécessaire pour satisfaire complètement les besoins des cultures ; cette méthode est appelée l'irrigation déficitaire. Avec l'irrigation déficitaire, la culture est exposée à un certain niveau de stress hydrique à un stade particulier de sa croissance ou tout au long de la saison culturale. La planification de l'irrigation déficitaire permet à l'exploitant d'optimiser l'utilisation de l'eau disponible pour différentes cultures ou parcelles, particulièrement lorsque les quantités d'eau disponibles sont limitées. Le principal objectif de l'irrigation déficitaire est de limiter l'irrigation le plus possible sans que cela n'affecte trop fortement les rendements. Même si on enregistre de petites baisses de rendement dans une parcelle, celles-ci peuvent être compensées par les gains obtenus grâce au détournement de l'eau vers d'autres cultures ou parcelles (FAO, 2000). Au moment de la planification de l'irrigation déficitaire, il est essentiel que l'exploitant connaisse bien les réponses du rendement des cultures au stress hydrique. Ces réponses dépendent de la culture. De nombreuses publications abordent les coefficients de réponse du rendement des cultures, qui sont représentés mathématiquement par une constante appelée k_y (ou coefficient de réponse du rendement k_y). Le coefficient de réponse du rendement (k_y) décrit bien la nature des liens complexes qui existent entre la production et l'utilisation d'eau d'une culture, où de nombreux processus biologiques, physiques et chimiques entrent en jeu. Ce lien s'est révélé remarquablement pertinent et a permis la mise en place d'une procédure applicable pour quantifier les effets des déficits hydriques sur le rendement¹⁸⁷. Allen *et al.*¹⁸⁸ proposent une bonne base de données de valeurs de k_y . La planification de l'irrigation déficitaire peut également être assurée par le modèle Cropwat.

6.2.3.4. Innovation technologique : l'irrigation intelligente

L'irrigation intelligente fait référence aux technologies qui peuvent aider les exploitants à déterminer avec plus de précision quand leurs cultures ont besoin d'eau et combien d'eau doit être apportée. Ces technologies utilisent les données climatiques produites en temps réel par les stations météorologiques locales, qui sont ensuite transmises à l'exploitant, à l'aide d'un logiciel, via des applications sur smartphone ou des SMS. Ce système permet aux exploitants d'accéder facilement aux données lorsqu'ils sont sur le terrain, et de recevoir des alertes leur permettant d'irriguer en connaissance de cause¹⁸⁹. Dans un programme d'irrigation mis en œuvre en Ouganda, ces technologies organisent le travail quotidien des exploitants ; chaque matin, ils reçoivent par SMS les prévisions météorologiques qui les aident à décider

187 FAO, «Agricultural Drainage water management in Arid and Semi-arid areas», FAO Irrigation and Drainage paper 61, Rome, FAO, 2002.

188 Allen, R., Pereira, L., Raes, D. et Smith, M., «Crop Evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)», FAO irrigation and drainage paper n° 56, Rome, FAO, 1998.

189 SAI, «Water conservation technical briefs», TB-6. Irrigation scheduling, SAI platform, 2010, www.saiplatform.org/uploads/Library/Technical%20Brief%206.%20Irrigation%20Scheduling.pdf.

s'ils vont irriguer. L'irrigation intelligente utilise les appareils d'enregistrement de l'humidité du sol, de la température et de la conductivité électrique, qui transmettent à l'exploitant les informations sur la parcelle enregistrées par les capteurs, avec les informations climatiques.

Les exploitants peuvent modifier leurs plans d'irrigation en temps réel, ce qui leur permet d'économiser de l'eau et de limiter les déplacements chronophages sur le terrain (Conservation Gateway, 2015)¹⁹⁰. Des exemples de systèmes de planification d'irrigation intelligente sont présentés sur le site www.sswm.info/content/automatic-irrigation.

6.2.4. Les pratiques qui réduisent les besoins d'irrigation

Les besoins d'irrigation diminueront lorsque les exploitations agricoles utiliseront des pratiques qui augmenteront la capacité du sol à retenir l'humidité (capacité de rétention de l'humidité du sol) et/ou réduiront l'évaporation des cultures. Ces pratiques incluent le travail de conservation du sol, les cultures de couverture, les rotations des cultures, les haies brise-vent, et d'autres mesures de contrôle de l'érosion éolienne. Le tableau 2 présente un résumé de ces pratiques.

Tableau 2 : Pratiques agricoles de conservation de l'eau au champ afin de réduire les besoins d'irrigation (Source : GSI d'après MDA, 2014).

Pratique	Définition	Bénéfices pour l'eau
Travail de conservation du sol	Toute méthode de travail du sol qui laisse dans le champ les résidus de culture de l'année précédente avant et après la plantation de la culture suivante ; ceci réduit l'érosion du sol et le ruissellement.	<ul style="list-style-type: none"> • Il réduit l'évaporation à la surface du sol • Il réduit le ruissellement en permettant à l'eau de s'infiltrer plus facilement grâce à la couche de matière organique supplémentaire. • Il réduit l'érosion du sol de 60 à 90 % • Il améliore la rétention d'eau par le sol
Les cultures de couverture	Des graminées, des légumineuses ou des plantes herbacées sont plantées pour couvrir le sol sur les terres cultivées pendant la saison où le sol serait autrement laissé nu. Elles sont les plus adaptées aux zones où le sol dispose d'une grande quantité d'eau disponible, tant pour la culture de couverture que pour la culture principale. Elles sont également appelées « paillis vivants ».	<ul style="list-style-type: none"> • Cela aide le sol à retenir l'humidité pour les cultures principales • Cela réduit l'évaporation du sol • Cela réduit l'érosion du sol • Cela réduit le ruissellement • Cela protège la qualité des eaux souterraines en empêchant le lessivage de l'azote • Cela augmente la teneur en carbone du sol et ainsi la capacité de rétention de l'humidité du sol

190 Conservation Gateway, « Nature's value: water conservation through agricultural practices », 2015, www.conservationgateway.org/ConservationPractices/EcosystemServices/NaturesValues/NaturesValuesWaterConservationThroughAgriculturalPractices/Pages/nature's-values-water-con.aspx#.

Les rotations de cultures de conservation	Système ou production de plusieurs cultures différentes dans un ordre planifié sur une même parcelle, comportant au moins une culture de conservation du sol du type cultures fourragères pérennes.	<ul style="list-style-type: none"> • Les cultures permettant la conservation du sol réduisent les risques d'érosion du sol et de ruissellement. • La structure du sol se trouve améliorée, il y a augmentation de la teneur en carbone et une meilleure capacité de rétention de l'humidité du sol
Les haies brise-vent	Ce sont des plantations/des arbustes en ligne prévus pour réduire la vitesse du vent dans les champs, empêcher l'érosion du sol et protéger les cultures adjacentes des dommages du vent.	<ul style="list-style-type: none"> • Réduction de l'ET des cultures grâce à la réduction de la vitesse du vent et la création de microclimats (augmentation de l'humidité et réduction de la température) • Réduction des pertes d'irrigation grâce à la réduction de la vitesse du vent et au maintien de l'eau aspergée sur les surfaces ciblées.

6.3. LA GESTION DES EAUX DRAINÉES

6.3.1. Aperçu

L'objectif du drainage est de créer un milieu racinaire adapté à la croissance des plantes. Le drainage vise également à avoir un sol suffisamment aéré et à gérer la teneur en sels dans la zone racinaire. La gestion des eaux de drainage fait partie intégrante de la gestion de l'irrigation, car la bonne gestion du drainage accroît l'efficacité de l'utilisation de l'eau et réduit la pollution. La gestion du drainage est aussi importante dans les zones arides que dans les zones humides. Dans les zones arides, le drainage peut être nécessaire pour empêcher l'accumulation de sels dans la zone racinaire et prévenir la hausse du niveau de nappe. Dans ces zones, l'eau est souvent apportée en excès pour prévenir le dépôt de sels. Ce besoin d'eau supplémentaire est appelé «besoin de lessivage». Dans les zones humides, les systèmes de drainage jouent un rôle important dans la gestion des niveaux de nappes élevés ou des inondations.

L'eau de drainage contient potentiellement des concentrations élevées de fertilisants, d'éléments traces toxiques, de sédiments (qui transportent généralement des pesticides), de sels et d'agents pathogènes. Pour assurer la qualité de l'eau, il est donc important de prêter attention à cette question. Parmi les bonnes pratiques de gestion des eaux de drainage (EPA, 2003), on peut citer :

- **la gestion du niveau de nappe**: limitation de l'écoulement d'eau par un drain souterrain permettant de faire remonter (et de contrôler) le niveau de la nappe (voir l'illustration 3). Cette solution peut être mise en œuvre à l'aide d'une pompe qui draine l'eau lentement et sans interruption. Parvenir à un niveau de nappe plus élevé au champ présente deux avantages: d'une part, l'eau peut remonter la colonne de sol par capillarité et ainsi aider à répondre aux besoins d'eau pour la transpiration de la plante et accroître l'efficacité; et d'autre part, la dénitrification est améliorée et le lessivage des nitrates se trouve ainsi réduit (FAO, 1997)¹⁹¹.

191 FAO, *Management of agricultural drainage water quality*, Water reports 13, Rome, FAO, 1997, www.fao.org/docrep/w7224e/w7224e00.htm#Contents.

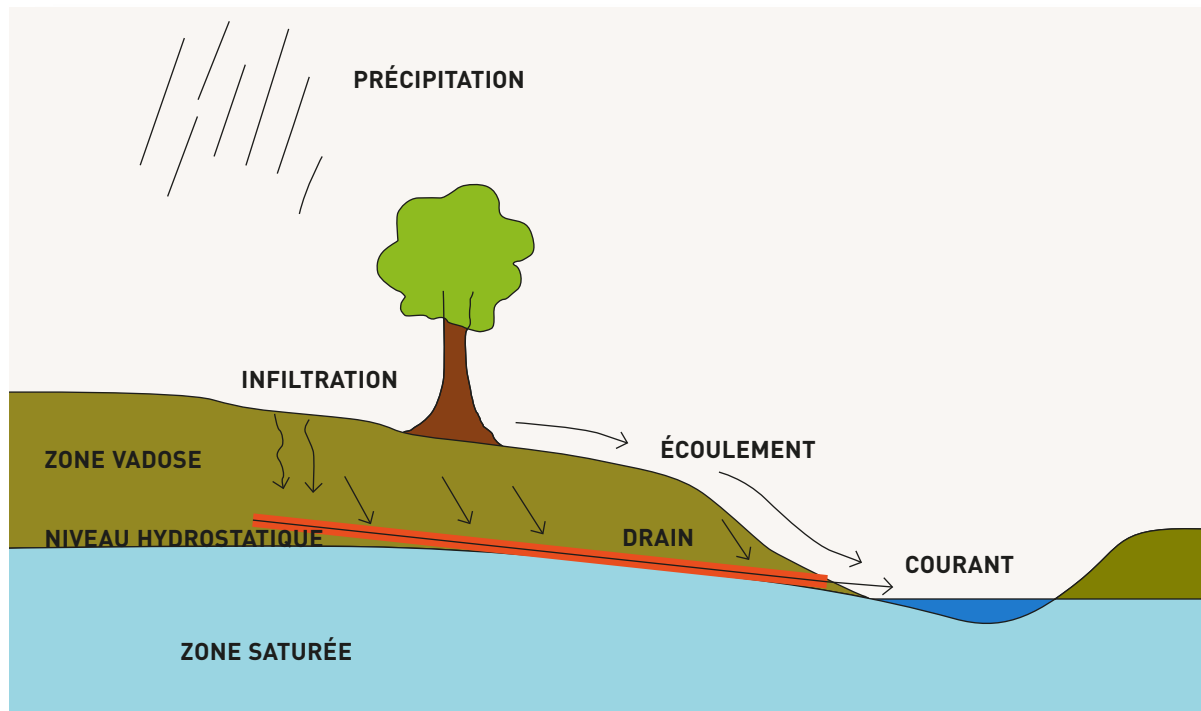


Figure 3 - Un drain (en rouge) est installé dans le sol sous le niveau de la nappe pour gérer le niveau de la nappe

- **La réutilisation de l'eau de drainage :** c'est une bonne solution dans les cas où l'approvisionnement en eau est limité, et pour réduire les charges en nutriments dans les eaux réceptrices. Cette solution peut être mise en œuvre en combinaison avec des techniques de gestion des nutriments. Elle n'est, en règle générale, pas adaptée aux régions arides, car la teneur en sel de l'eau de drainage y est trop élevée. De plus, il faut être vigilant lorsque l'eau de drainage est réutilisée plus d'une fois, car les concentrations de polluants peuvent atteindre des niveaux élevés. Dans ce cas, il est recommandé d'assurer un suivi périodique de l'eau de drainage pour préserver la qualité de l'eau et déterminer combien de fois l'eau de drainage peut être réutilisée.
- **Le traitement de l'eau de drainage :** par exemple, à l'aide de filtres plantés. Les filtres plantés nécessitent l'assistance d'un ingénieur spécialisé, pour créer un plan permettant une élimination optimale de la matière organique, des sédiments, des nutriments, etc. Les filtres plantés sont efficaces pour éliminer les sédiments et les nutriments ; lorsqu'il y a suffisamment de place pour aménager un filtre planté près des parcelles cultivées, c'est une solution excellente et relativement bon marché pour traiter l'eau de drainage.
- **Les bandes enherbées** sont des bandes ou zones de végétation destinées à éliminer les sédiments, la matière organique et d'autres polluants des eaux de drainage qui quittent les champs. Le principe des bandes enherbées est similaire à celui des filtres plantés pour le traitement des eaux usées, sauf qu'elles ne nécessitent pas de conception technique spéciale pour éliminer le maximum de polluants.

6.4. LES MESURES POUR RÉDUIRE LES INCIDENCES ENVIRONNEMENTALES DE L'IRRIGATION

6.4.1. La gestion de la salinité

Pour maintenir les rendements, il faut gérer les sels qui se concentrent dans le sol. Les pratiques de contrôle de la salinité incluent la réduction de l'apport de sels, le choix des sites et cultures adaptées, et l'application des bonnes pratiques de gestion du sol/de l'eau. Le tableau 6.3 présente un aperçu de ces pratiques.

Tableau 3 : Pratiques de contrôle de la salinité et de ses effets

Source : SAI, 2012

Pratique	Commentaire
Lessivage par irrigation	<p>Apport excessif occasionnel d'eau d'irrigation pour dissoudre, diluer et évacuer les sels. La quantité d'eau d'irrigation qui doit être apportée en excès (appelée la « fraction de lessivage ») dépend de la concentration en sels dans le sol et dans l'eau apportée pour le lessivage. L'équation suivante est fréquemment utilisée pour estimer la fraction de lessivage requise, exprimée en pourcentage de la quantité nécessaire à l'irrigation : Fraction de lessivage = (conductivité électrique de l'eau d'irrigation) / (conductivité électrique admissible dans le sol) × 100 %.</p> <p>Prenons l'exemple d'un exploitant qui souhaite cultiver des tomates et ne veut pas que la zone racinaire du sol ait une conductivité électrique (CE) supérieure à 1,0 dS/m. L'eau d'irrigation possède une CE de 0,8. La fraction de lessivage est donc de $0,8/1 \times 100 \% = 80 \%$. Le volume d'eau d'irrigation à apporter pour lessiver la quantité de sels en excès représente 80 % du volume nécessaire pour satisfaire le besoin d'eau des cultures. Les sels en excès sont évacués du sol par drainage, pour autant qu'un système de drainage approprié soit mis en place. Bien qu'elle puisse sembler simple, la gestion de la salinité est une question complexe. L'ajout d'une fraction de lessivage aux quantités nécessaires pour l'irrigation est souvent une manière trop simplifiée de réduire la salinité. Pour avoir une vue d'ensemble de la gestion de la salinité, le lecteur est invité à consulter le manuel de gestion de la salinité de l'État du Queensland (Salinity Management Handbook of the State of Queensland, 2011) : publications.qld.gov.au/en/dataset/salinity-management-handbook/resource/529b12b0-8e23-4cd3-a1cd-7659d0b9b3b4</p>
Réduction au minimum de l'apport de sels	<p>Elle s'opère par la conversion à des systèmes de production pluviaux, en améliorant le plus possible l'utilisation efficace des précipitations pour réduire la quantité d'eau d'irrigation nécessaire (par exemple en augmentant la capacité du sol à retenir l'humidité), en réduisant les apports d'irrigation, et/ou en utilisant une source d'eau de meilleure qualité. La réduction des apports de nutriments est une autre solution (programmes de gestion des nutriments) puisque certains sels sont ajoutés aux fertilisants ou aux amendements.</p>

Sélection des cultures	Certaines cultures sont plus tolérantes aux sels que d'autres. Les légumes sont moyennement sensibles au sel : les cultures les plus tolérantes sont les artichauts, les asperges et les courgettes, avec des seuils respectifs de conductivité électrique de 6,1, 4,1 et 4,9 ¹⁹² . Les légumes les moins tolérants sont les haricots, les carottes et les oignons avec 1,0 dS/m (FAO, 2002). L'annexe 1 de FAO (2002) présente une liste complète de la tolérance des cultures au sel
Injection d'acide dans les systèmes d'irrigation goutte à goutte	Les goutteurs et autres composants du système d'irrigation peuvent se boucher lorsque les sels précipitent. Parmi les bonnes pratiques de maintenance, on peut citer l'injection périodique ou continue d'acide (le maintien d'un pH acide empêche la précipitation chimique). Consultez le manuel du système de goutte-à-goutte pour plus de précisions sur cette question.
Planification de l'irrigation	Les apports limités et fréquents d'eau d'irrigation peuvent créer de petites zones mouillées qui sont caractérisées par une capacité limitée de dilution ou de lessivage des sels, particulièrement dans les régions arides. Les sels s'accumulent à la limite de la zone mouillée. Pour lessiver ces sels, il est parfois nécessaire d'apporter des volumes d'eau considérables, même si les pertes d'eau d'irrigation par percolation profonde sont déconseillées. Gérer les calendriers d'irrigation dans le but d'irriguer une zone racinaire étendue contribue à disperser les sels accumulés et à les tenir éloignés des racines ¹⁹³ .
Placement des lits de semences	Comme les jeunes plants sont les plus sensibles aux sels, le placement des lits de semences peut être adapté pour éviter l'implantation des cultures directement sur les zones ayant les plus fortes accumulations de sels.
Maintien de la matière organique (MO) du sol	Grâce à son rôle dans la préservation de la structure et de la perméabilité des sols, la MO peut contribuer à accroître la capacité d'échange cationique (CEC) et donc à réduire le pourcentage de sodium échangeable, ce qui aide à atténuer les effets négatifs du sodium. Helling et al. ¹⁹⁴ ont démontré qu'il y avait une corrélation linéaire entre l'acidité, le pH des sols, la matière organique et la CEC. En règle générale, on peut dire que plus le pH est haut, plus la CEC est élevée.
Surveillance des éléments traces	Les éléments traces apparaissent souvent à de faibles concentrations dans l'eau d'irrigation, et ne sont généralement pas prévus dans les mesures régulières parce qu'ils ne sont associés à aucun problème. Cependant, dans certains cas, les éléments traces sont présents à des concentrations élevées et peuvent être toxiques pour les plantes (par exemple, l'aluminium [Al] à un pH inférieur à 5,5). D'autres éléments comme le fer (Fe) ne sont pas toxiques pour les plantes à des concentrations élevées, mais peuvent entraîner une acidification des sols et l'apparition de points orange sur les plantes en cas d'irrigation par aspersion. Dans certains cas, il peut donc être important de surveiller les éléments traces. La FAO ¹⁹⁵ propose un récapitulatif des concentrations maximales d'éléments traces recommandées dans l'eau d'irrigation.

192 La salinité de la zone racinaire est mesurée par la conductivité électrique de l'extrait saturé de sol, et elle est exprimée en déciSiemens par mètre (dS m⁻¹) à 25 °C.

193 Porter, D. and Marek, T., «Irrigation management with saline water», *Texas Agricultural Experiment Extension*, 2006, www.k-state.edu/irrigate/oow/p06/Porter06.pdf.

194 Helling, C.S. Chesters, G. et Corey, R.B., «Contributions of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, n° 28, 1964, pp. 517-520.

195 FAO, «Water Quality for Agriculture», Irrigation and Drainage Paper 26, Rome, FAO, 1994, consulté le 3 décembre 2015 sur www.fao.org/DOCRReP/003/T0234e/T0234E06.htm.

6.5. LES MESURES D'ATTÉNUATION DES INCIDENCES SOCIALES

La limitation des incidences sociales va de pair avec la gestion durable et responsable de l'eau et les bonnes pratiques d'irrigation. Les exploitants et les gestionnaires de l'eau d'irrigation doivent être conscients du fait qu'ils font partie des nombreux utilisateurs d'eau dans le bassin versant, et que l'eau est une ressource précieuse et indispensable à chacun. La personne chargée de gérer l'eau d'irrigation doit poursuivre l'objectif d'optimiser la situation hydrique pour l'exploitation agricole, mais aussi pour en faire bénéficier les autres utilisateurs et l'environnement. Ce principe de base est essentiel pour atténuer tous les types d'incidences sociales.

Les incidences sociales de la consommation d'eau sont une question complexe qui n'est pas traitée ici de façon exhaustive. Les incidences sociales sont définies ici comme des incidences secondaires (touchant directement la population) qui découlent d'incidences environnementales primaires. Voici quelques exemples d'incidences sociales liées à l'eau :

- Réduction de la disponibilité en eau pour les utilisateurs en aval en raison de l'augmentation des prélèvements d'eau pour l'irrigation, ou à cause de la pollution. Ceci entraîne une réduction de l'eau disponible pour les autres utilisations, notamment pour les usages domestiques et les moyens de subsistance durables.
- Incidences négatives sur les écosystèmes et sur leurs services à cause de la disponibilité réduite d'eau ou du surcroît de pollution. Ces effets peuvent affecter la population directement, notamment par des maladies liées à l'eau, ou indirectement, par la réduction des sources de revenus. Ce dernier phénomène fait référence aux incidences sur certaines activités économiques importantes qui dépendent de l'eau et de l'écosystème environnant, comme la pêche ou l'extraction de toute autre ressource dépendant de l'eau dans le bassin versant.

La personne chargée de la gestion de l'irrigation doit être consciente des conséquences sociales possibles de l'irrigation et doit mettre en œuvre des actions de gestion qui les réduisent au minimum. Cette question est particulièrement importante dans le cadre de la responsabilité sociale (voir le manuel de formation du COLEACP intitulé *La responsabilité sociale*).

6.5.1. La connaissance de la réglementation locale

La conception, la mise en œuvre et la gestion d'un système d'irrigation et de drainage doivent être assurées en étroite coordination avec les institutions et les autorités locales chargées de l'eau. Les informations sur la politique et la gouvernance locales dans le domaine de l'eau, sur les associations ou plates-formes du domaine de l'eau, et sur les comités d'irrigation au niveau du bassin versant doivent être tenues à jour. Le système d'irrigation complet doit être conçu pour s'intégrer harmonieusement à la situation et au contexte politique local.

6.5.2. La gestion participative de l'irrigation (GPI)

La GPI désigne la participation des utilisateurs de l'irrigation (les agriculteurs) à la gestion d'un système ou programme d'irrigation, à tous les niveaux du système et dans tous les aspects de la gestion. Cette approche part de l'hypothèse que les utilisateurs sont les mieux à même de gérer leur propre eau, au lieu de considérer que le secteur public doit jouer un rôle fort. Chaque situation et chaque lieu déterminent en particulier la possibilité de succès de la GPI. Il a été démontré qu'avec un fort engagement, tant du secteur privé que du secteur public, et qu'avec de bons niveaux de formation et d'information, la GPI constitue une approche très utile. Les avantages de l'engagement des agriculteurs à travers la GPI seraient les suivants : une connaissance directe des besoins spécifiques à la zone et des informations sur ces derniers ; un contrôle plus facile des coûts ; une flexibilité accrue dans les différentes activités nécessaires à l'exploitation et à l'entretien des infrastructures d'irrigation¹⁹⁶. De plus amples informations sur la gestion participative de l'irrigation sont présentées sur le site www.inpim.org.

6.5.3. Le plan de gestion de l'eau et de l'irrigation

L'objectif d'un plan de gestion de l'eau et de l'irrigation est d'assurer la meilleure gestion possible de l'eau. Cette gestion optimale passe par l'utilisation la plus efficace de l'eau, par la réduction de la pollution, et par l'atténuation des incidences environnementales et sociales négatives. Cet objectif peut être atteint par une planification et une compréhension élémentaire des techniques et des pratiques qui réduisent la quantité d'eau d'irrigation nécessaire, en vue de préserver l'eau.

En plus d'intégrer des pratiques sociales responsables et la gestion de la sécurité alimentaire, les normes et les initiatives du secteur privé sont de plus en plus centrées sur les aspects environnementaux. L'utilisation efficace des matières premières, l'amélioration de la gestion des déchets, la protection des ressources en eau, la conservation du sol, la protection des écosystèmes et des forêts, et la réduction des émissions de gaz à effet de serre font partie des objectifs que les agriculteurs et les fournisseurs doivent de plus en plus souvent poursuivre et atteindre pour pouvoir accéder aux marchés mondiaux. Par exemple, la version 5.0 de GLOBALG.A.P. Le référentiel Integrated Farm Assurance (IFA)¹⁹⁷ introduit plusieurs critères de conformité concernant l'eau et exige l'élaboration d'un « plan de gestion de l'eau ».

Les éléments essentiels à intégrer dans ce plan, du point de vue de GLOBALG.A.P., sont les suivants :

- cartes, photographies, schémas et autres moyens pour déterminer la situation de la ou des sources d'eau (nom des cours d'eau et du bassin versant), éléments permanents et installations fixes, et flux du système hydraulique (y compris les systèmes de rétention, les réservoirs ou l'eau captée pour être réutilisée).

196 Groenfeldt, D. et Sun, P., « The concept of participatory irrigation management », *Medit*, n° 2, 1997, www.iamb.it/share/img_new_medit_articoli/765_45groenfeldt.pdf.

197 GLOBALG.A.P., « Integrated Farm Assurance, All Farm Base – Crops Base – Fruit and Vegetables – IFA V5.0_July15 », English Version Control Points and Compliance Criteria, Cologne, 2015.

- Les installations permanentes telles que les puits, les vannes, les réservoirs, les clapets, les retours et autres éléments de surface qui forment un système d'irrigation complet, doivent être enregistrées dans des documents, de manière à pouvoir être localisées sur le terrain.
- L'utilisation et la maintenance des équipements d'irrigation.
- La formation et/ou la requalification du personnel chargé de la surveillance de la gestion de l'irrigation doivent être assurées.
- La gestion de la consommation et de la qualité de l'eau.
- Il doit y avoir des plans d'action pour améliorer la gestion de l'eau et de l'irrigation qui répondent aux exigences essentielles telles que la conservation de l'eau, la lutte contre la pollution, l'efficacité, la gestion des nutriments et la gestion du sol, l'engagement dans des activités à l'échelle plus vaste du bassin versant.

En outre, un plan de gestion de l'eau doit comporter :

- un bref historique de la situation hydrique de l'exploitation agricole et du bassin versant, et un exposé des pratiques actuelles de gestion de l'eau ;
- une analyse des risques liés à l'eau du point de vue de l'exploitation agricole (elle doit inclure les informations sur la réglementation, les politiques et les institutions locales du domaine de l'eau, ainsi que leurs implications) ;
- une description des autorisations et licences d'exploitation de l'eau ;
- si possible, une connaissance quantitative ou au moins qualitative de la disponibilité d'eau au cours de l'année ;
- des modélisations climatiques mensuelles ;
- des actions pour gérer l'eau au niveau de l'exploitation : besoins totaux en eau de l'exploitation ; utilisation efficace de l'eau sur l'exploitation, et réduction de la pollution ;
- des actions pour gérer l'eau au niveau du bassin versant : utilisation efficace de l'eau, conservation de l'eau et réduction de la pollution.

Chapitre 7

Eau destinée au lavage et au traitement post-récolte

7.1. Introduction	134
7.2. L'utilisation de l'eau après la récolte	134
7.3. Les problèmes d'eau pendant le lavage et le traitement postérieurs à la récolte	142
7.4. Conservation de l'eau pendant le lavage et le traitement	143
7.5. L'utilisation de l'eau après la récolte et les pertes alimentaires ...	146

7.1. INTRODUCTION

7.1.1. Aperçu

La situation mondiale actuelle est marquée par une croissance démographique qui s'accompagne d'un plus grand besoin de nourriture, et par la mondialisation, qui met la production alimentaire durable devant de nouveaux défis.

La mondialisation finit par produire des chaînes d'approvisionnement (du producteur au consommateur) de plus en plus complexes. Cette complexité, qui se combine avec les attentes et la demande de sécurité et de qualité alimentaires, signifie que les chaînes d'approvisionnement sont aussi de plus en plus soumises aux contrôles. Les opérateurs doivent user de bonnes pratiques et de bonnes méthodes à chaque étape, et le prouver à leurs clients par la certification.

L'eau est un facteur essentiel des chaînes d'approvisionnement, notamment dans les premières étapes sur les exploitations agricoles. La production (notamment l'irrigation) ainsi que les traitements consécutifs à la récolte exigent de l'eau en quantité et qualité suffisantes.

Ce chapitre examine l'utilisation qui est faite de l'eau dans les diverses activités intervenant après la récolte, et il soulignera la nécessité de gérer rigoureusement les problèmes d'eau. Une attention particulière sera prêtée au recyclage de l'eau et au traitement des effluents, et l'accent sera mis sur ce qui est réalisable et recommandé à l'échelle de l'exploitation agricole, compte tenu de la réglementation et des normes privées (en ce compris la sécurité alimentaire).

7.2. L'UTILISATION DE L'EAU APRÈS LA RÉCOLTE

La qualité des produits, et donc leur valeur, peut diminuer sérieusement si l'eau n'est pas gérée correctement dans les opérations qui succèdent à la récolte. Après la récolte, les plantes maintiennent leur activité biologique, mais si elles ne sont pas en contact avec de l'eau, elles commencent aussitôt à se dessécher. La transpiration ou l'évaporation de l'eau est la principale cause de détérioration des fruits et des légumes après leur récolte. Ces phénomènes affectent le poids, l'apparence et la qualité du produit¹⁹⁸. La gestion de l'eau après la récolte est essentielle pour maintenir la qualité du produit dès le moment de la récolte jusqu'à celui de la consommation.

L'eau utilisée après la récolte est aussi une source potentielle de contamination. C'est la raison pour laquelle il est important de comprendre et de gérer les risques qui y sont associés¹⁹⁹.

La quantité d'eau consommée après la récolte pour laver et traiter les produits est relativement peu importante par rapport à l'eau utilisée pendant la phase de production. Quand on parle de consommation, on fait référence à l'eau qui est

198 FAO, «Water Quality for Agriculture», Irrigation and Drainage Paper 26, Rome, FAO, 1994, consulté le 3 décembre 2015 sur www.fao.org/DOCRReP/003/T0234e/T0234E06.htm.

199 Bihn, E.A., Schermann, M.A., Wszelaki, A.L., Wall, G.L. et Amundson, S.K., «On-Farm Decision Tree Project», *Postharvest Water*, vol. 7, 2014, gaps.cornell.edu/sites/gaps.cornell.edu/files/shared/documents/sanitation/Sanitation%20and%20Postharvest%20Handling-COMLETE-FINAL.pdf.

utilisée et qui n'est plus disponible pour d'autres utilisations, par ex. parce qu'elle s'évapore des bacs de lavage ou parce qu'elle est incorporée dans un produit (par ex. l'eau utilisée pour protéger les fleurs pendant le transport). La plus grande partie de l'eau utilisée après la récolte retourne au système sous forme d'effluent, et donc une petite partie de l'eau seulement est consommée effectivement.

En fonction de la culture, des demandes des clients, ou des réglementations, plusieurs activités postérieures à la récolte et utilisant chacune l'eau d'une manière différente peuvent intervenir. Le tableau 1 résume les plus courantes de ces activités.

Tableau 1 : Liste des traitements courants post-récolte et comment l'eau y est utilisée
Source : GSI, sur la base de V. Indira²⁰⁰ et KV. Peter²⁰¹

Activité	Commentaires
La réception	Après la récolte, la réception du produit à l'installation de conditionnement peut consommer de l'eau. Pendant le déchargement du produit, l'utilisation d'eau empêche les abrasions, les meurtrissures et autres dommages. Cette opération est utilisée quand plusieurs espèces de fruits différentes sont déchargées.
La pulvérisation	Pour prévenir les infections fongiques ou les problèmes physiologiques, certains produits sont pulvérisés, aspergés ou trempés dans des bains de fongicides ou d'autres substances. Cette pratique est courante pour certaines cultures fruitières. L'eau est utilisée à cette étape pour appliquer les substances sur les produits.
Le lavage	Le lavage est utilisé pour éliminer la terre, les micro-organismes, les organismes nuisibles, et les autres contaminants. Le lavage peut être réalisé par trempage, par flottage ou parfois par brossage du produit. Des produits chimiques peuvent être ajoutés pour améliorer le processus de lavage. Chaque culture possède des caractéristiques particulières qui peuvent causer des problèmes divers. Par exemple, le brossage fait perdre de l'eau aux mangues. Certains produits comme les oignons, l'ail et les champignons ne sont pas lavés après la récolte ²⁰² .
Le pré-refroidissement	Là où le produit est stocké après son lavage, divers procédés de refroidissement sont appliqués en fonction du produit. Le produit peut être immergé dans l'eau, recouvert de glace, ou placé en chambre froide.
L'ébarbage	Sur certains produits, il faut éliminer les feuilles pourries ou les parties endommagées. À cette étape, l'eau est utilisée pour nettoyer et laver les outils, notamment dans le cas de la laitue, du chou et des épinards.
Le triage/calibrage	Certains produits doivent être calibrés et triés en fonction des marchés, des normes, ou pour des raisons de conditionnement. Les produits peuvent être triés par taille, par poids ou par apparence.

200 Indira, V. et Sudheer, K.P., *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, Horticulture Science Series, vol. 7, Haryana, NIPA, 2007.

201 Peter, K.V., *Basics of Horticulture*, 2^e éd., Haryana, NIPA, 2015.

202 *Ibid.*

Le cirage	Certains fruits et légumes perdent leur couche de cire naturelle au moment du lavage. Dans ce cas, de la cire alimentaire est appliquée, quelquefois pour une meilleure apparence du produit, d'autres fois pour éviter les pertes d'eau et donc prolonger la durée de conservation. Cette pratique est fréquemment utilisée pour des produits tels que la papaye et le manioc. Les cires ne sont jamais mélangées à l'eau.	
Les traitements postérieurs à la récolte	Traitement à l'eau chaude	Certaines maladies peuvent être maîtrisées par l'immersion des produits dans l'eau chaude pendant un certain temps. Pour la plupart des produits horticoles, la mangue notamment, si cette opération est réalisée pendant environ 30 minutes, dans une eau à 50-55 °C (avec le fongicide approprié si nécessaire), des maladies comme l'antracnose (<i>Collectotrichum</i>), peuvent être contrôlées ²⁰³ .
	Le traitement thermique à la vapeur (TTV)	Ce traitement consiste à pulvériser de la vapeur pour réchauffer et humidifier le produit dans un espace fermé. Cette méthode est indiquée pour lutter contre les infestations d'insectes et est efficace pour des produits tels que la mangue, la papaye et l'ananas. Les produits sont conservés dans un air saturé pendant 8 heures, puis à une température de 43 °C pendant 6 heures supplémentaires ²⁰⁴ .
	Les traitements chimiques	Les produits chimiques peuvent être appliqués en poudre ou pulvérisés. Le mûrissement des bananes est retardé par des traitements à l'acide gibbérélique. La durée de stockage des légumes peut être prolongée par l'application d'hormones végétales.
	L'ionisation	Ces dernières années, cette méthode est de plus en plus utilisée parce qu'elle ne laisse aucun résidu et qu'elle consomme peu d'énergie. Les mangues, pommes de terre ou oignons font partie des produits dont la durée de conservation est prolongée grâce à cette méthode.
L'étiquetage	Pour respecter la réglementation et les normes et répondre aux demandes des acheteurs, un étiquetage fournissant des informations détaillées sur le produit et le producteur est exigé par de nombreux marchés. Cette étape n'utilise pas d'eau.	
Le contrôle de la qualité	Une série de contrôles doit être effectuée avant que le produit ne quitte l'exploitation. Les contrôles supplémentaires sont assurés par les acheteurs, les détaillants, et les autorités publiques, en fonction du produit et du marché de destination.	
Le stockage	En fonction du marché de destination, un produit peut être emballé, palettisé, et placé en chambre froide avant d'être distribué. L'eau est parfois utilisée sous forme de glace, de liquide ou de vapeur pour prolonger la durée de stockage.	
Le transport	Le transport du champ où la récolte a eu lieu vers l'installation de conditionnement, puis de l'installation de conditionnement vers les consommateurs, doit être assuré avec précaution. À cette étape, le produit peut s'abîmer par perte d'eau s'il n'est pas correctement réfrigéré, ventilé et protégé de la lumière directe du soleil. De l'eau peut être pulvérisée pour contrôler l'humidité et la température.	

203 Indira, V. et Sudheer, K.P., *Postharvest Technology of Horticultural Crops*, op. cit.

204 *Ibid.*

Les chapitres suivants livrent de plus amples informations sur l'utilisation de l'eau aux différentes étapes postérieures à la récolte :

- lavage ;
- traitements postérieurs à la récolte ;
- conditionnement et stockage.

7.2.1. L'utilisation de l'eau pour le lavage

Après la récolte, les produits peuvent être rincés et lavés pour éliminer les agents externes qui pourraient affecter la sécurité alimentaire. Ces agents incluent les contaminants physiques comme les particules de sol ou les petits insectes, ainsi que les agents microbiens et certains résidus chimiques (le lavage peut éliminer entre 0 et 40 % de certains pesticides). Conformément à la réglementation européenne – annexe 1, partie A, du règlement (CE) n° 852/2004 –, de l'eau potable propre²⁰⁵ doit être utilisée pour le lavage des produits, afin d'éviter toute contamination²⁰⁶. Les normes minimales en la matière figurent à l'annexe I de la directive 98/83/CE²⁰⁷.

En plus de ces règlements, des normes privées telles celles de GLOBALG.A.P., prévoient des exigences très précises concernant les activités intervenant après la récolte²⁰⁸ :

- La source d'eau utilisée pour les traitements postérieurs à la récolte doit être potable ou déclarée adéquate par les autorités compétentes. C'est une nécessité absolue.
- Si l'eau est recyclée pour le lavage du produit final, elle doit être filtrée et désinfectée (par exemple, à l'aide d'un injecteur de désinfectant automatique); le pH, la concentration et les niveaux d'exposition aux désinfectants sont régulièrement contrôlés. Les registres doivent être tenus à jour (module des fruits et légumes).
- Tous les équipements pouvant avoir une influence sur la sécurité alimentaire (véhicules, conteneurs, réservoirs, conduites, pompes) doivent être gardés propres et en bon état de fonctionnement.
- L'eau non traitée provenant de la récupération des eaux de pluie, des rivières ou des retenues d'eau ne doit pas être utilisée directement pour le lavage post-récolte²⁰⁹.

205 L'eau potable désigne une eau qui satisfait aux normes de qualité applicables aux eaux potables (directive 98/83/CE du Conseil du 3 novembre 1998), tandis que l'eau propre désigne une eau qui ne contient ni micro-organismes ni substances nocives.

206 Le règlement (CE) n° 852/2004 impose aux exploitants du secteur alimentaire l'obligation générale de veiller à ce que toutes les étapes de la production, de la transformation et de la distribution des denrées alimentaires sous leur responsabilité, y compris les importations et les exportations, soient conformes aux normes pertinentes en matière d'hygiène fixées par le règlement précité.

207 EPA, « Parameters of water quality. Interpretation and Standards », 2001, www.epa.ie/pubs/advice/water/quality/Water_Quality.pdf.

208 GLOBALG.A.P., « Integrated Farm Assurance. All farm base – Crops base – Fruits and vegetables », Cologne, 2015.

209 Suslow, T., « Ozone applications for post-harvest disinfection of edible horticultural crops », U. Ca, Division of Agriculture and Natural Resources, Publication 8133, 2004, anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8133.pdf.

L'illustration 7.1 présente un exemple de dispositif simple de réception, de lavage et de triage.

L'utilisation d'une eau de lavage contaminée entraînerait une contamination du produit et représenterait un risque élevé pour sa qualité et la sécurité alimentaire. Le suivi et le contrôle de la qualité de l'eau sont donc cruciaux. Tous les traitements et procédures succédant à la récolte doivent être enregistrés et faire l'objet d'un plan de gestion de la sécurité alimentaire (comme GLOBALG.A.P.)²¹⁰.

La qualité peut être contrôlée par la mesure de la turbidité de l'eau dans les réservoirs. Les mesures de température sont également importantes, car certains fruits et légumes peuvent être sujets à des infiltrations d'eau. Lorsque la température de la pulpe dépasse celle de l'eau dans laquelle le produit est immergé, de l'eau peut être absorbée par le fruit, ce qui peut conduire à une contamination à la fois de l'eau et du produit²¹¹. Même si l'eau est de bonne qualité, il est parfois nécessaire de mettre en œuvre des procédures de désinfection pour éviter les contaminations croisées lorsque de nombreuses unités de produit sont immergées dans la même eau. La technique la plus courante consiste à ajouter du chlore, mais différentes techniques de désinfection peuvent être utilisées en fonction de la culture, des techniques culturales, ou de la réglementation. Par exemple, l'ozone a été utilisé commercialement sur de nombreux produits comme les pommes, cerises, kiwis, oignons, etc. En 2001, l'ozone a été validé par l'administration américaine chargée des aliments et des médicaments (US FDA) comme agent antimicrobien sûr pour la transformation alimentaire²¹². Le peroxyde d'hydrogène est également une substance commune qui possède le statut GRAS (généralement reconnu inoffensif) aux États-Unis et qui est efficace contre toute une série de micro-organismes²¹³.

7.2.2. L'utilisation de l'eau dans les traitements postérieurs à la récolte

Après le lavage, le produit peut être traité avec un fongicide, un insecticide ou d'autres agents de conservation, pour éviter les maladies (et les éventuelles mycotoxines dans certains cas), pour respecter les règles phytosanitaires, et pour prolonger la durée de conservation. À cette étape, le contrôle des critères de qualité de l'eau et de la température est également nécessaire. La présence d'organismes pathogènes dans l'eau stagnante est un autre risque potentiel et peut générer de sérieux problèmes pendant le stockage et au moment de la consommation. Par conséquent, il est indispensable d'évacuer toute l'eau chaque jour²¹⁴. Les équipements utilisés pour immerger les produits doivent être faciles à nettoyer et à désinfecter et fabriqués, par exemple, en acier inoxydable²¹⁵.

210 GLOBALG.A.P., «Integrated Farm Assurance. All farm base – Crops base – Fruits and vegetables», *op. cit.*

211 COLEACP, Manuel de Formation. Produire de façon durable et responsable, 2017.
www.coleacp.org/fr/e-bibliotheque/produire-facon-durable-responsable.

212 Suslow, T., «Ozone applications for post-harvest disinfection of edible horticultural crops», *op. cit.*

213 FSA, *Code of Practice for food safety in the fresh produce supply chain in Ireland*, Dublin, FSA, 2001.

214 GLOBALG.A.P., «Integrated Farm Assurance. All farm base – Crops base – Fruits and vegetables», *op. cit.*

215 Meyer, B., Newenhouse, A., Miquelon, M. *et al.*, «Work Efficiency Tip Sheets», U. Wisc. Extension Publication Series A3704, Packing shed layout, Mesh produce bags, Specialized harvest cart, Narrow pallet system, etc. Informative fact sheets, 1999,
bse.wisc.edu/HFHP/tipsheets_html/postharvest.htm.

7.2.3. L'utilisation de l'eau pendant le conditionnement et le stockage

Les fruits et légumes sont des denrées périssables qui ont des durées de conservation courtes allant de quelques jours (tomates) et de quelques semaines (avocats), à plusieurs mois (ail)²¹⁶. L'eau joue un rôle important dans le conditionnement et le stockage, de la façon suivante.

7.2.3.1. La réfrigération

Après la récolte, plusieurs méthodes de réfrigération sont appliquées aux produits pour prolonger la durée de conservation et maintenir leur état de fraîcheur. Toutes ces méthodes n'utilisent pas de l'eau ; certaines utilisent simplement des courants d'air froid ou des réfrigérateurs. Les méthodes de refroidissement qui utilisent l'eau sont les suivantes²¹⁷ :

- **Préréfrigération** : le fruit est préréfrigéré lorsque sa température est réduite de 3 °C à 6 °C et qu'elle est suffisamment froide pour permettre un transport sûr. La préréfrigération peut être assurée au moyen d'air froid, d'eau froide, par contact direct avec de la glace, ou par un mélange d'air froid et d'eau pulvérisée qui forme un nuage et porte le nom d'*hydrair cooling*, une innovation dans la réfrigération des légumes.
- **Le glaçage** : une couche de glace pilée est placée directement au-dessus des produits dans les boîtes. Une suspension de glace peut être appliquée dans les proportions suivantes : 60 % de glace finement pilée, 40 % d'eau, et 0,1 % de chlorure de sodium pour faire baisser le point de fusion. Le rapport entre l'eau et la glace peut varier entre 1 :1 et 1 :4.
- **Réfrigération par air forcé** : les systèmes de réfrigération par air forcé soufflent de l'air à très haute vitesse, ce qui entraîne la dessiccation des produits. Pour limiter cet effet, l'air de réfrigération peut être humidifié par pulvérisation d'eau froide.
- **La réfrigération en eau glacée** : la culture est immergée dans de l'eau froide qui circule de façon permanente à travers un échangeur de chaleur. Lorsque les produits sont transportés dans de l'eau à travers les installations de conditionnement, le système de transport peut intégrer un refroidisseur à eau. La réfrigération par eau glacée peut également aider à nettoyer les produits. De l'eau chlorée peut être utilisée pour éviter la détérioration des produits. La réfrigération au moyen d'eau glacée est fréquemment utilisée pour des légumes comme les asperges, le céleri, le maïs doux, les radis et les carottes, mais elle est rarement utilisée pour les fruits.
- **La réfrigération par le vide** : cette méthode convient particulièrement aux légumes à feuilles comme la laitue. Les cultures qui possèdent une cuticule cireuse relativement épaisse, comme la tomate, ne sont pas adaptées à ce procédé. Dans cette méthode, le vide est créé pour permettre à l'eau de bouillir

216 Kader et al., *The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce*, Rome, FAO, 2004.

217 FAO, *Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas*, Rome, FAO, 2003, www.fao.org/docrep/005/y4358e/y4358e00.htm#Contents.

à une température plus basse (à une pression de 4,6 mmHg, l'eau bout à 0 °C) et la chaleur de vaporisation requise pour faire bouillir l'eau entraîne le refroidissement. Ce procédé fait perdre environ 1 % de son poids au produit. Cette perte de poids peut être limitée par vaporisation d'eau sur le produit.

7.2.3.2. La lutte antiparasitaire et le pourrissement

Les produits peuvent être immergés dans de l'eau chaude avant leur stockage ou leur commercialisation pour lutter contre les parasites et les maladies.

7.2.3.3. Le cas des fleurs

L'utilisation d'eau après la récolte est d'une très grande importance pour la production des fleurs coupées. Les fleurs coupées contiennent beaucoup d'eau et en perdent donc d'importantes quantités, en particulier en raison du catabolisme du carbone²¹⁸. Lorsque ces pertes atteignent 10 à 15 % de leur poids frais, les fleurs commencent à montrer des symptômes de flétrissement²¹⁹. La profondeur et la hauteur de l'eau utilisées pour préserver les fleurs sont importantes et influencent la quantité d'eau absorbée par la fleur²²⁰.

Les fleurs et les feuillages présentant une grande surface foliaire sont particulièrement sensibles au dessèchement et ont donc besoin de plus d'eau. La combinaison de trois facteurs peut réduire la perte d'eau des fleurs :

- la présence d'une eau de qualité appropriée dans les pots, avec un pH acide (entre 3,0 et 3,5) pour améliorer le flux qui remonte dans les tiges ;
- des températures basses et une humidité relative élevée (95 % à 98 %). Si ces deux dernières conditions sont respectées, les fleurs peuvent également être stockées à sec, enveloppées et emballées à l'intérieur de boîtes²²¹.
- Des biocides peuvent être ajoutés pour éviter les bactéries. L'hypochlorite (eau de Javel) et le chlore granulé à faibles concentrations sont fréquemment utilisés.

Le facteur le plus important pour l'utilisation de l'eau dans les fleurs après la récolte est la qualité de l'eau. Celle-ci doit être optimale et stable, et il est donc déconseillé d'utiliser des eaux de surface ou de pluie non traitées. L'utilisation d'une eau de qualité maximale pour les traitements des fleurs consécutifs à la récolte peut garantir une durée de conservation plus longue et donc améliorer la compétitivité du produit.

7.2.3.4. Le cas des mangues

La mangue constitue un exemple intéressant de l'utilisation d'eau après la récolte dans les pays ACP, car l'eau est utilisée à différentes étapes. Les mangues sont normalement lavées par immersion dans l'eau pour éliminer la terre ou les

218 Dahal, S., *Post-harvest handling of cut-flower rose*, Department of Horticulture, IAAS, Rampur, Chitwan, 2013, www.academia.edu/3276681/POST_HARVEST_HANDLING_OF_CUT_FLOWER_ROSE.

219 Nowak, J. et Rudnicki. R.M., *Postharvest handling and storage of cut flowers, floristgreens and potted plants*, Portland, Timber press, 1990, pp. 210.

220 Sytsema, W. and Kalkman, E.C., «Post-harvest studies on *Syringa vulgaris*», *Acta Horticulturae*, n° 298, 1991, pp. 127-133.

221 NSW, Department of Primary Industries, «Postharvest care of cut flowers», Bettina Gollnow, Neil Wade, 2002, www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/floriculture/post-harvest/care.

poussières. Elles peuvent être immergées dans de l'eau chaude comme traitement postérieur à la récolte, pour tuer les organismes pathogènes et les œufs et larves de mouches des fruits. Le tableau 4 présente un résumé des utilisations de l'eau pour les mangues après la récolte.

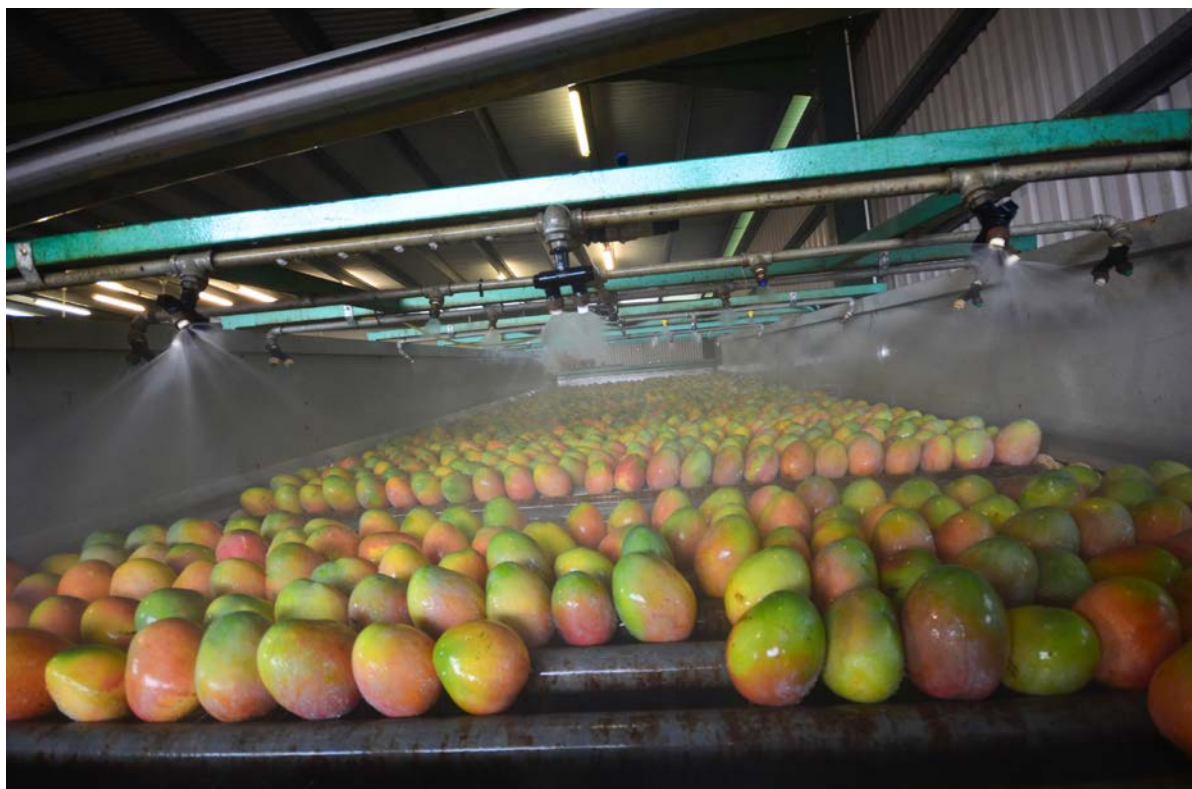


Figure 1 - Lavage des mangues dans une installation de conditionnement
Source : www.fealyfamily.com

Tableau 4 : Eau utilisée dans les traitements postérieurs à la récolte de la mangue (d'après FAO, 2002 et 2005)

Processus	Utilisation d'eau
Lavage	Toutes les saletés, poussières et la sève doivent être éliminées, soit par pulvérisation d'eau, soit par immersion.
Traitements postérieurs à la récolte	Pour prévenir l'anthraxose et le pourrissement de l'extrémité du pédoncule, les mangues sont parfois immergées pendant 5 min dans de l'eau chaude (52 °C) à laquelle est ajouté du benomyl, ou alors elles sont aspergées d'eau non chauffée mélangée à du prochloraz. L'immersion dans l'eau chaude est également recommandée pour lutter contre les parasites et les mouches des fruits, et est plus efficace que la chaleur de la vapeur comme élément de transfert de chaleur. La durée du trempage dépend de la forme et du poids du fruit.
Conditionnement et stockage	Les mangues sont généralement stockées à une température de 13 °C et à une humidité relative de 85 à 90 %. L'eau peut être vaporisée ou utilisée pour refroidir et augmenter l'humidité dans la chambre d'entreposage, mais elle ne doit jamais entrer en contact avec le produit, car les mangues risquent d'être endommagées par le froid.

7.3. LES PROBLÈMES D'EAU PENDANT LE LAVAGE ET LE TRAITEMENT POSTÉRIEURS À LA RÉCOLTE

Deux aspects doivent être bien maîtrisés quand on utilise de l'eau pour le traitement des produits :

1. la disponibilité d'eau propre pour le traitement, tant en quantité qu'en qualité, d'une part ;
2. la gestion des effluents d'autre part.

7.3.1. La disponibilité d'eau propre pour le traitement

Il faut garantir la disponibilité constante de l'eau pour les utilisations postérieures à la récolte. Il est donc important d'avoir accès à des sources d'eau fiables qui peuvent fournir les volumes nécessaires.

L'eau utilisée pour le lavage et les traitements postérieurs à la récolte doit être potable (avoir la qualité de l'eau potable). La certification GLOBALG.A.P. exige que l'eau soit testée²²². Les sources d'eau potable les plus communes sont l'eau des systèmes municipaux de distribution d'eau, qui est distribuée par des tuyaux, ou l'eau directement extraite des sources d'eau souterraine (et testée). La difficulté du premier type de source est qu'il faut disposer d'une infrastructure de distribution appropriée, ce qui peut poser des problèmes en dehors des zones urbaines. La difficulté de la seconde source est qu'il faut assurer une qualité d'eau suffisante : elle doit être testée. Dans les régions où l'eau est insuffisante, tant en termes de quantité qu'en termes de qualité, l'eau potable peut être transportée par camions jusqu'à l'installation de conditionnement (voir l'étude de cas présentée au chapitre 9).

7.3.2. La gestion des effluents

Pendant les opérations de nettoyage, de lavage ou de conditionnement, l'eau utilisée peut être contaminée par des polluants. Les effluents d'eaux usées peuvent avoir des effets négatifs sur les autres utilisateurs de l'eau ou sur l'environnement. Selon les contaminants et la forme de rejet, l'effluent peut donc nécessiter un traitement avant d'être déversé.

Une évaluation des risques doit être mise en œuvre pour identifier tous les risques associés à l'effluent et déterminer leur degré de dangerosité. Des mesures doivent être prises pour éviter ou atténuer les incidences sur l'environnement. Les effluents produits sur l'exploitation sont souvent déversés dans les eaux de surface. En plus de servir pour le traitement, et dans le cas d'effluents peu dangereux (ou après qu'ils ont subi un traitement adéquat), l'eau peut également être recyclée, par exemple pour l'irrigation.

Une attention particulière doit être prêtée lorsque du chlore est ajouté à l'eau de lavage. Dans la plupart des pays, des réglementations strictes limitent les niveaux de chlore résiduel autorisés au point de déversement des eaux usées.

222 GLOBALG.A.P., « Integrated Farm Assurance. All farm base – Crops base – Fruits and vegetables », *op. cit.*

Par exemple, la limite résiduelle maximale fixée dans le Safe Drinking Water Act élaboré par l'agence américaine de protection de l'environnement (EPA) est de 4 mg/l (ppm) pour le chlore. La concentration de chlore au début du traitement de lavage/de désinfection est généralement supérieure à 4 mg/l afin d'éliminer les contaminants microbiens.

7.4. CONSERVATION DE L'EAU PENDANT LE LAVAGE ET LE TRAITEMENT

7.4.1. Domaine

La conservation de l'eau se définit comme toute réduction bénéfique de l'utilisation, des pertes ou du gaspillage de l'eau. En d'autres termes, cette notion fait référence à des pratiques de gestion de l'eau qui améliorent et réduisent l'utilisation des ressources en eau au profit de la population et de l'environnement²²³. Cette définition s'applique également aux étapes postérieures à la récolte. Le traitement et le recyclage des effluents sont des exemples de mesure de conservation de l'eau qui peut être appliquée après la récolte. Toute une série de possibilités sont disponibles, mais les exploitations agricoles/les compagnies peuvent être dissuadées d'utiliser certaines technologies à cause de leur coût élevé et du besoin de sources d'énergie constante.

À l'échelle de l'exploitation agricole, les diverses mesures de base qui peuvent être mises en œuvre pour réduire la consommation d'eau et la pollution des effluents sont présentées au tableau 5.

Tableau 5 : Les divers types de traitement et de recyclage de l'eau au stade postérieur à la récolte. *Source : GSI, d'après les travaux de divers auteurs.*

Traitement	<p>Les types courants de traitement de l'eau comprennent la floculation, la filtration, et la désinfection²²⁴. En prétraitement, les filtres sont utilisés pour éliminer les particules solides de grande taille. Le traitement primaire élimine ensuite a) la matière organique et inorganique décantable par sédimentation, et b) les matières flottantes par écrémage. Un pourcentage élevé de la demande biologique d'oxygène (BOD5), des particules de sol en suspension, des huiles et des graisses est éliminé par ces traitements simples²²⁵.</p>
	<p>Pour le traitement des effluents sur l'exploitation, notamment lorsque la ressource foncière est abondante, mais qu'il y a peu de main-d'œuvre disponible, les bassins de stabilisation sont fréquemment utilisés. Cette méthode est recommandée dans de nombreux pays ACP. Elle comprend des bassins anaérobies, des bassins facultatifs, et des bassins de maturation²²⁶.</p>

223 Alberta Water Council, «Water conservation», 2015, www.waterforlife.alberta.ca/01549.html.

224 Chen, L., «Development of a Continuous Water Recycling Unit for Application in Postharvest Washing of Leafy Greens», U. Guelph, 2013, atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/7618/Liang_Chen_201311_MSc.pdf?sequence=1.

225 Pescod, M.B., «Wastewater treatment and use in agriculture», FAO irrigation and drainage paper 47, 1992, www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e00.htm#Contents.

226 IRC, «Waste stabilization ponds for wastewater treatment», mai 2004, préparé par Cinara, www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/ponds.pdf.

Traitement	<p>La phytoremédiation est un autre traitement peu coûteux. Cette méthode utilise les plantes pour éliminer les polluants de l'environnement (figure 2). Ces plantes peuvent être aquatiques ou terrestres, et un certain nombre d'espèces sont particulièrement efficaces pour traiter certains polluants. Par exemple, les hydrangées absorbent l'aluminium, et les hysopes d'eau absorbent d'autres métaux lourds comme le plomb ou le cadmium. Ces plantes absorbent l'eau polluée et retiennent les contaminants. Elles réduisent ainsi la pollution potentielle des sols et de l'environnement²²⁷. Mais cette méthode n'est pas recommandée pour recycler l'eau destinée à l'irrigation si la concentration des polluants est élevée, car ceux-ci peuvent se transmettre aux cultures.</p>
Recyclage	<p>Pour des raisons de qualité des produits et de sécurité alimentaire, la réutilisation de l'eau dans les opérations de lavage/conditionnement est déconseillée sans traitement préalable. Cependant, les effluents provenant de l'installation de conditionnement peuvent parfois être utilisés pour l'irrigation si la concentration des polluants est surveillée et faible.</p> <p>Dans certains cas, les appareils domestiques de purification de l'eau sanitaire permettent de réutiliser l'eau de traitement pour certaines utilisations domestiques.</p>
Traitement et recyclage	<p>Les progrès récents réalisés dans le traitement de l'eau ont permis aux exploitations d'accéder à certains systèmes perfectionnés comme l'ultrafiltration. Ces systèmes réduisent considérablement l'utilisation d'eau et d'énergie, tout en offrant des niveaux élevés de qualité de l'eau, ce qui permet de stocker, de purifier et de réutiliser l'eau après la récolte pour laver et traiter les produits.²²⁸</p> <p>De nombreux fabricants commercialisent aujourd'hui des méthodes domestiques de traitement et de recyclage des eaux. Au niveau de l'exploitation agricole, il est aujourd'hui possible d'installer une petite unité de purification pour traiter les effluents de l'installation de conditionnement, ce qui permet de réutiliser l'eau pour l'installation de conditionnement, pour l'irrigation, ou pour les utilisations domestiques.</p>

227 EPA, «A Citizen's Guide to phytoremediation», 2012, clu-in.org/download/Citizens/a_citizens_guide_to_phytoremediation.pdf.

228 FloraCulture, «New post-harvest water recycling technology for the flower industry», FloraCulture, 2015, www.floraculture.eu/?p=21172.

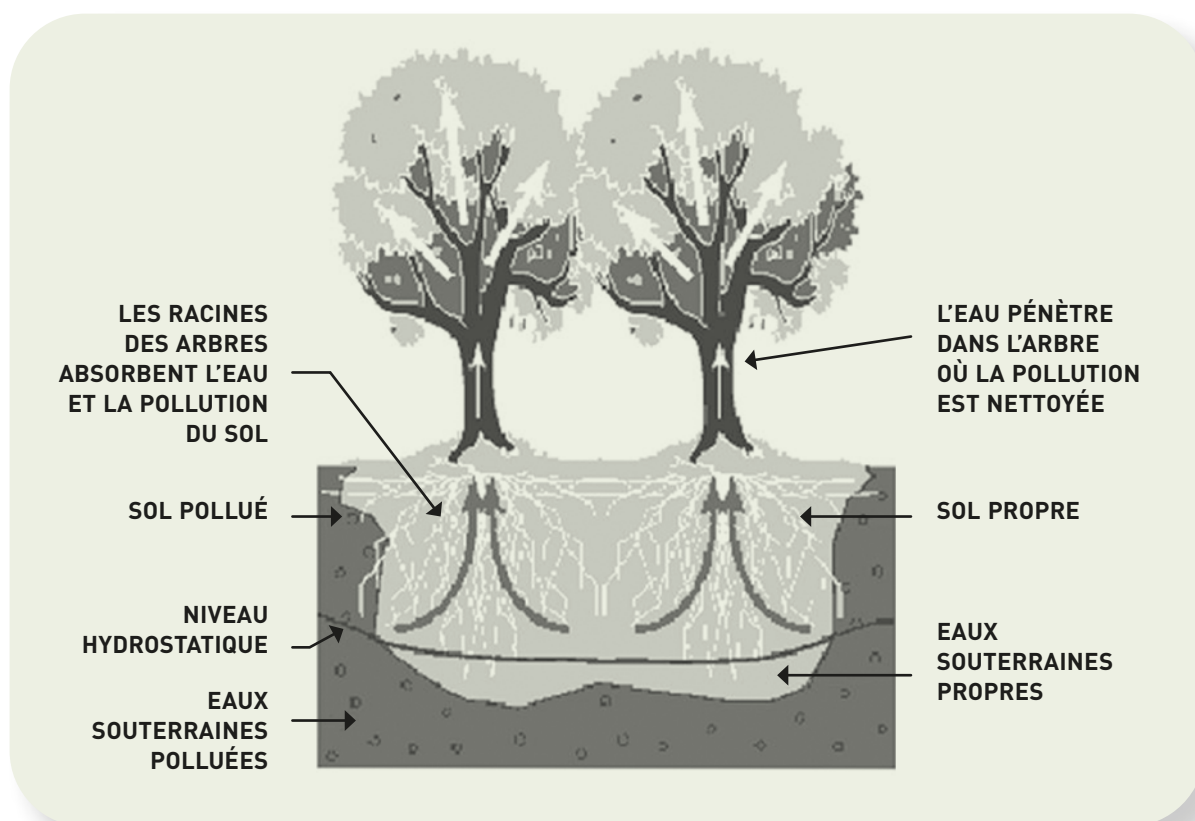


Figure 2 - Traitement de l'eau par phytoremédiation²²⁹



229 EPA, «A Citizen's Guide to phytoremediation», *op. cit.*

7.5. L'UTILISATION DE L'EAU APRÈS LA RÉCOLTE ET LES PERTES ALIMENTAIRES

7.5.1. Domaine

Comme nous pouvons le constater, la gestion médiocre de l'eau et de l'humidité dans les étapes postérieures à la récolte peut générer des pertes significatives et conduire au gaspillage des produits récoltés. Cela peut être dû à des problèmes de sécurité alimentaire, à la détérioration de la qualité des produits, ou simplement à une dégradation de l'aspect qui rend les produits moins attrayants aux yeux du détaillant ou du consommateur.

Dans les pays industrialisés, les pertes alimentaires se produisent principalement à l'étape du consommateur, tandis que dans les pays en développement, presque toutes les pertes alimentaires se produisent après la récolte et pendant le traitement des produits. La figure 3 présente des chiffres sur les pertes pour les fruits et légumes.

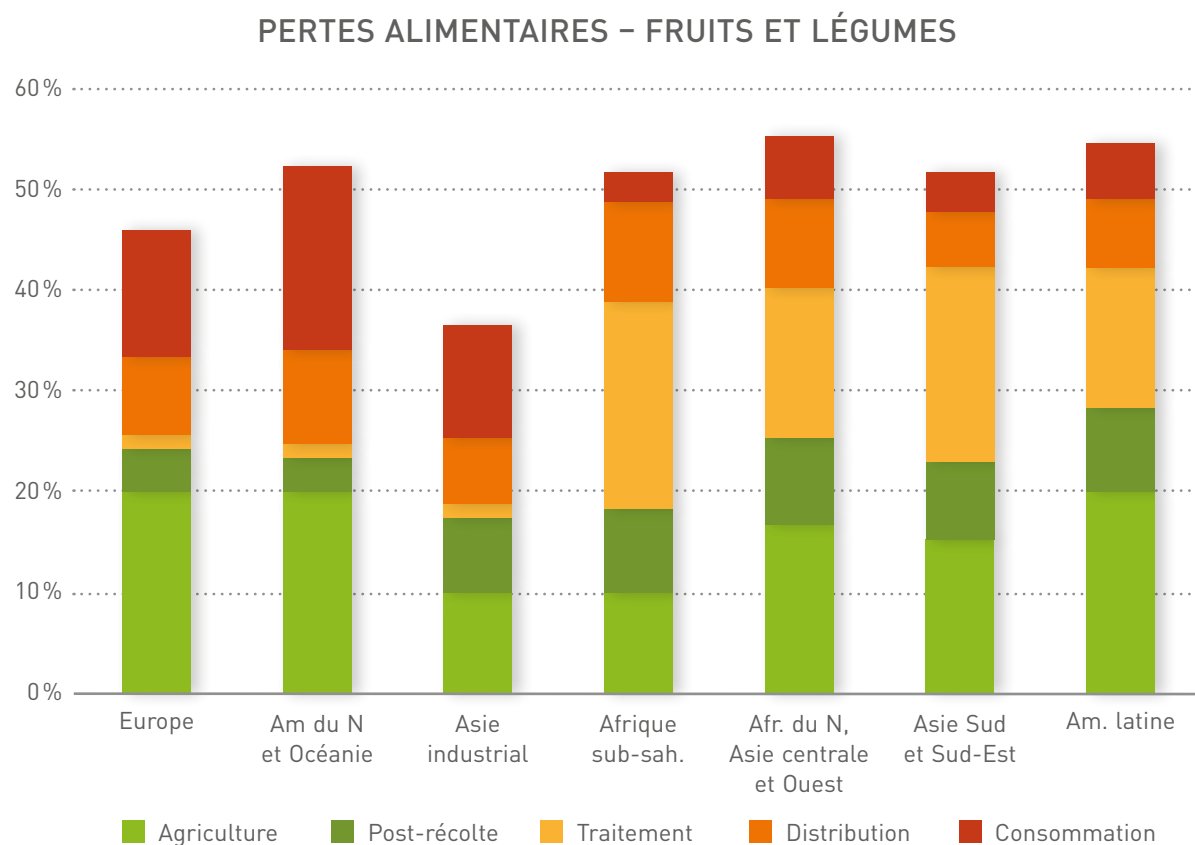


Figure 3 - Pourcentage de fruits et légumes perdus ou gaspillés aux différentes étapes de la chaîne d'approvisionnement par rapport à la production initiale²³⁰

230 Gustavsson, J. *et al.*, « Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention », Rome, FAO, 2011, www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf.

Ces pertes élevées sont dues à des facteurs tels que le climat, l'absence de moyens de transport et d'installations de stockage adéquats, ou les demandes strictes des détaillants²³¹. Cependant, l'eau intervient de façon significative dans tous ces facteurs.

En effet, lorsque des pertes interviennent après la récolte, toutes les ressources qui ont été utilisées pour cultiver ces produits, notamment l'eau, sont perdues et gaspillées²³². Dans la perspective de l'utilisation durable de l'eau, améliorer la manipulation des produits après la récolte revêt une importance cruciale, particulièrement dans les pays en développement.

231 Banque mondiale, Institut des ressources mondiales et FAO, «Missing food: The case of postharvest grain losses in sub-Saharan Africa», 2011, siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/MissingFoods10_web.pdf.

232 WRI, «Disappearing Food: How Big are Postharvest Losses?», *EarthTrends*, 1998.



Chapitre 8

Droits sur l'eau, extraction et durabilité de l'utilisation de l'eau

8.1. Comprendre la législation sur l'eau: le droit à l'eau	150
8.2. Guider l'action: pourquoi et par où commencer?	153

8.1. COMPRENDRE LA LÉGISLATION SUR L'EAU : LE DROIT À L'EAU

8.1.1. Un bref historique des droits sur l'eau

Toutes les sociétés utilisent de l'eau. Historiquement, les mécanismes de réglementation de l'utilisation de l'eau ou de l'accès à celle-ci se sont développés différemment d'une société à l'autre. En conséquence, chaque société avait ses propres coutumes et idées concernant la manière d'affecter l'eau aux diverses utilisations. Un grand nombre de celles-ci s'inscrivent aujourd'hui encore parmi les pratiques du droit coutumier ou local et interagissent souvent aussi avec les lois religieuses. Actuellement dans le monde, en particulier dans les zones rurales des pays ACP, le droit coutumier ou local continue de jouer un rôle important dans l'affectation de l'eau.

De nos jours, dans la plupart des pays, l'utilisation de l'eau est régie par une législation particulière et spécialisée. Dans de nombreux pays, la base de cette législation est fortement influencée par la législation européenne. En Europe, le droit à l'eau était traditionnellement fondé sur l'utilisation ou la propriété des terres. Cette pratique tire son origine du droit romain qui accordait une position privilégiée (un droit sur l'eau) aux propriétaires des terres adjacentes aux cours d'eau. Le droit romain s'opposait à la propriété privée de l'eau courante, mais considérait l'eau présente sur une terre possédée comme la propriété privée du propriétaire. Les traditions législatives européennes qui en découlent (droit civil et commun, respectivement les cadres français/allemands et anglo-saxons) contiennent encore des éléments du droit romain concernant l'eau. Pendant la colonisation européenne aux quatre coins du monde, un bon nombre de ces éléments romains ont été introduits dans les lois sur l'eau de nombreux pays.

Essentiellement en raison de la pression croissante sur les ressources en eau, une réforme du secteur de l'eau est en cours dans de nombreux pays, avec l'introduction d'une législation moderne sur l'eau afin de remplacer un grand nombre de ces lois sur l'eau traditionnelles. La principale raison de la réforme de la législation sur l'eau est le caractère de plus en plus inadapté de l'approche traditionnelle de la gestion de l'eau fondée sur les terres. Cette approche traditionnelle :

- ne permettait pas de tenir adéquatement compte des conditions hydrologiques et climatiques,
- ne prenait pas les aspects environnementaux en considération,
- ne reconnaissait pas effectivement la valeur économique de l'eau,
- ne tenait pas bien compte des aspects sociaux.

8.1.2. Les droits sur l'eau modernes

En conséquence, la fin du XX^e siècle a vu débuter le processus de réforme du secteur de l'eau et la législation sur l'eau s'orienter vers une approche fondée sur les droits d'eau. Il n'existe pas de définition commune des droits sur l'eau, mais selon la FAO²³³, la définition la plus simple d'un droit à l'eau est la suivante : «un droit légal d'extraire

233 FAO, « Modern water rights. Theory and practice », étude législative 92 de la FAO, Rome, FAO, 2006, <ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0864e/a0864e00.pdf>.

et d'utiliser un volume d'eau d'une source naturelle telle qu'une rivière, un ruisseau ou un aquifère». Les droits sur l'eau régissent aussi l'utilisation non consommatrice de l'eau, par exemple, l'affectation du débit d'un cours d'eau pour stocker de l'eau dans un barrage réservoir afin qu'elle puisse être ensuite utilisée pour produire de l'électricité. Les droits sur l'eau régissent donc l'utilisation consommatrice et non consommatrice de l'eau. Les lois modernes en matière d'eau fournissent un cadre juridique permettant d'allouer l'eau aux utilisateurs grâce à l'octroi de droits sur l'eau.

Puisqu'un droit à l'eau est un droit légal, il a des conséquences juridiques. Par exemple, le fait d'extraire de l'eau sans détenir le droit sur l'eau correspondant peut donner lieu à une action en justice de la part de l'entité qui possède ce droit. Dans le contexte de l'irrigation, il existe une autre forme de droit sur l'eau. Dans un système d'irrigation, un agriculteur possède un droit sur un certain volume d'eau d'irrigation provenant d'un fournisseur (pour lequel il paye un certain prix). Ce « droit sur l'eau contractuel » concerne le droit à la fourniture d'un certain volume d'eau via des structures artificielles, le droit à la fourniture d'un service. Ces droits sont différents des droits d'extraction d'eau qui concernent le droit d'extraire de l'eau de l'environnement naturel. Dans les systèmes d'irrigation, le gestionnaire du système détient le droit d'eau légal d'extraire l'eau dont le système a besoin.

Il ne faut pas confondre les droits sur l'eau prévus par les législations sur l'eau et le « droit de l'homme à l'eau ». Le droit de l'homme à l'eau a été explicitement reconnu par l'Assemblée générale des Nations Unies dans sa résolution 64/292 du 28 juillet 2010. Elle a reconnu que l'eau potable et l'hygiène publique étaient essentielles à la réalisation de tous les droits de l'homme. Différent du droit d'usage de l'eau, **le droit de l'homme à l'eau** constitue évidemment un élément important de la distribution de l'eau dans un pays. Dans le contexte de la législation sur l'eau, il est considéré comme l'octroi d'une certaine quantité d'eau tirée d'une ressource en eau pour satisfaire à l'usage domestique.

8.1.2.1. Exemples de droits d'eau modernes

La législation sur l'eau varie beaucoup d'un pays à l'autre, s'agissant de savoir qui possède et qui peut posséder les ressources en eau et comment les droits sur l'eau sont octroyés. Au Kenya, par exemple, la loi sur l'eau de 2002 octroie la propriété de l'ensemble des ressources en eau à l'État. Si une personne désire utiliser de l'eau, elle doit demander un permis à l'autorité de gestion des ressources en eau (WRMA). Pour l'utilisation de faibles volumes d'eau, pour l'extraction de ressources en eau souterraine non soumises à un stress hydrique, ainsi que pour l'extraction d'eau des barrages et des réservoirs, aucun permis n'est requis²³⁴.

Dans d'autres pays, la situation est très différente, comme au Chili, où le Code de l'eau de 1985 reconnaît et protège les droits sur l'eau en leur conférant le statut de droits de propriété. Ces droits sont octroyés à titre définitif et à perpétuité. Si l'eau est dans le domaine public, les utilisateurs peuvent cependant obtenir des droits de propriété sur l'eau et s'en servir pour divers usages, dont l'agriculture. En plus d'être un actif qui peut être possédé, les droits d'eau peuvent être commercialisés, et un marché

234 Gouvernement du Kenya, loi sur l'eau, chapitre 372 (2012, édition de 2002 révisée, National Council for Law Reporting sous l'autorité du procureur général, Nairobi, 2012, extrait de faolex.fao.org/docs/pdf/ken37553.pdf le 23 septembre 2015.

de l'eau dynamique, mais aussi spéculatif, a fait son apparition. Le marché régit la distribution et le prix de l'eau, et sa réglementation par le gouvernement est restée négligeable²³⁵.

Dans les situations où les ressources en eau sont rares, la législation moderne sur l'eau peut aussi déterminer quelles utilisations prévalent sur les autres. C'est ce que l'on appelle la «**hiérarchie des utilisations de l'eau**». Par exemple, la loi sud-africaine sur l'eau de 1998 donne clairement la priorité à l'utilisation de l'eau pour les besoins humains fondamentaux ainsi que pour les écosystèmes. À cet effet, elle définit ce que l'on appelle «la Réserve» qui doit être mise de côté pour toute ressource en eau du pays avant que l'eau puisse être utilisée à d'autres fins. Selon cette loi, «La réserve comprend deux éléments: **la réserve pour les besoins humains fondamentaux et la réserve écologique**. La réserve pour les besoins humains fondamentaux couvre les besoins essentiels des personnes desservies par la ressource en eau en question et comprend l'eau destinée à la consommation, à la préparation des aliments, et à l'hygiène personnelle. La réserve écologique concerne l'eau nécessaire pour protéger les écosystèmes aquatiques de la ressource en eau»²³⁶.

Comme le montrent les exemples ci-dessus, la législation sur l'eau ne s'occupe pas uniquement des droits à l'eau, mais **aussi de la gouvernance, des dispositions institutionnelles, et des mécanismes de gestion des ressources en eau du pays**. Aujourd'hui, les lois sur l'eau précisent aussi comment les utilisateurs d'eau peuvent participer à la gestion de l'eau et comment les coûts de la gestion de l'eau seront couverts. La législation sur l'eau délègue aussi de plus en plus la gouvernance de l'eau. On trouve un exemple de ceci dans les dispositions juridiques d'un bon nombre de lois sur l'eau d'associations d'utilisateurs d'eau qui régissent la gestion de l'eau d'une unité hydrologique de niveau inférieur telle qu'un sous-bassin hydrologique.

8.1.2.2. *La qualité de l'eau et les droits d'eau modernes*

La législation moderne sur l'eau examine aussi les aspects liés à la qualité de l'eau et les autres aspects environnementaux liés à l'utilisation de l'eau et à la gestion des ressources en eau. La directive-cadre sur l'eau de l'Union européenne en est un bon exemple. La directive s'ouvre sur ces mots: «L'eau n'est pas un bien marchand comme les autres, mais un patrimoine qu'il faut protéger, défendre et traiter comme tel» (directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau). La directive-cadre sur l'eau impose à chaque État membre de définir le «bon état de l'eau de surface» de leurs masses d'eau et d'élaborer des plans de gestion des bassins hydrographique et un programme de mesures afin de parvenir à cet état. La directive vise à encourager une utilisation durable de l'eau sur la base d'une protection à long terme des ressources en eau. Par «bon état d'une eau de surface», on entend l'état atteint par une masse d'eau de surface lorsque son état écologique et son état chimique sont au moins «bons».

235 Global Legal Research Centre, Legislation on Use of Water in Agriculture, The Law Library of Congress, 2013, extrait de www.loc.gov:8081/law/help/water-law/Legislation-on-Use-of-Water-in-Agriculture.pdf le 28 juillet 2015.

236 Gouvernement d'Afrique du Sud, loi nationale sur l'eau n° 36 de 1998, extraite de www.acts.co.za/national-water-act-1998 le 16 septembre 2015.

Si la directive-cadre sur l'eau est un acte législatif très fort et moderne, sa pleine application a toutefois été difficile jusqu'à présent. Par exemple, les ressources en eaux de surface de l'Europe souffrent généralement de la pollution de sources diffuses, et 25 % des eaux souterraines sont dans un état chimique médiocre²³⁷.

8.1.3. Les droits d'eau et l'horticulture

Du point de vue d'un agriculteur et irrigateur, il est important de comprendre et d'appliquer le cadre législatif sur l'eau du pays, à savoir les exigences juridiques applicables à l'extraction de l'eau et les permis requis. Il est également important de comprendre comment, en tant qu'horticulteurs, les agriculteurs peuvent participer à la gouvernance et à l'affectation des ressources en eau. Les lois sur l'eau actuelles exigent souvent une grande transparence et, en tant que telles, elles délèguent le pouvoir aux autorités locales et aux organisations de citoyens, notamment aux associations d'utilisateurs des ressources en eau. La disposition juridique qui vise à accroître la participation et l'engagement de ces organisations peut aider les agriculteurs à comprendre et à influencer la dynamique et les risques associés à la réglementation sur l'eau. Les exploitations agricoles ont beaucoup à gagner à cet égard. La valeur des produits horticoles par volume d'eau consommé est souvent plus élevée. En d'autres termes, ils permettent une plus grande productivité économique de l'eau. Dans le débat sur la distribution de ressources en eau insuffisantes, les horticulteurs peuvent donc monter dans la hiérarchie de la distribution de l'eau tout en garantissant l'eau requise pour leur production.

8.2. GUIDER L'ACTION : POURQUOI ET PAR OÙ COMMENCER ?

8.2.1. Aperçu

La campagne en faveur de l'utilisation durable des ressources en eau de la planète est le résultat du sommet de la Terre qui s'est tenu à Rio de 1992. Lors de ce sommet, les États membres des Nations Unies se sont prononcés en faveur de la stratégie de gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) comme voie à suivre pour le développement et la gestion efficaces, équitables et durables des ressources en eau limitées du monde, dans le cadre d'un plan d'action global sur le développement durable. Le fondement de la GIRE repose sur les principes de Dublin (conférence internationale sur l'eau et l'environnement, Dublin, janvier 1992) :

1. L'eau douce – ressource fragile et non renouvelable – est indispensable à la vie, au développement et à l'environnement.
2. La gestion et la mise en valeur des ressources en eau doivent associer usagers, planificateurs et décideurs à tous les échelons.
3. Les femmes jouent un rôle essentiel dans l'approvisionnement, la gestion et la préservation de l'eau.
4. L'eau, utilisée à de multiples fins, est un bien public et a une valeur économique et sociale.

237 AEE, *The European environment, state and outlook 2015*, rapport de synthèse, Copenhague, AEE, 2015, extrait de www.eea.europa.eu/soer-2015/synthesis/report le 23 septembre 2015.

5. La gestion intégrée des ressources en eau repose sur la gestion équitable et efficiente et l'utilisation durable de l'eau.

Deux décennies après la reconnaissance de ces principes, lors du sommet de Rio+20 de 2012, ONU-Eau a présenté le rapport d'état sur les approches intégrées de la gestion des ressources en eau. En résumé, la conclusion de ce rapport est double. Sur le plan des avancées, 80 % des pays déclarent avoir entamé des réformes afin d'améliorer l'environnement nécessaire à la gestion intégrée des ressources en eau. Dans le même temps et conformément au contexte décrit au chapitre 1, la majorité des pays perçoivent que les risques liés à l'eau et la rivalité pour les ressources en eau ont augmenté au cours des 20 dernières années.

L'attention accrue pour l'utilisation durable des ressources en eau douce a conduit à un intérêt croissant pour la gestion de l'eau de la part du secteur privé au début du XXI^e siècle. Cela s'est traduit par une série d'approches et par l'intégration de la gestion de l'eau dans les contextes commerciaux. Par exemple :

- l'application de la méthode de l'évaluation de l'empreinte sur l'eau s'est normalisée grâce au Water Footprint Network²³⁸ et à la norme ISO 14046²³⁹ ;
- l'Alliance for Water Stewardship a publié la norme d'intendance de l'eau (Water Stewardship Standard)²⁴⁰ ;
- GLOBALG.A.P. a introduit des exigences concernant l'eau dans sa norme IFA (Integrated Farm Assurance)²⁴¹ ;
- l'établissement de rapports mondiaux sur l'eau a été intégré au projet de divulgation des informations sur l'eau du CDP (projet de divulgation des émissions de carbone)²⁴² ;
- des outils avancés permettant de comprendre les risques liés à l'eau pour les entreprises ont été mis en libre accès²⁴³.

La gestion de l'eau agricole ne respecte pas encore totalement les principes de la GIRE décrits ci-dessus. Afin d'utiliser l'eau au mieux, de la manière la plus productive, la plus efficace et la plus durable possible dans l'horticulture, les cinq principes de la GIRE décrits ci-dessus doivent devenir partie intégrante de l'utilisation de l'eau et des pratiques agricoles. Avec le développement des approches, des normes et des méthodes dans le domaine de l'eau (dont certaines sont énumérées ci-dessus), les horticulteurs ont la possibilité d'augmenter leurs bénéfices économiques en incorporant

-
- 238 Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. et Mekonnen, M.M., *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Londres, Earthscan, 2011, waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf.
- 239 ISO 14046:2014, Management environnemental – Empreinte eau – Principes, exigences et lignes directrices, Genève, 2014.
- 240 AWS, « The AWS International Water Stewardship Standard », 2014, extrait de www.allianceforwaterstewardship.org le 26 juin 2015.
- 241 GLOBALG.A.P., « Integrated Farm Assurance. All farm base – Crops base – Fruits and vegetables », Cologne, 2015.
- 242 CDP, « Water disclosure project », 2015, www.cdp.net/water.
- 243 WRI, « AQUEDUCT. Measuring and mapping water risk », 2015, www.wri.org/our-work/project/aqueduct; WBCSD, « The WBCSD Global Water Tool », 2015, <http://old.wbcd.org/work-program/sector-projects/water/global-water-tool.aspx>; WWF/DEG, « Water Risk Filter », 2015, waterriskfilter.panda.org.

systématiquement les approches de gestion intégrée de l'eau dans leur environnement agricole. Une approche générale par étapes pour y parvenir est présentée dans le tableau 1 ci-dessous. Le tableau explique non seulement les différentes étapes, mais aussi pourquoi une certaine étape est nécessaire, ainsi que les méthodes et les outils qui peuvent être employés dans ce cadre. Il donne aussi une illustration des données et des informations qui peuvent être utilisées pour exécuter l'étape en question.

Tableau 1 : Vue d'ensemble des étapes, outils, méthodes et données utilisées pour incorporer la gestion intégrée des ressources en eau dans un environnement horticole

Étapes	Pourquoi	Outils/méthodes utilisé(e)s	Exemples de données requises
1. Objet et objectif	Définir clairement ce que vous voulez obtenir grâce à la gestion de l'eau dans votre exploitation agricole et au-delà, et votre cible géographique		Données générales sur votre exploitation, sa situation géographique, ses activités (cultures), la situation hydrique générale dans l'exploitation et dans la région et le(s) bassin(s) hydrographique(s) d'activité
<i>Exemples :</i>	Augmenter la productivité, l'efficacité de l'utilisation de l'eau, et réduire la pollution de l'eau sur l'exploitation elle-même	Évaluation de l'empreinte sur l'eau	
	Gérer les risques liés à l'eau dus à l'utilisation et à la pollution de l'eau et l'environnement réglementaire et institutionnel autour de l'exploitation	Divers outils d'évaluation des risques	
	Évaluer si l'investissement dans l'irrigation est judicieux et efficace à la lumière de la technologie d'irrigation, de la productivité de l'exploitation et de la situation hydrique autour de l'exploitation	Plan d'irrigation	
	Respecter les exigences juridiques locales en matière d'utilisation de l'eau, la norme GLOBALG.A.P., la norme d'intendance de l'eau ou l'établissement de rapports mondiaux sur l'eau	GLOBALG.A.P. IFA, intendance de l'eau, divulgation des informations sur l'eau	

Étapes	Pourquoi	Outils/méthodes utilisé(e)s	Exemples de données requises
2. Comprendre la situation hydrique physique actuelle de votre exploitation	À la lumière des objectifs et de l'objet, créer un scénario de référence de la situation hydrique physique de votre exploitation et du bassin hydrographique dans lequel elle se trouve	CROWPAT, comptabilité de l'empreinte sur l'eau, ensembles mondiaux de données, données locales, délimitation du bassin hydrographique, modélisation hydrologique	Évapotranspiration des cultures, données climatiques (mondiales et locales), sources d'eau, délimitation du bassin hydrographique, position GPS de l'exploitation, des sources et cours d'eau, prélèvements des sources d'eau, mesures de la qualité de l'eau
3. Comprendre les risques et les possibilités pour votre exploitation ainsi que la durabilité de l'utilisation de l'eau	À la lumière des objectifs et de l'objet, interpréter les informations hydriques physiques compte tenu du contexte social, environnemental, économique et réglementaire, comprendre les risques et les possibilités liés à l'eau pour l'exploitation ainsi que les scénarios d'intervention en matière d'irrigation et les pratiques agricoles adaptées	Outils de gestion des risques, évaluation de la durabilité sociale de l'empreinte sur l'eau, scénarios de productivité économique et agricole de l'eau basés sur l'empreinte sur l'eau	Informations réglementaires, limites environnementales pour l'extraction de l'eau, normes environnementales applicables à la qualité de l'eau, données économiques et sociales liées à la production, à l'approvisionnement en eau et à l'assainissement, plan de gestion du bassin hydrographique, le cas échéant

Étapes	Pourquoi	Outils/méthodes utilisé(e)s	Exemples de données requises
4. Élaborer un plan de gestion de l'eau	À la lumière des objectifs et de l'objet, élaborer une stratégie et planifier des activités en vue d'améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau, la productivité de l'eau, et afin de réduire la pollution au niveau de l'exploitation agricole et du bassin hydrographique (si nécessaire) ou de respecter la norme GLOBALG.A.P., la norme d'intendance de l'eau, et les réglementations	Principes de GIRE, norme d'intendance de l'eau, norme GLOBALG.A.P. IFA	Données des points 2 et 3 ci-dessus
5. Suivi et rapports	Adapter sans cesse l'efficacité et l'incidence des activités dans le plan de gestion de l'eau, respecter les exigences en matière de conservation des données et d'établissement de rapports	GLOBALG.A.P., norme d'intendance de l'eau, divulgation des informations sur l'eau, comptabilité de l'empreinte sur l'eau	Utilisation et pollution de l'eau dans l'exploitation, informations sur les activités de gestion de l'eau au niveau du bassin hydrographique, informations sur les rendements et les gains financiers

Chapitre 9

Production de bananes équitables dans le nord du Pérou: étude de cas

9.1. Introduction	160
9.2. Le contexte	160
9.3. Les outils	163
9.4. Les pratiques d'irrigation réelles par rapport aux plans d'irrigation théoriques	164
9.5. L'eau pour le nettoyage et le traitement	167
9.6. Résultats et principaux messages	169

9.1. INTRODUCTION

La production de bananes est une activité économique importante qui a des retombées économiques et sociales positives pour un grand nombre de petits producteurs dans la région de Piura au Pérou. Regroupés en associations, les agriculteurs mettent leurs bananes sur le marché international avec l'aide d'Agrofair, qui est une organisation de commerce équitable et coopérative de producteurs²⁴⁴. Comme la région est aride et que les précipitations y sont très peu abondantes, la production de bananes dépend fortement de l'irrigation. Cependant, la quantité d'eau actuellement à la disposition des exploitations agricoles ne leur permet pas une utilisation durable de l'eau, ce qui a une incidence sur la productivité et la rentabilité. Les agriculteurs et les associations d'agriculteurs doivent prendre des mesures pour améliorer la gestion de l'eau au niveau des exploitations et du bassin hydrographique, et accroître ainsi la productivité et la rentabilité. Dans ce chapitre, nous décrivons la situation hydrique en relation avec la production de bananes dans cette région et nous proposons certaines mesures qui pourraient être mises en œuvre.

9.2. LE CONTEXTE

9.2.1. Les exploitations agricoles et la zone géographique ciblées

Un échantillon de 120 exploitations a été choisi pour cette étude. Ces 120 producteurs se trouvent dans la vallée du Chira dans le nord du Pérou, non loin de la frontière avec l'Équateur. L'eau dont ils disposent provient du bassin du Chira. La taille des exploitations varie de 0,3 à 6,3 hectares, avec une moyenne de 0,7 hectare. Les agriculteurs sont regroupés en associations, mais aussi, à un niveau inférieur, partagent les installations de conditionnement pour laver, traiter et emballer les bananes (tableau 1).

Le bassin du Chira est un bassin binational, aussi connu sous le nom de bassin du Catamayo-Chira, le fleuve étant appelé Catamayo en Équateur. Il a un bassin hydrographique de 17 200 km², dont 33 % environ se trouvent au Pérou, dans la région de Piura. Son altitude est comprise entre le niveau de la mer à l'embouchure du Chira et 3 700 m dans les Andes équatoriennes (parc national de Podocarpus, Loja), où la rivière prend sa source (figure 1). Son cours principal est le Catamayo-Chira, d'une longueur de 315 km. Après avoir franchi la frontière du Pérou, il se jette dans le réservoir de Poechos, puis dans l'océan Pacifique, après avoir traversé la vallée du Chira.

244 www.Agrofair.nl.

Tableau 1 : L'échantillon d'exploitations choisi pour cette étude au Pérou, région de Piura, province de Sullana²⁴⁵. Source : GSI, 2013

Nom de la station de conditionnement	Nom de l'association	Nbre de producteurs	Taille de l'exploitation en hectares			Rendement moyen t/ha ²⁴⁶	Type d'irrigation
			Min.	Moy.	Max.		
1. Yacila	APPBOSA	88	0,3	1,5	6,3	34	Aspersion
2. Bomba II	CENBANOR	6	0,5	0,5	0,5	38	Submersion
3. Carrasco	CENBANOR	4	0,3	0,4	0,5	21	Submersion
4. Santos Heredia	CENBANOR	5	0,5	0,5	0,5	21	Submersion
5. Grimanesa I	CENBANOR	3	0,5	1,0	1,5	35	Submersion
6. Isidro III	APROBOVCHIR	14	0,3	0,6	1,3	49	Submersion
Moyenne²⁴⁷		120	0,4	0,7	1,8	34	



Figure 1 - La région de l'étude: bassin du Chira (ligne rouge), principales rivières dans le bassin du Chira (lignes bleues), vallée du Chira (indiquée par les flèches orange). La position de la station climatologique de San Jacinto - Piura est indiquée à l'aide d'un triangle blanc. Les cartes de délimitation du bassin hydrographique et du fleuve ont toutes deux été extraites de la base de données mondiale de cartes de la FAO²⁴⁸ et exportées dans Google Earth.

245 GSI, «Water Footprint Assessment of bananas produced by small banana producers in Peru and Ecuador», 2013, www.goodstuffinternational.com.

246 Estimations du rendement sur la base des capacités des stations de conditionnement et des quantités de bananes vendues par les producteurs. On part du principe que 85 % de la production est vendue aux stations de conditionnement pour l'exportation.

247 Les chiffres du rendement moyen sont basés sur la production totale et sur la superficie totale de l'exploitation.

248 FAO, «Aquamaps», 2015, www.fao.org/nr/water/infores_databases_aquamaps.html.

9.2.2. Les conditions climatiques

La vallée du Chira est une région très aride avec une seule saison des pluies dans les premiers mois de l'année (figure 2). Le reste de l'année, les précipitations sont très peu abondantes, voire inexistantes. La région souffre de la rareté de l'eau bleue sept mois par an, de juillet à janvier²⁴⁹ (voir figure 2). Les scénarios en matière de changement climatique pour la région prévoient un stress hydrique sévère dans la région de Piura en 2050.

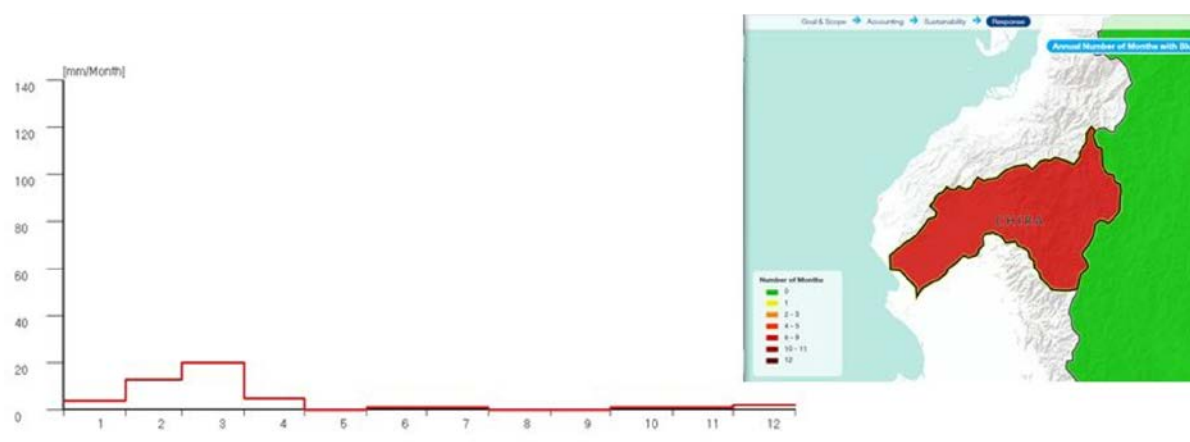


Figure 2 - À gauche : précipitations mensuelles moyennes (1961 – 2000) à la station climatologique de San Jacinto – Piura (voir figure 1 pour la position géographique de la station).

Source : base de données New Loc Clim (FAO, 2014)²⁵⁰

À droite : le bassin du Chira souffre de la rareté de l'eau bleue sept mois par an (donnée de 1996 à 2005).

Source : Water Footprint Assessment Tool, WFN, 2015)²⁵¹

9.2.3. L'objectif de l'étude

Les producteurs de bananes de la vallée du Chira utilisent l'eau de deux manières principales. La première est l'irrigation, essentielle à la production des bananes en raison de la faiblesse des précipitations (dans l'échantillon analysé, les exploitations utilisaient l'irrigation par aspersion et par submersion – tableau 1). La seconde utilisation a lieu dans les stations de conditionnement, essentiellement pour le lavage.

L'objectif de l'étude, qui a été réalisée en 2013, était de définir des stratégies en vue d'améliorer la consommation durable de l'eau pour la production et le traitement des bananes par les petits producteurs de cette région du Pérou (et donc la durabilité de la chaîne d'approvisionnement). Good Stuff International a réalisé l'étude²⁵² avec l'aide d'Agrofair et de TASTE²⁵³. Un rapport complet de l'étude est disponible en espagnol sur le site internet de Good Stuff International²⁵⁴.

249 WFN, «Water Footprint Assessment Tool», 2015, waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/#CP.

250 FAO, «New LocClim: local climate estimator», 2014, www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp.

251 WFN, «Water Footprint Assessment Tool», *op. cit.*

252 GSI, «Water Footprint Assessment of bananas produced by small banana producers in Peru and Ecuador», *op. cit.*

253 www.fairtaste.nl.

254 GSI, «Water Footprint Assessment of bananas produced by small banana producers in Peru and Ecuador», *op. cit.*

9.3. LES OUTILS

Afin d'éclairer le débat sur la durabilité de l'eau dans la production bananière dans le bassin du Chira, GSI a utilisé l'évaluation de l'empreinte sur l'eau²⁵⁵ et le filtre des risques hydriques²⁵⁶, combinés aux données collectées sur le terrain. Les détails méthodologiques des deux outils sont disponibles ailleurs et ne sont donc pas examinés ici²⁵⁷. Cependant, l'application de ces outils a orienté la collecte des données sur le terrain.

Une technicienne a passé deux semaines sur le terrain pour collecter des données. Elle a réuni des informations dans les exploitations et dans les stations de conditionnement, avec l'accord des associations de producteurs et en collaboration avec celles-ci. Comme il s'agit de petits producteurs, peu de données dures étaient disponibles, et une grande partie des données ont donc été déduites des conversations avec les producteurs ou simplement des mesures prises dans les stations de conditionnement. En définitive, l'aptitude de la technicienne à trouver des moyens simples et créatifs de réunir des informations a été fondamentale.

Tableau 2 : Les outils utilisés pour évaluer la durabilité de l'eau dans l'étude de cas
Source : d'après GSI, 2013

Outil	Objectif ultime de l'utilisation de cet outil
Évaluation de l'empreinte sur l'eau	<ul style="list-style-type: none"> • Comprendre la consommation d'eau réelle des cultures par rapport à leurs besoins en eau et aux modèles d'irrigation • Quantifier la disponibilité d'eau verte pour la production bananière • Réaliser un bilan hydrique du sol pour établir un calendrier d'irrigation optimal • Comparer la consommation d'eau pour la production et la consommation d'eau pour le traitement. • Comparer les empreintes sur l'eau des bananes aux stades de la production et du traitement
Filtre des risques hydriques	<ul style="list-style-type: none"> • Évaluer les risques liés à l'eau au niveau du bassin hydrographique et pour l'activité • Comprendre la gouvernance de l'eau dans la région • En apprendre davantage sur les scénarios en matière de changement climatique pour la région

255 Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. et Mekonnen, M.M.. *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Londres, Earthscan, 2011.

256 WWF, «The Water Risk Filter», 2015, waterriskfilter.panda.org.

257 GSI, «Water Footprint Assessment of bananas produced by small banana producers in Peru and Ecuador», *op. cit.*

Collecte de données sur le terrain

Obtenir des informations précises sur :

- les rendements
- les sources d'eau utilisées
- les volumes d'eau déversés sur les champs
- la fréquence de l'arrosage
- l'eau utilisée pour le traitement des bananes
- le système d'allocation de l'eau aux producteurs
- d'autres aspects tels que la salinité, l'entretien des canaux, etc.

9.4. LES PRATIQUES D'IRRIGATION RÉELLES PAR RAPPORT AUX PLANS D'IRRIGATION THÉORIQUES

9.4.1. Les pratiques d'irrigation réelles

En raison de la politique d'allocation de l'eau en vigueur dans la région, les producteurs reçoivent d'abondants volumes d'eau chacun à leur tour. Chaque tour dure plusieurs heures. Comme les tours sont espacés, les producteurs tentent généralement de déverser le plus d'eau possible sur leurs champs pendant leur tour, en particulier pendant la saison sèche, plus chaude et plus aride. Des producteurs d'une des stations de conditionnement ont cependant déclaré l'inverse. Le tableau 3 présente une synthèse des modèles d'irrigation.

Tableau 3 : Modèles d'irrigation des exploitations analysées

Modèle d'irrigation	Nombre des stations de conditionnement qui suivent ce modèle d'irrigation
Une fois toutes les deux semaines pendant la saison sèche, une fois toutes les trois semaines pendant la saison des pluies.	2
Une fois toutes les trois semaines pendant toute l'année.	3
Une fois toutes les trois semaines pendant la saison sèche, une fois toutes les quatre semaines pendant la saison des pluies.	1
<i>Total</i>	6

Comme la fréquence de la réception d'eau n'est pas très élevée, les producteurs utilisent toute l'eau qu'ils reçoivent chacun à leur tour pour arroser les cultures, tentant ainsi d'éviter les problèmes de stress hydrique. Cette pratique a été observée tant pour les systèmes d'irrigation par aspersion que pour les systèmes par submersion. Le problème avec cette approche est que les producteurs reçoivent plus d'eau par tour que le sol ne peut en retenir ; cette méthode d'utilisation de l'eau constitue un sérieux frein aux avantages des systèmes d'irrigation par aspersion sur le plan de l'efficacité hydrique. Une tendance analogue a été constatée pour la pratique d'irrigation par

submersion, dans laquelle les champs sont submergés à l'excès pendant l'irrigation (figure 3). Ces pratiques peu efficaces de gestion et d'application de l'irrigation ont généré d'importantes pertes par évaporation, un ruissellement important, de l'érosion, le lessivage des nutriments, une salinisation (figure 4), et un mauvais drainage²⁵⁸.



Figure 3 - L'irrigation par submersion des plantations de bananes au Pérou



Figure 4 - Les problèmes de salinisation dans la région du Chira. Source : Agrofair Sur²⁵⁹

- 258 Agrofair Sur, TASTE, Apecolnca, Master SRL, «Factores que predisponen el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano orgánico en «Savanna grown «», 2011; *id.*, Apecolnca, Master SRL, «Introducción de bananos «Savanna grown «y «Mountain grown «: hacia nuevos conceptos para una fruta tropical más sostenible. Estudio territorial ambiental y estudios de caso socioeconómicos y ambientales de fincas bananeras en Perú», 2011.
- 259 Agrofair Sur, «Factores que predisponen el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano orgánico en «Savanna grown «», *op. cit.*

En outre, aucune eau d'irrigation n'est disponible entre les tours, ce qui entraîne un stress hydrique pour les bananiers. La diminution du rendement des cultures à cause du stress hydrique a été estimée à 27 % (à l'aide du modèle CROPWAT)²⁶⁰. Une baisse de la qualité des fruits a aussi été signalée. À terme, cela a un effet négatif sur la productivité.

L'eau d'irrigation vient soit directement du réservoir de Poechos, soit du canal d'irrigation Miguel Checa (figure 5). Ce canal dessert aussi les producteurs de riz et, selon les producteurs de bananes, les producteurs de riz bénéficient d'une priorité ; il existe donc une rivalité pour l'eau, en particulier pendant la saison sèche, avec de sérieuses conséquences pour la production bananière.



Figure 5 - Le canal d'irrigation Miguel Checa

9.4.2. Le calendrier d'irrigation

Le modèle Cropwat²⁶¹ aide à planifier un calendrier d'irrigation optimal pour les cultures ; il permet aussi d'intégrer des données réelles (voir les chapitres 5 et 6 pour de plus amples détails sur Cropwat), ce qui signifie qu'il est possible de comparer le calendrier prévu avec le calendrier d'irrigation réel (et donc d'estimer les pertes

260 FAO, «The Cropwat model», 2010, www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.

261 *Ibid.*

d'eau d'irrigation potentielles). Les résultats de l'étude montrent que pour la plupart des stations de conditionnement examinées (CENBANOR et APROBOVCHIRA, voir le tableau 1), les pertes d'eau d'irrigation sont très importantes. Le modèle montre que les producteurs de ces stations déversent plus d'eau par épisode d'arrosage que ce que le sol peut retenir, l'excédent d'eau étant perdu par évaporation ou par ruissellement.

Voici un exemple tiré d'une autre station de conditionnement. Les coordonnées géographiques sont utilisées pour déterminer la station climatologique la plus proche et les données climatiques les plus valables. Selon Cropwat, les bananiers propres à cette zone ont besoin de 2236 mm d'eau par an pour achever leur croissance sans aucun stress hydrique. Les précipitations atteignent 45 mm/an, et Cropwat en conclut donc que 2191 mm/an (la différence) seraient nécessaires comme irrigation nette. Cependant, après intégration des données d'irrigation réelles, le modèle estime qu'en réalité, l'évapotranspiration pour cette culture ne s'élève qu'à 1730 mm/an au total dans le cadre du modèle d'irrigation actuel. De ces 1730 mm/an, 45 mm/an proviennent des précipitations, et l'évapotranspiration d'eau d'irrigation est donc en réalité de 1685 mm/an. Toute l'eau nécessaire à la plante pour une croissance optimale n'est donc pas évapotranspirée. Il en résulte que les cultures souffrent de stress hydrique, avec les diminutions de rendement qui en découlent.

Si l'on observe les données d'irrigation de cette culture, l'irrigation nette totale s'élevait à 4656 mm/an (le modèle requiert une efficacité d'irrigation par défaut, de 70 % dans ce cas). Cela signifie que la différence, $4656 - 1685 = 2971$ mm/an (63 %) a été appliquée sans aucun effet positif pour la culture. Cette eau peut être considérée comme «perdue». Et donc, alors que la culture souffre de stress hydrique, on gaspille en même temps de l'eau d'irrigation. Cropwat a estimé à 27 % la perte de rendement due au stress hydrique. Il est à noter que l'application d'eau d'irrigation n'a pas été mesurée systématiquement et que les résultats et les conclusions doivent donc être considérés avec une certaine réserve. Les informations sur l'eau répandue ont été déduites des spécifications des pompes de distribution et des conversations avec les producteurs sur la manière dont ils utilisent celles-ci. Ceci étant, la situation a été constatée de visu. Cropwat apporte un soutien quantitatif pour cette analyse.

À cause du système de distribution de l'eau en place, le fait d'avoir un système d'irrigation par submersion ou par aspersion ne fait pas une grande différence sur le plan du volume d'eau utilisé et du rendement des cultures.

9.5. L'EAU POUR LE NETTOYAGE ET LE TRAITEMENT

L'eau douce propre est très importante pour laver et préparer le produit final. Les producteurs apportent leurs bananes dans les stations de conditionnement, où elles sont lavées et conditionnées dans des caisses prêtes pour l'exportation (figure 6). Dans cette région, l'eau propre est rare et provient de deux sources (tableau 3): les eaux souterraines (Figure 7) et l'eau obtenue des camions qui livrent de l'eau potable aux stations de traitement.



Figure 6 - Le lavage des bananes équitables pour l'exportation dans la vallée du Chira, Pérou. La technicienne qui collecte des données procède à une inspection visuelle (avec le sac orange).



Figure 7 - L'extraction d'eau souterraine pour laver et traiter les bananes pour l'exportation dans la vallée du Chira, Pérou

Pour des raisons opérationnelles, il n'a pas été possible d'évaluer la pollution de l'eau due au lavage et au traitement de façon quantitative. Des données qualitatives ont cependant été collectées sur les additifs chimiques présents dans l'eau de traitement et sur le sort réservé aux eaux usées (tableau 4).

Tableau 4 : L'utilisation de l'eau pour le lavage et le traitement dans les stations de conditionnement de bananes

Association des producteurs de bananes	Source de l'eau utilisée dans la station de conditionnement	Sort réservé aux eaux usées	Polluants possibles dans les eaux usées*
APPBOSA	Eaux souterraines	Le canal emmène les eaux usées directement dans le Chira	Chlore, alun de potassium ²⁶² , BC-1000 ²⁶³
CENBANOR	Eaux souterraines	Le canal emmène les eaux usées dans les cultures de bananes	Chlore, alun, citron, BC-1000
APROBOVCHIRA	Camion de livraison d'eau potable	Les eaux usées sont directement déversées sur les terres situées à proximité de la station de conditionnement	Alun de potassium

* Toutes les substances ajoutées à l'eau douce pour le lavage et le traitement des bananes.

Le volume d'eau utilisé pour le lavage et le traitement par kilo de bananes produit est considérablement inférieur au volume d'eau requis pour l'irrigation, comme le montrent les résultats de l'empreinte sur l'eau présentés dans le chapitre suivant.

9.6. RÉSULTATS ET PRINCIPAUX MESSAGES

- L'empreinte sur l'eau moyenne des bananes de l'échantillon analysé s'élevait à 599 m³/t, ce qui correspond à 11,4 m³/caisse de fruits destinés à l'exportation. Ce chiffre correspond pour 94 % à de l'eau bleue, ce qui indique une forte dépendance vis-à-vis de l'eau d'irrigation et la très faible contribution de la pluie (6 % d'eau verte). Moins de 1 % de l'empreinte sur l'eau bleue totale concerne la phase de conditionnement, ce qui montre que l'essentiel de la consommation d'eau concerne l'irrigation.
- Le filtre des risques hydriques²⁶⁴ donne des informations sur deux types de risques: les risques liés à l'entreprise et les risques liés au bassin. Les résultats sont compris entre 1 et 5, 5 indiquant le risque le plus élevé.

262 Sulfate double d'aluminium et de potassium hydraté, une substance cicatrisante blanchissante et antioxydante.

263 Le BC-1000 est un bactéricide et un fongicide organique.

264 WWF, «The Water Risk Filter», *op. cit.*

Dans ce cas, les résultats obtenus sont respectivement de 3,7 et 3,5, ce qui indique un niveau élevé de risque hydrique pour les bananes cultivées dans cette région. Selon le filtre des risques hydriques, l'entreprise pourrait améliorer l'efficacité hydrique de façon sensible, mais la rareté physique de l'eau et la concurrence entre les utilisateurs dans la vallée du Chira sont critiques.

- Les outils particuliers que sont l'évaluation de l'empreinte sur l'eau et le filtre des risques hydriques constituent un cadre solide et mondialement reconnu pour collecter des données et pour comprendre et communiquer la situation hydrique dans les exploitations et dans le bassin hydrographique. Ils guident la préparation d'un plan de gestion de l'eau au niveau de l'entreprise.
- Souvent, les moyens techniques et financiers pour appliquer ces outils font défaut. Par l'inspection visuelle, la collecte d'une quantité minimale de données, et l'application d'un calendrier d'irrigation, il serait possible de se faire au moins une idée qualitative de l'efficacité avec laquelle les ressources hydriques sont utilisées. Il est aussi recommandé aux producteurs de débattre des problèmes d'eau au niveau du bassin hydrographique afin de commencer à gérer les risques au niveau du bassin et d'accroître les possibilités d'influencer les politiques de distribution de l'eau.
- L'eau destinée à l'irrigation est utilisée de manière très inefficace. Il existe deux raisons principales à cela: la première est liée à la manière dont l'eau destinée à l'irrigation est gérée au niveau du bassin hydrographique. La fréquence et les volumes d'eau alloués aux producteurs devraient être revus. La seconde est liée à la méconnaissance des avantages de l'établissement d'un calendrier d'irrigation et de la gestion intégrée de l'irrigation, en combinaison avec des pratiques de gestion des sels et des nutriments.
- Vu la rareté de l'eau et le pronostic en matière de changement climatique, on recommande que les parties concernées s'attellent à mettre en place deux stratégies :
 1. la première au niveau des exploitations: stocker l'eau reçue des districts d'irrigation pour que pendant les tours, seule l'eau requise par les cultures soit appliquée et que le reste soit conservé pour les jours et les semaines qui suivent, lorsque les cultures auront à nouveau besoin d'eau (figure 8). Les producteurs ou les associations pourraient mieux s'organiser pour trouver un lieu et des moyens financiers pour les installations de stockage ;
 2. et la seconde au niveau du bassin hydrographique, consiste à entamer des discussions au niveau du bassin, à lancer des plates-formes et des groupes sur l'eau, afin de promouvoir une meilleure distribution de l'eau aux producteurs, plus en ligne avec les conditions climatiques actuelles et les besoins du sol et des cultures. Cette seconde stratégie doit être conçue à long terme et est peut-être plus difficile à mettre en place, car elle fait intervenir d'autres parties concernées et elle suppose d'apporter des modifications à la politique en vigueur.

- Il est crucial d'entamer un dialogue au niveau du bassin hydrographique, non seulement pour le débat sur l'allocation et la distribution de l'eau, mais aussi pour motiver des actions en rapport avec les autres sérieux problèmes d'eau dans le bassin, par exemple le mauvais entretien du réservoir de Poechos et des canaux d'irrigation, les problèmes de pollution, la rivalité pour l'eau, et les scénarios en matière de changement climatique.



Figure 8 - Un producteur de l'échantillon stocke l'eau reçue pendant son tour pour sa culture de bananes. Pour ce faire, le producteur avait besoin d'un espace suffisant (ce qui n'est pas toujours possible) et d'investir dans une infrastructure simple. Malgré les pertes par évaporation dans ces réservoirs, les cultures reçoivent de l'eau avec un meilleur timing et sont donc moins stressées.



GESTION DURABLE DE L'EAU

PARTIE II





Chapitre 1

L'eau en horticulture

1.1. Principales utilisations de l'eau en horticulture	176
1.2. L'aspect commercial	177
1.3. L'eau en tant que ressource partagée	180
1.4. Exemple	181

1.1. PRINCIPALES UTILISATIONS DE L'EAU EN HORTICULTURE

La gestion de l'eau sur l'exploitation agricole pour la production et les activités intervenant après la récolte s'appuie sur quatre principes fondamentaux liés à l'eau :

1. garantir une quantité d'eau suffisante pour couvrir les besoins des cultures ;
2. garantir une qualité d'eau adéquate ;
3. éviter la pollution ;
4. gérer l'eau comme une ressource partagée.

L'accès à des quantités suffisantes d'une eau de bonne qualité au moment où on en a besoin est fondamental pour l'horticulture. C'est une condition préalable tout au long de la production, mais aussi pour de nombreuses activités d'après-récolte comme le lavage, le traitement et le conditionnement.

1.1.1. L'eau pour la production

Les bons rendements dépendent d'apports d'eau appropriés pour la germination des semences ainsi que pour l'implantation et la croissance des cultures. Les plantes utilisent l'eau pour la transpiration (95 %), la photosynthèse (5 %), l'absorption des nutriments, ainsi que pour maintenir la pression cellulaire (turgescence) et empêcher le flétrissement.

La disponibilité de l'eau pour la plante est déterminée par la quantité d'eau présente dans la zone racinaire. Celle-ci dépend des niveaux d'eau dans le sol, du type de sol et de ses caractéristiques. Dans les régions où l'eau est abondante, l'horticulture peut être pluviale, tandis que dans les régions plus sèches, ou pendant les saisons sèches, l'irrigation représente un avantage (ou même un élément essentiel) pour la production culturale. L'eau d'irrigation peut être obtenue à partir de diverses sources, notamment les rivières, les forages, les réservoirs, les sources, ou les conduites de distribution. La qualité et la quantité de l'eau d'irrigation sont importantes pour réaliser de bons rendements, obtenir des produits sûrs et de haute qualité, et pour prévenir la dégradation des sols.

Le type et les caractéristiques du sol influencent la manière dont l'eau pénètre dans le sol (au lieu d'être perdue par ruissellement), et la manière dont elle est retenue et conserve son humidité au sol.

La gestion de l'eau en vue d'une croissance optimale des cultures exige donc de connaître la disponibilité de l'eau, sa qualité, le type de sol et la gestion de celui-ci. Ces points seront traités de façon plus approfondie dans les chapitres suivants.

1.1.2. L'utilisation de l'eau après la récolte

L'eau est utilisée pour laver les produits, pour les traitements postérieurs à la récolte, pour le conditionnement, et pour le stockage. Il est essentiel d'utiliser de l'eau de bonne qualité, selon des méthodes adéquates, pour maintenir la qualité des produits et prévenir les risques pour la sécurité alimentaire.



Figure 1 - Traitement des fruits après la récolte.
Source : Pennwalt Ltd

1.2. L'ASPECT COMMERCIAL

L'eau est une ressource fondamentale pour la durabilité de toute entreprise horticole. Pour garantir la rentabilité, il est essentiel d'adopter une approche proactive de la gestion de l'eau à l'échelle de l'exploitation agricole. Les agriculteurs doivent connaître la quantité d'eau utilisée dans toutes les activités de l'exploitation agricole, la quantité d'eau dont les cultures ont effectivement besoin, les sources d'eau disponibles, et les moyens d'améliorer le rendement hydraulique. Avec un meilleur rendement hydraulique, la productivité de l'exploitation agricole augmentera et avec elle, sa rentabilité. La relation entre l'eau, le sol et les cultures signifie qu'adopter une meilleure utilisation de l'eau, plus efficace, améliorera aussi l'efficacité des nutriments sur l'exploitation agricole, ce qui améliorera les caractéristiques du sol.

1.2.1. L'analyse de la rentabilité pour la gestion de l'eau

1.2.1.1. Augmenter la productivité et la rentabilité de l'exploitation agricole

Pour optimiser les rendements, l'eau doit être disponible en quantités suffisantes au moment où la culture en a besoin. Si l'on sait exactement quand la culture a besoin d'eau et combien elle doit en recevoir, l'irrigation peut être adaptée pour éviter les apports inutiles ou excessifs, et des économies peuvent être réalisées sur le captage d'eau. La gestion efficace de l'irrigation peut également produire des économies en réduisant les coûts indirects tels que le pompage, le carburant, l'entretien, et les fertilisants. Les coûts d'extraction peuvent également être réduits par le captage et le recyclage de l'eau, ainsi que par une gestion du sol visant à améliorer la rétention de l'eau. Les mesures destinées à améliorer la gestion de l'eau, dont plusieurs sont simples et peu coûteuses, peuvent faire progresser les rendements, réduire les coûts et augmenter la rentabilité globale.

1.2.1.2. Accroître la durabilité globale

Pour une entreprise, le seul moyen de rester productive et rentable dans la durée est de garantir l'utilisation durable des ressources et intrants essentiels, notamment l'eau.

Une bonne gestion de l'eau au niveau de l'exploitation agricole :

- **Améliore la résilience générale face au changement climatique.** En contrôlant les besoins d'eau des cultures par rapport à la disponibilité de celle-ci sur plusieurs cycles de cultures (ou années), on peut comprendre comment le changement climatique affecte cette activité. On peut ainsi planifier pour anticiper et prendre les mesures nécessaires pour assurer la durabilité de l'entreprise.
- **Garantit la sécurité d'approvisionnement en eau à long terme.** En protégeant les ressources locales d'eau, les exploitations agricoles peuvent contribuer à maintenir la sécurité de l'approvisionnement en eau de leur entreprise, tant sur le plan de la qualité que sur celui de la quantité de l'eau.
- **Améliore la qualité des sols, réduit l'érosion, et rend les fertilisants plus efficaces.** Ceci comprime les coûts et réduit les incidences négatives sur l'environnement.
- **Réduit les incidences sociales et environnementales négatives de l'utilisation de l'eau.** Par exemple, dans les zones où l'eau est rare, l'utilisation efficace de l'eau et la prévention du gaspillage entraîneront une augmentation des volumes d'eau disponibles pour les autres consommateurs et pour l'environnement. Empêcher la pollution signifie moins d'incidences sur la santé des populations en aval, et par une plus grande quantité de poissons dans la rivière.



Figure 2 - Gestion de l'eau par l'agriculteur
Source : DW

1.2.1.3. Répondre à la demande des acheteurs

Une exploitation agricole dont la sécurité d'approvisionnement est assurée est plus productive, a une meilleure capacité d'adaptation, et est mieux à même d'assurer une fourniture constante et fiable de produits horticoles de bonne qualité à ses acheteurs. Dans de nombreux domaines, la gestion de l'eau devient un facteur essentiel de compétitivité.

La gestion de l'eau est indispensable pour accéder à de nombreux marchés locaux haut de gamme et d'exportation, et les acheteurs demandent à leurs fournisseurs de prouver qu'ils utilisent l'eau de façon responsable. La norme principale concernant les bonnes pratiques agricoles au niveau de l'exploitation agricole (GLOBALG.A.P.) comporte plusieurs critères de conformité en rapport avec l'eau. Par exemple, la tenue de registres d'utilisation de l'eau et la mise en œuvre d'un plan de gestion de l'eau sont obligatoires pour obtenir la certification GLOBALG.A.P.

1.3. L'EAU EN TANT QUE RESSOURCE PARTAGÉE

1.3.1. Incidences

Partout sur la planète, les gens sont de plus en plus conscients que l'eau est une ressource fondamentale qui doit être préservée et protégée. L'eau, notamment l'eau propre, devient rare dans de nombreuses régions, tandis que, dans le même temps, la pollution des eaux de surface et souterraines devient un sujet de préoccupation croissante.

La façon dont chaque exploitation agricole ou entreprise utilise l'eau a également des incidences qui dépassent la structure considérée: l'utilisation responsable de l'eau est essentielle à la protection de l'environnement et des autres utilisateurs.

Conscientes de ces problèmes, de nombreuses autorités locales et nationales renforcent leurs politiques, leurs lois et leurs contrôles pour améliorer la gestion de l'eau. Le secteur privé vise aussi une gestion responsable de l'eau grâce à des normes et des certifications privées qui sont aujourd'hui obligatoires dans de nombreuses chaînes d'approvisionnement mondiales.

En conséquence, les agriculteurs doivent de plus en plus répondre aux demandes de la société qui exige qu'ils respectent les règlements et les normes sur l'eau. Parmi ceux-ci, on peut citer :

- **Les lois régissant le captage d'eau.** Ces lois couvrent les questions suivantes : droits relatifs à l'eau, autorisations dans le domaine de l'eau, associations pour l'eau, coût de l'eau et hiérarchisation des utilisations de l'eau (qui reçoit l'eau en priorité en cas de pénurie d'eau).
- **Les lois en matière de pollution de l'eau** couvrent les rejets d'eau et les normes de qualité de l'eau applicables aux effluents.
- **Les réseaux d'irrigation.** Les membres doivent respecter certaines règles ou accords. Être membre d'un réseau implique une interaction avec d'autres agriculteurs, associations et institutions.
- **Les contrôles des chaînes d'approvisionnement.** De nombreux acheteurs exigent de leurs fournisseurs qu'ils soient certifiés dans le cadre d'une ou de plusieurs normes privées avant d'entrer en contact. Les normes sur les chaînes d'approvisionnement internationales traitent de plus en plus souvent de l'eau spécifiquement, comme GLOBALG.A.P. *Integrated Farm Assurance* (IFA) et ISO 14046 – Empreinte eau.

Exercices élémentaires pour les exploitations et entreprises horticoles

- Indiquez les différentes utilisations de l'eau sur votre exploitation agricole pour la production et les traitements postérieurs à la récolte.
- Énumérez les sources d'eau utilisées sur l'exploitation.
- Dessinez une carte approximative de votre exploitation en faisant figurer les sources d'eau sur l'exploitation et à ses abords.
- Connaissez-vous la quantité d'eau que vous utilisez? Connaissez-vous la quantité d'eau dont vous avez besoin? Sinon, avez-vous une idée de la façon dont vous pourriez mesurer ou estimer ces quantités?
- Énumérez les problèmes d'eau que vous avez rencontrés sur votre exploitation agricole/entreprise.
- Ces problèmes ont-ils une incidence significative (ou une incidence potentielle) sur vos activités?
- Pensez-vous que la gestion de l'eau sur votre exploitation a un effet sur la productivité, la rentabilité et la compétitivité?
- Connaissez-vous les principaux règlements sur l'eau en vigueur dans votre région? Ces règlements ont-ils une influence sur la disponibilité en eau pour votre exploitation? De quelle manière?
- Quelles sont les principales institutions chargées de la gestion de l'eau dans votre région (par exemple, les autorités responsables de l'eau, les réseaux d'irrigation, les associations d'utilisateurs)? Faites-vous partie de l'une d'entre elles? Si oui, pourquoi et comment? Sinon, pourriez-vous en faire partie?

i

1.4. EXEMPLE

1.4.1. Susan et Kioko

Susan est à la tête d'une exploitation agricole de 10 hectares dans le comté de Taita Taveta, dans le sud-est du Kenya. Son exploitation est appelée Taita Veg and Fruits. Depuis plusieurs années, elle est spécialisée dans la culture des fruits et légumes. Parallèlement à la production sur sa propre exploitation, elle achète des produits fermiers des petits paysans des environs. Taita Veg and fruits vend ces produits à Mombasa. Susan est très heureuse que sa sœur vive à cet endroit et qu'elle entretienne les contacts avec les supermarchés, les hôtels et les restaurants auxquels elle vend ses fruits et légumes.

Ses principales cultures sont la tomate, l'oignon, le chou frisé et la mangue. Elle produit également des bananes sur les terrains humides de basse altitude de son exploitation. Elle est actuellement au milieu de la saison de production des tomates et irrigue ses cultures régulièrement. Elle prélève l'eau dans un canal d'irrigation, car elle est membre d'une association locale d'utilisateurs d'eau d'irrigation. Cependant, le volume d'eau provenant du canal ne suffit souvent pas à couvrir les besoins

de ses cultures. Alors, comme beaucoup d'autres agriculteurs, elle complète l'eau du canal par de l'eau pompée dans la rivière à proximité. Souvent, à cette période de la saison, de nombreux agriculteurs pompent de l'eau dans la rivière, ce qui fait manifestement baisser son niveau. Susan voit le niveau d'eau baisser de plus en plus chaque année et se demande parfois s'il y aura suffisamment d'eau pour ses cultures à l'avenir.



Figure 3 - Culture de tomates à Taita Taveta

Kioko possède une exploitation agricole de 0,5 hectare. En plus du maïs, il produit des tomates qu'il livre à Susan après la récolte. Cette saison, il cultive du maïs sur la moitié de sa surface. Il a semé le maïs au début de la saison des « longues pluies ». Son champ n'est pas irrigué et Kioko subit parfois des pertes de rendement. Ses tomates sont cultivées sur l'autre moitié de sa surface, près d'une source. Il prélève l'eau à la source lorsqu'il estime que les tomates en ont besoin. Il loue alors une pompe et achète le carburant pour la faire fonctionner, puis il inonde son champ. Lorsque le champ est entièrement inondé et qu'il voit l'eau s'écouler de la partie inférieure de sa parcelle, il arrête la pompe. À ce moment, il ne sait pas vraiment combien d'eau il a répandu dans le champ. Il a l'impression que les tomates ont suffisamment d'eau pour une semaine, jusqu'à la prochaine pluie. Sinon, il doit encore arroser ses cultures, mais il n'en est pas complètement sûr. Il ne réalise pas que l'eau qui s'écoule de son champ enlève l'humus fertile et lessive une partie des fertilisants qu'il a épandus quelques jours auparavant. Kioko sait qu'il n'a pas le droit de capter l'eau de la source de cette manière, mais il le fait quand même parce que c'est une pratique habituelle de tous les agriculteurs. L'eau est gratuite pour tout le monde.

Que faire ?

- Susan et Kioko devraient en savoir plus sur la quantité d'eau dont leurs cultures ont réellement besoin pour une croissance optimale et qu'ils savaient quand l'eau doit être apportée. Ils pourraient économiser de l'argent sur les coûts de carburant et de pompage, et leurs cultures pourraient avoir un meilleur rendement.
- Kioko devrait comprendre que les fertilisants qui sortent de sa parcelle ne lui coûtent pas seulement de l'argent, mais qu'ils polluent en fin de compte la rivière en aval dans laquelle sa famille puise l'eau pour le lavage.
- Kioko et Susan devraient tous deux réaliser que la quantité d'eau totale disponible dans leur zone est limitée et que l'eau est un intrant essentiel et précieux pour la productivité de leurs exploitations. D'importantes quantités d'eau sont gaspillées parce que les agriculteurs considèrent qu'elle est gratuite. Il est évident que l'eau est devenue moins disponible, que l'eau du canal n'est pas présente en quantités suffisantes à certaines périodes, et que le niveau de la rivière baisse. Susan perçoit que le risque est désormais plus grand pour la productivité de son exploitation.

Chapitre 2

Utilisation et captage de l'eau

2.1. Les sources d'eau	186
2.2. La cartographie des sources d'eau bleue	186
2.3. Les facteurs importants affectant les sources d'eau bleue	188
2.4. La mesure de la consommation d'eau	190
2.5. Exemple	194

2.1. LES SOURCES D'EAU

2.1.1. Définitions

Pour mettre en œuvre un plan de gestion efficace, il est essentiel d'avoir une parfaite compréhension de ce qu'il y a comme eau disponible pour l'entreprise sur le plan de la quantité et de la qualité. Il existe trois catégories principales d'eau, en fonction de leur origine²⁶⁵.

L'eau verte. Dans de nombreux endroits, les précipitations (la pluie) constituent la première source d'eau pour les cultures. L'eau des précipitations qui ne ruisselle pas ou ne recharge pas les eaux souterraines, mais reste présente à la surface ou dans la zone radulaire du sol, est appelée l'«eau verte».

L'eau bleue. Les eaux douces de surface et les eaux souterraines sont appelées l'«eau bleue». Ces eaux comprennent l'eau douce des lacs, des réservoirs, des cours d'eau, des forages et des sources.

L'eau grise. L'eau domestique ou agricole qui est recyclée et réutilisée porte le nom d'«eau grise». Elle peut provenir des tâches ménagères, comme le lavage et la lessive, ou du lavage des produits des exploitations agricoles. Cette eau usée peut être légèrement polluée, mais convenir tout de même pour certaines utilisations, ou, dans d'autres cas, elle doit être traitée (l'eau grise ne comprend pas les eaux usées contaminées par les égouts et les matières fécales humaines, qui ne peuvent pas être réutilisées sur l'exploitation agricole).

L'avantage de l'eau bleue par rapport à l'eau verte est qu'elle peut être prélevée à tout moment et partout où la culture en a besoin, pourvu que l'infrastructure nécessaire soit en place et qu'une quantité d'eau suffisante soit disponible.

La disponibilité de l'eau verte dépend essentiellement des précipitations, mais on ne peut les prévoir ni toujours en dépendre. Cela étant, la rétention de l'eau verte dans le sol dépend du type de sol et de leurs caractéristiques et peut être modifiée par la gestion mise en œuvre. Augmenter la quantité de matière organique dans le sol peut notamment accroître la capacité du sol à absorber l'eau et à la retenir pour de longues périodes.

L'utilisation de l'eau bleue et de l'eau verte peut être améliorée et rendue plus efficace par la récupération et le recyclage de l'eau grise.

2.2. LA CARTOGRAPHIE DES SOURCES D'EAU BLEUE

La disponibilité de l'eau bleue peut exercer une influence considérable sur la productivité et la rentabilité d'une exploitation agricole.

La bonne connaissance du type d'eau disponible sur une exploitation agricole pendant l'année et en différents lieux aide à mieux programmer les cultures et les activités associées, notamment l'irrigation, pour que l'eau disponible satisfasse aux besoins des cultures. Il est donc fortement recommandé aux exploitations agricoles de recenser et de dresser la carte de toutes les sources potentielles d'eau bleue

265 waterfootprint.org/en/water-footprint/glossary.

présentes sur les terres de l'exploitation ou dans les environs. Il est également important de noter si la disponibilité d'eau bleue de ces sources connaît des variations saisonnières.

Dresser une carte des sources d'eau bleue est le point de départ d'un plan de gestion de l'eau. Voici le résultat une fois que les exploitations agricoles ont dressé la carte des sources d'eau bleue.

- Elles connaissent les différentes sources d'eau bleue et leur situation géographique par rapport à l'exploitation, c'est-à-dire leur distance et leur accessibilité. Elles savent, par exemple, s'il y a d'autres exploitations agricoles, des terres protégées ou des obstacles physiques, comme des collines, entre la source et l'exploitation, et si cela peut avoir une incidence sur la manière dont on peut accéder à l'eau.
- Elles comprennent la topographie des terres et la manière dont l'eau circule à travers et autour d'elles. Cette méthode permet, entre autres avantages, de définir les moyens de capter l'eau.
- Elles savent quelles sont les autres fermes, habitations ou communautés qui peuvent utiliser les mêmes sources d'eau et en dépendre.
- Elles comprennent les variations saisonnières des sources d'eau et la manière dont elles peuvent influencer les systèmes cultureux ou les lieux d'implantation des cultures.

La cartographie permet à l'agriculteur d'évaluer les différentes options disponibles pour accéder à l'eau bleue. Ce processus est particulièrement important lorsqu'une exploitation agricole ou une entreprise est affectée par une disponibilité d'eau limitée en certains endroits et à certaines périodes, ou si l'utilisation de certaines sources est limitée par la mauvaise qualité de l'eau.

Il existe plusieurs méthodes de cartographie de l'eau (tableau 1).

Tableau 1 : Cartographie des sources d'eau autour d'une exploitation agricole

Technique	Description	Commentaire
Dessin à la main	Dessinez un plan de l'exploitation agricole en indiquant l'orientation (nord, est, sud, ouest) sur une feuille de papier. Indiquez les sources d'eau, y compris les rivières, canaux d'irrigation, réservoirs, forages et sources sur l'exploitation agricole et dans ses alentours. Ajoutez les autres points de repère importants (par exemple, les forêts, collines, vallées, habitations et bâtiments agricoles, etc.).	C'est une technique simple et peu coûteuse, mais généralement moins précise en termes d'échelle et de détails.

Technique	Description	Commentaire
Utilisation d'un équipement GPS avec Google Earth ou Google Maps (si ces programmes sont disponibles)	Parcourez la ferme et ses abords avec un équipement GPS ou une application sur smartphone et enregistrez les coordonnées GPS de l'exploitation agricole, des sources d'eau, et des autres éléments importants. Avec un ordinateur ou un smartphone, entrez les coordonnées directement dans Google Maps ou Google Earth. Si ces programmes ne sont pas disponibles, inscrivez les coordonnées sur une carte dessinée à la main.	Ceci demande d'avoir accès à un ordinateur et à Internet, ou à un téléphone intelligent. Cette technique fournit des informations plus précises et, lorsqu'elle est associée à Google Earth, elle ajoute des informations géographiques supplémentaires sur l'exploitation agricole et ses abords.
Utilisation d'un système d'information géographique (SIG) et d'un équipement GPS	Cette technique suit la même méthode que celle décrite plus haut, à savoir l'enregistrement des coordonnées GPS. Ces enregistrements sont ensuite entrés dans un SIG. Dans de nombreux pays, il est possible de télécharger un SIG libre et ouvert sur un ordinateur (par exemple, QuantumGIS).	Cette technique est plus complexe et exige la connaissance des SIG. L'avantage est que l'on peut créer une carte numérique de l'exploitation agricole et des sources d'eau, sur laquelle d'autres informations géographiques (par exemple, l'utilisation du sol, les routes, les villes) peuvent être ajoutées.

2.3. LES FACTEURS IMPORTANTS AFFECTANT LES SOURCES D'EAU BLEUE

En plus de connaître la situation géographique des sources d'eau bleue, il est important d'enregistrer les informations supplémentaires essentielles concernant chaque source, certaines pouvant être portées sur la carte. Cette opération est nécessaire au développement d'un plan de gestion de l'eau, mais aide également à cerner et à maîtriser les risques éventuels qui pourraient peser sur l'exploitation agricole et l'entreprise, ou sur les autres utilisateurs de l'eau.

La liste ci-dessous présente les caractéristiques les plus importantes qui devraient être analysées et enregistrées pour chacune des sources d'eau.

2.3.1.1. La disponibilité de l'eau bleue

- Quelle est la quantité d'eau actuellement captée par l'exploitation agricole/l'utilisateur dans cette source? Est-ce suffisant pour satisfaire ses besoins d'eau?
- La source est-elle partagée avec des voisins (et si c'est le cas, comment l'eau est-elle répartie entre les utilisateurs)?
- L'eau est-elle disponible toute l'année ou seulement à certaines périodes?

- La quantité d'eau disponible dans les sources diminue-t-elle progressivement ou devient-elle insuffisante par périodes (par exemple, les rivières s'assèchent ou les sources se tarissent, l'augmentation du pompage nécessite d'extraire l'eau de puits et de forages, des différends surviennent entre utilisateurs)? Si c'est le cas, où et quand?

2.3.1.2. *Les contrôles légaux*

- Existe-t-il des autorités locales (institutions officielles) chargées de délivrer des autorisations de captage et/ou de fixer des règles et d'établir des règlements administratifs concernant l'eau?
- Les exploitations agricoles/les entreprises sont-elles fréquemment en contact avec ces autorités?

2.3.1.3. *Les autres utilisateurs de l'eau*

- Cette source d'eau est-elle utilisée par quelqu'un d'autre?
- Les autres utilisateurs ont-ils des autorisations ou des droits légaux d'accès ou de captage?
- Si tel est le cas, qui (notamment d'autres exploitations agricoles, foyers, communautés)?
- De quel type d'accès les autres utilisateurs bénéficient-ils (abreuvement d'animaux, pêche, lavage de produits non agricoles)?
- Existe-t-il une association dans le domaine de l'eau, un réseau d'irrigation, une plateforme sur l'eau ou une quelconque autre organisation chargée de gérer l'utilisation de l'eau?
- Existe-t-il un dialogue et un engagement avec les autres utilisateurs de l'eau, de façon informelle ou par l'intermédiaire d'un réseau/d'une association/d'une plateforme organisée?

2.3.1.4. *La qualité de l'eau*

- Une analyse de la qualité de l'eau des différentes sources a-t-elle été effectuée?
- Existe-t-il un rapport disponible sur la qualité générale de l'eau dans la région?
- Existe-t-il des problèmes de qualité de l'eau qui limitent/affectent ses utilisations potentielles?
- Les agriculteurs testent-ils la qualité de l'eau d'irrigation régulièrement? Si oui, l'eau possède-t-elle la qualité requise pour l'irrigation?
- L'une des sources d'eau présentes sur l'exploitation agricole risque-t-elle d'être polluée? Si oui, par quoi (par exemple, par des effluents humains ou animaux; des produits chimiques)?
- D'autres utilisateurs ou zones d'habitation telles que des métropoles/villes/villages déversent-ils des effluents non traités en amont? À quelle distance en amont? Quelle est la taille de la métropole/de la ville/du village par rapport à la source d'eau (cours d'eau, lac)?

2.4. LA MESURE DE LA CONSOMMATION D'EAU

La mesure de la consommation d'eau présente un grand intérêt pour évaluer la rentabilité des entreprises. Cette mesure permet de déterminer si les exploitations agricoles et les entreprises peuvent économiser de l'eau en ne prélevant que la quantité nécessaire, et en utilisant l'eau prélevée de façon plus efficace.

Une utilisation plus efficace de l'eau peut accroître la productivité et la rentabilité, tout en créant une entreprise plus résistante aux problèmes d'eau à long terme. Mais pour y parvenir et pour mieux gérer les risques hydriques, il est essentiel de connaître la quantité d'eau et le moment où elle est utilisée. Cette information permet aux exploitations agricoles et commerciales de planifier leur consommation d'eau pour qu'elle soit plus efficace, productive et rentable.

2.4.1. Réduction de la consommation d'eau

Plusieurs facteurs peuvent inciter à réduire la quantité d'eau utilisée.

- Les agriculteurs peuvent vouloir réduire la quantité d'eau qu'ils utilisent parce qu'ils ont des problèmes de disponibilité d'eau, parce qu'ils souffrent de la rareté de l'eau, ou parce qu'ils sont en conflit avec des utilisateurs d'eau à proximité.
- Plusieurs utilisateurs peuvent être en concurrence, et les voisins ou les communautés locales peuvent faire pression pour réduire la consommation d'eau, particulièrement dans les situations où l'eau est rare. Cette situation affecte particulièrement les producteurs et les fournisseurs de cultures de rente si leurs activités réduisent l'eau disponible pour l'agriculture de subsistance ou pour les ménages.
- Les agriculteurs peuvent vouloir réduire le risque de pertes de production pendant les périodes sèches en réduisant leur dépendance vis-à-vis de l'eau bleue.
- Ils peuvent vouloir économiser de l'argent en réduisant les coûts de pompage ou de captage.
- Les agriculteurs peuvent simplement vouloir connaître la rentabilité de leurs cultures du point de vue hydrique, pour voir s'ils peuvent augmenter les rendements avec la même consommation d'eau.
- Dans certains cas, on a démontré qu'une gestion efficace de l'eau améliorerait la qualité finale des récoltes et réduisait les pertes se produisant après les récoltes.
- La diminution de la quantité d'eau stockée ou transportée peut réduire les frais de capital investis dans l'infrastructure et l'entretien des équipements et des installations.
- Les acheteurs peuvent exercer des pressions, particulièrement dans le cas des marchés locaux haut de gamme ou des marchés d'exportation, pour que les exploitations enregistrent leur consommation d'eau et apportent la preuve que des mesures sont prises pour améliorer l'efficacité de l'utilisation de l'eau.

Des techniques de base pour estimer ou mesurer l'utilisation de l'eau d'irrigation sont présentées ci-dessous.

2.4.2. Calcul ou estimation de la consommation d'eau

2.4.2.1. Estimation de l'irrigation par submersion lorsque l'eau est distribuée par gravité (à petite échelle)

- À l'aide d'un récipient de volume connu, comme un seau (par exemple, de 20 litres), prélevez l'eau qui s'écoule dans le canal d'irrigation et mesurez le temps qu'il faut pour remplir le seau.
- Notez le nombre d'heures d'irrigation (heures de début et de fin).
- Calculez le volume total d'eau apportée. Prenons un exemple très simple : s'il faut 5 minutes pour remplir un seau de 20 litres, et que l'irrigation dure 1 heure, le volume total apporté est de $20 \times 12 = 240$ litres.
- Répétez l'opération à plusieurs moments de la journée et de la saison culturale pour déterminer s'il y a des fluctuations de débit (peut-être devrez-vous calculer une moyenne).
- En fonction de la taille du système d'irrigation, il peut être nécessaire de répéter cette mesure aux différents endroits où l'eau est répandue sur la parcelle, puis d'additionner toutes les mesures pour estimer le total pour l'ensemble de la parcelle.
- Notez le nombre d'heures d'irrigation par jour pour calculer un total estimé pour la saison.

2.4.2.2. Estimation de l'irrigation par submersion lorsque l'eau est distribuée par gravité (à plus grande échelle)

- Estimez le débit de l'eau en calculant la vitesse d'écoulement (en mètres/seconde) puis multipliez-le par la surface de la section transversale du canal (en m²).
- Vous pouvez calculer la vitesse en mesurant la distance parcourue par un objet flottant pendant une durée donnée (en mètres par seconde).
- Vous pouvez estimer la section transversale du canal en multipliant la profondeur moyenne par la largeur du canal.
- Effectuez l'opération à différents moments de la journée et de la saison culturale pour évaluer s'il y a des fluctuations de débit (peut-être devrez-vous estimer une moyenne).
- En fonction de la taille du système d'irrigation, il peut être nécessaire de répéter cette mesure dans les différents endroits où l'eau est répandue sur la parcelle, puis d'additionner toutes les mesures pour estimer le total pour l'ensemble de la parcelle.
- Notez le nombre d'heures d'irrigation par jour pour calculer le total de la saison.

2.4.2.3. *Mesure de la quantité d'eau d'irrigation apportée en utilisant une pompe*

- Consultez les caractéristiques de conception de la pompe.
- Le fournisseur indique généralement la quantité d'eau maximale qui peut être pompée, lorsque la pompe fonctionne à plein régime. Les spécifications de la pompe doivent comprendre la courbe de la pompe, qui représente le débit (par exemple, en litres/seconde) en fonction de la pression appliquée et de la taille des conduites.
- Notez le nombre d'heures de fonctionnement de la pompe.
- Avec ces deux variables, calculez le volume d'eau répandu sur une parcelle.

Ce calcul doit être fait chaque fois que la parcelle est irriguée, pour enregistrer la quantité totale d'eau utilisée tout au long de la saison culturale.

2.4.2.4. *Mesure de la quantité d'eau utilisée à d'autres fins que l'irrigation*


- Faites un inventaire de toutes les utilisations de l'eau autres que l'irrigation, par ex. le lavage après la récolte ou les activités ménagères.
- Pour le lavage après la récolte, recueillez dans un réservoir l'eau utilisée pour laver une quantité donnée de produit. Le récipient de lavage doit être imperméable et doté de gouttières pour guider l'eau jusqu'au réservoir. Mesurez, dans le réservoir, le volume d'eau utilisé pour le lavage de la quantité de produit. On peut estimer la quantité totale d'eau utilisée en multipliant le volume utilisé pour un lavage par le nombre de lavages effectués.
- Pour les toilettes, mesurez le volume de la chasse d'eau et notez combien de fois par jour les toilettes sont utilisées.
- Pour les douches ou robinets, laissez couler l'eau dans un petit seau de volume connu et mesurez le temps nécessaire pour remplir le seau. Estimez la durée et le nombre de fois que chaque robinet ou la douche sont utilisés pendant une journée.

2.4.2.5. *Utilisation d'un débitmètre*

- Plusieurs types de débitmètres sont disponibles sur le marché.
- Le débitmètre est la solution la plus précise pour mesurer l'utilisation d'eau dans diverses activités, mais c'est aussi la méthode la plus sophistiquée et la plus coûteuse.
- Le fonctionnement des débitmètres varie d'un modèle à l'autre et les agriculteurs doivent consulter le mode d'emploi pour les utiliser.
- Dans des canaux d'irrigation ouverts, une méthode fréquemment utilisée pour mesurer le débit consiste à mesurer la hauteur de liquide lorsqu'il passe à travers un obstacle comme un canal jaugeur ou un barrage dans le canal. Autrement, un moulinet à hélice peut être installé pour mesurer de plus grands volumes d'eau.

- Pour les systèmes fermés comme les tuyauteries, des débitmètres magnétiques ou à ultrasons plus perfectionnés peuvent être utilisés.
- Il peut être utile de se demander si plusieurs agriculteurs ou une communauté utilisant la même source pourraient se réunir pour acheter un débitmètre ensemble et l'utiliser en commun.

Cartographie et quantification de l'eau utilisée avec les agriculteurs

- Décrivez le type et les sources d'eau disponibles (pour l'irrigation et les autres usages).
- Décrivez les caractéristiques des précipitations sur l'exploitation agricole. Les agriculteurs ont-ils besoin d'irriguer ? Pendant combien de mois dans l'année ?
- Invitez les agriculteurs à dessiner, de mémoire, une simple carte de leur exploitation agricole. Sur la carte, indiquez les sources où ils prélèvent l'eau et toute autre source à proximité. Notez les variations saisonnières de la disponibilité en eau, si celle-ci varie. Ajoutez sur la carte tout autre point de repère important qui contribue à l'orientation et repérage des facteurs qui influencent l'écoulement ou le transport de l'eau à travers l'exploitation agricole.
- Décrivez la différence entre une année sèche et une année humide, et indiquez comment cette variation modifie les modes de captage et d'irrigation. 
- Les agriculteurs peuvent-ils décrire les éventuels changements qu'ils ont remarqués au cours de la dernière décennie ? Demandez-leur de réfléchir aux moyens de s'adapter à ces changements.
- Les agriculteurs ont-ils connaissance de problèmes de quantité ou de qualité de l'eau concernant les sources d'eau indiquées sur la carte ?
- Demandez aux agriculteurs de répondre aux questions du chapitre 2.3. ci-dessus, s'ils peuvent le faire pour les sources d'eau connues.
- Les agriculteurs connaissent-ils la quantité d'eau qu'ils utilisent sur leur exploitation agricole ?
- Mesurent-ils leur consommation d'eau ? Savent-ils comment mesurer la consommation d'eau ?

2.5. EXEMPLE

2.5.1. Suzan et Kioko



La semaine dernière, il y a eu une formation sur l'eau et l'horticulture dans la ville de Taveta. Susan et Kioko y ont assisté tous les deux et ont écouté une représentante d'AgriWaterProfs. La formatrice a expliqué qu'il était possible d'augmenter la productivité et de réduire les coûts si on en savait plus sur l'eau. Elle a également expliqué qu'il était important de savoir d'où vient l'eau que l'on utilise et quelle est la fiabilité des sources d'eau. Susan y pense et a l'impression d'avoir une bonne vue d'ensemble de ses sources d'eau. Elle sait que l'eau qu'elle utilise pour la culture de ses légumes vient du canal. Et si l'eau du canal ne suffit pas à couvrir ses besoins, elle capte de l'eau en plus dans la rivière à l'aide d'une pompe portative. Elle comprend que le canal n'est pas une source complètement fiable dans son approvisionnement. C'est la raison principale pour laquelle elle doit également prélever de l'eau dans la rivière. Il arrive que la rivière elle-même ne soit pas une source parfaitement fiable. Elle a observé de nombreuses fois que les niveaux d'eau chutaient rapidement lorsqu'il ne pleuvait pas. Elle sait que comme elle, beaucoup d'agriculteurs utilisent l'eau de la rivière sans autorisation de captage : c'est une pratique normale. Elle réalise que le captage d'eau dans la rivière en dehors de tout contrôle fait baisser le niveau de l'eau. Elle se souvient qu'elle utilise également de l'eau pour laver les produits après la récolte. Comme elle a besoin d'eau propre pour cette opération, elle achète de l'eau livrée par un camion qui remplit quelques conteneurs sur son exploitation agricole.

Pendant la formation, Kioko s'est rappelé qu'à la saison dernière, une partie de ses pieds de tomate n'avaient pas pris parce qu'il n'y avait pas suffisamment d'eau dans la source au moment où il en avait besoin. Après cela, il a dû travailler comme ouvrier agricole dans une plus grande exploitation pour gagner un peu d'argent. Son voisin affirme que l'absence de pluie est due au changement climatique et que la source s'est tarie parce que beaucoup d'agriculteurs y ont capté de l'eau. Il n'est pas certain de tout cela, mais ce qui est sûr, c'est qu'il a perdu une partie de sa production. Cette année, il a emprunté de l'argent pour acheter des graines et a réensemencé ses parcelles. Il décide de prendre un peu de temps pour se pencher de plus près sur les sources d'eau dont il dispose sur et autour de son exploitation agricole. Il dessine une carte de son exploitation agricole, trace la route jusqu'au village, la rivière et la source. La représentante d'AgriWaterProfs lui a expliqué qu'il était aussi important de savoir quand les sources étaient alimentées en eau. Il décide alors d'inscrire sur la carte les moments où l'eau est disponible. Il écrit que la rivière coule toute l'année, mais qu'elle ne charrie pas beaucoup d'eau entre la saison sèche et la saison des pluies. Comme il l'a récemment constaté, la source peut aussi se tarir, même s'il ne se souvient pas que cela se soit déjà produit dans le passé. Il n'utilise pas l'eau de la rivière parce que celle-ci est relativement éloignée et qu'il doit traverser les champs des agriculteurs voisins pour y accéder. L'année dernière, il a effectué 12 captages d'eau pour ses tomates. Chaque captage a nécessité 4 heures de pompage. Il calcule la quantité d'eau que cela représente : la capacité de la pompe étant de 30 m³ par heure, il prélève donc 120 m³ en 4 heures. La dernière fois qu'il a voulu prendre de l'eau, il n'a pas pu, l'approvisionnement en eau de la source est un peu risqué. Peut-être pourrait-il essayer de capter l'eau de la rivière ? Il n'a pas osé y penser l'année dernière, mais s'il veut que ses tomates survivent, il va devoir trouver une solution.

Susan pense à une autre question posée par la formatrice. Connaît-elle maintenant le volume d'eau qu'elle consomme en une saison ? Et sait-elle si ce volume est trop élevé ou insuffisant pour ses tomates ? Elle pense désormais à sa culture de tomates et se rend compte qu'elle ne sait pas vraiment combien d'eau elle répand sur ses champs. Mais elle ne sait pas non plus exactement de combien d'eau ses tomates ont besoin. La formatrice a dit qu'un apport d'eau excessif n'est pas seulement un gaspillage d'eau, mais aussi un gaspillage d'argent. Trop d'eau affecte les rendements des tomates et lessive les nutriments utiles du sol. Elle peut même dégrader le sol par engorgement et érosion. Susan ne savait pas que ces facteurs étaient négatifs et pouvaient menacer son entreprise. Susan décide d'essayer d'en savoir un peu plus sur les besoins en eau de ses cultures et d'estimer la quantité d'eau qu'elle capte dans le canal et dans la rivière.

Chapitre 3

Récupération et stockage de l'eau

3.1. Récupération de l'eau : collecte des eaux de pluie et de ruissellement	198
3.2. Comment récupérer et stocker l'eau	198
3.3. L'analyse de rentabilité de la récupération et du stockage de l'eau	203
3.4. Exemple	206

3.1. RÉCUPÉRATION DE L'EAU : COLLECTE DES EAUX DE PLUIE ET DE RUISSELLEMENT

3.1.1. Aperçu

La récupération des eaux de pluie fait référence à la collecte et au stockage de la pluie, qui est utilisée pour la production ou à d'autres fins par une entreprise ou une exploitation horticole. Les eaux de pluie sont collectées sur des surfaces imperméables (où l'eau ne peut pas s'infiltrer), comme des toits, des zones bétonnées ou des tronçons de route. L'eau collectée peut être stockée dans des cuves ou des réservoirs, pour être utilisée en cas de besoin, par exemple, pour l'irrigation.

La collecte, le stockage, et la distribution des eaux de pluie supposent la présence de quatre éléments :

1. des gouttières pour collecter l'eau d'un toit ou d'une surface imperméable ;
2. des filtres pour éliminer les débris et les plus petits sédiments ;
3. une cuve ou un réservoir de stockage pour recueillir l'eau des gouttières ;
4. une pompe et des tuyaux pour distribuer l'eau collectée à l'endroit où elle sera utilisée.

La quantité d'eau de pluie collectée dépend de la superficie de la surface imperméable, de la quantité de précipitations, et de la capacité de stockage des cuves ou des réservoirs.

Comme nous le verrons plus loin dans ce chapitre, une surface modeste (comme le toit d'un cabanon) ne permet de collecter que quelques mètres cubes d'eau qui, bien qu'insignifiants par rapport à la totalité des besoins d'eau des cultures, peuvent être utilisés pour les travaux ménagers, les activités postérieures à la récolte, ou pour l'entretien et le nettoyage du site.

La récupération des eaux de ruissellement fait référence à la collecte, dans une cuve (souterraine) ou un réservoir, de l'eau qui s'écoule sur le sol lorsqu'il pleut. Le captage des eaux de ruissellement nécessite de comprendre le sens d'écoulement des eaux et suppose un espace de stockage creusé dans le sol. La quantité d'eau qui peut être collectée dépend du volume de la cuve/du réservoir, de l'emplacement de la cuve/du réservoir par rapport au sens d'écoulement des eaux de ruissellement (c'est-à-dire, pentes du terrain), et de toute infrastructure supplémentaire nécessaire, notamment des fossés et des canalisations pour récupérer et transporter l'eau.

3.2. COMMENT RÉCUPÉRER ET STOCKER L'EAU

L'eau peut être récupérée et stockée au moyen de systèmes simples et peu coûteux ou de systèmes plus élaborés.

3.2.1. La récupération et le stockage des eaux de pluie des toits

Un système de gouttières peu coûteux, à faible utilisation d'intrants, peut être installé pour récupérer l'eau des toits des maisons, des appentis ou des granges. Les toits de tuiles en argile sont tout indiqués, car ils sont imperméables ; les toits

de paille ne conviennent pas. De grandes cuves en plastique propres sont placées à l'extrémité des gouttières pour collecter l'eau.

Lorsque l'orage cesse, les cuves doivent être couvertes pour empêcher les insectes, les feuilles et les autres agents contaminants de s'y introduire. L'eau qui a ruisselé des toits est généralement propre, car l'eau de pluie contient très peu de contaminants chimiques ou bactériens. Toutefois, en ruisselant du toit, l'eau peut charrier de la poussière, des feuilles, des petits insectes et des bactéries. Les feuilles, les brindilles, et les autres débris peuvent être éliminés à l'aide de pièges à feuilles. Les particules plus petites peuvent être éliminées à l'aide d'un simple filtre formé d'un tamis couvert de gravier ou de sable, ou de filtres plus sophistiqués prêts à l'emploi, achetés dans des magasins spécialisés ou auprès de fournisseurs. Les gouttières doivent être inspectées régulièrement pour déceler les fuites, doivent rester propres et ne pas être obstruées par des feuilles ou d'autres débris.



Figure 1 - Récupération simple de l'eau sur les toits²⁶⁶

Le volume d'eau qui peut potentiellement être collecté est estimé comme suit :

1. La superficie du toit en m² est calculée en multipliant la largeur par la longueur (en mètres).
2. Le volume d'eau qui peut être collecté est estimé en mesurant la pluviosité totale en un temps donné en mètres (10 mm = 0,010 m) et en la multipliant par la superficie en m².
3. Le résultat est le volume estimé en mètres cubes (1 m³ = 1 000 litres)²⁶⁷.

Des méthodes de récupération des eaux de pluie intégrées et plus sophistiquées sont utilisées dans les systèmes à plus forte utilisation d'intrants. Celles-ci prévoient l'utilisation de tamis et de pièges qui empêchent l'obturation des gouttières, de filtres qui éloignent les moustiques et les organismes nuisibles de la cuve, de filtres des eaux de pluie et d'un indicateur du niveau de l'eau. À cela peuvent s'ajouter d'autres dispositifs destinés à améliorer la qualité de l'eau et l'efficacité des méthodes de récupération de l'eau ainsi qu'à protéger la pompe. Cette option est particulièrement adaptée, si les eaux collectées sont destinées à des activités post-récolte, comme le lavage des produits²⁶⁸.

3.2.1.1. Qualité de l'eau

La qualité de l'eau stockée pendant une longue période peut se dégrader, bien que plusieurs facteurs influencent la durée de stockage de l'eau. La qualité de l'eau stagnante (qui ne circule pas et qui n'est pas rafraîchie régulièrement) s'altère plus rapidement. Pour éviter cela, on recommande d'utiliser régulièrement l'eau stockée dans la cuve et de vérifier la présence éventuelle de mauvaises odeurs, de moisissures, de sédimentation ou de biofilm (couches bactériennes visqueuses à la surface). En présence de ces signes d'altération, la cuve de stockage doit être nettoyée.

Il est essentiel d'analyser la qualité de l'eau pour s'assurer que l'eau collectée peut être utilisée, en particulier dans le cadre des activités consécutives à la récolte. Le test H₂S, simple et peu coûteux, permet d'analyser la qualité de l'eau et de tester la contamination bactérienne. Le cas échéant, l'eau peut être traitée par chloration²⁶⁹
²⁷⁰.

Si l'eau n'est pas analysée et s'il y a un doute concernant sa qualité, elle ne devrait pas être utilisée pour la consommation humaine ou pour le traitement et le conditionnement des produits, bien qu'elle puisse quand même convenir pour l'irrigation.

267 answers.practicalaction.org/our-resources/item/rainwater-2.

268 www.clemson.edu/public/sustainableag/pdfs/rainwater%20harvesting.pdf.

269 www.rainwaterclub.org/docs/MANUAL%20ON%20ROOFTOP%20RAINWATER%20HARVESTING%20SYSTEM%20FOR%20SCHOOLS.pdf.

270 www.youtube.com/watch?v=4gFbCdHle0w.

3.2.2. La récupération et le stockage des eaux de ruissellement des surfaces situées au niveau du sol

3.2.2.1. Récupération et stockage

Pour une option peu coûteuse/à faible utilisation d'intrants, des cuves de stockage ou de simples réservoirs peuvent être construits pour collecter l'eau qui ruisselle de surfaces imperméables comme les routes ou les cours pavées. La faisabilité de cette option dépend du terrain (pentes) et de la présence d'un emplacement pouvant accueillir une cuve/un réservoir.



Figure 2 - Cuve bon marché pour le stockage de l'eau
Source : Indian Council of Agricultural Research
(www.icar.org.in/en/node/1417)

Au niveau le plus élémentaire, ces structures peuvent être de simples barrages de retenue. Des structures plus sophistiquées et de plus grandes dimensions, comprenant notamment des cuvettes de mouillage, des réservoirs étanches avec barrage et des cuves souterraines en béton, peuvent être installées. La construction de ces systèmes plus complexes requiert généralement des compétences en ingénierie.

Même en utilisant des systèmes simples, il est possible de rendre le réservoir moins perméable, par exemple, en le tapissant d'une couche d'argile, ou de briques et de ciment, ou d'un film plastique. Il peut également être couvert pour éloigner les organismes nuisibles, et l'on peut y introduire certaines espèces de poissons, qui mangeront les moustiques. Des infrastructures supplémentaires telles que des pièges à sédiments et des filtres à boues peuvent être installées, afin que l'eau

puisse être utilisée pour les activités qui nécessitent une eau plus pure, comme dans le cas de l'irrigation goutte à goutte.

Si l'eau est stockée dans une cuve ou un réservoir à ciel ouvert (sans toit ou couvercle), il est essentiel d'installer une clôture autour de la cuve/du réservoir, afin de protéger le bétail, les animaux sauvages et les enfants, et les empêcher de s'approcher de l'eau et de tomber dans la cuve/le réservoir.

La capacité de stockage d'un réservoir peut être estimée en calculant sa superficie (largeur moyenne × longueur moyenne en mètres), multipliée par la profondeur moyenne en mètres. Cela donnera une idée du volume d'eau stocké en mètres cubes (1 m³ = 1 000 litres). Une partie de l'eau collectée peut s'infiltrer dans le sol ou s'évaporer.



Figure 3 - Structure de collecte des eaux de ruissellement (gauche) avec toit de chaume et clôture (droite) au Sri Lanka
Source : Exposé technique, récupération des eaux de ruissellement²⁷¹

3.2.2.2. Ruissellement excessif

Si la contenance du réservoir est assez faible, par rapport aux précipitations attendues, ou si de violents orages sont susceptibles de se produire, un déversoir doit être installé pour éviter les inondations localisées. Il peut s'agir d'un simple tuyau placé juste sous le niveau de la berge, qui achemine l'excédent d'eau vers un déversoir, un drain, un fossé ou un cours d'eau. Le tuyau doit être suffisamment large pour pouvoir absorber le volume d'eau excédentaire. En l'absence de déversoir, les maisons, les routes, les constructions et les terres avoisinantes risquent d'être endommagées.

3.2.2.3. Qualité de l'eau.

Il faut noter que la qualité des eaux de ruissellement peut être médiocre, car elles peuvent contenir des agents polluants et des sédiments qui ont été lessivés, provenant notamment de champs, de jardins, de chemins de terre (entre autres). Pour déterminer si la qualité de l'eau convient à l'utilisation pour laquelle elle est prévue, on recommande d'analyser l'eau.

²⁷¹ practicalaction.org/rainwater-harvesting.

3.2.2.4. Transport

Pour transporter l'eau des cuves ou des réservoirs vers le lieu d'utilisation, deux solutions sont envisageables : la construction d'un système d'écoulement par gravité, ou l'installation de pompes et de tuyaux pour acheminer l'eau jusqu'aux champs. Plusieurs types de pompes sont disponibles auprès de fournisseurs spécialisés, allant des pompes à moteur diesel, à énergie éolienne et solaire, pompes refoulantes (à utiliser avec un réservoir ou un ressort²⁷²) et pompes à turbine hydraulique (utilisant l'énergie du débit du cours d'eau pour transporter l'eau²⁷³).

3.2.3. La récupération et le stockage de l'eau bleue

L'excédent d'eau prélevé dans un cours d'eau, un canal d'irrigation ou un réservoir peut être stocké en vue d'une utilisation ultérieure. Il est possible et recommandé de stocker l'eau bleue lorsque la quantité d'eau reçue est plus grande que celle correspondant aux besoins. Cela peut être le cas, par exemple, lorsqu'une exploitation agricole est autorisée à pomper l'eau d'un cours d'eau pendant un certain nombre d'heures et que la quantité totale d'eau captée dépasse la capacité de rétention du sol. Si la totalité de l'eau captée est distribuée sur un champ, la quantité d'eau que le sol ne peut pas retenir va ruisseler hors du champ et sera gaspillée (sauf dans le cas de l'arrosage excessif pratiqué occasionnellement pour lessiver les sels qui se sont accumulés).

Les caractéristiques d'un sol déterminent la quantité maximale d'eau que celui-ci peut retenir avant qu'elle ne ruisselle. C'est ce que l'on appelle la capacité du champ. Une meilleure gestion des sols, en particulier l'augmentation de la teneur en matière organique, permet de renforcer la capacité au champ.

Pour récupérer et stocker l'eau captée, il est important de connaître la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la capacité du champ, la quantité nécessaire pour lessiver les sels, et la quantité d'eau disponible pour chaque application. L'excédent d'eau peut être stocké et utilisé pendant les périodes où l'eau est rare.

3.3. L'ANALYSE DE RENTABILITÉ DE LA RÉCUPÉRATION ET DU STOCKAGE DE L'EAU

3.3.1. Les coûts

Les systèmes et les équipements qui permettent de récupérer et de stocker l'eau vont du plus élémentaire au plus sophistiqué. S'agissant des systèmes à faible utilisation d'intrants, les principaux coûts d'investissement initial comprennent les gouttières (en cas de captage à partir d'un toit), le matériel de filtrage, les pompes, et la construction de cuves ou de réservoirs de stockage. À ces coûts s'ajoutent les frais d'exploitation (le fonctionnement, la réparation et le remplacement du matériel, l'entretien général y compris le nettoyage régulier et l'élimination des sédiments excédentaires dans les cuves ou les réservoirs).

272 www.youtube.com/watch?v=Zk9zs0EQIQ8.

273 www.youtube.com/watch?v=seNswRYkZdE&feature=youtu.be.

Si le besoin et le potentiel de capter localement de grandes quantités d'eau existent, il peut être utile d'envisager la possibilité de créer une association communautaire ou d'agriculteurs en vue de partager la construction et la gestion d'un réservoir commun et des infrastructures associées.

3.3.2. Les bénéfiques

La récupération de l'eau peut comporter de nombreux bénéfices directs pour une entreprise horticole :

- réduction des coûts de captage et de pompage de l'eau (carburant) (mais il faut compter les coûts éventuels de stockage de l'eau) ;
- accroissement du rendement des cultures, l'eau étant disponible pendant les périodes où elle est rare ;
- meilleure disponibilité de l'eau lorsque les droits de captage sont limités ;
- moins de concurrence avec les autres utilisateurs d'eau bleue ;
- meilleure qualité de l'eau (la qualité des eaux de pluie collectées est généralement supérieure à celle de l'eau des cours d'eau, par exemple) ;
- les risques liés à l'eau sont mieux gérés et l'exploitation est moins sensible aux périodes de sécheresse ;
- amélioration des relations publiques et de l'image de marque : la récupération et le stockage de l'eau sont considérés par la communauté et les acheteurs comme de bonnes pratiques (RSE) adaptées à une entreprise responsable ;
- dans les zones et aux périodes où l'eau est rare, le captage d'eau à des fins agricoles est susceptible de provoquer une pénurie d'eau et de causer des difficultés aux autres utilisateurs proches et à l'environnement ;
- accès au marché : les acheteurs peuvent demander des preuves de la récupération et du stockage de l'eau avant de signer un contrat, en particulier dans les zones où l'eau est rare.

3.3.3. L'évaluation de l'analyse de rentabilité

Avant d'installer une infrastructure de récupération et de stockage de l'eau, il est essentiel de déterminer si cette stratégie sera rentable pour l'exploitation et l'entreprise. Les aspects suivants doivent être pris en considération :

- les besoins en eau (volume, calendrier et qualité) ;
- la disponibilité de l'eau (volume, calendrier et qualité) ;
- le risque de rareté de l'eau ;
- le prix de l'eau de ville et celui du pompage ;
- les coûts de construction et d'entretien d'une structure de captage et de stockage de l'eau.

Pour évaluer l'analyse de rentabilité, il est essentiel de connaître le volume d'eau utilisé au moment considéré, les besoins d'eau présents et futurs des cultures et des activités connexes, et le risque de rareté de l'eau (ainsi que les répercussions éventuelles sur la production, les profits et la résistance de l'entreprise).

Les bénéfiques potentiels d'une meilleure disponibilité de l'eau (et d'une diminution du risque de rareté de l'eau) devraient être mis en balance avec le coût d'installation et d'entretien d'un système de récupération, de pompage, de distribution et de stockage d'un excédent d'eau.

Si l'accès à l'eau est illimité, si les prix de l'eau sont très bas et/ou si les coûts de pompage sont négligeables, le rendement économique de l'installation d'une infrastructure de captage et de stockage de l'eau pourrait être nul. Dans ce cas, un investissement de ce type ne serait guère justifié. Cependant, même en pareil cas, des facteurs tels que le changement climatique, ou l'expansion des villages, des villes ou des industries en amont, peuvent modifier l'approvisionnement en eau.

Exercice avec les agriculteurs: la récupération et le stockage de l'eau sont-ils envisageables? (La carte hydrogéologique de l'exploitation agricole peut fournir des indications supplémentaires sur les pentes, le ruissellement et les zones potentielles de captage et de stockage de l'eau).

- Dans quelles zones (dans et autour de votre exploitation) pourriez-vous capter de l'eau (par exemple, toits, surfaces imperméables propres, routes, pentes sur lesquels l'eau ruisselle)?
- Serait-il possible de construire un système pour capter cette eau et la dévier vers une cuve ou un réservoir? De quoi auriez-vous besoin pour construire un tel système? Où pourrait-il être construit? Y a-t-il, dans ou autour de votre exploitation, un endroit adapté à la construction d'un réservoir?
- Pouvez-vous estimer le coût de l'infrastructure de captage, de stockage et de transport de l'eau vers le lieu d'utilisation (par exemple, barrages, gouttières, tuyaux, pièges à sédiments et à débris, cuves/réservoirs de stockage, pompes, tuyaux et conduites)?
- Êtes-vous constamment ou périodiquement confrontés à des problèmes de rareté de l'eau? Si tel est le cas, quelles utilisations de l'eau sont touchées (par exemple, l'irrigation)? Quand/à quelle fréquence?
- Le coût de l'eau est-il très élevé (coûts de captage ou de pompage) et représente-t-il une part importante des coûts totaux soutenus par votre exploitation agricole?
- Lorsque l'eau se fait rare, le prélèvement de l'eau sur votre exploitation agricole a-t-il pour conséquence que d'autres utilisateurs (par exemple, ménages, petits agriculteurs à proximité) souffrent de pénuries d'eau?
- Si vous pouviez stocker de l'eau, en auriez-vous suffisamment pour laver et traiter les cultures après la récolte, ou pour couvrir les besoins d'irrigation, ou avez-vous déjà suffisamment d'eau?
- La qualité des sources d'eau actuelles pose-t-elle problème? Comment évalueriez-vous et garantiriez-vous la qualité de l'eau collectée et stockée?
- Compte tenu du coût de l'infrastructure, de vos besoins d'eau, de la disponibilité actuelle et du coût de l'eau que vous utilisez, pourriez-vous envisager de recueillir et de stocker de l'eau sur votre exploitation? Pourriez-vous étudier la question de façon plus poussée?

3.4. EXEMPLE

3.4.1. Susan et Kioko

Kioko comprend qu'il doit diversifier ses sources d'eau. La saison dernière, il a pu irriguer son champ une fois par semaine, mais il a manqué d'eau vers la fin. Son champ s'étend sur 2500 m². Il l'inonde avec 120 m³ d'eau chaque fois qu'il l'irrigue. Il a fait la connaissance d'agriculteurs qui captent de l'eau dans un cours d'eau et qui acceptent que Kioko fasse passer un tuyau sur leurs terres, s'il a besoin d'eau supplémentaire. Cette opération est coûteuse, car la distance est relativement importante et le temps de pompage risque d'être long.

Kioko envisage également une autre solution. Dans son village, une dame collecte l'eau qui ruisselle du toit de sa maison pour arroser les plantes qui poussent dans son jardin. L'an dernier, Kioko a construit, à la lisière de son champ, une petite cabane avec un toit de tôle, où il habite lorsqu'il veille sur ses tomates prêtes à être récoltées. La dame de son village ne doit arroser qu'un petit lopin de terre. Le champ de tomates de Kioko a une superficie de 2500 m². Il ignore la quantité d'eau qu'il pourrait recueillir de son toit, mais il pense que ce sera trop peu. Il pense aussi que chaque litre d'eau supplémentaire pourrait améliorer le rendement de ses cultures. Kioko décide de s'entretenir avec la dame de son village pour mieux comprendre ce qu'elle fait et comment elle le fait.



Chez elle, Susan se demande quand elle a le plus besoin d'eau (pour ses cultures, pour les laver et les emballer). Bien entendu, c'est pendant la saison sèche que ses besoins en eau sont les plus grands. Les produits récoltés pendant la saison sèche se vendent toujours à un meilleur prix, car l'offre est moins abondante que pendant la saison des pluies. Elle peut cultiver ses tomates et ses oignons pendant la saison sèche, mais elle constate que l'eau se raréfie de plus en plus.

Cependant, pendant la saison des pluies, il y a de l'eau en abondance, dans les canaux et les cours d'eau. Et si elle parvenait à collecter de l'eau pendant la saison des pluies, à la stocker et à l'utiliser pour irriguer ses légumes pendant la saison sèche? Cela serait une excellente façon d'avoir de l'eau pour ses cultures. Cela lui permettrait également de faire face à la variation du niveau d'eau dans le canal et à la baisse de la disponibilité de l'eau du cours d'eau pendant la saison sèche. Susan doit faire quelques calculs: quelle quantité d'eau de pluie est-il possible de capter des toits des cabanes et des maisons, ainsi que sur les surfaces plus dures de la ferme? Quel devrait être le volume d'un réservoir de stockage? Elle réalise, par ailleurs, que pendant la saison des pluies, elle n'utilise pas toute l'eau du canal. Peut-être pourrait-elle également la stocker? Mais pas maintenant, cela prendrait trop de temps. Elle est trop occupée à récolter, à emballer et à vendre ses tomates.

En réfléchissant à sa récolte, Susan pense à l'eau qu'elle utilise pour laver les tomates. Elle pourrait utiliser les toits pour collecter de l'eau de pluie propre, dont elle se servirait pour nettoyer les tomates. Les réservoirs sont déjà installés: elle doit juste acheter quelques tuyaux supplémentaires pour acheminer l'eau des toits vers les réservoirs. Elle pressent que cette solution pourrait être moins onéreuse qu'acheter l'eau du camion-citerne.

Chapitre 4

Eau recyclée

4.1. Introduction	210
4.2. Pourquoi recycler l'eau ?	211
4.3. Quelques règles de base et lignes directrices pour l'utilisation de l'eau grise	212
4.4. Qualité de l'eau	214
4.5. Traiter l'eau	215
4.6. Recycler divers types d'eau grise	220
4.7. L'analyse de la rentabilité du recyclage de l'eau	224
4.8. Exemple	225

4.1. INTRODUCTION

4.1.1. Définitions



Eaux grises : «eaux ménagères ou agricoles réutilisées, qui ont été légèrement polluées, ou eaux usées, qui peuvent être recyclées et purifiées de manière efficace. Les eaux contaminées par des matières fécales humaines sont exclues de cette définition».

Si une exploitation agricole connaît des périodes pendant lesquelles l'eau est rare et le rendement des cultures et la production agricole sont menacés par des pénuries d'eau, il peut être utile d'envisager le recyclage de l'eau. «Recycler l'eau» signifie capter et réutiliser l'eau qui a déjà été utilisée pour l'exploitation agricole. Par exemple, les eaux usées peuvent servir à irriguer les cultures après avoir subi un traitement. Même quand l'eau n'est pas rare, recycler l'eau permet de réduire la quantité d'eau qui doit être captée. Cela améliore l'efficacité (et la rentabilité, si le prix de l'eau est élevé) et peut avoir une incidence positive sur l'environnement.

L'eau est utilisée dans la plupart des activités de l'exploitation agricole, de l'irrigation aux activités post-récolte, en passant par le traitement des produits et les tâches domestiques/ménagères. Nombre de ces activités génèrent des eaux usées, qui peuvent être recyclées. Citons entre autres :

- **Les eaux d'irrigation.** Si la quantité d'eau distribuée sur un champ est supérieure à la quantité d'eau que le sol peut retenir, l'excédent d'eau va ruisseler hors du champ. Si un système de drainage capture les eaux de ruissellement, l'excédent d'eau peut être collecté, stocké et réutilisé pour irriguer le champ.
- **Le lavage et le traitement post-récolte.** L'eau collectée après le lavage post-récolte peut être utilisée pour une irrigation à petite échelle, si les zones de production sont proches.
- **Les eaux ménagères.** L'eau utilisée pour certaines tâches ménagères peut également être recyclée et utilisée pour une irrigation à petite échelle, où les risques de contamination sont faibles.
- **L'eau hydroponique.** Les eaux usées hydroponiques peuvent être utilisées pour irriguer les cultures, mais une attention particulière doit être prêtée à la gestion des nutriments, car les eaux usées hydroponiques sont chargées d'éléments nutritifs et le lessivage des nutriments à proximité des cours d'eau doit être évité ou réduit au minimum.



L'objectif est d'identifier ce qui va avoir un impact sur l'entreprise, en distinguant les exigences des réglementations européennes et internationales des exigences du marché, en particulier des exigences des grandes chaînes de supermarché.

QU'EST-CE QUE L'EAU GRISE ?



EAU BLEUE

Eau de source, de puits,
eau purifiée eau de ville,
eau de pluie



EAU GRISE

Eau usée sans éléments
chimiques toxiques et/ou
excréments



EAU NOIRE

Eau contaminée par
des éléments chimiques toxiques
et/ou excréments

4.2. POURQUOI RECYCLER L'EAU ?

4.2.1. Les bénéfiques

Le recyclage de l'eau peut comporter de nombreux bénéfices directs pour une entreprise horticole :

- la réduction du nombre total des prélèvements d'eau ;
- une meilleure disponibilité de l'eau dans les zones et aux périodes de rareté de l'eau, ou lorsque les droits de captage sont limités ;
- une réduction des coûts de l'énergie et du transport ;
- une utilisation plus efficace de l'eau (productivité accrue avec la même quantité d'eau prélevée) ;
- du point de vue de l'image de marque : planifier correctement le recyclage de l'eau joue un rôle important dans l'utilisation adéquate et responsable de l'eau. Cela peut faire partie de la stratégie de responsabilité sociale des grandes entreprises (RSE). Communiquer sur l'utilisation responsable de l'eau améliore l'image de marque d'une exploitation ou d'une entreprise dans la communauté en général. Cela peut également les rendre plus attrayantes aux yeux des acheteurs, en particulier lorsqu'elles vendent leurs produits à travers des chaînes mondiales d'approvisionnement ;
- la possibilité de réduire le déversement de certains agents polluants dans des plans d'eau. C'est le cas, par exemple, lorsque des agents polluants ou des sédiments contenus dans l'eau sont retenus dans un sol qui a été lessivé, quand l'eau est réutilisée pour l'irrigation ; ce processus peut être considéré comme une filtration naturelle ;
- l'amélioration de l'efficacité générale de l'exploitation. C'est le cas, par exemple, lorsque de l'eau recyclée est utilisée pour les cultures de subsistance dans les petites exploitations. Les eaux usées peuvent, par exemple, être canalisées dans le sol, autour des arbres fruitiers, ce qui permet d'améliorer la productivité avec un minimum d'investissement.

Bien souvent, l'eau pouvant être recyclée est limitée par rapport à l'ensemble des besoins d'eau des cultures de l'exploitation. Dans le cas de l'irrigation, par exemple, le recyclage de l'eau peut ne combler qu'une petite partie du total des besoins d'eau. Cela étant dit, le recyclage de l'eau peut apporter une précieuse contribution dans les zones où l'eau est rare.



4.3. QUELQUES RÈGLES DE BASE ET LIGNES DIRECTRICES POUR L'UTILISATION DE L'EAU GRISE

4.3.1. En bref

L'eau grise non recyclée se distingue de l'eau douce et elle nécessite une approche différente pour être utilisée en toute sécurité. De manière générale :

- ne stockez pas l'eau grise (pendant plus de 24 heures). Si vous stockez de l'eau grise, les nutriments qu'elle contient commenceront à se décomposer, ce qui dégagera de mauvaises odeurs ;

- limitez le contact avec de l'eau grise non traitée, car elle peut contenir des agents pathogènes. Il est préférable d'utiliser ce type d'eau uniquement là où elle peut s'infiltrer dans le sol (par exemple, l'irrigation) et de ne pas la donner à boire aux humains ou aux animaux ;
- assurez-vous que l'eau grise s'infiltré dans le sol ; ne la laissez pas former des flaques ou s'écouler. Les flaques d'eau grise peuvent favoriser la reproduction des insectes (par ex., les moustiques) et le contact avec celle-ci peut s'avérer dangereux pour les êtres humains ;
- faites en sorte que votre système soit le plus simple possible ; évitez les pompes et les filtres qu'il faut entretenir. Les systèmes simples durent plus longtemps, demandent moins d'entretien et moins d'énergie et sont moins coûteux.



4.4. QUALITÉ DE L'EAU

4.4.1. Quelques précautions

Quand on aborde la question du recyclage, la qualité de l'eau figure au nombre des considérations les plus importantes dont il faut tenir compte. L'eau recyclée peut être de qualité plus ou moins médiocre, en fonction de l'utilisation précédente. L'eau recueillie et réutilisée après un usage domestique ou agricole (par exemple, le lavage des fruits), ou à la suite d'un ruissellement après irrigation peut contenir des sédiments ou des agents polluants. Si tel est le cas, il peut être nécessaire de traiter l'eau recyclée avant de la réutiliser.

Il est donc important de surveiller les niveaux de contaminants (voir chapitre 6 pour plus d'informations sur les paramètres de la qualité des eaux) pour savoir quand un traitement s'impose.

Dans les cas où l'eau ne peut être traitée, elle peut quand même être recyclée, mais son utilisation doit être limitée pour éviter de contaminer les cultures et le sol. Il est de la plus haute importance d'éviter la contamination microbienne des eaux d'irrigation quand on utilise les effluents domestiques.

Quelques règles générales doivent être observées pour garantir une utilisation sûre de l'eau recyclée.

- N'utilisez que de l'eau propre (ayant la qualité de l'eau potable), pas d'eau recyclée, pour les tâches domestiques et les activités consécutives à la récolte. Des sources d'eau alternatives, comme l'eau de pluie collectée, peuvent être envisagées. Elles peuvent être couplées à l'utilisation d'un agent assainissant garantissant que les critères de qualité de l'eau sont remplis (voir chapitre 6).
- Les eaux usées non traitées ne doivent jamais être utilisées pour l'irrigation. Si elles sont traitées, les eaux usées peuvent être utilisées, mais elles doivent satisfaire aux critères de qualité de l'eau fixés par l'OMS (voir chapitre 6).
- L'eau des activités post-récolte (par exemple, lavage des fruits et des légumes) peut être utilisée pour l'irrigation, mais de nouveau, il faut veiller à ce que les normes de qualité de l'eau d'irrigation soient respectées (voir chapitre 6).
- Les eaux de drainage issues de l'irrigation peuvent être collectées et réutilisées pour l'irrigation, si leur qualité est satisfaisante. Une attention particulière doit cependant être prêtée aux concentrations potentielles en sel et en nutriments, qu'il faut surveiller et contrôler.
- Il est recommandé d'analyser régulièrement la qualité de l'eau d'irrigation, en particulier pour y détecter la présence d'agents pathogènes pour l'homme tels que *E. Coli*, ou pour les plantes, telles que *Phytophthora*, *Pythium*, etc.



4.5. TRAITER L'EAU

En fonction de leur usage précédent, les eaux usées peuvent notamment contenir des sédiments, des substances agrochimiques, des produits de nettoyage ou des contaminants microbiens. Il existe plusieurs méthodes de traitement des eaux, qui permettent d'éliminer ces éléments, en fonction de l'agent contaminant et de l'utilisation prévue de l'eau. D'autres facteurs, comme le coût et les compétences techniques (ressources humaines) permettant d'assurer un entretien continu, sont à prendre en considération lors de la sélection d'une méthode de traitement. Les options sont les suivantes.

4.5.1. Les filtres à sédiments



Ces filtres agissent comme des tamis qui retiennent les matières particulaires. Les filtres à sédiments réduisent la quantité des sédiments, mais ils n'éliminent ni les produits chimiques ni les métaux lourds. Ils sont le plus fréquemment utilisés pour améliorer la qualité des eaux urbaines, pour éliminer la saleté et les sédiments de l'eau des puits, ou pour éliminer les particules des eaux de pluie qui ruissellent. La couche filtrante de ces filtres doit être remplacée régulièrement. Elle peut simplement se composer de minéraux ou de matériaux synthétiques. Le choix des filtres dépend de la qualité des flux qui doivent y passer, des volumes de ces flux, et des considérations de prix. Pour plus d'informations sur la conception de ces filtres, consultez le site de l'agence de protection de l'environnement des États-Unis : water.epa.gov/polwaste/npdes/swbmp/Sediment-Filters-and-Sediment-Chambers.cfm.

4.5.2. Les pièges à graisses

Ces pièges sont utilisés pour éliminer les huiles et les graisses, qui viennent principalement des eaux usées domestiques (cuisines et restaurants). Ils s'appuient sur le principe selon lequel la graisse s'accumule naturellement en couches à la surface de l'eau, puisqu'elle est plus légère que l'eau et qu'elle ne se dissout pas, si l'eau stagne dans un récipient pendant un certain temps. Les pièges à graisse doivent être nettoyés régulièrement. Vous trouverez de bonnes indications quant à la conception de ces filtres à l'adresse : www.ocsd.com/home/showdocument?id=536.



4.5.3. Les fosses septiques



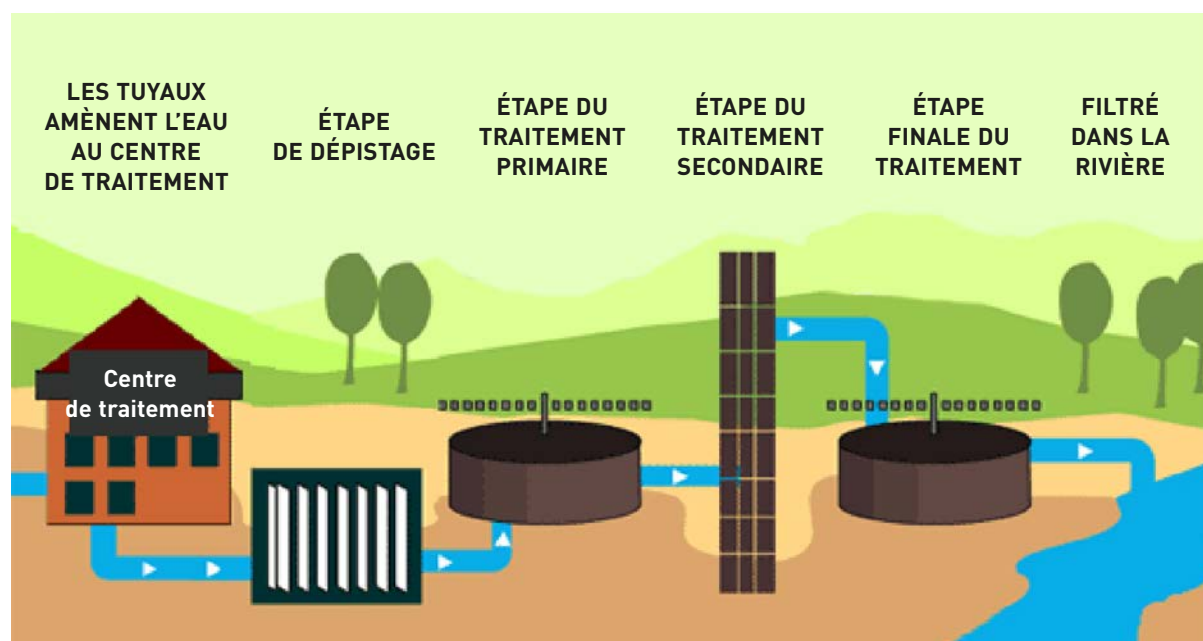
Les fosses septiques sont des composantes essentielles des petites installations d'épuration des eaux usées (quand les eaux usées ne peuvent pas être traitées par une infrastructure municipale). Elles constituent la forme de traitement primaire des eaux usées la plus courante. Elles ont pour objectif principal d'éliminer les matières organiques (le paramètre DBO5 [demande biologique en oxygène] constitue un bon indicateur de la teneur en matières organiques), que des bactéries anaérobies décomposent. Elles sont généralement installées avec un piège à solides: l'effluent traité passe à travers le piège à solides avant d'entrer dans la fosse septique. Les fosses septiques éliminent entre 30 et 50 % de la DBO5. La FAO fournit des références utiles pour la conception des fosses septiques: www.fao.org/docrep/t0521e/T0521E0k.htm.

4.5.4. Le filtre hélophyte

Cette méthode simple et peu coûteuse permet d'améliorer la qualité de l'eau recyclée, avant qu'elle ne soit réutilisée ou déversée dans les cours d'eau ou les nappes phréatiques. Le principe du filtre hélophyte est de laisser les eaux usées s'infiltrer dans des étangs remplis de plantes marécageuses du type roseaux et joncs. Si l'on s'y prend bien, le taux de purification (élimination de la DBO et des nutriments) est supérieur à 50 %. Vous trouverez plus d'informations à l'adresse suivante: emis.vito.be/node/22504.

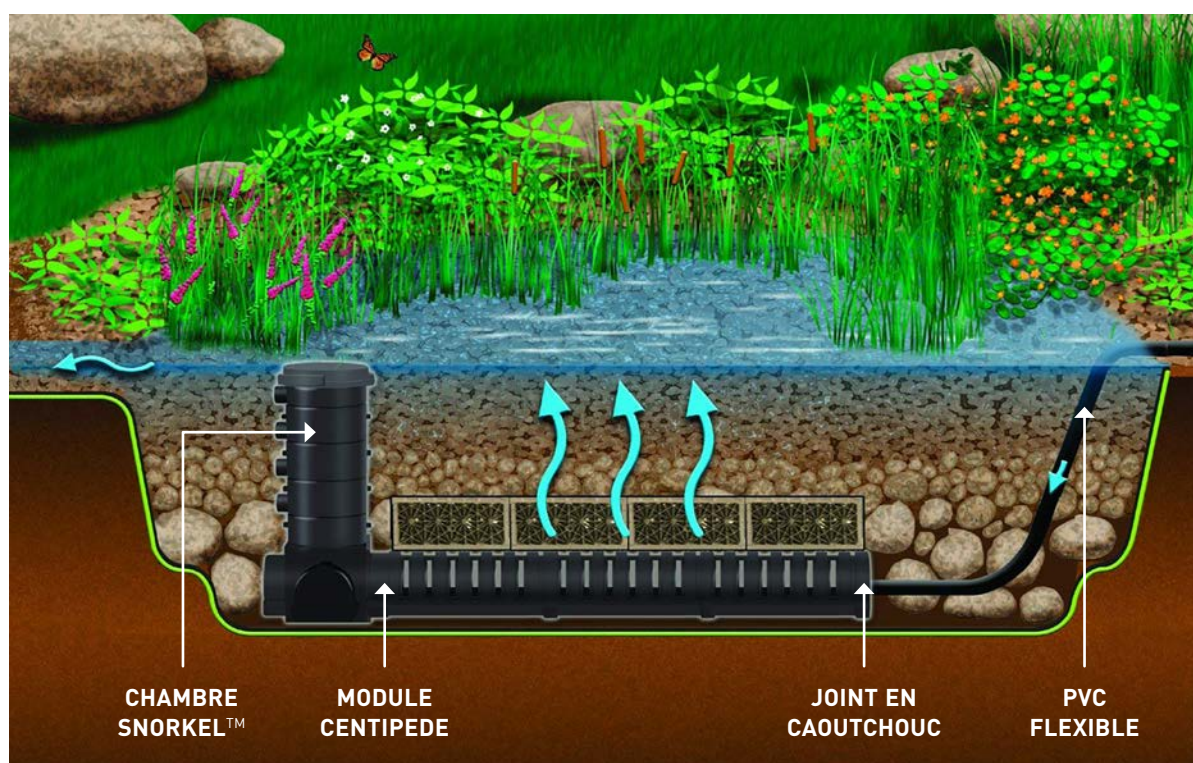
4.5.5. Le traitement complet des eaux usées

Le traitement complet *in situ* des eaux usées suppose l'utilisation de plusieurs éléments: un piège à solides, une fosse septique (pour le traitement primaire), et un filtre hélophyte ou un marais artificiel (pour le traitement secondaire). En utilisant ce système, on peut espérer éliminer environ 70 % des matières organiques (exprimées en DBO5, demande biologique en oxygène). La FAO fournit de plus amples informations sur la conception de ce système: www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e05.htm.



4.5.6. Les filtres et marais artificiels

Les marais artificiels sont des systèmes soigneusement pensés. Les eaux usées passent à travers un système de sols et des plantes qui retient et traite les matières organiques qu'elles contiennent. Les eaux traitées par les marais peuvent être utilisées pour l'irrigation, à condition qu'un contrôle de la qualité de l'eau ait été effectué pour détecter la présence éventuelle de pathogènes, de nutriments et d'autres substances pouvant présenter un danger, par ex. les métaux lourds.

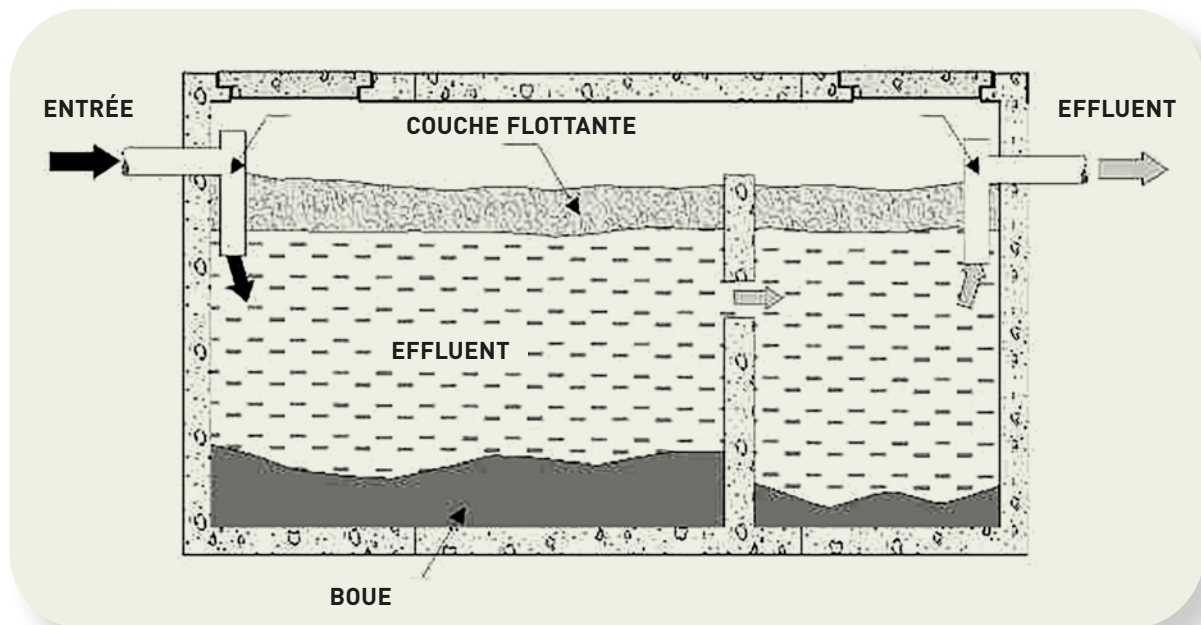


Les marais artificiels peuvent être divisés en deux catégories :

- systèmes à écoulement souterrain ou à lit de roseaux ; les plantes poussent sur du gravier ou sur le sol.
- systèmes d'étangs ou à écoulement de surface ; les plantes flottent dans l'eau.

Les systèmes d'étangs ou à écoulement de surface nécessitent une zone relativement étendue, mais ils peuvent être construits sur des terres non productives et conviennent essentiellement aux exploitations de moyenne et grande dimensions.

Des marais filtrants peuvent être construits dans la cour des plus petites exploitations, en plaçant des systèmes de lit de roseaux dans des conteneurs recyclés (par exemple, baignoires, fûts en acier et poubelles en plastique). Ces conteneurs sont remplis de gravier recouvert de copeaux de bois, sur lesquels sont plantés des quenouilles, des joncs et d'autres plantes marécageuses. Dans ces systèmes, le niveau de l'eau ne dépasse jamais le paillis, de sorte que les animaux et les humains ne risquent pas d'entrer directement en contact avec les eaux grises. Il existe plusieurs façons de fabriquer des filtres à eaux grises simples et peu coûteux. On peut, par exemple, utiliser de vieux sacs à vrac et des filtres verticaux. **Les eaux filtrées par des systèmes peu coûteux de ce genre conviennent à l'irrigation, mais pas au lavage des produits.**



Quelques conseils pratiques :

- cultivez un mélange de plantes marécageuses et d'espèces à racines rhizomateuses pour tirer le meilleur parti de la nature et optimiser le traitement (plusieurs températures). Utilisez des espèces indigènes et demandez conseil à des spécialistes ;
- arrachez les mauvaises herbes et les autres plantes aux racines fibreuses qui risquent d'obturer les espaces poreux dans le gravier. Une fois par an, coupez les extrémités des plantes marécageuses et utilisez-les comme paillis pour les cultures ;
- après quelques années, il peut être nécessaire d'éclaircir les plantes ;
- avant d'adopter ce type de système de filtration naturelle, envisagez le risque d'infestation des plantes par les organismes nuisibles tels que les rongeurs et les insectes, ainsi que les autres effets indésirables, par ex. les mauvaises odeurs ;
- n'utilisez JAMAIS les eaux usées des toilettes dans ces systèmes.

4.6. RECYCLER DIVERS TYPES D'EAU GRISE

4.6.1. Les eaux d'irrigation

Si la quantité d'eau distribuée sur un champ est supérieure à la quantité d'eau que le sol peut retenir, l'excédent d'eau va ruisseler hors du champ. Si un système de drainage capture les eaux de ruissellement, l'excédent d'eau peut être collecté, stocké et réutilisé pour irriguer le champ. L'infrastructure suivante est nécessaire :

- **Collecte** : l'eau peut être collectée par un système de drainage. À ce stade, des tuyaux et des pompes sont nécessaires. Le chapitre 6 de la première partie de ce manuel contient de plus amples informations sur les systèmes de drainage. Le rapport de la FAO sur le drainage agricole est une bonne source d'informations sur la conception des systèmes de drainage : www.fao.org/docrep/w7224e/w7224e00.htm#Contents.

- **Stockage** : des réservoirs de stockage peuvent être nécessaires pour stocker temporairement les eaux de drainage. Voir le chapitre 3 sur les cuves et les réservoirs.
- **Transport** : des pompes et des tuyaux sont nécessaires pour acheminer l'eau vers les réservoirs de stockage et, ensuite, pour la distribuer sur les champs. Les différents types de pompe pouvant être utilisés sont expliqués au chapitre 3.
- **Traitement** : le traitement des eaux de drainage agricole est généralement considéré comme une option de dernier recours, compte tenu des coûts et de la complexité de ses caractéristiques chimiques. Une option consiste à utiliser des filtres hélophytes ou des marais artificiels avant leur évacuation. La FAO est une bonne source d'informations concernant le traitement des effluents de drainage : www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e0b.htm

La concentration des substances polluantes est un facteur important dont il faut tenir compte lorsque l'on réutilise des eaux d'irrigation. Si les eaux d'irrigation sont recyclées plusieurs fois, la concentration des substances polluantes dans l'eau (sels et produits agrochimiques) va augmenter. Il est donc recommandé de traiter les eaux d'irrigation recyclées pour en éliminer les contaminants (voir plus haut) ou de les mélanger (diluer) à de l'eau de meilleure qualité provenant d'autres sources. S'agissant des sels, on recommande de contrôler rigoureusement la qualité de l'eau, car l'efficacité de l'élimination des sels par les filtres hélophytes et les marais est très faible. Dans ce cas, il est recommandé de diluer les eaux d'irrigation. Il est également recommandé de contrôler les niveaux de nutriments dans l'eau recyclée et d'en tenir compte dans le plan de gestion des nutriments de l'exploitation agricole. Si les concentrations de nutriments dans les eaux d'irrigation sont élevées, il peut être nécessaire de réduire l'épandage des engrais.

4.6.2. Le lavage post-récolte et le traitement des eaux

Les eaux récupérées après le lavage qui suit la récolte peuvent être utilisées pour l'irrigation à petite échelle. L'infrastructure nécessaire à chaque étape est la suivante :

- **Collecte** : l'eau dans les lavabos et les gouttières peut être collectée à l'aide de tuyaux.
- **Stockage** : si l'eau n'est pas utilisée immédiatement, des réservoirs de stockage peuvent être nécessaires. Toutefois, dans de nombreux cas, l'eau des lavages ayant eu lieu après la récolte est utilisée immédiatement pour irriguer les champs (après avoir été traitée, le cas échéant). Voir le chapitre 3 sur les réservoirs de stockage.
- **Transport** : des pompes et des tuyaux peuvent être nécessaires pour acheminer l'eau vers les réservoirs de stockage et pour la distribuer ensuite sur les champs. Les différents types de pompe pouvant être utilisés sont expliqués au chapitre 3.
- **Traitement** : si la probabilité de contamination est faible, les eaux de lavage sont généralement déversées sur un champ sans avoir subi de traitement au préalable. Si les eaux de lavage contiennent des sédiments, il est

recommandé d'utiliser un filtre avant de les déverser sur le champ. S'il n'est pas exclu que les eaux de lavage contiennent d'autres contaminants, il faut d'utiliser une fosse septique ou un filtre hélophyte pour limiter le déversement de polluants sur le champ. Si possible, en particulier lorsque le recyclage a lieu à grande échelle, on recommande d'analyser régulièrement la qualité des eaux de lavage réutilisées pour détecter la présence et la concentration des éventuels polluants. Les polluants qui doivent être surveillés dans chaque cas dépendront du type de procédés et de traitements post-récolte, mais il s'agit généralement de pathogènes des plantes, de contamination bactérienne et d'agents de nettoyage chimiques.

La proximité des installations de lavage et de traitement par rapport aux zones cultivées est importante lorsqu'il s'agit d'évaluer l'aspect pratique et le coût de la réutilisation des eaux de lavage. Plus elles sont éloignées, plus les coûts d'installation, de fonctionnement et d'entretien des équipements comme les tuyaux et les pompes sont élevés.

4.6.3. Les eaux domestiques

L'eau utilisée pour certaines tâches domestiques peut être recyclée et utilisée pour l'irrigation de la manière suivante :

- **Collecte** : l'eau peut être collectée dans de petites canalisations, gouttières et tuyaux menant vers un système de traitement. Après avoir été traitée, l'eau peut être acheminée directement vers le champ ou un réservoir de stockage.
- **Stockage** : une cuve ou un réservoir peut être nécessaire si l'eau n'est pas utilisée immédiatement. Voir le chapitre 3 sur les réservoirs de stockage.
- **Transport** : des pompes et des tuyaux peuvent être nécessaires pour acheminer l'eau vers les réservoirs de stockage et pour la distribuer sur les champs. Les différents types de pompes sont expliqués au chapitre 3.
- **Traitement** : piège à solides, piège à graisses, fosse septique, filtre hélophyte ou marais artificiel.

Compte tenu du risque de contamination chimique et biologique, il est fortement recommandé de traiter au moins une fois les eaux usées domestiques (par exemple, pièges à graisses, filtres, fosse septique). Il est également recommandé d'analyser régulièrement la qualité de l'eau, en particulier pour détecter la présence éventuelle de pathogènes, comme *E. Coli*.

Notez bien que les eaux usées non traitées (des toilettes) et l'eau contenant des concentrations importantes de produits nettoyants ne doivent jamais être utilisées pour l'irrigation. Cela est particulièrement important dans le cas des fruits et des légumes consommés crus, pour lesquels le risque de contamination et d'intoxication alimentaire est élevé.

4.6.4. Eaux usées hydroponiques

Les eaux usées hydroponiques peuvent être utilisées pour l'irrigation. La gestion des nutriments est l'aspect le plus important, car les eaux hydroponiques ont une teneur élevée en nutriments. Si les eaux usées hydroponiques sont utilisées pour l'irrigation, il faut en tenir compte dans le plan de gestion des nutriments de l'exploitation agricole.



4.7. L'ANALYSE DE LA RENTABILITÉ DU RECYCLAGE DE L'EAU

4.7.1. Généralités

Comme pour la récupération de l'eau, l'analyse de la rentabilité du recyclage de l'eau doit tenir compte :

- a. de la quantité d'eau qui peut être recyclée par rapport aux besoins en eau de l'exploitation ;
- b. des coûts d'installation et d'entretien de l'équipement et de l'infrastructure nécessaires (pour collecter, stocker, transporter, traiter l'eau, etc.) ;
- c. du coût des contrôles de la qualité de l'eau (le cas échéant) ;
- d. de l'augmentation potentielle des rendements (et des revenus) grâce à la meilleure disponibilité de l'eau en période critique ;
- e. de la baisse potentielle des dépenses liées au captage de l'eau (frais, carburant, coûts de transport, etc.) ;

Comme nous l'avons vu précédemment, en plus des coûts et des bénéfices immédiats, l'adoption de pratiques responsables en matière d'utilisation de l'eau peut rendre une exploitation ou une entreprise agricole plus attrayante aux yeux des acheteurs, en particulier lorsqu'elle vend ses produits à travers des chaînes mondiales d'approvisionnement. L'utilisation responsable de l'eau est parfois une condition indispensable pour pénétrer sur le marché ; dans ce cas, l'accès au marché doit être factorisé dans l'analyse de rentabilité globale.

Le recyclage de l'eau est-il une option pour l'exploitation agricole ?

- Quels types d'eaux usées sont produits et déversés sur l'exploitation ? L'agriculteur peut-il établir une liste de ces effluents en précisant leur origine et leur volume approximatif ?
- L'agriculteur peut-il recenser les contaminants éventuels dans les différents types d'eaux usées ?
- L'agriculteur dispose-t-il d'assez de données sur la qualité des eaux usées agricoles pour décider si elles peuvent être recyclées ? Si tel n'est pas le cas, quelles données lui manque-t-il ?
- Comment ces effluents peuvent-ils être recyclés ? À quoi pourrait servir l'eau ? Faudrait-il traiter l'eau ? Quel genre de traitement faudrait-il prévoir ?
- Préparez une analyse qualitative de la rentabilité du recyclage de l'eau qui tienne compte :
 - de la quantité d'eau qui peut être recyclée par rapport à l'ensemble des besoins d'eau de l'exploitation ;
 - du coût de l'eau et des risques de pénurie d'eau au moment considéré ;
 - du coût du matériel et de l'installation d'un système de captage, de stockage et de transport de l'eau (pompes, tuyaux, réservoir de stockage, etc.).

- D'après cette évaluation préliminaire, le recyclage de l'eau peut-il constituer une option intéressante du point de vue financier ?
- Si, à ce stade, le recyclage de l'eau ne semble pas faisable, parlez-en avec les autres participants.
- Si les informations disponibles sont insuffisantes pour évaluer la situation en connaissance de cause, dressez la liste des informations supplémentaires nécessaires à la réalisation d'une analyse de rentabilité.



4.8. EXEMPLE

4.8.1. Susan et Kioko

Après le dîner, les enfants de Kioko lavent les casseroles et les assiettes dont ils viennent de se servir. Ils utilisent de l'eau du réservoir placé à côté de leur cabane. Lorsqu'ils ont fini de faire la vaisselle, ils arrosent les plantes de leur jardin avec l'eau de lavage. Dans le jardin, leur mère cultive des oignons et des poivrons ainsi que des plantes médicinales.

Susan cultive des tomates. Cette saison, la récolte a été bonne. Elle a semencé 10 hectares et a récolté 200 tonnes de tomates. Elle a également pu acheter la même quantité de tomates à ses sous-traitants. Les camions remplis de tomates arrivent à l'installation de lavage et de conditionnement située dans son exploitation. Toutes les tomates sont lavées à la main dans de grands évier par ses ouvriers agricoles. Elles sont ensuite triées en fonction de leur taille et de leur maturité, et emballées dans des boîtes pour être envoyées à des acheteurs à Nairobi, qui les utiliseront fraîches ou qui les transformeront.

L'eau que Susan utilise pour laver les tomates provient des camions-citernes qui livrent l'eau potable aux exploitations. Lorsque l'eau de lavage devient trop sale, les ouvriers agricoles vident les évier. L'eau se déverse alors dans le cours d'eau par une canalisation en béton. L'eau n'est pas réutilisée. Par ailleurs, Susan est en train de préparer un terrain pour y cultiver des haricots verts qu'elle exportera vers le Royaume-Uni. Pour démarrer la culture des haricots verts, elle doit irriguer une première fois le sol pour favoriser la germination des graines. Pour ce faire, elle a besoin de 800 m³ d'eau. Pourrait-elle utiliser l'eau de lavage pour irriguer son champ, en plus de l'eau du canal et des précipitations ? Elle estime la quantité d'eau utilisée après la récolte. Pour laver 100 kg de tomates, elle a besoin de 250 l d'eau. Elle estime donc que, pour 200 tonnes de tomates, elle utilise 500 m³ d'eau, ce qui correspond à un peu plus de la moitié de l'eau nécessaire à la première irrigation de son hectare de haricots verts. Le problème, c'est qu'elle n'a pas besoin de l'eau immédiatement. Où pourrait-elle la stocker entre-temps ? Peut-être dans un étang tout proche ?

L'eau est assez sale : elle contient la terre qui recouvrait les tomates. Susan se demande si l'eau est suffisamment propre pour arroser ses haricots. L'eau est également susceptible de contenir des traces d'engrais et de pesticides utilisés

pour les tomates. Peut-être l'étang peut-il purifier l'eau? Susan sait qu'il existe des plantes aquatiques capables d'assainir l'eau. Elle pourrait également diluer les eaux de lavage avec de l'eau de la rivière ou du canal, ou avec de l'eau qu'elle aura puisée. Comme ses haricots verts sont destinés à l'exportation, Susan est certifiée GLOBALG.A.P. et elle se demande si l'utilisation d'eaux de lavage recyclées serait contraire aux normes de GLOBALG.A.P. en matière de qualité de l'eau. Elle suppose que GLOBALG.A.P. exigera de contrôler la qualité de l'eau avant qu'elle ne l'utilise pour ses haricots. Ou peut-être pourrait-elle simplement stocker l'eau en se disant qu'elle va se purifier d'elle-même? Si tel n'est pas le cas, elle pourra toujours l'utiliser pour irriguer ses plants de tomates la saison prochaine. Elle devrait aller se renseigner auprès de l'agent local de vulgarisation agricole.

Pour avancer, Susan doit se poser les questions suivantes :

- Où pourrait-elle installer un étang dans son exploitation? Quelles devraient être ses dimensions?
- Quelle doit être la qualité de l'eau utilisée pour arroser des haricots certifiés GLOBALG.A.P.? Quels devraient être les paramètres?
- Une analyse de rentabilité a-t-elle été réalisée pour la construction d'un étang, la collecte des eaux usées d'après-récolte, la mesure des niveaux de polluants, et le pompage de l'eau pour les haricots? Est-ce intéressant du point de vue financier?

Chapitre 5

Utiliser l'eau rationnellement

5.1. Introduction	228
5.2. L'intérêt commercial d'un usage rationnel de l'eau	229
5.3. Améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le transport	230
5.4. Améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le stockage	232
5.5. Améliorer l'usage rationnel de l'eau dans les champs	233
5.6. Améliorer l'usage rationnel de l'eau après la récolte	235
5.7. Exemple	236

5.1. INTRODUCTION

5.1.1. Définition

L'utilisation rationnelle de l'eau peut être considérée sous deux angles. Premièrement, il s'agit d'obtenir des récoltes plus abondantes avec moins d'eau. Pour y arriver, il faut améliorer la gestion du système de production dans son ensemble, en ce compris les sols, les cultures et l'eau elle-même.

Deuxièmement, il s'agit d'éviter les pertes d'eau. C'est cet aspect qui fait plus particulièrement l'objet de ce chapitre. Celui-ci examine notamment :

- a. comment extraire la quantité d'eau adéquate en fonction des besoins ;
- b. comment s'assurer que la plus grande partie de l'eau extraite est réellement utilisée, dans la mesure du possible avec un minimum de pertes ou de gaspillage.

Les pertes d'eau peuvent se produire durant le transport (vers les champs ou vers la station de conditionnement), sur le lieu de stockage, dans les champs ou pendant la manutention et le traitement après la récolte. Bien que certaines pertes soient inévitables, il est important de chercher à les réduire au minimum, et de bien savoir où et quand l'eau peut être utilisée de la manière la plus efficace, grâce au recours à certaines pratiques.



5.2. L'INTÉRÊT COMMERCIAL D'UN USAGE RATIONNEL DE L'EAU

5.2.1. Les bénéfiques

Comme on l'a expliqué dans les chapitres précédents, un usage rationnel de l'eau peut produire un certain nombre de bénéfices indéniables :

- il accroît la disponibilité de l'eau en période de rareté,
- il améliore les rendements (ou réduit les pertes des cultures),
- il réduit les captages d'eau,
- il réduit la dépendance vis-à-vis des ressources externes,
- il réduit la rivalité pour l'eau avec les autres utilisateurs,
- il améliore la résilience aux problèmes de rareté ou au changement climatique,
- il donne une image positive de l'exploitation agricole ou de l'entreprise, en tant qu'utilisateurs responsables de l'eau.

Pour évaluer l'usage rationnel de l'eau, il est important de savoir approximativement quelle quantité d'eau est captée et quelle quantité est effectivement consommée dans les diverses utilisations (l'irrigation des terres, les serres, le lavage et le traitement, etc.).

Si une exploitation agricole ou une entreprise peut estimer le volume d'eau qu'elle perd, ainsi que le coût du captage et du transport de ce volume, et ensuite comparer ce chiffre au coût de la rationalisation des captages (capter uniquement la quantité nécessaire) et des mesures proactives pour essayer de réduire les pertes (par exemple, un meilleur entretien des systèmes d'irrigation), il est généralement très clair qu'améliorer l'usage rationnel de l'eau permet non seulement d'empêcher le gaspillage, mais aussi de générer des gains financiers.



5.3. AMÉLIORER L'USAGE RATIONNEL DE L'EAU PENDANT LE TRANSPORT

L'usage rationnel de l'eau pendant le transport est la quantité d'eau captée à une source qui atteint réellement le lieu où elle sera utilisée. Dans le cas de l'irrigation, par exemple, le rendement est élevé si la plus grande partie de l'eau extraite atteint les terres et y est déversée. Il en va de même pour les systèmes hydroponiques ou pour toute autre utilisation de l'eau.

5.3.1. Évaluation de l'usage rationnel de l'eau pendant le transport

Si l'agriculteur veut évaluer les pertes d'eau pendant le transport, il doit mesurer la quantité d'eau captée (par exemple, d'un canal ou d'un puits de forage) et la quantité d'eau qui parvient sur le lieu d'utilisation (par exemple, qui est déversée sur les terres pendant l'irrigation). Le chapitre 2 a exposé les grandes lignes des méthodes qui peuvent être employées à cet effet, y compris la cartographie des sources d'eau, la mesure de l'eau captée, et la mesure des volumes déversés sur les terres.

5.3.2. Les actions en vue d'améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le transport

Les pertes durant le transport se produisent, par exemple, lorsque les canaux d'irrigation sont perméables (infiltrations), lorsqu'ils sont à ciel ouvert (et qu'il y a donc évaporation), lorsque les conduites ne sont pas étanches, ou en cas de débordements ou de fuites.



Afin de réduire ces pertes au minimum, il est important de procéder fréquemment à une inspection visuelle du système de transport de l'eau afin de détecter la présence de fuites, de débordements ou de toute dégradation de l'infrastructure. Il est aussi crucial d'investir en priorité dans les réparations et dans l'entretien régulier, en particulier ceux des systèmes d'irrigation.

Le tableau 1 présente quelques options en vue d'améliorer l'usage rationnel de l'eau.

Tableau 1 : Options en vue d'améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le transport

<p>Inspection visuelle et entretien des systèmes de transport de l'eau : canaux, conduites, systèmes d'irrigation tels que les conduites, les canaux, les asperseurs ou les goutteurs.</p>	<p>Vérification fréquente de l'infrastructure de transport de l'eau. Idéalement, l'exploitation agricole devrait disposer d'un plan ou d'un calendrier d'inspection reprenant les responsabilités confiées aux uns et aux autres de vérifier certaines sections à certains moments ; cela permettrait de s'assurer que tous les éléments du système sont régulièrement vérifiés.</p> <p>Les conduites de transport de l'eau et d'irrigation (dans les champs, dans les serres et dans les stations de conditionnement) doivent être examinées afin de détecter les fuites éventuelles, et les dommages doivent être réparés rapidement.</p> <p>Les canaux d'irrigation doivent être inspectés afin de détecter l'éventuel envahissement par les débris, l'herbe, ainsi que les dégradations et les fuites ; les débris doivent être éliminés et les dégradations réparées rapidement.</p> <p>Si l'infrastructure est partagée, il est utile de prévoir un plan d'inspection et de maintenance des canaux et des conduites en accord avec tous les utilisateurs.</p>
<p>Revêtement des canaux d'irrigation</p>	<p>Les pertes des canaux d'irrigation dues à l'infiltration peuvent être réduites en utilisant un revêtement moins perméable ou en ajoutant une couche imperméable (par exemple en béton).</p>
<p>Conversion des canaux en conduites</p>	<p>Les pertes dues à l'évaporation peuvent être réduites en convertissant les canaux à ciel ouvert en conduites. Ceci concerne le transport entre la source d'eau et l'exploitation, ainsi que le transport vers les champs et aux alentours. Toutefois, si cela permet d'améliorer l'usage rationnel de l'eau, si l'eau des canaux n'est plus accessible, cela peut avoir une incidence sur l'environnement (les animaux et la végétation) et sur les moyens de subsistance des autres utilisateurs. Tous les effets négatifs potentiels doivent être évalués et abordés avec les autres utilisateurs avant de prendre cette mesure.</p>

5.4. AMÉLIORER L'USAGE RATIONNEL DE L'EAU PENDANT LE STOCKAGE

L'usage rationnel de l'eau pendant le stockage dépend essentiellement de l'état des installations de stockage.

5.4.1. Évaluer l'usage rationnel de l'eau pendant le stockage

L'agriculteur peut recourir à des techniques simples pour évaluer l'usage rationnel de l'eau pendant le stockage en mesurant les pertes d'eau dues aux fuites ou à l'évaporation. Pour ce faire, il peut utiliser une jauge ou marquer le niveau d'eau dans les cuves ou les réservoirs de stockages et noter les changements. Le captage et l'extraction de l'eau de la cuve ou du réservoir doivent être arrêtés (ou demeurer constants) pendant le déroulement de l'opération.

5.4.2. Les actions en vue d'améliorer l'usage rationnel de l'eau pendant le stockage

- Il est important de réviser et d'entretenir fréquemment toutes les installations de stockage de l'eau, de réparer les fissures, et de manière générale, de les maintenir en bon état. Cela permettra d'éviter les pertes d'eau ainsi que la contamination potentielle de sources extérieures.
- Lorsque cela est possible, il convient de couvrir les cuves d'eau et les installations de stockage afin d'éviter non seulement l'évaporation, mais aussi le possible envahissement par des plantes, des débris ou des matières organiques provenant des oiseaux ou d'autres animaux, qui peuvent aussi affecter la qualité de l'eau.



5.5. AMÉLIORER L'USAGE RATIONNEL DE L'EAU DANS LES CHAMPS

L'usage rationnel de l'eau dans les champs désigne la quantité d'eau appliquée à la plante qui est absorbée par celle-ci et donc mise à profit pour la production. Des pertes se produisent parce que l'eau s'écoule des champs par ruissellement sans pénétrer dans le sol ou parce qu'elle est éliminée par le drainage ou par évapotranspiration sans avoir été absorbée par les plantes.



5.5.1. Évaluer l'usage rationnel de l'eau dans les champs

Pour évaluer l'usage rationnel de l'eau dans les champs, il est nécessaire de mesurer le volume d'eau déversé sur les champs et le volume des eaux de drainage. La différence entre ces deux volumes représentera l'eau qui a été évapotranspirée par les cultures.

S'il n'est pas possible de mesurer les eaux de drainage, une indication qualitative de l'usage rationnel de l'eau peut être obtenue de la manière suivante :

1. en évaluant la teneur en humidité du sol (chapitre 11) et en veillant à ce que celle-ci ne soit pas excessive ;
2. en contrôlant le ruissellement. Si la quantité d'eau adéquate est appliquée pendant l'irrigation, il n'y aura pas de ruissellement. L'efficacité de l'irrigation est examinée plus en détail au chapitre 8.

5.5.2. Les actions en vue d'améliorer l'usage rationnel de l'eau dans les champs

Choisir soigneusement le moment de l'arrosage et la quantité d'eau répandue pendant celui-ci garantit qu'un maximum d'eau sera retenu par le sol pour assurer la croissance des cultures. Les pertes peuvent être réduites au minimum en arrosant les cultures au bon moment, grâce à un calendrier d'irrigation bien planifié. Il s'agit entre autres :

- d'arroser le sol uniquement lorsque celui-ci a atteint un certain seuil d'humidité, ce qui dépendra du type de culture, du type de sol, et des conditions climatiques ;
- de ne répandre que la quantité d'eau nécessaire au-delà de ce seuil pour recharger le sol jusqu'à ce qu'il atteigne sa capacité au champ. L'eau appliquée au-delà de ce point sera perdue dans le ruissellement ou le drainage.

Des systèmes sophistiqués existent pour planifier l'irrigation, mais à défaut, un calendrier simple peut être élaboré à l'aide d'estimations qualitatives de la teneur en humidité du sol au quotidien. Dans la partie 1, ainsi qu'au chapitre 11 de la partie 2, des méthodes simples d'estimation de la teneur en humidité du sol sont expliquées.

Il est aussi crucial d'améliorer la capacité du sol à retenir l'eau pour améliorer l'usage rationnel de l'eau (voir le chapitre 6 de la partie 1 et le chapitre 11 de la partie 2).

Tableau 2 : Améliorer l'usage rationnel de l'eau sur les terres

<p>Le calendrier d'irrigation</p>	<p>Il est essentiel de savoir quand et comment irriguer. Il est plus efficace d'irriguer lorsque la teneur en eau du sol est faible (épuisement critique).</p> <p>L'objectif du calendrier d'irrigation est d'éviter d'irriguer trop peu ou trop abondamment, tout en apportant suffisamment d'eau aux plantes.</p> <p>Des modèles informatiques complexes existent (par exemple, le modèle CROPWAT de la FAO) afin de déterminer les besoins d'eau des cultures et d'élaborer un calendrier d'irrigation complet. Ces outils sophistiqués de planification de l'irrigation utilisent les informations collectées quotidiennement et effectuent donc un réglage de précision en fonction de la météo, de l'humidité relative, etc. du jour.</p> <p>Dans les systèmes à intrants limités, de nombreuses mesures simples peuvent néanmoins être prises pour améliorer l'efficacité. Outre le contrôle visuel de l'humidité du sol et du ruissellement, une recommandation générale est d'éviter d'irriguer pendant les heures les plus chaudes/ensoleillées de la journée afin de réduire l'évaporation au minimum.</p>
<p>Les pratiques agricoles</p>	<p>Les pratiques visant à accroître la rétention de l'eau sont cruciales. Parmi celles-ci figurent les techniques culturales simplifiées, les cultures de couverture, et la rotation des cultures.</p>
<p>Le type d'irrigation</p>	<p>Choisir le type d'irrigation le mieux adapté permettra d'améliorer l'usage rationnel de l'eau. L'irrigation par aspersion et en particulier l'irrigation au goutte-à-goutte sont les plus efficaces, comme on le verra au chapitre 8.</p>

5.6. AMÉLIORER L'USAGE RATIONNEL DE L'EAU APRÈS LA RÉCOLTE

5.6.1. Évaluer l'usage rationnel de l'eau après la récolte

Afin d'évaluer l'usage rationnel de l'eau pendant les opérations qui suivent la récolte, il est nécessaire de connaître les volumes d'eau utilisés et les volumes d'effluents pour un volume donné de produits (par exemple, pour 100 kg de produits lavés). L'objectif est de réduire les pertes au minimum (par exemple, les pertes dues à l'évaporation ou aux débordements) et de maximiser les volumes de produits traités avec la même quantité d'eau.

5.6.2. Les actions en vue d'améliorer l'usage rationnel de l'eau après la récolte

Pour améliorer l'usage rationnel de l'eau après la récolte, il est notamment recommandé :

- de veiller à ce que l'espace de travail soit imperméable ; d'inspecter régulièrement l'infrastructure (notamment les conduites et les installations de stockage de l'eau), et de procéder rapidement aux réparations afin d'éviter les fuites et l'infiltration ;
- de rediriger l'eau utilisée vers des dispositifs de stockage tels que les cuves à eau, pour la sédimentation et pour un usage ultérieur à des fins d'irrigation (en tenant compte des recommandations en matière de qualité de l'eau figurant aux chapitres 3 et 6) ;
- d'examiner si de plus grandes quantités de produits peuvent être lavées avec moins d'eau, tout en maintenant leur qualité.

Utilisez-vous l'eau de manière efficace ?

- Pourquoi est-il important d'avoir un bon usage rationnel de l'eau ?
- Où et quand l'usage rationnel de l'eau pourrait-il être amélioré dans votre exploitation/entreprise ?
- Comment l'usage rationnel de l'eau peut-il être évalué ?
- Comment l'usage rationnel de l'eau peut-il être amélioré pendant le transport et le stockage ?
- Comment l'usage rationnel de l'eau peut-il être amélioré sur les champs ?
- Expliquez pourquoi il est important de procéder à des inspections générales et à l'entretien de l'infrastructure où l'eau est utilisée.



5.7. EXEMPLE

5.7.1. Susan et Kioko

Après l'échec de sa culture de tomates, Kioko s'est demandé s'il utilisait l'eau à laquelle il pouvait accéder de manière optimale. Le service de vulgarisation lui a appris qu'au Kenya, les cultures ont besoin de 6 mm d'eau par jour en moyenne pour bien se développer. Avec une saison de croissance de 145 jours, cela signifie que les cultures ont besoin de 870 mm d'eau. Pour son demi-hectare, cela signifie 4350 m³ d'eau. Il s'agit d'un total, et qui ne tient pas compte de la pluie. Il pense que, comme sa culture a lieu pendant la saison des pluies, la pluie peut couvrir la moitié des besoins en eau de ses tomates. Cela signifie que la culture a besoin de 2175 m³ d'eau d'irrigation. Il a calculé que l'année précédente, il n'avait répandu que 1440 m³ à partir du printemps, et que c'est probablement la raison pour laquelle sa culture a échoué.

Il a aussi inspecté sa terre et il s'est rendu compte que, lorsqu'il l'irrigue, il laisse l'eau s'échapper à l'autre extrémité du champ. Cela signifie que la culture reçoit encore moins que l'eau qu'il pompe et déverse. Il constate qu'il doit améliorer la manière dont il utilise l'eau.

Premièrement, il décide d'être plus attentif et de ne plus laisser l'eau s'écouler en dehors de son champ. Il sait aussi qu'il ferait mieux de creuser des sillons, mais cela demande beaucoup de travail supplémentaire. Mais il sait que si pendant la prochaine saison il a la même quantité de pluie, mais ne modifie pas ses pratiques actuelles, sa culture pourrait de nouveau échouer. Il envisage de ne cultiver des tomates que sur une partie plus petite de son champ, ce qui réduirait la quantité de travail nécessaire pour creuser les sillons. Cela lui permettrait de mieux utiliser l'eau et d'obtenir un meilleur rendement par unité de surface. Il disposerait ainsi du reste du champ pour cultiver une autre plante dépendant peut-être moins de l'apport d'eau.



Susan réfléchit à la fiabilité de son accès à l'eau et comprend qu'elle devrait optimiser l'utilisation de l'eau dont elle dispose. Elle a cherché d'autres sources d'approvisionnement, mais celles-ci sont également limitées. Il est temps de se pencher sur l'utilisation de l'eau. Elle décide de découvrir quel type de modèle de culture et d'utilisation de la technologie est économique et efficace du point de vue de l'utilisation de l'eau et de la productivité. Elle ne peut le déterminer elle-même et décide de trouver une personne susceptible de l'y aider. Cette personne doit être un expert en agriculture et en eau capable de calculer les besoins hydriques des cultures, mais aussi l'usage rationnel de sa pratique actuelle sur son exploitation. Elle voudrait plus particulièrement savoir quelles sont les mesures simples qu'elle peut prendre pour améliorer sa productivité et son usage de l'eau. Elle se rend compte qu'elle doit se faire une meilleure idée de toute l'eau qui entre dans son exploitation et de toute l'eau qu'elle utilise. Elle disposerait ainsi de toutes les informations nécessaires pour choisir parmi les différentes possibilités d'optimiser sa façon d'utiliser l'eau. C'est ce que le formateur a appelé un bilan hydrique. Elle connaît des agriculteurs qui ont abandonné l'irrigation par rigoles pour l'irrigation par aspersion pour les haricots verts. Elle a l'impression que cela pourrait valoir la peine d'installer une serre pour ses haricots verts, car elle a entendu que cela permettait d'accroître le rendement et de réduire la quantité d'eau et des autres intrants qu'elle doit utiliser. Mais elle a d'abord besoin d'une compréhension claire du bilan hydrique et de la productivité.

Outre les informations que l'expert lui fournira, Susan voudrait savoir :

- ce qu'elle peut faire pour augmenter la rétention d'eau par le sol,
- comment elle peut immédiatement et simplement commencer à analyser la teneur en eau du sol afin de l'aider à déterminer quand elle doit irriguer,
- quelle est la quantité minimale d'eau qu'elle doit ajouter à l'irrigation pour s'assurer que les sels seront éliminés.

Chapitre 6

La qualité de l'eau

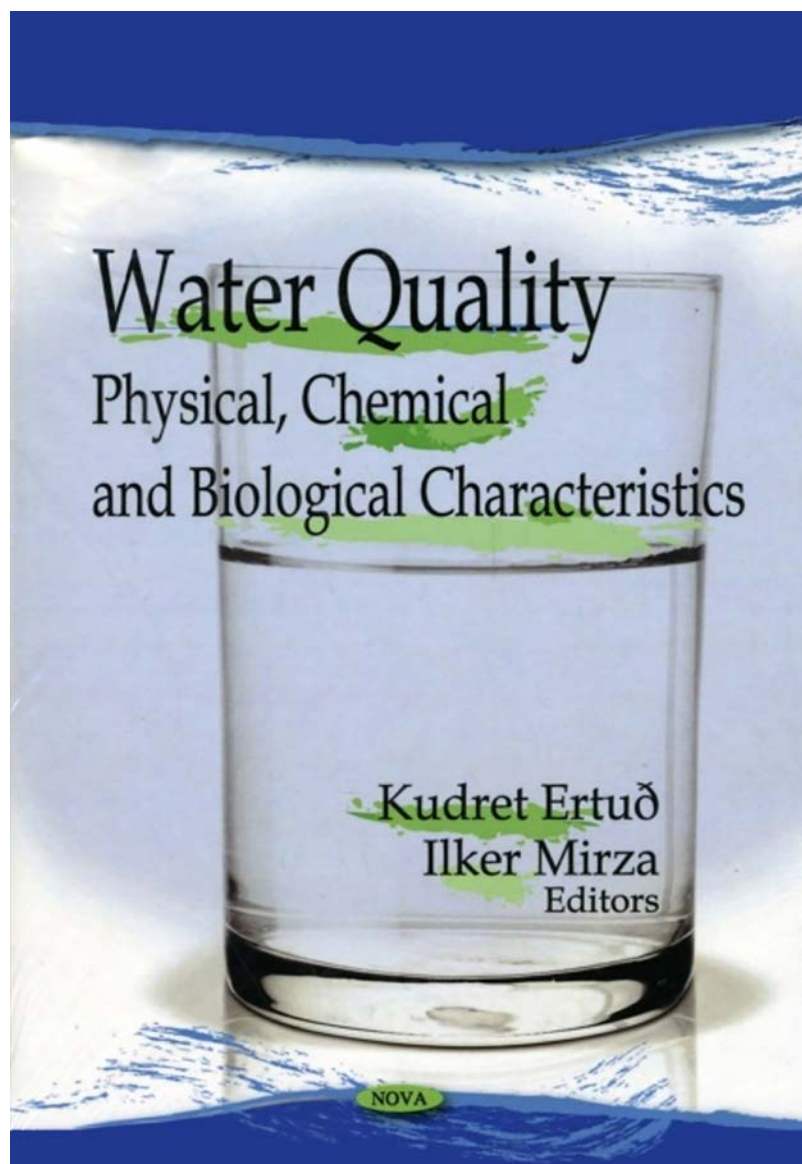
6.1. Les caractéristiques qui définissent la qualité de l'eau	240
6.2. La qualité de l'eau et la source de l'eau	242
6.3. La qualité de l'eau et l'utilisation de l'eau: les implications pour l'horticulture	243
6.4. Mesurer la qualité de l'eau	245
6.5. Le traitement de l'eau	250
6.6. La qualité de l'eau et son importance pour les entreprises horticoles	251
6.7. Exemple	252

6.1. LES CARACTÉRISTIQUES QUI DÉFINISSENT LA QUALITÉ DE L'EAU

S'il est essentiel de faire en sorte que des quantités suffisantes d'eau soient disponibles, il est également important de veiller à ce que l'eau soit de la qualité adéquate pour son utilisation prévue. La mauvaise qualité de l'eau peut avoir une incidence grave sur la productivité à court et à long terme et, en particulier dans l'horticulture, c'est un facteur crucial sur le plan de la sécurité alimentaire.

L'eau peut être polluée par des contaminants physiques, chimiques ou biologiques. Le risque que ces contaminants soient présents varie en fonction de la source de l'eau. Par exemple, comme on l'a vu au chapitre 4, les eaux usées domestiques recyclées peuvent être une source d'eau d'irrigation, mais elles peuvent contenir un taux de sels élevé et présenter des risques potentiellement élevés sur le plan de la sécurité alimentaire en raison des contaminants microbiens. Il est donc essentiel de comprendre et de contrôler régulièrement la qualité de l'eau, et de veiller à ce que l'utilisation de l'eau et l'application de son traitement n'entraînent aucun problème.

La qualité de l'eau est déterminée par ses caractéristiques physiques, chimiques et biologiques.



6.1.1. Les caractéristiques physiques

Les caractéristiques physiques de l'eau sont: les solides en suspension, la température, la couleur, le goût et l'odeur. Ces caractéristiques varient en fonction de la source de l'eau et elles sont influencées par les éléments naturels (par exemple, le type de roche ou de sol) ainsi que par les sources potentielles de contaminants physiques.

Ces caractéristiques peuvent varier. Par exemple, la présence de solides en suspension dans les lacs ou les rivières augmente généralement après les chutes de pluie, en particulier lorsque les sols sont exposés et sujets à l'érosion.

6.1.2. Les caractéristiques chimiques

Les caractéristiques chimiques de l'eau sont les substances présentes sous forme dissoute ou adsorbées dans les particules du sol. Il peut s'agir de sels et de métaux lourds, ainsi que de polluants.

Les caractéristiques chimiques sont déterminées par toute une série de facteurs :

- **La contamination chimique naturelle.** Le sol et la roche avec lesquels l'eau a été en contact ont une influence majeure, en particulier dans le cas de l'eau de source et de puits de forage.
- **Les déchets humains et animaux.** Les caractéristiques chimiques de l'eau de rivière dépendent de facteurs naturels, mais aussi des déchets humains et animaux provenant de l'utilisation domestique, de l'agriculture et de l'élevage. Les lacs, les rivières et l'eau grise seront aussi affectés par les activités agricoles. L'eau de ruissellement peut contenir des nitrates provenant des engrais et du fumier, des métaux lourds provenant de l'engrais animal (Zn, Cu, Ni), ainsi que des résidus de pesticides provenant du lavage des réservoirs et des épandages sur les terres.
- **L'activité industrielle.** En présence d'activités minières ou si la rivière reçoit des eaux usées urbaines ou industrielles, elle peut contenir des polluants.

6.1.3. Les caractéristiques biologiques

L'eau contient et rencontre une grande variété d'organismes vivants. Certains sont visibles, tels que les plantes, les algues ou les poissons, tandis que d'autres sont invisibles à l'œil nu, notamment les bactéries. Si certains organismes sont bénéfiques ou inoffensifs, d'autres peuvent avoir une incidence négative sur la qualité de l'eau, en particulier les bactéries pathogènes.

Les agents pathogènes sont généralement présents dans les effluents domestiques (en particulier ceux qui contiennent des eaux usées non traitées), les effluents animaux, et les autres eaux usées. Il existe un risque élevé que, lorsque ces eaux usées sont rejetées dans les lacs et les rivières, la qualité de l'eau soit affectée par la contamination microbienne.

6.2. LA QUALITÉ DE L'EAU ET LA SOURCE DE L'EAU

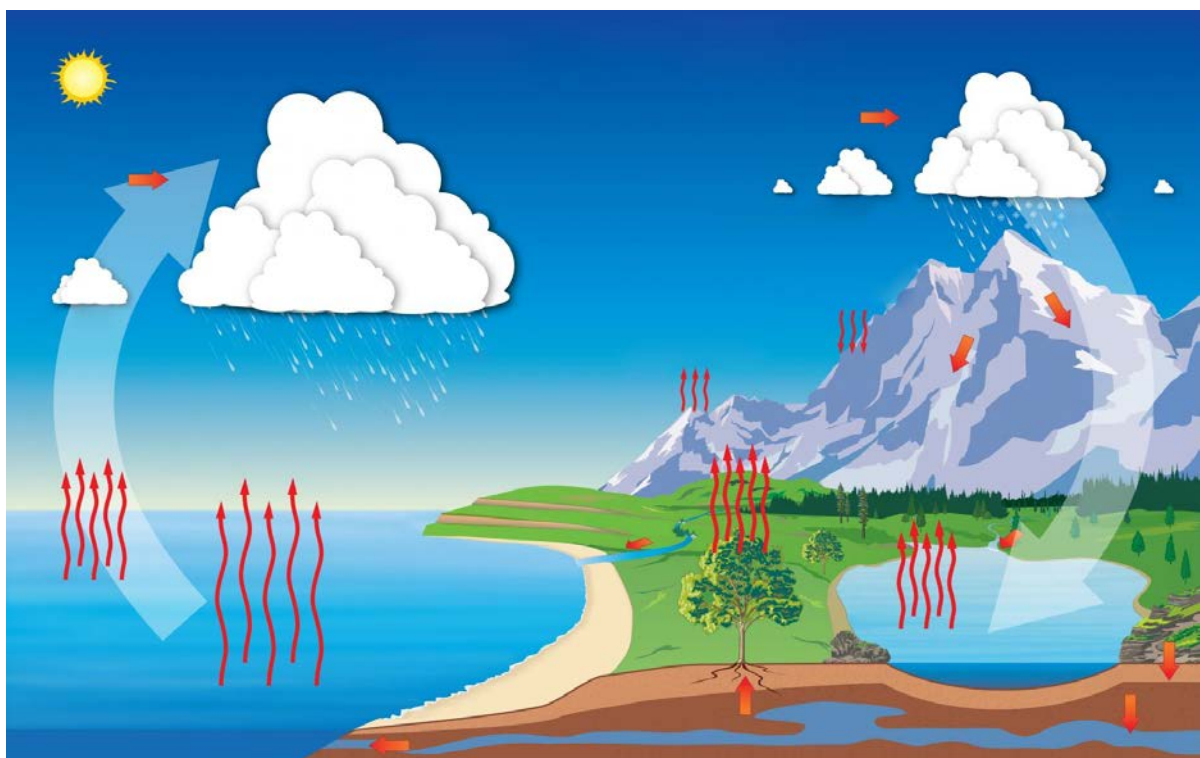
6.2.1. Les incidences

La source de l'eau influencera la probabilité de contamination physique, chimique ou biologique. C'est un facteur important à prendre en considération au moment de déterminer quelles sources d'eau peuvent être affectées aux différents usages dans l'exploitation agricole, et si les sources d'eau de l'exploitation doivent être analysées, à quel intervalle, et pour quelles caractéristiques.

L'eau bleue des sources et des puits de forage peut contenir des taux élevés de sels et de métaux lourds, mais présente probablement le moins de risque de contamination microbienne.

L'eau bleue des lacs et des rivières est susceptible de contenir du sédiment, en particulier après les chutes de pluie. Outre des sels et des métaux lourds, elle peut aussi contenir des polluants chimiques, en particulier si le point de captage se trouve en aval d'une exploitation minière, d'un site industriel ou d'une habitation de grande taille. Des polluants agricoles comme les nutriments et les pesticides peuvent aussi être présents. Enfin, elle peut contenir des contaminants microbiens et cela dépendra des facteurs suivants: les utilisations de l'eau en amont, le rejet d'effluents humains ou animaux, et l'accès direct ou non d'animaux (domestiques ou sauvages) à l'eau.

La qualité de l'eau grise dépendra aussi de la source et de l'utilisation de l'eau. L'eau de lavage recyclée peut contenir des taux élevés de désinfectant, par exemple, ainsi que des bactéries. L'eau d'irrigation recyclée est susceptible de contenir des pesticides et des nutriments. La manière dont l'eau grise est stockée peut influencer sa qualité, en particulier si des débris ou des animaux peuvent s'y infiltrer et s'y accumuler.



6.3. LA QUALITÉ DE L'EAU ET L'UTILISATION DE L'EAU : LES IMPLICATIONS POUR L'HORTICULTURE

La qualité de l'eau utilisée pendant la croissance des cultures et après la récolte est cruciale et influencera directement la production ainsi que la qualité et la sécurité des produits finaux. Concernant le rendement, l'utilisation prolongée d'eau de mauvaise qualité pour l'irrigation peut avoir un effet néfaste sur les sols et sur la productivité à long terme. En outre, comme de nombreux fruits et légumes sont consommés crus, la contamination par des bactéries pathogènes est un risque important et peut être extrêmement dangereuse; c'est l'une des principales causes d'intoxication alimentaire grave et mortelle dans le monde.

Les éléments suivants sont des facteurs importants à prendre en considération pour ce qui regarde la qualité de l'eau utilisée pour la production et les opérations qui suivent la récolte.

6.3.1. L'irrigation

La mauvaise qualité de l'eau d'irrigation peut avoir un effet négatif sur l'infrastructure et l'équipement, sur la croissance des cultures à court terme, sur la santé et la productivité du sol à long terme, et sur la sécurité des consommateurs des produits finaux. Quelques-uns des principaux facteurs à prendre en considération sont décrits ci-après et une distinction est faite entre contaminants physiques, chimiques et biologiques.

6.3.1.1. *Les contaminants physiques*

- Des particules en suspension ou des impuretés peuvent venir obstruer les conduites et les canaux. L'eau de rivière ou provenant d'autres sources contenant du sédiment ou des particules en suspension peut avoir besoin d'être filtrée, en particulier en cas d'irrigation goutte à goutte.
- L'excès de sédiment peut obstruer le sol et empêcher le drainage.

6.3.1.2. *Les contaminants chimiques*

- La présence de certains agents pathogènes des végétaux et de contaminants tels que les sels peut nuire à la santé des plantes et entraver leur croissance. L'utilisation prolongée d'eau d'irrigation contenant des taux élevés de sels entraînera une salinisation, avec une incidence grave sur la productivité du sol à long terme.
- Un changement soudain dans la couleur ou l'odeur de l'eau peut indiquer une pollution physique ou chimique. Si l'eau change de couleur, si elle est très turbide (trouble) ou si elle a une odeur étrange ou différente, elle ne doit pas être utilisée pour l'irrigation sans avoir d'abord été analysée afin de déceler la présence potentielle de contaminants.
- Des taux élevés de métaux lourds peuvent avoir un effet néfaste sur le sol et sur la production à long terme. Ils peuvent aussi affecter les consommateurs, car ces substances sont, par nature, persistantes et peuvent être absorbées

par les cultures. L'arsenic est particulièrement digne d'intérêt, car il est naturellement présent dans les eaux souterraines en de nombreux endroits.

6.3.1.3. *Les contaminants biologiques*

- La contamination microbienne de l'eau d'irrigation est une préoccupation cruciale, en particulier lorsqu'il existe un risque élevé de contamination directe, comme pour les cultures dont la partie comestible est en contact avec le sol (par exemple, la laitue) ou lorsqu'un système d'irrigation par aspersion est utilisé. C'est particulièrement important lorsque les fruits et les légumes sont consommés crus.
- L'eau susceptible de contenir des eaux usées humaines non traitées ou des déchets animaux ne doit jamais être utilisée pour l'irrigation.

6.3.2. *Les activités post-récolte*

La qualité de l'eau utilisée dans le cadre des activités post-récolte doit être gérée avec soin afin d'empêcher la contamination des produits. Le plus important est de garantir une qualité toujours élevée (potable) de l'eau utilisée pour laver les fruits et les légumes avant leur conditionnement ou leur expédition.

6.3.2.1. *Les contaminants physiques*

- La contamination physique (par exemple, par des matières en suspension, des impuretés ou des débris) de l'eau utilisée après la récolte peut nuire tant aux produits qu'aux installations utilisées pour la manutention et le traitement. La qualité de l'eau utilisée pour laver les produits, l'équipement et les installations de manutention ainsi que pour l'hygiène personnelle (personnel de la station de conditionnement) doit être contrôlée afin d'éviter les contaminations croisées.

6.3.2.2. *Les contaminants chimiques*

- Parmi les contaminants chimiques qui devraient être contrôlés et surveillés dans l'eau utilisée après la récolte figurent les pesticides, les fongicides, les lubrifiants pour les machines, les métaux lourds, les toxines industrielles, et les composés utilisés pour nettoyer ou désinfecter les installations.

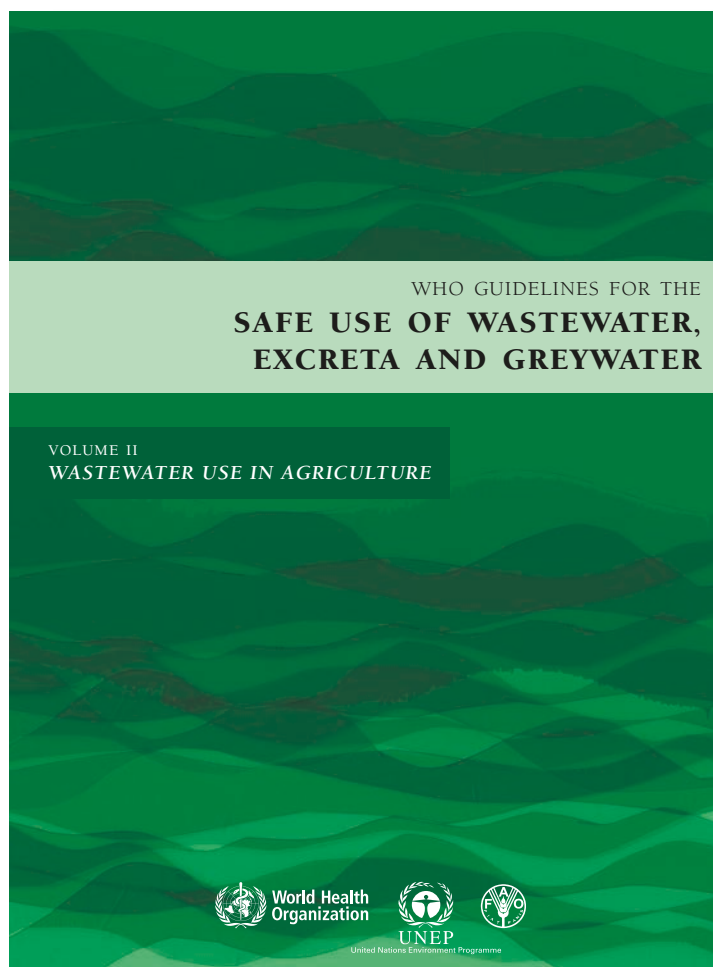
6.3.2.3. *Les contaminants biologiques*

- La contamination microbienne est la préoccupation majeure lors de la manutention des fruits et des légumes après la récolte. Les bactéries pathogènes liées au sol, les bactéries fécales, les parasites pathogènes et les virus doivent être surveillés et évités au cours du traitement suivant la récolte et du stockage des produits frais.

6.4. MESURER LA QUALITÉ DE L'EAU

Chaque exploitation agricole devrait déterminer les sources de contamination potentielles de l'eau qu'elle utilise, et évaluer l'importance du risque afin de décider :

- a. quelles sources d'eau devraient être testées,
- b. quelles analyses devraient être effectuées (en fonction de la source de l'eau et de sa future utilisation),
- c. à quelle fréquence les analyses devraient être effectuées.



L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a publié des directives concernant la qualité acceptable de l'eau pour les différentes utilisations. Les directives de l'OMS²⁷⁴ précisent, par exemple, la qualité de l'eau et les concentrations maximales admissibles de paramètres essentiels dans les eaux usées, afin qu'elles puissent être utilisées sans danger dans les exploitations agricoles (par exemple pour l'irrigation). L'OMS²⁷⁵ donne des directives plus générales et des normes sanitaires concernant l'eau utilisée pour la consommation, l'irrigation ou les loisirs.

274 OMS, *Utilisation sans risque des eaux usées, des excréta et des eaux ménagères*, vol. 2, *Utilisation des eaux usées en agriculture*, Rome, OMS, 2006, apps.who.int/iris/bitstream/10665/78280/3/97892425446835_fre.pdf?ua=1.

275 OMS, *Water quality: Guidelines, standards and health*, 2001, www.who.int/water_sanitation_health/publications/who/wa/en.

Pour analyser la qualité de l'eau, des échantillons doivent être prélevés dans l'exploitation par des méthodes de prélèvement reconnues et recommandées, transportés puis emmenés dans un laboratoire afin d'y être analysés. Il est important de déterminer si des installations d'analyse en laboratoire adaptées existent au niveau local pour effectuer les différentes analyses requises, et de comparer les prix entre les laboratoires. Certains systèmes de certification précisent que les analyses ne peuvent être effectuées que par un laboratoire accrédité.

Des directives concernant la taille des échantillons et la méthode à employer peuvent généralement être obtenues auprès du laboratoire qui effectue les analyses; elles varieront selon le type d'analyse effectuée. Par contre, en ce qui concerne la fréquence, si des directives générales peuvent être données concernant la fréquence à laquelle la qualité de l'eau doit être analysée, il est très important de déterminer les situations à haut risque dans lesquelles des analyses devraient être effectuées plus régulièrement. Par exemple, la sécurité bactérienne des approvisionnements d'eau privés devrait généralement être testée au moins une fois par an, mais la fréquence devrait être augmentée :

- lorsqu'un nouveau puits de forage est construit,
- lorsqu'un puits de forage existant est remis en service,
- chaque fois qu'un composant du réseau d'eau est ouvert pour procéder à une réparation,
- chaque fois que la source d'eau est inondée par des eaux de crue ou le ruissellement de surface,
- chaque fois qu'une contamination bactérienne est suspectée (par exemple en cas de maladie ou d'apparition de mauvaises odeurs),
- lorsqu'une analyse en laboratoire montre des taux élevés de nitrates, ce qui indique une possible contamination par des déchets humains ou animaux.

6.4.1. L'eau utilisée après la récolte

Afin de se conformer aux normes privées (systèmes de certification) du type du GLOBALG.A.P., la glace ou l'eau utilisée en contact direct avec les produits, comme l'eau de refroidissement ou de lavage, doit respecter la norme microbienne applicable à l'eau potable et être manipulée dans des conditions d'hygiène et selon des procédures permettant d'éviter la contamination.

Selon les directives de GLOBALG.A.P., l'eau recyclée utilisée pour le lavage devrait être filtrée (à l'aide d'un système permettant d'éliminer efficacement les solides et les particules en suspension) et désinfectée. Les niveaux de désinfectant et le pH devraient être contrôlés régulièrement.

- **Quoi**

L'OMS (2011)²⁷⁶ donne des directives concernant la qualité de l'eau potable. Le taux maximal de contaminants (MCL) de l'EPA pour les bactéries coliformes dans l'eau potable est de zéro (ou pas de) coliforme total pour 100 ml d'eau.

- **Quand**

Les sources d'eau utilisées pour laver les produits doivent être analysées au moins tous les 12 mois. Les paramètres essentiels doivent respecter les seuils de l'OMS ou les niveaux considérés comme sans danger par l'industrie alimentaire (s'ils sont plus exigeants).

- **Comment**

Des kits d'analyse de la qualité de l'eau, simples, mais pas très précis, capables de détecter la présence d'*E. Coli*, sont disponibles dans le commerce à un prix raisonnable (10-15 USD). Cependant, si ceux-ci peuvent donner une idée générale de la qualité de l'eau (figure 1), il est tout de même recommandé de confirmer les résultats par des analyses en laboratoire.



Figure 1 - Exemple de test de qualité de l'eau potable simple

Source : www.firstalert.com

276 OMS, *Guidelines for drinking water quality*, 4^e éd., www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en.

6.4.2. L'eau d'irrigation

Il est essentiel de connaître les niveaux de substances clés présentes dans une source d'eau (en particulier les sels), afin d'évaluer si l'eau peut être utilisée pour l'irrigation. Une liste des paramètres essentiels et des directives en matière de mesure est donnée plus bas.

6.4.2.1. Les sels

- **Quoi**

Les paramètres modérés devraient être compris entre 0,7-3 dS/m pour la CE et entre 450 et 2000 mg/l pour les SDT.

- **Quand**

Dans des conditions normales, les niveaux devraient être vérifiés au moins deux fois par an aux points de captage de l'eau bleue. La fréquence devrait cependant être adaptée à la source d'eau. Les sels devraient aussi être contrôlés lorsque de l'eau grise (des eaux usées ou recyclées) est utilisée pour l'irrigation. L'évaluation des taux de sels fait partie de l'entretien de routine des systèmes d'irrigation goutte à goutte ou par aspersion. Si les puits de forage ou les sources se trouvent à proximité de zones côtières, les sels doivent être surveillés afin de détecter toute intrusion saline.

- **Comment**

Par la méthode de la conductivité électrique (CE) ou des solides dissous totaux (SDT). Cela peut être réalisé par un laboratoire, à l'aide de kits portatifs, ou par évaporation.

6.4.2.2. Les contaminants microbiens/agents pathogènes

- **Quoi**

Divers agents pathogènes peuvent être présents dans l'eau (par exemple des coliformes fécaux, des helminthes, des virus), mais les analyses se concentrent généralement sur les bactéries coliformes et les *E. coli*. Les bactéries coliformes ne causent en elles-mêmes normalement pas de maladies, mais elles sont de bons indicateurs et elles montrent la présence probable d'autres organismes plus nuisibles; en surveillant les bactéries coliformes, on peut estimer les niveaux de nombreuses bactéries pathogènes. GLOBALG.A.P. recommande un taux maximal de 1000 cfu/100 ml d'*E. coli*.

- **Quand**

Selon GLOBALG.A.P., la qualité de l'eau d'irrigation devrait être contrôlée et testée à intervalles réguliers. La fréquence des analyses devrait être adaptée en fonction du risque de contamination de la source d'eau. Les pâturages, les élevages, les fosses septiques et les eaux usées sont des sources courantes de contamination par les agents pathogènes. Lorsque le risque de contamination est plus élevé, la fréquence des prélèvements devrait être augmentée en conséquence. Des prélèvements saisonniers devraient aussi être opérés afin d'obtenir des données représentatives, et pour tenir compte de la variation dans la qualité de l'eau en fonction des conditions climatiques. Des mesures supplémentaires devraient être prises après les orages.

- **Comment**

L'analyse des contaminants microbiens est complexe et doit être réalisée par un laboratoire compétent.

6.4.2.3. *Le pH (acidité)*

- **Quoi**

Le pH devrait normalement être compris entre 6,5 et 8. Les mesures en dehors de cette fourchette peuvent indiquer une qualité anormale de l'eau. Le pH de l'eau verte est principalement influencé par la composition de la roche environnante, mais il peut être altéré par toute une série de facteurs tels que les écoulements des activités industrielles et minières, les eaux usées, et les pluies acides.

- **Quand**

Les mesures doivent être prises tous les mois aux points de captage et toutes les semaines pendant les saisons plus chaudes (le pH diminue à mesure que la température de l'eau augmente). Il est important de mesurer le pH lorsque des systèmes d'irrigation goutte à goutte sont en place (voir la partie 1, chapitre 6).

- **Comment**

Des pH-mètres de poche peuvent être obtenus pour 50 \$ environ et donnent des résultats immédiats avec un degré de précision élevé.

6.4.2.4. *Les métaux lourds*

- **Quoi**

L'eau contient normalement un certain taux de métaux lourds, influencé par la roche environnante. Cependant, occasionnellement, les taux peuvent augmenter à un point tel qu'ils constituent une menace pour la qualité de l'eau. Il est particulièrement important de surveiller le plomb et l'arsenic, qui comptent parmi les métaux lourds les plus nocifs, et aussi les plus couramment présents dans l'eau. La concentration maximale recommandée d'arsenic dans l'eau d'irrigation est de 0,10 mg/l, et de 0,5 mg/l pour le plomb.

- **Quand**

Comme pour les agents pathogènes, la fréquence des prélèvements d'échantillons dépend de la source et de l'utilisation de l'eau. Par exemple, dans l'eau d'une source ou d'un puits de forage, les prélèvements peuvent être moins fréquents, car la variation dans le temps a tendance à être faible. Les métaux lourds devraient être surveillés dans toutes les eaux usées urbaines et industrielles, mais plus fréquemment si des activités minières ont lieu dans la zone ou en amont.

- **Comment**

La complexité de l'analyse des métaux lourds impose d'envoyer les échantillons à un laboratoire.

6.4.2.5. Les nutriments

- **Quoi**

Les nitrates sont présents dans les eaux naturelles, mais leur concentration est considérablement plus élevée dans le ruissellement en provenance des champs fertilisés, dans les zones d'élevage, et dans les eaux usées et les rejets industriels. Si des eaux usées ou des eaux de drainage sont utilisées pour l'irrigation, il est important d'analyser leur teneur en nutriments, afin de gérer efficacement ceux-ci et d'éviter les surcharges. Au minimum, les paramètres suivants devraient être analysés : l'ammoniac, les nitrites, les nitrates, l'azote total et le phosphore total. La teneur en nutriments de l'eau peut être donnée simplement en azote total (AT : la somme des teneurs en ammoniac, en nitrites et en nitrates); 5-30 mg/l est considéré comme une valeur modérée d'AT.

- **Quand**

L'ammoniac, les nitrites et les nitrates devraient être testés tous les mois pendant la saison d'irrigation : l'azote total et le phosphore total devraient être testés deux fois par an.

- **Comment**

Les nutriments peuvent être mesurés sur les terres à l'aide de kits portatifs ou de bandelettes. Toutefois, pour un résultat plus précis, il est recommandé d'envoyer les échantillons à un laboratoire.

6.5. LE TRAITEMENT DE L'EAU

Comme on l'a évoqué dans les grandes lignes dans la partie 1, chapitres 4 et 7 de ce manuel, il existe diverses mesures de traitement de l'eau de nature à répondre aux différents types de contamination et à améliorer la qualité de l'eau.

6.5.1. Les contaminants physiques

Des filtres peuvent être utilisés pour enlever les solides de grande taille, et les traitements par sédimentation primaire éliminent la matière inorganique et les solides en suspension.

6.5.2. Les contaminants chimiques

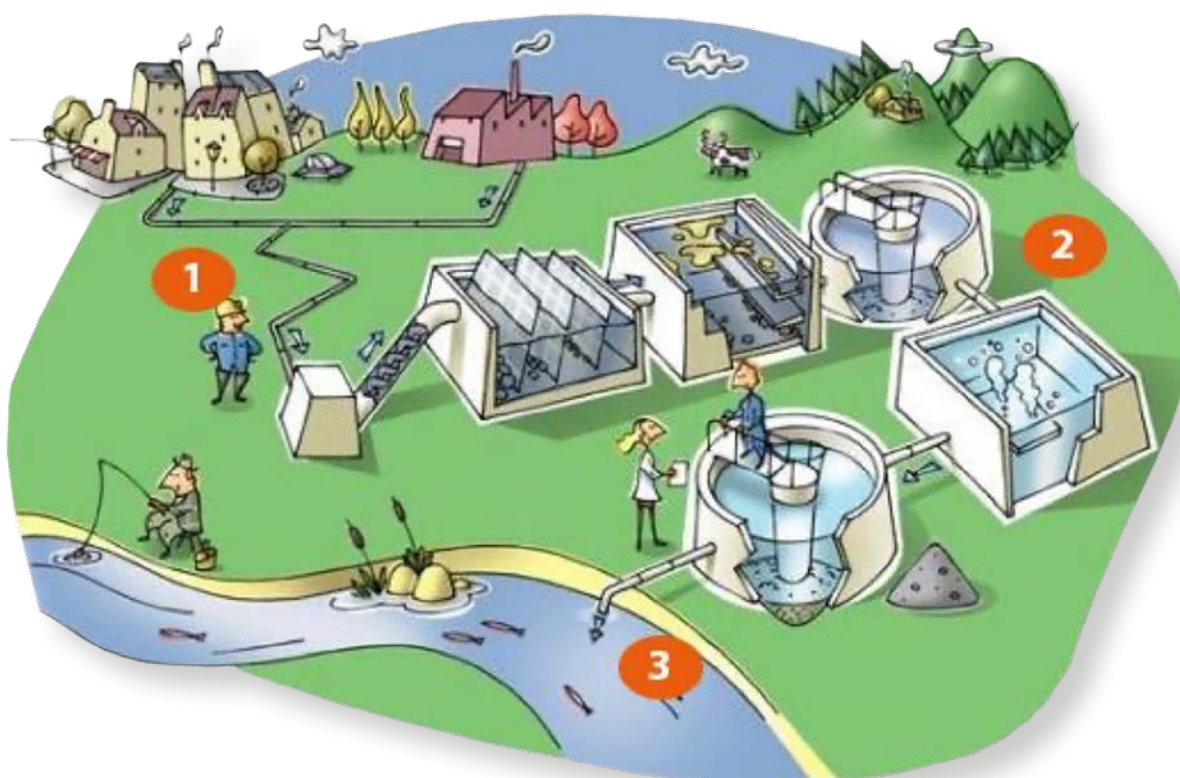
Certains traitements destinés à éliminer les substances chimiques de l'eau nécessitent l'utilisation de cuves d'eau et de précipitants chimiques (connus sous le nom de coagulants ou de floculants). Ceux-ci augmentent la taille des particules par agrégation, ce qui permet ensuite de retirer les contaminants par des méthodes physiques comme la clarification et la filtration.

La phytoremédiation est aussi utilisée pour éliminer les contaminants chimiques, mais sans qu'il soit nécessaire de recourir à des installations ou à des substances chimiques coûteuses ou complexes. Elle implique l'utilisation de plantes terrestres

ou aquatiques capables d'éliminer les polluants. Par exemple, les hortensias absorbent l'aluminium, et les hysopes d'eau absorbent d'autres métaux lourds comme le plomb ou le cadmium.

6.5.3. Les contaminants biologiques

Comme traitements primaires, la sédimentation peut être utilisée pour retirer les solides organiques, et l'écumage pour retirer les matières flottantes. Ces traitements simples permettent d'éliminer un pourcentage élevé de la demande biochimique en oxygène (DBO5), des matières en suspension, des huiles et des graisses.



6.6. LA QUALITÉ DE L'EAU ET SON IMPORTANCE POUR LES ENTREPRISES HORTICOLES

6.6.1. Les points cruciaux

La qualité de l'eau utilisée tant pendant la production qu'après la récolte influencera directement la qualité et la sécurité des produits horticoles, ainsi que la qualité et la productivité du sol. Il est crucial de gérer efficacement la qualité de l'eau pour :

- protéger et maintenir le rendement,
- éviter le risque de dommages coûteux à l'infrastructure,
- garantir que les produits sont sans danger pour le consommateur,
- répondre aux exigences des acheteurs/clients (les marchés d'exportation et les marchés locaux haut de gamme exigent la preuve que la qualité de l'eau est contrôlée et gérée de façon responsable).

Évaluer la qualité de l'eau dans une exploitation agricole

- Avez-vous des inquiétudes au sujet de la qualité de l'eau utilisée dans l'exploitation ? Pensez-vous qu'il existe une différence entre la qualité de l'eau nécessaire pour l'irrigation et celle de l'eau utilisée après la récolte ?
- Pouvez-vous donner une évaluation qualitative de l'eau utilisée pour a) l'irrigation et b) les activités d'après-récolte ? Par exemple, y a-t-il des problèmes de sel ? Un excès de sédiment ? L'eau a-t-elle une odeur, une couleur ?
- Des analyses des sources d'eau de l'exploitation ont-elles été effectuées ? Dans l'affirmative, qu'ont-elles montré ? Celles-ci ont-elles examiné les paramètres physiques, chimiques et biologiques de la qualité ?
- Existe-t-il des activités en amont qui sont susceptibles d'affecter les sources d'eau de l'exploitation ? Des activités minières ? Des industries ? Des villages ou des villes qui rejettent leurs eaux usées dans la rivière ?
- Avez-vous pris des mesures pour améliorer la qualité de l'eau utilisée pour l'irrigation et pour les activités postérieures à la récolte ?
- Si des eaux usées ou recyclées sont utilisées, avez-vous envisagé qu'elles pouvaient avoir une teneur élevée en nutriments ? Si les niveaux sont élevés, prenez-vous des mesures pour réduire l'épandage de nutriments sur les terres ?
- Quel est l'endroit le plus proche où les échantillons d'eau peuvent être analysés ? S'agit-il d'un laboratoire accrédité ? Connaissez-vous le prix du prélèvement, du transport et de l'analyse de l'eau ?
- Avez-vous envisagé d'acheter un kit portatif pour mesurer les sels et le pH ? Existe-t-il une possibilité que plusieurs agriculteurs se regroupent afin d'acheter et de partager un tel équipement ?

i

6.7. EXEMPLE

6.7.1. Susan et Kioko

Hier, un des ouvriers de Susan lui a dit qu'aux confins de son exploitation, le sol devenait blanc. Susan sait ce que cela signifie : il y a trop de sels dans le sol et dans l'eau du sol. Lorsque l'eau s'évapore du sol, les sels se cristallisent à la surface. Elle sait que ce n'est pas une bonne chose et que cela pourrait entraîner une perte totale de la terre. Elle se demande quoi faire. L'eau du canal contient peut-être trop de sels, et le volume d'eau qu'elle utilise n'est peut-être pas suffisant pour éliminer les sels. Elle n'a jamais vérifié la teneur en sels de l'eau d'irrigation. De plus, dans cette partie de l'exploitation, il y a peu d'eau dans le canal d'irrigation et il est donc difficile de lessiver les sols. Lors de la prochaine réunion de l'association des utilisateurs d'eau d'irrigation, elle a l'intention d'aborder ce sujet. Elle veut :

- savoir si d'autres personnes ont le même problème,
- faire vérifier la teneur en sels de l'eau d'irrigation,
- prendre des dispositions afin d'obtenir un supplément d'eau à court terme pour lessiver les sels.

Kioko se trouve à la source qu'il utilise pour puiser de l'eau pour irriguer ses tomates. Il y a une nette odeur de vaches et il voit des empreintes de vaches à proximité de la source. Il sait que des pasteurs abreuvent parfois leur bétail à la source, souvent en grand nombre. Par la suite, l'eau qui coule de la source est trouble et il y a de la bouse partout. Il sait que l'eau n'est pour l'instant pas bonne à boire. Il se demande si elle peut servir à l'irrigation ; il y a peut-être de la bouse de vache dans l'eau, qui est un vecteur de maladies. Il décide de ne pas puiser d'eau et d'attendre jusqu'à ce que l'eau trouble se décante un peu et que l'eau claire de la source élimine les impuretés. Il se demande s'il serait possible que le bétail s'abreuve plus loin de la source. Peut-être pourrait-on installer une conduite avec un abreuvoir ? Mais pour l'instant, il ne peut qu'attendre que la source se nettoie d'elle-même avant de pouvoir utiliser l'eau pour arroser ses cultures.





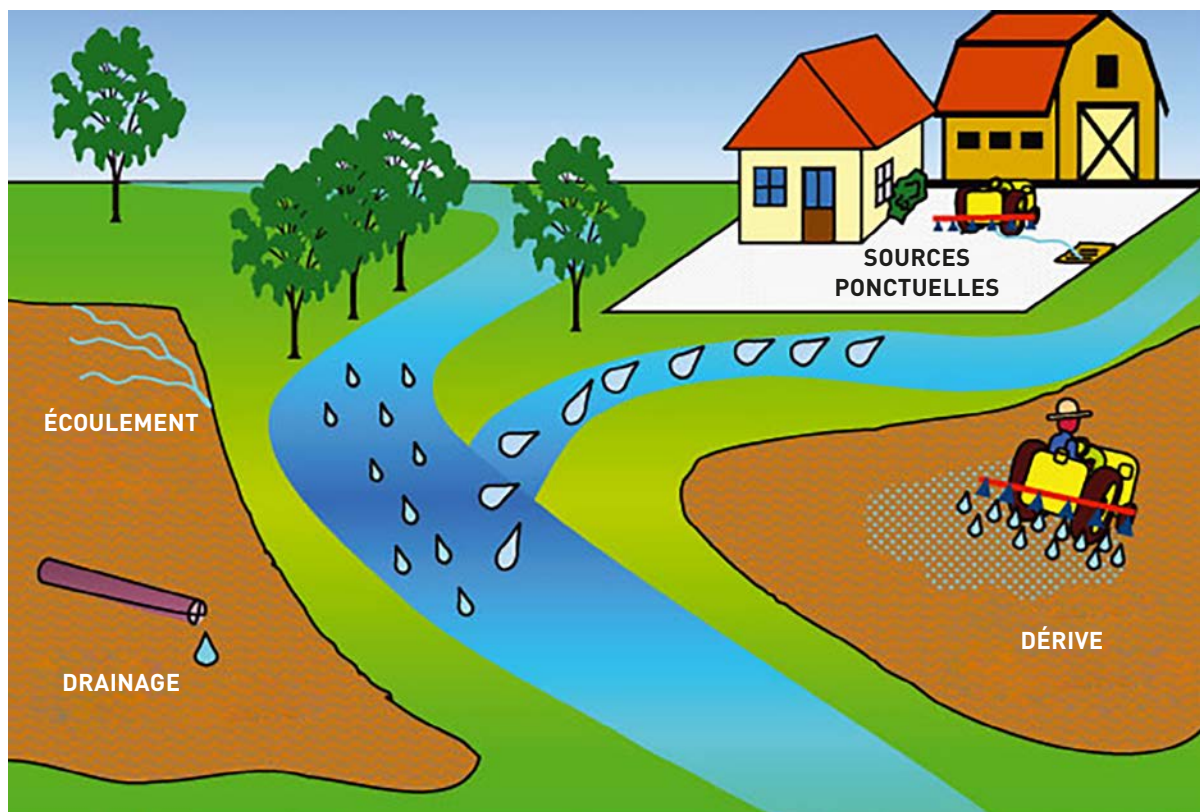
Chapitre 7

Horticulture et pollution

7.1. Sources de pollution de l'eau	256
7.2. Pourquoi il est important de gérer la pollution au niveau de l'exploitation	257
7.3. Comment prévenir et gérer la pollution	259

7.1. SOURCES DE POLLUTION DE L'EAU

La question de la qualité de l'eau a été abordée au chapitre précédent, qui expliquait pourquoi il est essentiel que le secteur horticole utilise une eau de grande qualité pour l'irrigation et les activités consécutives à la récolte. Dans ce chapitre, l'horticulture est au contraire considérée comme une source potentielle de pollution, un secteur qui peut être responsable du déversement de polluants dans l'environnement. Comme nous l'avons vu dans la première partie de ce manuel, l'agriculture est l'une des causes principales de la dégradation des eaux de surfaces et des eaux souterraines dans le monde. Conscients de cette réalité, les gouvernements et les marchés mettent de plus en plus l'accent sur la lutte contre la pollution pour protéger l'environnement et assurer la sécurité sanitaire des aliments. Les chaînes d'approvisionnement agricole et horticole sont de plus en plus souvent amenées à répondre par le recensement et le contrôle des sources de pollution et à fournir la preuve de leurs pratiques responsables.



Les principales sources de pollution sur une exploitation agricole sont :

1. **Les eaux de ruissellement et de drainage** : l'eau utilisée pour l'irrigation va évapotranspirer, ruisseler, ou sera drainée. Les eaux de drainage et de ruissellement agricoles, qui sont en contact avec le sol et les plantes, charrient des polluants que l'on peut trouver dans les champs : sels, nutriments, pesticides, pathogènes et sédiments. Cela est dû au fait que l'eau est un solvant universel, mais aussi qu'elle transporte des substances en suspension (par exemple des sédiments). Par ailleurs, certains polluants (par exemple, les nutriments chimiques ou biologiques, ou des pesticides) sont lessivés dans l'eau.

Les eaux de ruissellement et de drainage, ainsi que toutes les substances qu'elles charrient, finissent dans les eaux de surface et/ou souterraines. Si ces substances sont concentrées et atteignent des niveaux nuisibles, elles peuvent avoir une incidence négative sur l'environnement, les espèces sauvages et les populations qui vivent ou travaillent à proximité.

2. **Les eaux usées d'après-récolte** peuvent notamment contenir des niveaux élevés de désinfectants, de débris ou de nutriments.
3. **Les eaux ménagères**, si elles ne sont pas traitées, peuvent contenir des niveaux élevés de pathogènes, de débris, de nutriments, de sels, et de nombreuses autres substances domestiques comme les détergents, les savons, les huiles et les graisses.
4. **Les nappes de substances nocives** du type pesticides, engrais liquides ou carburants vont s'infiltrer dans le sol et atteindre les eaux souterraines, ou alors elles sont emportées par les eaux de ruissellement.
5. **La fumure organique** contient des nutriments comme le carbone, l'azote et le phosphore, et peut également contenir des polluants comme les produits pharmaceutiques, les produits de soins personnels, et des pathogènes de source humaine ou animale.
6. **Les installations d'évacuation des eaux usées** servent à traiter de grandes quantités de déchets, par exemple, dans des systèmes septiques. S'ils ne sont pas traités correctement, ces déchets peuvent devenir une source de pollution à l'azote et au phosphore.
7. **Les points d'évacuation** sont susceptibles de rejeter des polluants provenant des exploitations agricoles, des industries, des eaux ménagères, ou de toute autre activité. La nature des polluants dépend du type d'activité à l'origine des eaux déversées.

7.2. POURQUOI IL EST IMPORTANT DE GÉRER LA POLLUTION AU NIVEAU DE L'EXPLOITATION

Comme nous le verrons au chapitre 12 («Évaluation des risques liés à l'eau»), le contrôle du déversement des polluants est une composante essentielle des plans de gestion des eaux agricoles. Les pratiques irresponsables à l'origine des pollutions génèrent des risques à divers niveaux, à la fois pour l'exploitation et l'entreprise, mais aussi pour les communautés voisines.

- **Risques pour le bassin hydrographique**

Une exploitation agricole a besoin d'une eau de très bonne qualité pour exercer ses activités. Mais l'exploitation ne fonctionne pas en vase clos : elle fait partie d'un bassin hydrographique et le contrôle du déversement des polluants dans l'environnement est essentiel à la préservation du bassin hydrographique dans son ensemble. Ceci a des répercussions sur la qualité de l'eau à la disposition de l'exploitation et de la communauté au sens large. Par exemple, lorsque de grandes quantités de pathogènes sont déversées dans l'environnement, ceux-ci peuvent contaminer

les sources d'eau qui sont utilisées pour l'irrigation et les tâches ménagères, ce qui entraîne des problèmes de santé à la fois pour les consommateurs et les ménages situés dans le bassin hydrographique et en aval de celui-ci.

- **Risques liés à la réglementation**

Les gouvernements et les organismes publics se montrent de plus en plus stricts dans la lutte contre la pollution : de nouvelles politiques et réglementations sont adoptées à travers le monde (par exemple, NEMA au Kenya). La lutte contre la pollution est une composante essentielle des stratégies mises en place par les entreprises responsables, mais elle devient aussi obligatoire pour éviter une action en justice, des amendes et même, dans certains cas, la fermeture de l'entreprise.

- **Risques liés au marché**

Les marchés mondiaux et la clientèle internationale (et locale/régionale aisée) se préoccupent de plus en plus de la santé et la sécurité alimentaires, de la responsabilité sociale et de la gestion environnementale. Les normes fixées par le secteur privé pour garantir les bonnes pratiques agricoles (comme GLOBALG.A.P.) comprennent des critères d'évaluation de l'utilisation responsable et sans danger de l'eau sur les exploitations agricoles et de la gestion des déchets et de la pollution. Du point de vue commercial, la protection de l'environnement et la lutte contre la pollution deviennent essentielles dans certains secteurs pour obtenir et conserver un accès au marché.

- **Risques liés à la réputation**

La gestion de la pollution est une composante essentielle des bonnes pratiques, dans le cadre de la responsabilité sociale des entreprises. Les agriculteurs et les entreprises doivent être de plus en plus capables de prouver qu'ils prennent les mesures nécessaires pour prévenir la pollution et qu'ils agissent de manière responsable. Cet aspect est important pour les entreprises/exploitations agricoles individuelles ainsi que pour le secteur. Les informations concernant certains incidents ayant provoqué de la pollution, la dégradation de l'écosystème, ou concernant le non-respect des réglementations par un seul exploitant peuvent ternir la réputation du secteur tout entier.

- **Risques financiers**

Optimiser l'utilisation des produits chimiques au niveau des exploitations agricoles permettra non seulement d'éviter la pollution, mais aussi de réduire les coûts de production. Cela permettra également d'économiser de l'argent, parce que les amendes pour pollution et la gestion des incidents de pollution peuvent s'avérer très coûteuses et constituer un risque financier non négligeable pour les entreprises.

- **Risques pour la biodiversité/l'environnement**

La pollution peut endommager le milieu environnant, la biodiversité et les ressources naturelles. Elle peut également avoir une incidence négative sur la santé et le bien-être des communautés voisines et une incidence indirecte sur la productivité à long terme de l'exploitation agricole, à cause de la dégradation du sol et des ressources en eau.



7.3. COMMENT PRÉVENIR ET GÉRER LA POLLUTION

Afin de mettre en œuvre les mesures appropriées de lutte contre la pollution de l'eau, les sources potentielles de contamination doivent être recensées. Le plan de l'exploitation agricole (voir les sources d'eau dans les chapitres précédents) peut aussi être utilisé pour recenser et localiser les sources potentielles de pollution. Établir un lien entre les sources et le risque de pollution (par exemple, en fonction des activités, de la période de l'année, etc.) peut aider les agriculteurs à mieux cerner leur situation.

Une fois que les sources de pollution sont recensées, des mesures de prévention et de lutte peuvent être mises en place. Plusieurs mesures sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Mesures de contrôle de la pollution

Mesures de contrôle	Commentaire
Se renseigner sur les réglementations et règlements pertinents	Collecter des informations sur les réglementations en vigueur, qui régissent les concentrations maximales admissibles de polluants dans les rejets d'effluents. Il peut s'agir de réglementations locales, nationales ou mondiales, en fonction du polluant et du cadre réglementaire existant. Par exemple, la concentration maximale admissible de nitrate dans l'eau potable est de 10 mg/l, selon les lignes directrices de l'OMS.
Exigences du marché (GLOBALG.A.P.)	GLOBALG.A.P. encourage la réduction des déchets. Cela passe par le recensement des sources de déchets sur l'exploitation agricole et par l'élaboration d'un plan d'action contre la pollution. Des indications pratiques sont données sur les éléments à intégrer dans ce plan d'action. GLOBALG.A.P. demande aux exploitants de collecter et d'éliminer les eaux usées en ayant une incidence minimale sur l'environnement, la santé et la sécurité alimentaire.

Échantillonnage et analyse des eaux usées	<p>Des échantillons de l'eau utilisée sur l'exploitation agricole doivent être envoyés à un laboratoire chargé de détecter la présence éventuelle de polluants. Un plan d'échantillonnage doit être mis en place pour assurer le suivi régulier des niveaux de polluants. Il doit prévoir :</p> <ul style="list-style-type: none"> a) le recensement des sources d'eaux usées ; b) l'intervalle d'échantillonnage ; et c) les indicateurs de la qualité de l'eau à évaluer. <p>Ce plan fait partie intégrante de l'analyse des risques liés à l'eau présentée au chapitre 11.</p>
Recensement des déchets et des polluants	<p>Énumérer toutes les sources possibles de pollution sur l'exploitation agricole (par exemple, excès d'engrais, pesticides, produits de nettoyage, pathogènes dans les eaux d'irrigation, etc.)</p>
Plan de prévention de la pollution	<p>Préparer un plan de réduction de la pollution. Par exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> Épandre uniquement la quantité d'engrais et de pesticides dont les cultures ont réellement besoin. Utiliser des pratiques intégrées de gestion des organismes nuisibles (voir le manuel de formation Gestion intégrée des bioagresseurs du COLEACP). Utiliser des pratiques de planification et de gestion des nutriments, comme expliqué dans la partie 1, chapitre 4.4, de ce manuel.
Plan de gestion des incidents	<p>Un registre (voir chapitre 14) des incidents de pollution doit être tenu pour faciliter le recensement des zones à haut risque dans l'exploitation. Les exploitations agricoles doivent également établir un plan d'action qui décrit ce qui doit être fait dans l'immédiat et à plus long terme en cas d'incident de pollution, comme le déversement d'un produit dangereux.</p> <p>Dans les zones reconnues comme étant à haut risque, les exploitants peuvent prendre leurs précautions pour réduire l'incidence d'un éventuel incident de pollution au minimum. Par exemple, un cordon de terre ou de débris construit autour d'un bassin de décantation peut contenir le déversement de l'eau contaminée en cas de fuite.</p> <p>En cas de déversement de carburants, d'huiles, d'engrais ou de pesticides, la zone située autour du point de déversement doit être circonscrite par des digues d'enceinte ou des cuvettes de rétention pour limiter leur écoulement dans les eaux de surface ou leur infiltration dans les eaux souterraines.</p> <p>Les autorités doivent toujours être informées des incidents de pollution. Après un incident, le sol et l'eau de la zone concernée doivent être analysés afin de déterminer le niveau de la possible contamination résiduelle. Ces analyses indiqueront si des mesures d'atténuation supplémentaires sont nécessaires et elles détecteront les risques potentiels associés à l'utilisation du sol/de l'eau contaminé(e).</p>
Recyclage de l'eau	<p>Les pratiques de recyclage et de réutilisation de l'eau (voir chapitre 4) peuvent contribuer à réduire les effluents et la pollution éventuelle.</p>
Traitement des effluents	<p>Les exploitations agricoles peuvent envisager la possibilité de traiter les eaux usées, par exemple, en utilisant des fosses septiques et des bassins de stabilisation (voir chapitres 4 et 6).</p>

Gestion de la pollution sur une exploitation agricole

- Pouvez-vous dresser une liste des sources potentielles de pollution des eaux sur l'exploitation (résultant des activités de production, d'irrigation, des activités d'après-récolte et des tâches ménagères) ?
- Connaissez-vous les types de polluants de ces sources ?
- Prélevez-vous des échantillons pour contrôler le niveau des polluants dans l'eau provenant de ces sources ? Comment ?
- Traitez-vous déjà la pollution générée par ces sources ? Dans l'affirmative, veuillez préciser. Si tel n'est pas le cas, comment pourriez-vous traiter cette pollution ?
- Y a-t-il eu des incidents de pollution dans l'exploitation ? Avez-vous un plan pour gérer les éventuels incidents de pollution ?
- Tenez-vous un registre des incidents de pollution ayant eu lieu sur l'exploitation ?
- Quel est le laboratoire le plus proche de l'exploitation, dans lequel les échantillons d'eau peuvent être analysés ? Ce laboratoire est-il certifié ?
- Avez-vous connaissance des réglementations locales (lois) qui régissent les niveaux admissibles de polluants dans les rejets d'effluents ?
- Avez-vous un plan pour réduire la quantité d'eaux usées (par exemple, comme l'exige GLOBALG.A.P.) ?
- Avez-vous un plan de gestion de la pollution ? Dans l'affirmative, porte-t-il spécifiquement sur l'eau ? Si ce n'est pas le cas, cet aspect pourrait être développé dans le cadre du plan global de gestion de l'eau (chapitre 13).



Chapitre 8

Irrigation

8.1. Introduction	264
8.2. Types d'irrigation	264
8.3. Avantages et inconvénients des différents systèmes d'irrigation	268
8.4. Comment parvenir à une irrigation plus efficace	273
8.5. Plan de gestion de l'irrigation	274

8.1. INTRODUCTION

Comme tous les exploitants agricoles le savent, l'irrigation a pour but de compléter les besoins d'eau des cultures, lorsque les précipitations ne permettent pas d'assurer la croissance optimale des cultures. L'irrigation est pratiquée depuis des siècles, mais aujourd'hui, les avancées spectaculaires de la recherche et de la technologie ouvrent des possibilités sans précédent de gérer plus efficacement les ressources en eau en adoptant des méthodes d'irrigation adaptées et intelligentes.

Comme c'est le cas pour l'agriculture en général, plusieurs pratiques et systèmes d'irrigation sont utilisés à travers le monde. La topographie, le type de sol, les sources d'eau, les conditions climatiques et les cultures influencent fortement le choix de la méthode d'irrigation. Compte tenu de l'ensemble de ces facteurs, de la faisabilité et de la viabilité économique, le choix et la bonne gestion d'une méthode d'irrigation adaptée figurent parmi les éléments les plus importants d'une utilisation responsable des ressources en eau.

8.2. TYPES D'IRRIGATION

Les récents progrès technologiques offrent désormais une large série d'options aux exploitants agricoles, qui peuvent trouver la méthode la plus efficace et la mieux adaptée à leurs besoins.

Comme on l'a expliqué dans la partie 1, au chapitre 5, les méthodes d'irrigation peuvent être sommairement subdivisées en deux catégories :

- l'irrigation par gravité, basée sur le principe selon lequel le sol est une conduite et la gravité un conducteur ;
- l'irrigation sous pression, basée sur l'utilisation de dispositifs qui propulsent l'eau sous pression à travers un système de tuyaux et de conduites.

8.2.1. Les systèmes d'irrigation par gravité

- **Cuvettes/submersion**

Ce système prévoit la distribution de l'eau sur un terrain relativement plat, où elle s'écoule uniformément et est contenue par des digues qui l'empêchent de ruisseler. Ce système peut être utilisé pour de nombreuses cultures et sa gestion ne nécessite que peu de main-d'œuvre. Le principal inconvénient de ce système, c'est qu'il ne convient qu'à des champs plats et à des types de sols dont le taux d'infiltration est moyen à faible et dont la texture est moyenne à fine. Dans certains cas, il peut être utilisé en terrasses. Il est utilisé, par exemple, sur les plantations de bananes ou de tabac, ou pendant le premier stade de croissance des agrumes. Il convient également aux cultures horticoles, dont les sols sont généralement limoneux.

- **Calants/planches**

Cette méthode d'irrigation requiert, elle aussi, que les champs soient entourés de digues ; la différence, c'est que, dans ce cas, l'objectif poursuivi n'est pas de contenir l'eau, mais de la libérer à une extrémité du champ (légèrement surélevée) pour qu'elle s'écoule uniformément sur toute sa surface. Il est important de comprendre dans quelles proportions l'eau s'infiltré dans le sol, afin de libérer les bonnes quantités et d'éviter un arrosage excessif ou insuffisant.

- **Rigoles**

Cette méthode implique de creuser des rigoles ou des tranchées entre les rangs de cultures et de libérer l'eau pour que celle-ci s'écoule dans les rigoles sous l'effet de la gravité, tout en imprégnant le sol. Cette méthode est plus flexible, car l'eau peut être libérée et contrôlée individuellement dans chaque rigole. Elle convient aux terrains en pente douce et à la plupart des cultures.

- **La règle du quart**

La règle du quart est une «règle de base» couramment utilisée dans les systèmes d'irrigation par gravité. Cette règle prévoit que le débit de l'eau distribuée sur un champ pour l'irriguer doit être tel que l'eau atteigne l'extrémité du champ (irrigation par calants/planches ou rigoles) ou couvre la totalité de celui-ci (irrigation par cuvettes) au bout du quart du temps nécessaire à l'infiltration d'une quantité d'eau suffisante dans la zone radiculaire.

8.2.2. Les systèmes d'irrigation sous pression

- **Asperseur**

Cette méthode cherche à imiter la pluie naturelle (système de tuyaux et d'asperseurs). Elle est flexible et convient à la plupart des cultures et des sols. Elle est plus efficace que les systèmes d'irrigation de surface, car les pertes d'eau dues au ruissellement ou à la percolation profonde sont moins considérables. Dans les climats chauds, ce système peut être une cause majeure d'aliés et de problèmes de structure des sols.



Figure 1 - Irrigation par aspersion en Afrique du Sud
Source : National Geographic

- **Goutte à goutte**

Un système d'irrigation goutte à goutte se compose de tuyaux, de vannes et de goutteurs qui distribuent l'eau à des endroits précis dans les champs, directement à la base de la plante. Un tel système peut être placé à la surface du sol ou sous terre (goutte à goutte souterrain). Il s'adapte très bien à toutes les surfaces et cultures. Il assure l'utilisation la plus efficace des ressources en eau.



Figure 2 - Système d'irrigation goutte à goutte
Source : www.farmsolutionsafrica.com

- **Systèmes mixtes**

Les systèmes d'irrigation des petits exploitants fonctionnent généralement par gravité, mais l'eau est distribuée par un système de tuyaux et goutte à goutte. Dans ce cas, la pression est exercée par la gravité et non par une source d'énergie externe. L'illustration 3 présente un exemple de système d'irrigation mixte gravité-pression.



Figure 3 - Système d'irrigation en Afrique : un seau sert de réservoir et l'eau est distribuée grâce à de simples tuyaux de plastique (Standish, 2009 et Infonet-biovision 2010)

8.3. AVANTAGES ET INCONVÉNIENTS DES DIFFÉRENTS SYSTÈMES D'IRRIGATION



Comme nous l'avons vu précédemment, de nombreux facteurs influencent le choix de la méthode d'irrigation, et les systèmes diffèrent considérablement du point de vue de leur complexité, de leur coût, et de leurs avantages.

Les méthodes d'irrigation par gravité demandent peu de moyens technologiques, peu d'entretien, et sont souvent les plus praticables et les plus accessibles dans les systèmes agricoles des petits exploitants à faible utilisation d'intrants. Elles ont toutefois tendance à être les moins efficaces en ce qui concerne l'utilisation de l'eau. L'irrigation par rigoles permet d'assurer un certain contrôle de l'eau qui est distribuée, mais en général, dans tous les systèmes d'irrigation par gravité, il est difficile de distribuer avec précision la quantité d'eau réellement nécessaire et d'éviter le gaspillage. À titre de comparaison très générale, l'efficacité de l'irrigation de surface est d'environ 50 %, tandis que celle de l'irrigation par aspersion et de l'irrigation goutte à goutte est de 70 % et 90 %, respectivement (bien qu'il y ait des exceptions à cette règle).

Compte tenu des inconvénients que les systèmes d'irrigation par gravité comportent, il est particulièrement important de prévoir et d'appliquer un calendrier d'irrigation bien conçu. Il y a des moyens de le rendre plus efficace, en particulier si l'on connaît les caractéristiques du sol et des cultures. L'efficacité de ces systèmes nécessitant peu de moyens technologiques peut également être améliorée si l'eau est recyclée, bien que cela nécessite d'investir dans des infrastructures.

Les systèmes d'irrigation sous pression sont nettement plus efficaces, et le système d'irrigation goutte à goutte est le meilleur de tous, parce qu'il permet à un maximum d'eau d'atteindre la culture et d'être mise à profit par celle-ci. La quantité d'eau perdue par drainage, ruissellement ou évapotranspiration est minime. Ces systèmes présentent des avantages évidents du point de vue de l'utilisation efficace de l'eau, et ils offrent tous les avantages connexes décrits précédemment. Ils apportent également des bénéfices significatifs du point de vue de la productivité et de la gestion générale des sols et des cultures. Grâce au degré de contrôle plus élevé que les systèmes sous pression permettent, il est possible de garantir la croissance optimale des cultures en faisant en sorte qu'elles reçoivent suffisamment d'eau au moment opportun. La quantité d'eau distribuée n'est jamais excessive, ce qui évite le lessivage et le ruissellement de précieux (et coûteux) nutriments.

Ces avantages sont mis en balance avec le coût des systèmes sous pression, qui est élevé par rapport à celui des systèmes entraînés par la gravité. Ces coûts comprennent l'investissement consenti pour acheter et installer les tuyaux, les pompes, les systèmes d'aspersion, etc., ainsi que les frais de fonctionnement et d'entretien. Par ailleurs, un niveau plus élevé de connaissances et de compétences techniques est nécessaire pour exploiter et entretenir les systèmes. Ceci n'est évidemment pas le cas des systèmes fonctionnant par gravité, qui peuvent être installés et utilisés dans les champs avec un minimum de dépenses.

Les principales caractéristiques des différents systèmes d'irrigation sont résumées dans le tableau 1.

Tableau 1 : Méthodes d'irrigation et caractéristiques

Méthode		Rende-ment hydraulique (%)	Topographie	Pertinence en fonction du type de sol	Coût installation, infrastructure et carburant	Main-d'œuvre pour exploitation et entretien
Gravité	Cuvette	60-65	Terrain plat	Texture fine, taux infiltration faible à moyen	Faible	Moyen à élevé
	Planches		Terrain en pente douce			
	Rigoles		Terrain en pente			
Sous pression	Asperseur	80-87.5	Moyen	Taux infiltration moyen à élevé	Moyen à élevé	Moyen
	Goutte à goutte	95	Élevé	Taux infiltration moyen à élevé	Élevé	Faible

Le choix d'un système d'irrigation adapté suppose de tenir compte de nombreux facteurs, au nombre desquels la culture, le climat, le type de sol, la source d'eau, la disponibilité de l'eau, la topographie, la disponibilité de la main-d'œuvre et les compétences techniques.

Il est primordial de réaliser une analyse de la rentabilité pour l'exploitation ou l'entreprise agricole. Cela est particulièrement vrai dans le cas des systèmes d'irrigation sous pression par aspersion et goutte à goutte, dont le coût est plus élevé.

Concernant la sélection d'un système d'irrigation en fonction de la culture :

- l'irrigation de surface peut être utilisée pour toutes les cultures ;
- l'irrigation par aspersion et goutte à goutte est principalement utilisée pour les cultures à haut rendement en raison de l'investissement économique nécessaire ;
- l'irrigation goutte à goutte est principalement utilisée pour arroser les plantes et les cultures qui poussent en rangs de manière individualisée, notamment les légumes et les fraises.

Tableau 2 : Aperçu des facteurs et de la méthode d'irrigation préconisée pour chaque cas (adapté de la FAO, 1988)

Facteurs		Méthode recommandée	Commentaires	
Conditions naturelles	Type de sol	Faible taux d'infiltration	Surface	L'irrigation de surface convient mieux aux sols dont le taux d'infiltration est faible, tandis que les méthodes par aspersion et goutte à goutte sont adaptées aux sols dont le taux d'infiltration est élevé.
		Taux d'infiltration élevé	Aspersion/goutte à goutte	
	Pentes	Irrégulière	Goutte à goutte	Les méthodes d'irrigation de surface sont adaptées aux terrains plats, mais aussi aux terrains en pente, à condition de construire des terrasses. La flexibilité de l'irrigation goutte à goutte convient aux surfaces irrégulières.
		Plate	Surface/aspersion	
	Climat	Pluvieux	Surface	Dans les régions sèches, l'irrigation par aspersion ou goutte à goutte consomme plus efficacement l'eau. Dans les régions venteuses, l'irrigation par aspersion n'est pas recommandée.
		Sec	Aspersion/goutte à goutte	
		Venteux	Surface/goutte à goutte	
	Disponibilité de l'eau	Constante	Surface	L'irrigation de surface est adaptée aux régions où l'approvisionnement en eau est fiable. L'irrigation par aspersion ou goutte à goutte est recommandée dans les régions où la disponibilité de l'eau est faible ou saisonnière.
		Saisonnière	Surface/aspersion	
		Rareté	Aspersion/goutte à goutte	
	La qualité de l'eau	Salée	Aspersion/goutte à goutte	Le sel en suspension dans l'eau se dissout facilement à travers les asperseurs, mais les eaux à forte concentration en sédiments ne sont pas recommandées, parce que ces sédiments peuvent obstruer les goutteurs.
		Forte concentration de sédiments	Surface	

	Facteurs	Méthode recommandée	Commentaires
Type de culture	Cultures à haut rendement	Aspersion/goutte à goutte	Les systèmes d'irrigation par aspersion et goutte à goutte étant plus efficaces, ils sont adaptés aux cultures à haut rendement (arbres fruitiers, légumes, etc.) qui permettent de couvrir les coûts. L'irrigation goutte à goutte est recommandée pour les légumes ou les arbres individuels. L'irrigation par aspersion est généralement utilisée pour la germination des graines et le développement du couvert végétal de cultures telles que la laitue ou la luzerne. L'irrigation de surface convient à la plupart des cultures, mais plus particulièrement aux plantations denses (rizières).
	Plantes ou arbres individuels (légumes, cannes à sucre, etc.)	Goutte à goutte	
	Germination des graines et développement du couvert végétal	Asperseur	
	Plantations denses	Surface	
Technologie	Solides connaissances technologiques	Aspersion/goutte à goutte	Les systèmes par aspersion et goutte à goutte supposent un niveau plus élevé de technologies complexes et requièrent des personnes capables d'utiliser et d'entretenir le matériel. Ils doivent en outre être constamment approvisionnés en énergie. L'irrigation de surface nécessite moins de technologie, mais plus de main-d'œuvre pour construire et entretenir le matériel.
	Approvisionnement régulier en énergie	Aspersion/goutte à goutte	
	Disponibilité de la main-d'œuvre	Surface	
	Peu d'entretien	Surface	
Tradition et culture en matière d'irrigation	L'introduction inopportune d'une nouvelle méthode inconnue peut causer de nouveaux problèmes inattendus. Les agriculteurs rechignent parfois à accepter la nouvelle méthode tant qu'elle n'a pas fait ses preuves. Il est parfois plus facile et plus logique d'améliorer les méthodes traditionnelles d'irrigation que d'introduire une méthode entièrement nouvelle.		

	Facteurs	Méthode recommandée	Commentaires
Facteurs économiques	Coûts et bénéfices	Les systèmes d'irrigation goutte à goutte coûtent plus cher, mais ils assurent potentiellement de meilleurs bénéfices.	L'efficacité énergétique, l'efficacité de l'irrigation, le type d'irrigation (par aspersion ou goutte à goutte), le matériel, les coûts d'exploitation, les coûts en ressources humaines et les fluctuations du marché influencent fortement cette analyse. Une analyse coûts-bénéfices détaillée doit être entreprise sur la base des données les plus récentes sur les prix et les marchés, en étudiant toutes les options possibles.
	Main-d'œuvre	Il faut plus de main-d'œuvre pour la construction et l'entretien des systèmes d'irrigation de surface	

8.4. COMMENT PARVENIR À UNE IRRIGATION PLUS EFFICACE

Une utilisation optimale des ressources en eau suppose d'associer un système d'irrigation adapté à un bon plan de gestion de l'irrigation qui tienne compte de la quantité et de la fréquence de l'eau disponible, des besoins d'eau des cultures, et de l'optimisation de l'utilisation de l'eau grâce à des pratiques agricoles qui améliorent la capacité de rétention de l'eau des sols.

Une fois qu'un système d'irrigation adapté est en place, il y a de nombreuses façons de réduire les quantités de déchets et d'améliorer, de maintenir et de renforcer le rendement hydraulique. Ceci requiert la rigueur et la discipline de l'exploitant agricole, qui doit se baser sur les bonnes pratiques pour faire fonctionner son système. Le tableau 3 présente quelques exemples de bonnes pratiques en matière d'irrigation.

Tableau 3 : Bonnes pratiques nécessitant beaucoup et peu de moyens technologiques pour améliorer l'usage rationnel de l'eau d'irrigation

Options de faible technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Connaître l'exploitation agricole (conditions climatiques, superficie, topographie et types de sol) et adopter un système d'irrigation adapté (le plus rapidement possible). • Prévoir un plan d'entretien. Il est essentiel de maintenir l'ensemble des infrastructures d'irrigation en bon état. Cela suppose d'inspecter et de nettoyer régulièrement les digues, les canalisations, les tuyaux, les pompes, les asperseurs, etc., et de réparer les dommages. S'agissant de l'irrigation par aspersion ou goutte à goutte, il est essentiel d'entretenir l'équipement régulièrement et soigneusement, car il contient du matériel délicat et étalonné. • Système de drainage. Surveiller et entretenir le système de drainage pour éviter des problèmes comme la salinisation ou l'épuisement des nappes phréatiques. • Calendrier d'irrigation: prévoir un plan d'irrigation en fonction des besoins d'eau des cultures. • Améliorer la capacité de rétention de l'eau des sols (voir chapitre 11 à titre indicatif). • Stocker l'eau dès que possible (voir chapitre 3 à titre indicatif). • Utiliser la règle du quart: Dans l'irrigation par rigoles, le débit du courant d'eau devrait être tel que l'eau couvre la totalité du champ au bout du quart du temps nécessaire à l'infiltration d'une quantité d'eau suffisante dans la zone racinaire.
Pratiques de haute technologie	<ul style="list-style-type: none"> • Des niveleurs à laser sont disponibles sur le marché à des prix variables en fonction de leurs dimensions. Les exploitants agricoles peuvent se regrouper pour partager les frais et l'utilisation du niveleur à laser. • Méthodes d'irrigation de pointe. En présence de cultures à haut rendement, il faut envisager d'investir dans des systèmes modernes de micro-irrigation goutte à goutte pour atteindre un rendement hydraulique élevé. • Technologies informatiques. Des logiciels modernes, tels que CROPWAT, peuvent contribuer à améliorer le calendrier d'irrigation, et un SIG (système d'information géographique) peut être utilisé pour cartographier soigneusement la zone et améliorer le calendrier d'irrigation.

8.5. PLAN DE GESTION DE L'IRRIGATION

Comme on l'a exposé dans les grandes lignes dans la partie 1, au chapitre 6, l'objectif d'un plan de gestion de l'irrigation est :

- de réduire au minimum les pertes d'eau et de maximiser les rendements avec l'eau disponible ;
- de gérer les eaux de drainage et la salinité ;
- de réduire au minimum les incidences sociales et environnementales.

Le plan de gestion de l'irrigation doit faire partie intégrante du plan de gestion des eaux agricoles (voir chapitre 13). Vous trouverez plus bas une liste des titres et des sujets que doit contenir ce plan. Il doit être complété par un plan d'action qui dresse la liste des activités avec un timing précis.



8.5.1. Les informations de base concernant le système d'irrigation (voir partie 1, chapitre 5)

- L'exploitation agricole fait-elle partie d'un réseau d'irrigation ? Dans l'affirmative, précisez la manière dont le réseau est géré, exploité et entretenu, et décrivez l'implication de l'exploitation dans le réseau. Fournissez une carte du réseau, sur laquelle vous aurez indiqué l'emplacement de l'exploitation/des champs.
- Décrivez le système d'irrigation actuellement utilisé (gravité, submersion, cuvettes, rigoles, sous pression goutte à goutte, aspersion, etc.).
- Décrivez les activités d'exploitation et d'entretien du système d'irrigation.
- Cartographiez les sources d'eau utilisées pour l'irrigation (voir chapitre 2.2).
- Établissez une liste des préoccupations concernant la qualité et la disponibilité de l'eau (chapitre 2.3).
- Fournissez une estimation de la quantité d'eau utilisée (chapitre 2.4).
- Décrivez les types de sols et toute difficulté potentielle concernant l'irrigation et le drainage (chapitre 11.2).
- Établissez une liste des cultures qui sont irriguées et des besoins d'irrigation de chaque culture au cours de l'année. Rendez compte des rendements des cultures et de leur valeur.

- Évaluez si les eaux d'irrigation distribuées sont suffisantes pour satisfaire à l'ensemble des besoins d'irrigation. En d'autres termes, calculez le bilan hydrique (la différence entre les eaux d'irrigation qui arrivent dans l'exploitation et les besoins d'irrigation de toutes les cultures).

8.5.2. Le transport efficace de l'eau (voir partie 1, chapitre 6.2.2)

- Décrivez la manière dont les eaux d'irrigation sont acheminées de la source vers la culture.
- Évaluez la quantité d'eau perdue au cours du transport (y compris l'évaporation au niveau des canalisations, l'infiltration dans le sol ou les tuyaux qui fuient). Si la quantité d'eau prélevée à la source et la quantité d'eau atteignant le champ peuvent être mesurées, les valeurs obtenues peuvent être utilisées pour calculer l'efficacité du transport (c'est-à-dire la quantité d'eau qui atteint le champ, divisée par la quantité d'eau prélevée à la source).
- Décrivez les mesures prises pour améliorer l'efficacité du transport. Par exemple, inspection et entretien réguliers des tuyaux et des jointures; détection de fuites éventuelles; élimination des bouchons et des débris dans les canalisations; entretien des canalisations; pose de revêtement sur les canalisations pour limiter les infiltrations et l'évaporation.
- Précisez si les infrastructures de transport (canalisations, tuyaux) sont également utilisées par d'autres. Si tel est le cas, expliquez comment les utilisateurs collaborent pour mettre en œuvre les mesures nécessaires (par exemple, à travers une association d'utilisateurs des eaux d'irrigation).
- Les quantités d'eau prélevée et les quantités d'eau atteignant le champ sont-elles enregistrées? Si ce n'est pas le cas, prévoyez de faire figurer le calcul des quantités et la tenue de livres dans le plan d'action (chapitre 14).

8.5.3. L'utilisation efficace et productive des eaux d'irrigation (partie 1, chapitre 6.2.3)

- Décrivez la(les) méthode(s) utilisée(s) pour déterminer quand il convient d'arroser les diverses cultures au cours de la saison de croissance. (Par exemple, en estimant/mesurant la teneur en eau du sol et/ou en observant les cultures.) Détaillez le matériel/la méthode utilisé(e) (par exemple, aspect des cultures, tensiomètre, bloc de gypse, assèchement de la zone radiculaire basé sur la modélisation de l'évaporation et des précipitations, Cropwat, etc.). Précisez si des données climatiques sont utilisées pour planifier les volumes et les temps d'irrigation. La qualité des eaux d'irrigation pose-t-elle le moindre problème? Dans l'affirmative, quels sont ces problèmes et que pouvez-vous faire pour y remédier?

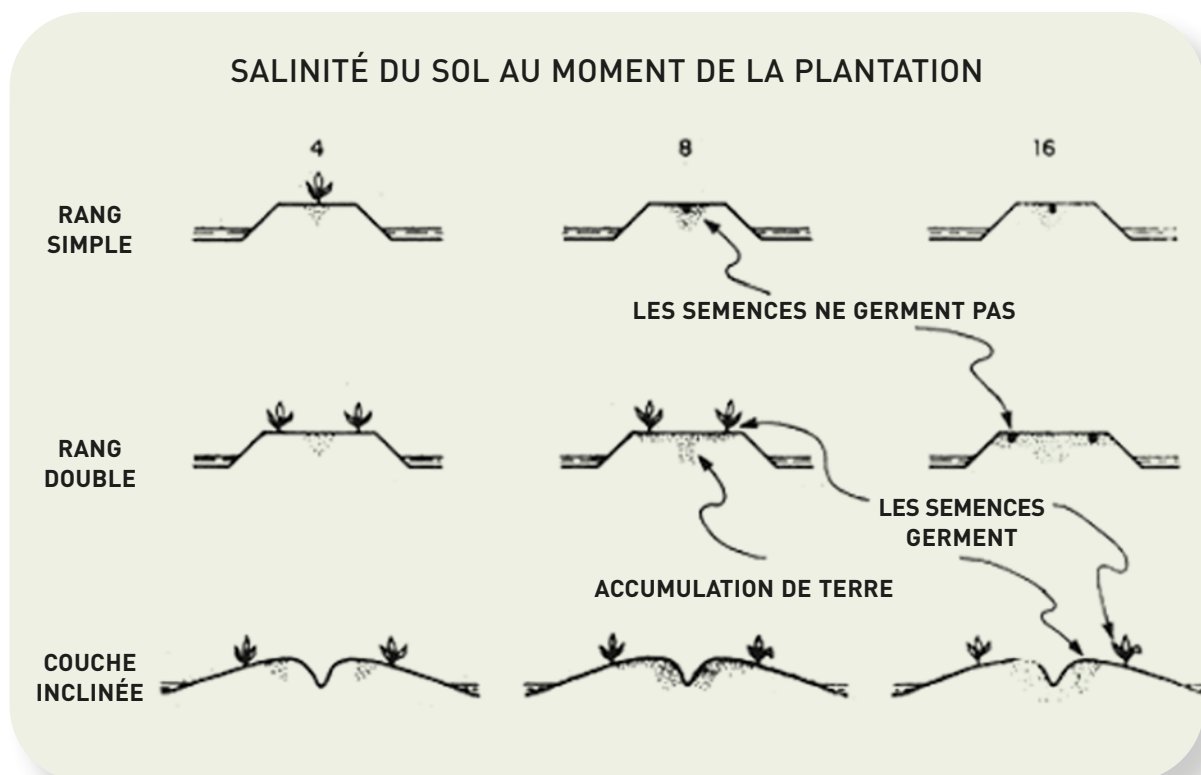


- Enregistrez la quantité d'eau utilisée pour l'irrigation et la quantité d'eau absorbée par la culture (spécification Cropwat, voir partie 1, chapitre 3.2). Utilisez ces valeurs pour calculer le rendement de l'apport d'eau à une parcelle (ea), c'est-à-dire la quantité d'eau absorbée par la culture divisée par la quantité d'eau distribuée sur le champ. En ce qui concerne l'irrigation de surface, le rendement de l'apport d'eau est d'environ 60 %. Il peut atteindre 70 à 90 % en cas d'irrigation par aspersion et d'irrigation goutte à goutte.
- Décrivez toutes les pratiques utilisées pour améliorer le rendement de l'apport d'eau à une parcelle. Celles-ci peuvent comprendre, par exemple, des techniques culturales simplifiées, des cultures de couverture, des brise-vent, le renforcement de la capacité de rétention de l'eau des sols et d'autres pratiques agricoles.
- Évaluer l'analyse de rentabilité d'une meilleure utilisation de l'eau (voir le chapitre 10). Les économies réalisées (coût) sur la quantité d'eau utilisée et sur l'augmentation de la productivité (rendement) doivent être mises en balance avec les coûts d'installation et d'exploitation d'une infrastructure moins gourmande en eau.

8.5.4. La gestion du drainage et de la salinité (partie 1, chapitre 6.3)

- Le plan de gestion de l'irrigation prévoit-il un système de drainage ? Si tel n'est pas le cas, est-ce nécessaire ? L'eau s'écoule-t-elle des champs pendant ou après l'irrigation ? Le niveau des eaux souterraines est-il en train de s'élever ? Y a-t-il des preuves que la salinité des sols et de l'eau augmente ? Cela a-t-il été observé ou mesuré (par exemple, croûtes de sel sur le sol) ? Tous ces éléments indiquent qu'il peut être utile d'améliorer le système de drainage.

- Examinez les différents types de drainage qui peuvent être mis en place²⁷⁷ :
 - Systèmes de drainage de surface : ces structures peuvent être relativement simples et se composer, par exemple, de canalisations creusées dans le sol.
 - Systèmes souterrains reposant sur un réseau de drains.
- Précisez si les eaux de drainage des champs sont (ou pourraient être) captées, et comment.
- Évaluez si les eaux de drainage pourraient être réutilisées. Vérifiez notamment si les concentrations en sels sont admissibles pour les cultures pratiquées²⁷⁸.
- Déterminez si et où les eaux de drainage pourraient être stockées et comment elles pourraient être transportées pour être réutilisées.
- Déterminez si la salinité du sol et des eaux d'irrigation est adaptée aux cultures pratiquées. La conductivité électrique (CE) est un bon indicateur de la salinité et peut être mesurée à l'aide d'un conductimètre. Si la CE est inférieure à 0,7 dS/m, le potentiel de rendement de la plupart des cultures est bon ; la plupart des cultures connaissent toutefois une baisse de rendement substantielle si la CE de l'eau servant à leur arrosage est supérieure à 3 dS/m.



²⁷⁷ Vous pouvez trouver des informations sur les éléments du système de drainage et sur sa conception technique sur www.fao.org/3/a-ai587e/ai587e01.pdf.

²⁷⁸ La page www.fao.org/DOCRReP/003/T0234e/T0234E03.htm donne un bon aperçu de la tolérance des différentes cultures à l'égard de la salinité des sols et des eaux d'irrigation.

- Si la salinité est trop élevée, la fraction de lessivage nécessaire à l'élimination des sels doit être calculée. La fraction de lessivage dépend de la salinité du sol et des eaux d'irrigation. Elle peut être estimée à l'aide de l'équation suivante²⁷⁹ :

$$\text{FRACTION DE LESSIVAGE} = \frac{\text{CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE DES EAUX D'IRRIGATION}}{\text{CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE ADMISSIBLE DU SOL}} \times 100 \%$$

- Si l'eau est récupérée dans l'exploitation agricole, elle peut être utilisée pour diminuer la salinité des eaux d'irrigation.

8.5.5. Réduire les incidences sociales et environnementales au minimum

- Analysez les incidences du système d'irrigation de l'exploitation agricole et de l'utilisation de l'eau sur l'environnement. Par exemple, la qualité et la disponibilité de l'eau pour les utilisateurs en aval, les besoins d'eau de l'environnement pour préserver sa biodiversité.
- Si l'exploitation ou l'entreprise agricole envisage d'apporter des modifications à son système ou son infrastructure d'irrigation, vérifiez si la réglementation environnementale locale ou les règlements locaux imposent une analyse de l'incidence sociale et environnementale des modifications avant leur mise en œuvre.
- Vérifiez s'il y a des problèmes de pollution en rapport avec l'utilisation des eaux d'irrigation, comme le ruissellement des nutriments, des pesticides, des sédiments et d'autres polluants (voir chapitre 7).
- Décrivez les mesures prises pour réduire les incidences sociales et environnementales.

8.5.6. Contrôle et suivi

- Le suivi du plan de gestion de l'irrigation doit être assuré pour déterminer si le plan est appliqué avec succès.
- Les résultats du plan de gestion de l'irrigation doivent être passés en revue chaque année, notamment en ce qui concerne :

²⁷⁹ Si la CE du sol est supérieure à la CE admissible, une autre équation doit être utilisée. Voir www.publications.qld.gov.au/en/dataset/salinity-management-handbook/resource/529b12b0-8e23-4cd3-a1cd-7659d0b9b3b4.

- a. l'efficacité et la productivité de l'irrigation ;
 - b. le drainage et la salinité ; et
 - c. les incidences sociales et environnementales.
- Les données relatives au système d'irrigation, notamment les quantités d'eau prélevées et utilisées, serviront de base de référence pour planifier et améliorer la gestion de l'irrigation. Le plan d'action doit prévoir un système d'enregistrement (voir chapitre 14 « Enregistrement »).

La gestion de l'irrigation

- Pouvez-vous énumérer les principaux éléments du système d'irrigation de votre exploitation agricole (transport de l'eau, réseau d'irrigation, type d'irrigation, drainage, etc.) ?
- Maintenez-vous le système d'irrigation et les infrastructures et équipements connexes en bon état ?
- Pouvez-vous faire une liste des mesures que vous pourriez prendre pour améliorer le système d'irrigation ?
- L'exploitation dispose-t-elle d'un plan de gestion de l'irrigation ?
- Pouvez-vous énumérer les éléments qu'un plan de gestion de l'irrigation doit contenir ?
- Savez-vous comment établir le bilan hydrique de votre exploitation ?





Chapitre 9

Les données climatiques

9.1. Les facteurs climatiques	282
9.2. Pourquoi il est important d'enregistrer les données climatiques ...	283
9.3. Comment enregistrer et utiliser les données climatiques	285
9.4. Exemple	288

9.1. LES FACTEURS CLIMATIQUES

9.1.1. Quels sont les facteurs climatiques importants ?

Les agriculteurs peuvent utiliser les relevés d'une station météorologique toute proche facilement accessible, ou d'une station météorologique dont les archives peuvent être consultées facilement. À défaut, ils peuvent utiliser d'autres sources d'informations climatiques, comme la TV, la radio, la presse ou des fournisseurs mobiles de données météorologiques tels que aWhere (www.awhere.com).



Les agriculteurs peuvent également utiliser des méthodes simples pour mesurer eux-mêmes les principaux facteurs climatiques, notamment :

- **Les précipitations**

Les précipitations sont le facteur climatique le plus déterminant. Elles déterminent la quantité d'eau que les cultures reçoivent naturellement. S'il connaît la quantité de précipitations, l'agriculteur peut évaluer la quantité d'eau supplémentaire nécessaire à l'irrigation des cultures. S'il a une idée précise des quantités de précipitations, l'agriculteur peut aussi évaluer les quantités d'eau de pluie potentiellement récupérables.

- **La température**

Ce facteur a également une importance considérable, car, comme l'eau, la température influence les processus de croissance de toutes les plantes. Par exemple, l'absorption de l'eau est inhibée lorsque les températures du sol sont basses, l'eau étant moins mobile et plus visqueuse à basse température. La photosynthèse, la respiration, l'évaporation, la transpiration, la germination des graines, la synthèse des protéines et la translocation sont influencées par la température.

- **Le vent**

Le vent influence directement le niveau d'évapotranspiration. Les vents forts peuvent entraîner des pertes d'eau excessives à travers la transpiration, mais aussi faire s'effondrer et s'écraser les plants. La photosynthèse, la croissance et le rendement peuvent en souffrir. Par ailleurs, si un système d'irrigation par aspersion est utilisé, il faut considérer le vent comme un paramètre essentiel, parce qu'il influence la distribution de l'eau sur les cultures.

- **La lumière**

La lumière (heures d'ensoleillement) et l'eau déterminent la production de chlorophylle et la photosynthèse. La durée et l'intensité de l'ensoleillement (rayonnement solaire) ont un effet sur le niveau d'énergie disponible pour la croissance des plantes.

- **L'humidité**

L'humidité (la quantité d'eau dans l'air) influence la pression de turgescence (voir partie 1, chapitre 2), qui est un indicateur de la quantité d'eau circulant dans les cellules végétales (ou, plus exactement, le flux d'eau qui entre dans les cellules végétales et en sort). Par temps sec, lorsque le taux d'humidité est bas, l'eau s'évapore rapidement: les plantes perdent alors de l'eau, sont moins rigides et finissent par se faner. Si les plantes subissent un flétrissement extrême ou prolongé, la productivité et le rendement diminuent.

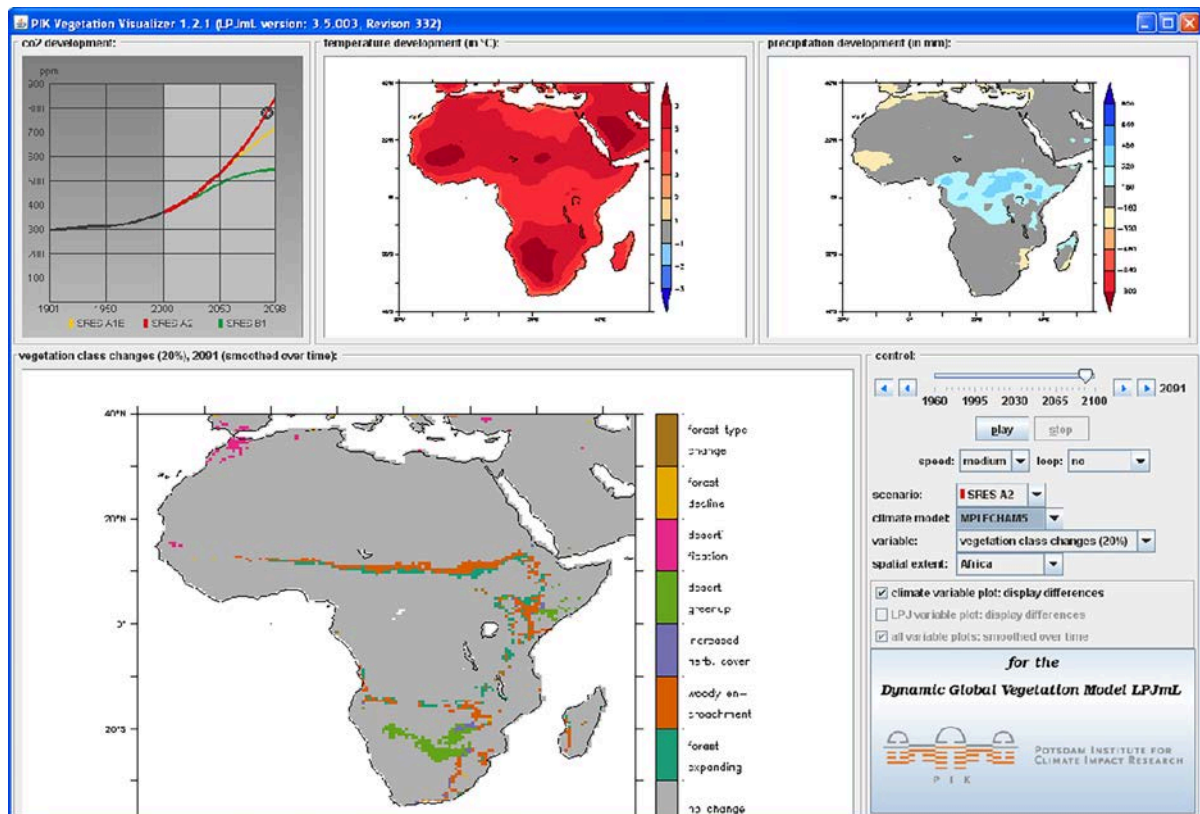
Lorsque l'humidité est importante, le taux de transpiration (et la perte d'eau par les plantes) diminue, ce qui renforce la turgescence des plantes. Dans les cas extrêmes, il peut en résulter une surchauffe des plantes. Ce facteur doit être pris en considération, car il peut déclencher l'apparition de différentes pathologies végétales.

9.2. POURQUOI IL EST IMPORTANT D'ENREGISTRER LES DONNÉES CLIMATIQUES

9.2.1. Les critères principaux

- Les précipitations, le rayonnement solaire (et le nombre d'heures d'ensoleillement), la température, l'humidité relative et la vitesse du vent sont les principaux facteurs climatiques qui influencent l'évapotranspiration des cultures. Afin d'établir un calendrier d'irrigation détaillé, ces facteurs doivent être mesurés quotidiennement pour estimer avec précision l'évapotranspiration des cultures et, par conséquent, les besoins en eau.
- Mesurer les précipitations et la teneur en eau du sol permet de comprendre comment les cultures utilisent l'eau. Ces relevés serviront de référence pour planifier toutes les activités liées à l'eau (irrigation, récupération et recyclage de l'eau, drainage, etc.). Une meilleure gestion de ces aspects aura une incidence sur la productivité et la rentabilité, réduira les risques et les incidences liés aux incidents climatiques et renforcera la résistance de l'exploitation agricole.

- Une bonne connaissance des données climatiques, en particulier des températures et des précipitations, facilite la planification des programmes de culture et d'agriculture. Les agriculteurs ayant une connaissance et une expérience approfondies des conditions climatiques locales, il est de plus en plus important qu'ils commencent à enregistrer les données climatiques. Cela leur permettra de mieux comprendre l'évolution des tendances climatiques et d'évaluer les risques liés au changement climatique. Les bénéfices qui découlent de l'enregistrement des données climatiques sont détaillés au chapitre 14.
- Il est également utile d'enregistrer systématiquement les événements climatiques exceptionnels (par exemple les sécheresses, les inondations, les orages), car les données peuvent être utilisées pour déterminer les cycles ou les modifications du climat local et prévoir son évolution. À court terme, ces données peuvent s'avérer précieuses dans le cas de contrats d'assurance ou d'applications financières, pour installer, par exemple, des systèmes de prévention des inondations (par ex. des digues) et des infrastructures de récupération des eaux.
- À long terme, les relevés des températures et des précipitations fournissent des preuves du changement climatique et facilitent la planification des futures activités agricoles. Par exemple, la taille des réservoirs de stockage de l'eau de pluie peut être mieux adaptée et mieux conçue si les cycles des précipitations et les tendances pluviométriques sont pris en considération.



9.3. COMMENT ENREGISTRER ET UTILISER LES DONNÉES CLIMATIQUES

9.3.1. Les méthodes et les équipements

Tableau 1 : Pratiques et instruments nécessitant beaucoup et peu de moyens technologiques pour enregistrer les données climatiques

Basses technologies

- **Les pluviomètres :** les pluviomètres sont de simples récipients servant à collecter et à mesurer les eaux de pluie, et à calculer les précipitations en mm (1 mm = 1 litre d'eau par m²). Les pluviomètres sont généralement cylindriques, avec une échelle graduée indiquant le niveau de l'eau. Ils doivent être inspectés quotidiennement et le niveau de l'eau doit être enregistré chaque jour, pour surveiller les précipitations pendant une période déterminée. Les pluviomètres doivent être vidés chaque fois que les relevés ont été enregistrés. Il est possible de construire un pluviomètre élémentaire de façon artisanale, avec une bouteille en plastique de 2 litres à fond plat, de forme régulière. L'échelle graduée est transcrite sur la bouteille en plaçant une règle à la verticale à côté de la bouteille (remarque : remplissez toujours la bouteille avec de l'eau jusqu'à la mesure zéro de l'échelle). La bouteille doit ensuite être placée dans un espace ouvert et dégagé. Ci-dessous, un exemple de pluviomètre élémentaire :



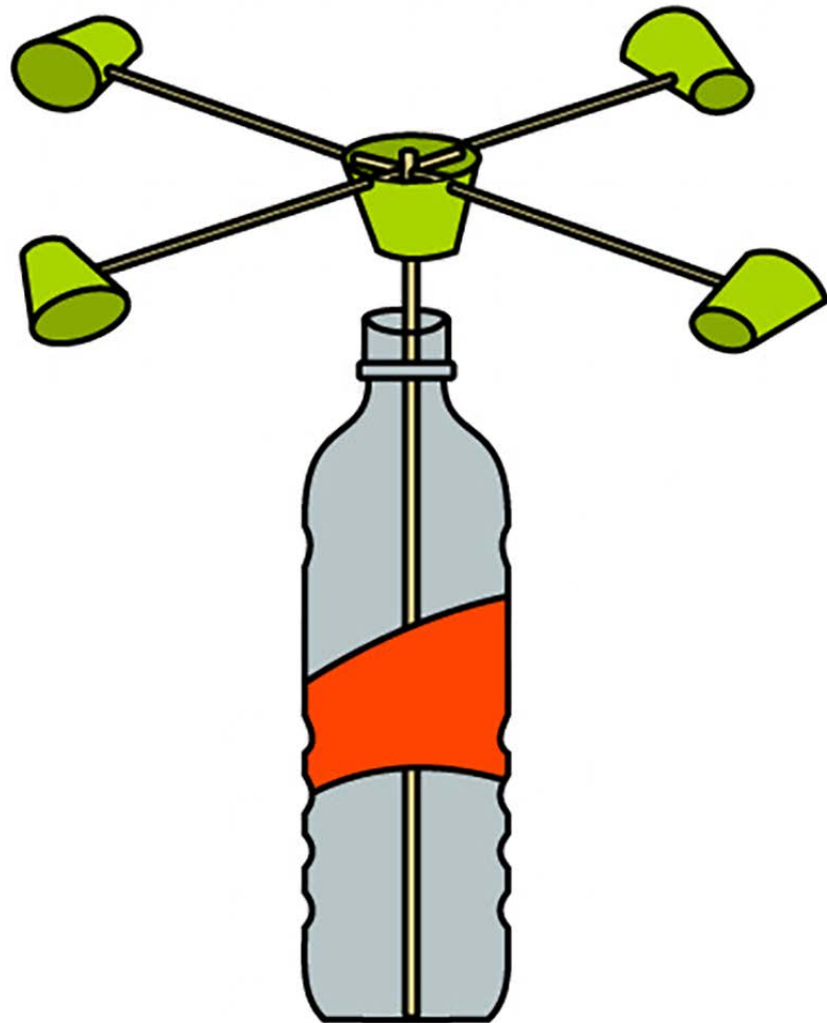
Pluviomètre élémentaire fabriqué à partir d'une bouteille en plastique
 Source : rainwaterharvesting.wordpress.com/2013/06/08/how-to-make-a-cheap-rain-gauge

Basses technologies

- **Les thermomètres :** le thermomètre est un moyen abordable et facile de mesurer la température. Les températures minimales et maximales doivent être enregistrées quotidiennement. Les thermomètres doivent être placés à l'ombre, dans un endroit bien ventilé, au moins 1,5 m au-dessus de toute surface. Les thermomètres doivent être placés de telle sorte qu'ils ne sont pas directement exposés à la lumière. Ils doivent également être placés à au moins 15 m des surfaces pavées, qui peuvent réfléchir la chaleur.

Basses technologies

- **Le vent :** des anémomètres élémentaires peuvent être fabriqués de façon artisanale (voir plus bas), avec quatre demi-sphères montées chacune sur un bras horizontal. La vitesse à laquelle les demi-sphères tournent est proportionnelle à la vitesse du vent. La vitesse moyenne du vent peut donc être calculée en comptant le nombre des rotations de l'axe pendant une période donnée. Un anémomètre fournit des informations de base sur la force du vent, mais aussi sur la direction de celui-ci, si une girouette est placée au sommet de l'axe. Pour calibrer l'anémomètre, asseyez-vous à l'arrière d'une mobylette qui roule à 15 km/h et comptez le nombre des rotations de l'axe pendant, par exemple, une minute. Il faut également enregistrer la direction du vent.



Anémomètre élémentaire et artisanal

(www.education.com/science-fair/article/make-anemometer/)

Basses technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Les hygromètres à bulbe sec/humide : les hygromètres peuvent être achetés auprès de fournisseurs spécialisés, mais ils peuvent aussi être fabriqués à l'aide de deux thermomètres et d'un bout de tissu humide. • Notez toutes les données climatiques dans un carnet ou un agenda et utilisez-les pour établir des graphiques.
Hautes technologies	<ul style="list-style-type: none"> • Les baromètres : les baromètres mesurent la pression atmosphérique. Les plus perfectionnés enregistrent les relevés dans un ordinateur et permettent de prévoir les conditions climatiques. Lorsque le baromètre grimpe, le temps est ensoleillé et sec. Lorsqu'il descend, le temps est humide et orageux. • Modèles climatiques informatisés utilisant des logiciels SIG. Il existe des outils informatiques qui aident les agriculteurs à enregistrer les données climatiques dans CROPWAT. Les agriculteurs peuvent alors élaborer des calendriers d'irrigation et des prévisions météorologiques plus précis. • Des stations météorologiques complètes peuvent être installées sur place pour mesurer la température, l'humidité relative, les précipitations, la vitesse du vent et l'ensoleillement. Un groupe d'agriculteurs ou une communauté peut acheter et se partager des petites stations météorologiques portables.

9.3.2. L'enregistrement des données

Les données climatiques peuvent être enregistrées de plusieurs manières, en fonction des ressources disponibles. La méthode la plus simple consiste à porter les relevés dans un carnet. Si un ordinateur est disponible, les relevés peuvent être reportés dans des feuilles de calcul ou des logiciels spécialisés. De cette manière, les données peuvent être représentées graphiquement et étudiées au fil du temps.

Il est également possible de combiner la méthode électronique et la méthode papier. Les relevés peuvent être consignés chaque jour dans un carnet et transposés par la suite dans un ordinateur, ou transmis à une personne qui peut les traiter par ordinateur (voir chapitre 14 pour plus de détails). Les données peuvent aussi être enregistrées et conservées à l'aide d'applications pour smartphone, qu'elles soient en ligne ou hors ligne. Citons, à titre d'exemple, l'application gratuite et à code source ouvert « GEOodk collect » (www.geoodk.com).

9.3.3. Comment utiliser les données climatiques

Après que les données ont été collectées et enregistrées, elles peuvent être traitées et analysées. Ces données réelles permettent d'adapter les pratiques de gestion des sols et d'irrigation, et de ne plus se baser sur des estimations et des hypothèses. Par exemple, si les données recueillies indiquent que les précipitations ont tendance à diminuer après un certain temps ou pendant une saison précise, des décisions peuvent être prises pour adapter les pratiques en conséquence (par exemple, augmenter les quantités d'eau d'irrigation, changer de culture, modifier les dates de plantation ou combiner ces mesures). Ces décisions peuvent aider les agriculteurs à utiliser l'eau plus efficacement, à accroître leur productivité et leur rentabilité, et à atténuer les effets du changement climatique.

Comment gérez-vous les données climatiques ?

- De mémoire, énumérez les occasions où, ces dernières années, vos cultures ont souffert et où les rendements ont chuté à cause des conditions climatiques.
- Pouvez-vous décrire (d'un point de vue qualitatif) le climat local au cours d'une année moyenne ?
- Enregistrez-vous les données climatiques locales ? Dans l'affirmative, quelles informations collectez-vous ? Quelles méthodes et quels équipements utilisez-vous ?
- Dans la négative, connaissez-vous des méthodes simples qui peuvent être utilisées pour mesurer les précipitations, la température, la vitesse du vent et l'humidité ?
- Énumérez les sources de prévisions météorologiques auxquelles vous avez accès.
- Y a-t-il une station météorologique près de votre exploitation ? Êtes-vous en contact avec des stations météorologiques locales ? Avez-vous accès à leurs données ?
- Si aucune donnée n'est disponible au niveau local, serait-il pertinent d'investir dans l'installation d'une petite station météorologique dans votre exploitation ? Pourriez-vous vous associer à d'autres agriculteurs pour installer et faire fonctionner une station météorologique ?
- Avez-vous l'impression que le climat local est en train de changer ? Si tel est le cas, veuillez préciser. Pensez-vous que cela aura une incidence sur votre exploitation dans le futur ? De quelle manière ? Que pouvez-vous faire ?

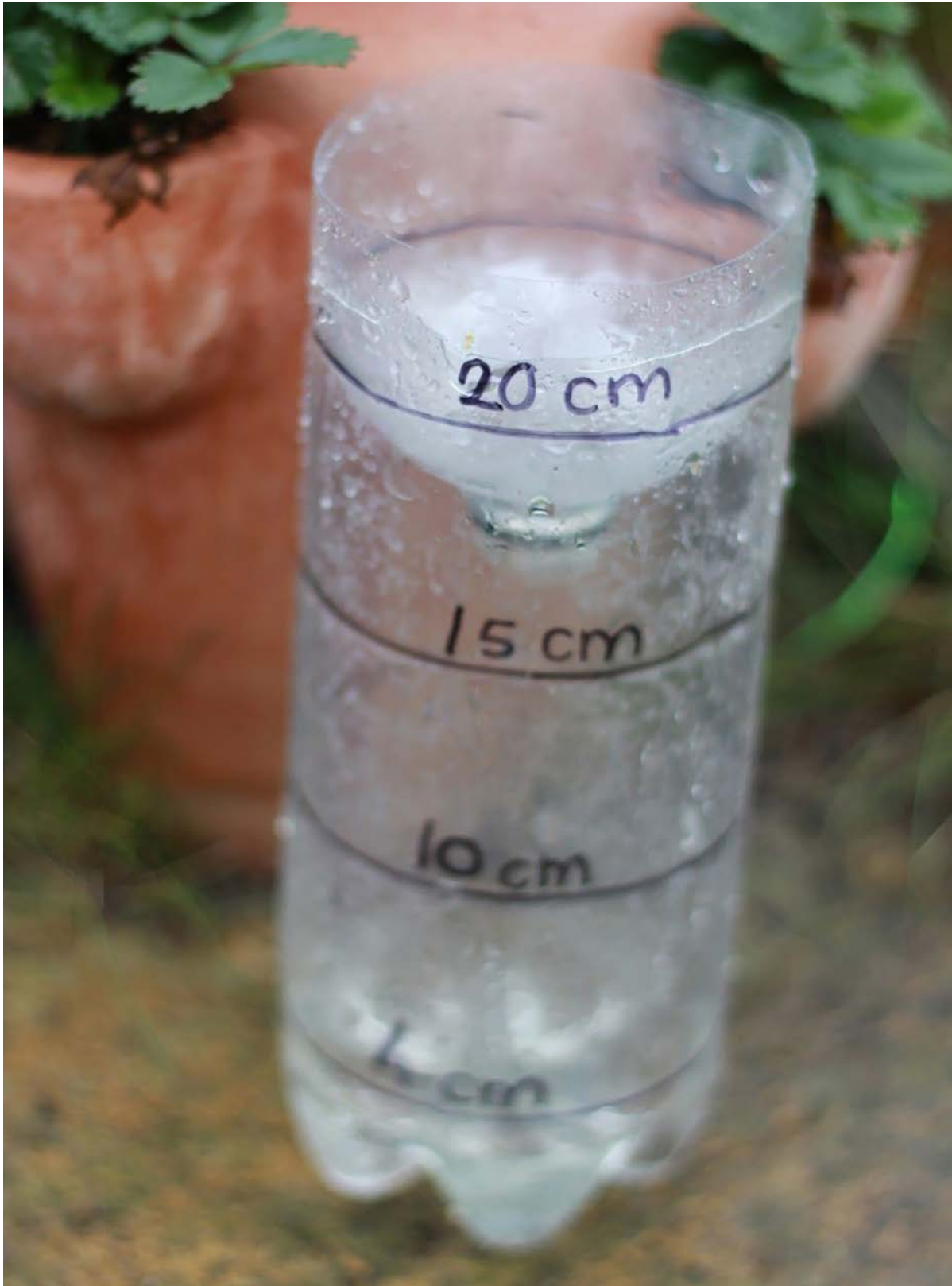
i

9.4. EXEMPLE

9.4.1. Susan et Kioko

En réfléchissant à la manière dont elle peut gérer l'eau, Susan est parvenue à une meilleure compréhension du sujet. Elle sait désormais que l'utilisation de l'eau n'est pas toujours efficace et productive, que ce soit dans les champs pendant l'arrosage des cultures ou dans les installations de conditionnement pendant le calibrage et l'emballage. Après avoir passé en revue les différentes activités de son exploitation, Susan est parvenue à la conclusion que l'irrigation est, de loin, la plus grosse consommatrice d'eau. En enregistrant les relevés des précipitations, elle sait qu'elle pourrait établir un meilleur calendrier d'irrigation, plus précis et plus ciblé. Il y a une station météorologique dans le village voisin ; Susan envisage de consulter ses relevés climatiques. Depuis qu'elle s'est rendue à la foire horticole organisée en ville, où elle a découvert un appareil peu coûteux qui permet de mesurer la teneur en eau du sol, et elle envisage d'en acheter un. Si elle disposait d'informations quotidiennes sur les précipitations et la teneur en eau du sol, elle pourrait déterminer plus précisément la quantité d'eau nécessaire pour irriguer ses cultures.

Kioko construit un petit pluviomètre avec une bouteille en plastique dont il coupe l'extrémité. Il place une échelle graduée à côté de la bouteille, afin de pouvoir faire des relevés quotidiens et les comparer à la moyenne quotidienne de 6 mm d'eau dont ses cultures ont besoin. Il doit désormais trouver un moyen d'évaluer la teneur en eau du sol. Il va demander conseil à un formateur local, qui pourra certainement lui conseiller quelques méthodes simples.



Chapitre 10

Mettre un prix sur l'eau

10.1. Le prix de l'eau	292
10.2. Pourquoi mettre un prix sur l'eau dans le secteur horticole?	293
10.3. Pourquoi et comment mettre un prix sur l'eau?	294
10.4. Exemple	297

10.1. LE PRIX DE L'EAU

10.1.1. Vue d'ensemble

Ce chapitre examine la structuration du prix de l'eau. Le prix de l'eau ne se résume pas uniquement au prix payé pour la capter : il intègre aussi toutes les dépenses consenties pour garantir qu'une quantité suffisante d'eau de bonne qualité atteint bien le point d'utilisation sur l'exploitation agricole ou dans l'entreprise. Ces coûts incluent :

- les coûts de captage ;
- les coûts d'irrigation ;
- le traitement avant et après utilisation de l'eau ;
- les coûts indirects de l'eau.

Mettre un prix sur l'eau signifie fixer sa valeur économique (financière) en tenant compte de toutes les activités que son exploitation implique du captage au pompage, y compris les infrastructures et le traitement ou épuration de l'eau avant son utilisation.

Sans oublier les coûts indirects tels que les coûts administratifs (par exemple, le paiement de l'adhésion à une plate-forme sur l'eau, le paiement des ouvriers chargés de réparer les canaux, les écotaxes sur le rejet d'eaux polluées). Des valeurs peuvent également être assignées à chaque incidence positive ou négative sur l'environnement, ou aux éventuelles retombées positives de la gestion des risques liés à l'eau (par exemple, savoir éviter les pertes en raison de la rareté de l'eau).

Une fois que le prix/coût de l'eau a été calculé, on peut analyser la valeur financière de l'eau en comparant son coût à la productivité économique (rendement des cultures et chiffre d'affaires) liée à son utilisation. Pour résumer, cette valeur correspond au gain financier/monétaire par mètre cube d'eau consommée.



10.2. POURQUOI METTRE UN PRIX SUR L'EAU DANS LE SECTEUR HORTICOLE ?

10.2.1. Objectif

Si on cherche à déterminer le coût exact de l'eau, c'est parce qu'on veut pouvoir analyser la rentabilité de son utilisation efficace et aider les entreprises à comprendre les possibilités d'accroître leur rentabilité et leur compétitivité en assurant une meilleure gestion de l'eau.

Si l'on connaît le coût de l'eau sur le plan financier et qu'on le compare à la productivité de l'exploitation agricole par unité d'eau utilisée, on peut traduire l'éventuelle augmentation du rendement hydraulique en une hausse de la performance financière (et en un profit accru).

L'amélioration du rendement hydraulique peut faire progresser la productivité, réduire les coûts de captage et atténuer les risques liés à l'eau. Cependant, l'amélioration du rendement hydraulique exige généralement d'investir dans de nouvelles techniques, de nouveaux équipements, et de nouvelles infrastructures.

En connaissant le coût réel de l'eau (qui est en général nettement plus élevé que le prix effectivement payé), l'agriculteur aura une image plus précise de sa situation financière, qui l'aidera à décider quels investissements méritent d'être consentis.

Dans le document d'orientation de GLOBALG.A.P., l'estimation du prix de l'eau est l'une des méthodes recommandées pour gérer le risque financier. Les questions suivantes doivent être traitées :

- Le producteur paye-t-il pour utiliser l'eau ?
- Comment ce prix, cette taxe, ce tarif sont-ils fixés ?
- Le prix comprend-il les coûts de fonctionnement et les externalités (environnementales) ?
- Le système de fixation des prix est-il stable, prévisible et transparent ?
- Quel est la probabilité que les prix de l'eau augmentent à intervalles réguliers ou irréguliers ?



10.3. POURQUOI ET COMMENT METTRE UN PRIX SUR L'EAU ?

10.3.1. Données sur le coût de la gestion de l'eau

La première étape consiste à recenser et additionner tous les coûts liés à l'utilisation de l'eau sur l'exploitation agricole/dans l'entreprise. Tous ces coûts doivent être calculés en EUR/an (ou dans la devise concernée). Ceux-ci peuvent comprendre :

- le coût des droits ou autorisations de captage de l'eau ;
- le coût de nouvelles pompes ;
- le coût du carburant pour les pompes ;
- le coût des équipements d'irrigation :
- le coût d'entretien des systèmes d'irrigation et de drainage (particulièrement en termes de coûts de main-d'œuvre) ;
- le coût des opérations d'entretien des équipements de captage et d'irrigation (canaux, pompes, conduites ou toute autre infrastructure utilisée dans ce cadre) ;
- le coût des éventuels traitements de l'eau, avant ou après utilisation ;
- le coût de l'eau municipale, particulièrement pour les opérations postérieures à la récolte ;
- le coût des procédures judiciaires liées à l'eau, le cas échéant ;
- le coût d'élaboration d'un plan de gestion des eaux ;
- le coût des actions visant à accroître le rendement hydraulique et la résilience de l'eau, et les études d'impact ;
- le coût des externalités environnementales (ce sont les coûts des incidences environnementales de la production qui ne sont pas compensés, comme la pollution. Les externalités sont difficiles à estimer et généralement exclues du calcul des coûts. On les qualifie aussi souvent de coûts « sociaux », qui peuvent découler des activités de plusieurs utilisateurs dans un bassin versant donné ;
- le coût des taxes associées à l'eau.

10.3.2. L'estimation du prix

La première étape consiste à déterminer la quantité d'eau captée et amenée sur l'exploitation agricole pour établir le volume total en mètres cubes (m³) d'eau/an (voir le chapitre 2).

À partir du nombre total de m³ prélevés par an et du coût total de la gestion de l'eau en €/an (calculée selon le point 10.3.1. ci-dessus), on peut calculer le coût financier de l'eau en €/m³.



10.3.3. La productivité économique de l'eau

Le prix réel de l'eau estimé au point précédent en EUR/m³ peut être comparé à la productivité économique de l'eau, également en €/m³.

Cette comparaison donnera à l'agriculteur une information claire sur la valeur ajoutée de l'eau, et sur son importance pour la durabilité financière de l'entreprise. Accroître le rendement hydraulique améliore la productivité économique de l'eau et peut réduire considérablement les coûts globaux (et augmenter les profits) en réduisant la quantité d'eau captée.

Pour estimer la productivité économique de l'eau, les données suivantes sont nécessaires :

- **Le rendement de la culture** en tonnes/ha.
- **Le volume d'eau bleue consommée** par la culture en m³/ha (ce volume fait référence à l'«utilisation consommatrice d'eau bleue» : l'eau d'irrigation qui a été captée et évapotranspirée par la culture et qui n'est pas retournée au système (le bassin versant). L'eau qui a été restituée au système (par exemple, par ruissellement ou drainage) est considérée comme une «perte», car elle n'a donné lieu à aucune utilisation productive].
- **L'empreinte de la culture sur l'eau bleue.** On la calcule en divisant le volume d'eau bleue consommée par la culture (m³/ha) par le rendement de celle-ci (tonnes/ha). L'empreinte de la culture sur l'eau bleue est exprimée en m³/tonne d'eau bleue.
- **La productivité économique de la culture :** le revenu obtenu de la vente de la production. Elle est exprimée en €/tonne (ou toute autre devise concernée).

La productivité économique de l'eau représente le revenu généré par l'exploitation agricole par mètre cube d'eau consommée (l'eau consommée désigne l'eau qui n'est plus disponible pour d'autres utilisations).

Cet indicateur correspond au rapport entre la productivité économique de la culture (EUR/tonne) et l'empreinte de la culture sur l'eau bleue (m³/tonne). La productivité économique de l'eau est exprimée en €/m³.

La productivité économique effective et la productivité économique potentielle dépendent de la culture, de l'irrigation et de nombreuses autres pratiques agricoles, comme on l'a décrit aux chapitres précédents. La productivité économique ne dépend évidemment pas seulement de l'eau, mais aussi de nombreux autres facteurs. Ainsi, le calcul de la productivité économique de l'eau ne vise pas à fournir une analyse financière complète : il donne simplement une bonne indication de la valeur de l'eau pour la production de la culture et permet d'examiner la performance du système agricole par rapport à la consommation d'eau.

S'exercer à mettre un prix sur l'eau

- Lisez attentivement les exemples présentés à la fin de ce chapitre.
- En vous basant sur les informations fournies dans ce chapitre concernant la façon de mettre un prix sur l'eau et de travailler sur celui-ci, vérifiez les chiffres donnés dans les exemples.
- Analysez les différences entre les coûts de l'eau et les productivités économiques de l'eau chez Susan et chez Kioko.
- Compte tenu de cette analyse, quelles recommandations formuleriez-vous à l'intention de Kioko ?

Conclusions

Pour Susan, le prix de l'eau représente environ 7 % de la productivité économique de l'eau de son exploitation (ce pourcentage pourra même décroître après le passage à la culture sous serre et à l'irrigation goutte à goutte).

Dans le cas de Kioko, ce ratio s'élève à environ 16 %. Notez également que les calculs du prix de l'eau n'incluent que le prix effectivement payé pour l'eau, plus les coûts de fonctionnement.

Dans le cas de Kioko, la principale recommandation est de planifier plus efficacement l'irrigation en sachant choisir le meilleur moment pour irriguer.

Dans l'exemple, Susan produit des haricots verts et estime le prix de l'eau à 9 KES/m³, ce qui comprend le prix qu'elle paie pour l'eau plus les coûts de fonctionnement. Elle estime la productivité économique courante de l'eau à 130 KES/m³ (le prix de l'eau représente 7 % de cette productivité économique), et elle estime qu'après avoir investi dans la serre et l'irrigation goutte à goutte, elle portera sa productivité économique à environ 300 KES/m³.

La situation de Kioko est plus complexe.

Les deux exemples démontrent comment la détermination du prix de l'eau permet aux agriculteurs d'évaluer et de prouver la pertinence économique d'un meilleur rendement hydraulique.

10.4. EXEMPLE

10.4.1. Susan et Kioko

Susan envisage d'investir dans des serres tunnels pour cultiver ses haricots et accroître la productivité de sa culture. Elle a compris qu'en utilisant des serres et en installant un système d'irrigation goutte à goutte, elle pourrait mieux gérer l'eau et les autres intrants. Elle veut calculer les avantages économiques de la culture des haricots verts sous serre. Elle souhaite également comprendre ce que ses économies pourraient être en termes de coût de l'eau.



Le rendement moyen de ses haricots verts est de 5 tonnes par acre. La dernière fois, elle les a vendus 60 KES par kg. Elle n'a pu vendre que 40 % de sa production à une entreprise britannique, car le reste de sa récolte avait été endommagé par les intempéries ; elle a donc dû le vendre sur le marché local. Elle a gagné 200 000 KES en tout.

En ce qui concerne la consommation d'eau, sur une parcelle normale, elle consomme environ 1 500 m³ d'eau par saison culturale. L'eau d'irrigation qu'elle a prélevée dans le canal a coûté environ 8 000 KES. Elle a également pompé de l'eau supplémentaire, dont elle estime le prix à 5 000 KES. Tout cela donne un coût total de l'eau de 13 000 KES, soit environ 9 KES/m³. Elle calcule la productivité économique de l'eau pour ses haricots verts comme suit : 200 000 KES/1 500 m³ = 130 KES/m³. Si l'on compare ce total aux autres coûts de production, ses coûts les plus élevés sont ceux des ouvriers agricoles et des semences ; l'eau arrive en troisième position.

Elle espère que les serres l'aideront à accroître sa productivité, à mieux gérer la qualité de ses produits, et à réduire les coûts de main-d'œuvre et le coût de l'eau. Elle a entendu dire que la serre pourrait faire progresser le rendement de ses cultures de 40 %, et que si elle gérait bien sa culture, 98 % des produits auraient la qualité requise par les importateurs du Royaume-Uni. Susan sait également qu'en augmentant le rendement hydraulique, ses besoins d'eau pour irriguer son champ seront inférieurs à 1 500 m³, ce qui accroîtra la productivité économique de l'eau.

En passant à l'irrigation goutte à goutte, la consommation d'eau devrait baisser de 30 %. Cela signifie qu'elle peut faire progresser la productivité économique de l'eau jusqu'à environ 300 KES/m³, tout en réduisant les autres intrants agricoles. Elle devra estimer les coûts des serres tunnels et de l'équipement d'irrigation goutte

à goutte, mais elle espère que grâce à cette hausse de la productivité, elle pourra facilement couvrir les investissements engagés.

Kioko pense que le coût de pompage de l'eau d'irrigation dans la source pour sa culture de tomates représente une partie importante de ses coûts de production totaux. S'il le réduisait, il pourrait tirer un meilleur revenu de sa culture. Il sait également qu'en réduisant le coût de l'eau, il pourrait peut-être accroître la productivité de cette culture, car la productivité de la culture et le rendement hydraulique sont étroitement liés.

Il calcule qu'il a dépensé, pour le carburant et la location de la pompe, environ 20 000 KES pour 1 440 m³ d'eau consommée l'an dernier. Cela représente un coût d'environ 15 KES/m³. Sa culture a produit tout juste 4 tonnes de tomates. Il a vendu sa production pour environ 120 000 KES. Il calcule la productivité économique de l'eau de cette manière : $120\,000/1\,440 = \sim 83$ KES/m³ et réalise que le coût de l'eau représente environ 1/6 de son revenu total. Il trouve que ce coût est beaucoup trop élevé. Il décide qu'il a besoin d'améliorer ses rendements, tout en utilisant moins d'eau, afin de tirer un peu plus d'argent de ce rude labeur.

Chapitre 11

Gestion du sol pour la rétention d'eau

11.1. Pourquoi gérer le sol et augmenter sa capacité de rétention d'eau ?	300
11.2. Gérer les sols pour une utilisation efficace de l'eau	302
11.3. Exemple	308

11.1. POURQUOI GÉRER LE SOL ET AUGMENTER SA CAPACITÉ DE RÉTENTION D'EAU ?

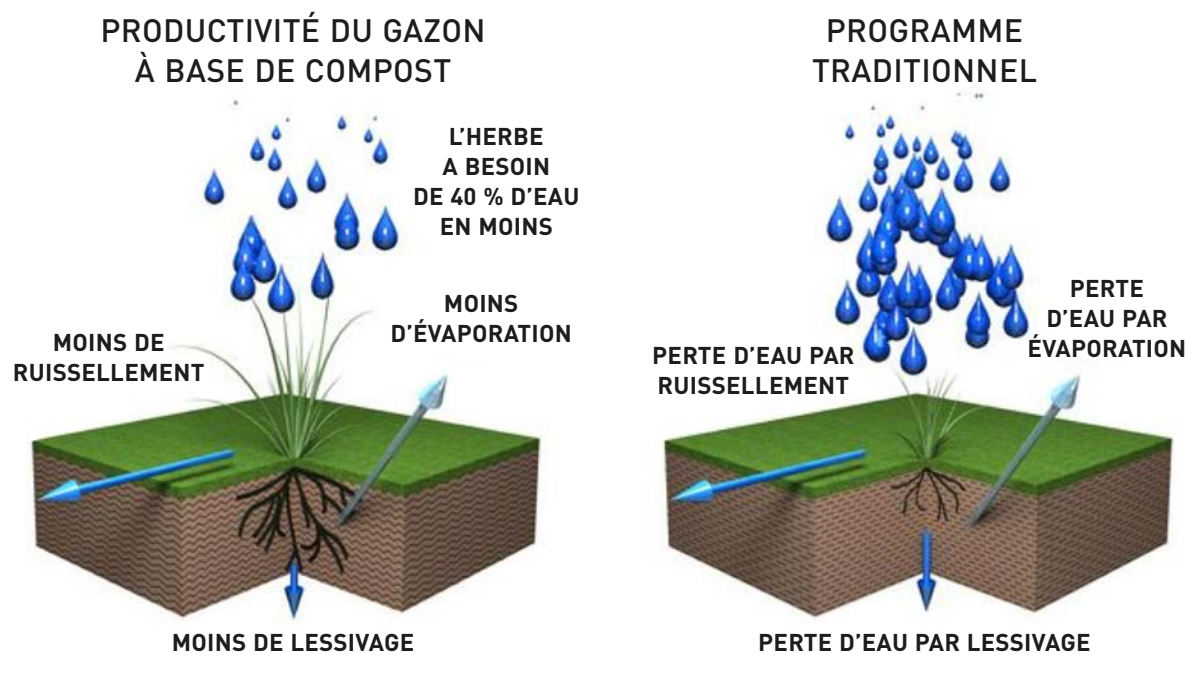
11.1.1. Aperçu

Dans les chapitres précédents, nous avons pu mesurer l'importance de la gestion de l'eau pour accroître la productivité et la rentabilité, améliorer la résilience face au changement climatique, et limiter la dépendance vis-à-vis des sources d'eau externes. Le sol est un élément essentiel pour la gestion et l'utilisation efficaces de l'eau : indirectement, l'état (la santé) du sol affecte la manière dont l'eau est captée, retenue et disponible pour la croissance des cultures.

Un sol en bonne santé :

- est fertile et présente un bon équilibre entre la matière organique et les nutriments ;
- il possède une structure meuble et suffisamment aérée ;
- il abrite des populations nombreuses et diverses d'organismes du sol, notamment d'organismes microbiens ;
- il peut retenir assez d'eau pour que celle-ci soit facilement accessible aux cultures.

La capacité de rétention d'eau d'un sol dépend de plusieurs facteurs, et notamment de la texture du sol tant dans les couches superficielles que dans les couches profondes. Plus la couche arable est perméable (par exemple, les sols sablonneux), moins elle retient d'eau. Les sols moins perméables (comme l'argile et le limon) peuvent retenir plus d'eau mais sont associés à une infiltration moins importante et à un ruissellement plus marqué. Quel que soit le type de sol, la quantité de matière organique (MO) est un facteur critique, car elle améliore la structure du sol en permettant le filtrage de l'eau et en agissant comme une éponge pour la retenir. Les agriculteurs peuvent utiliser diverses techniques pour améliorer l'aptitude du sol à capter et à retenir l'eau.



En même temps, les mauvaises pratiques agronomiques peuvent dégrader la santé des sols et leur capacité à retenir l'eau. La formation d'aliôs est un phénomène particulièrement critique. Ces aliôs sont des couches de sol compactes situées sous la surface. Elles limitent la croissance racinaire des plantes et rendent difficile la circulation de l'eau, de l'air et des autres gaz dans le sol. La compaction provoque l'engorgement du sol, ce qui a pour conséquence d'endommager fortement les organismes du sol et de compromettre la fertilité et la croissance des cultures. La cause de compaction la plus fréquente est le labour répété à la même profondeur. Certains outils ont plus tendance à former des aliôs (houes rotatives, herbes à disques et charrues à disques), particulièrement lorsqu'ils sont utilisés dans des conditions d'humidité du sol défavorables, mais quasiment toutes les combinaisons d'outils de travail du sol utilisées contribueront à créer une zone plus dense à partir d'un certain nombre de passages à une profondeur à peu près semblable. La plantation répétée d'une même culture à enracinement peu profond, l'irrigation superficielle et l'engorgement peuvent aussi densifier le sol. Une fois formés, les aliôs peuvent être rendus moins compacts par des cultures à racines profondes, par un travail du sol plus profond, ou (idéalement) par un labour avec inversion visant à les briser.

Une gestion rigoureuse de l'irrigation est également essentielle à la santé des sols. Les apports d'eau doivent être planifiés et le drainage contrôlé pour éviter l'arrosage insuffisant ou superficiel (qui compacte le sol), ou au contraire l'arrosage excessif. L'arrosage excessif peut lessiver les nutriments et engorger (saturer) les sols. L'utilisation d'une eau de mauvaise qualité peut également conduire à une accumulation de sel qui dégrade sérieusement l'activité microbienne du sol, la disponibilité des nutriments et la croissance des cultures.

Il est également très important de contrôler minutieusement les pratiques culturales sur les terrains en pente dans le cadre de la gestion de l'eau. Les sols nus sur les terrains pentus donnent lieu à un ruissellement accru (et à des pertes d'eau plus considérables) pendant les précipitations et l'irrigation. Ceci peut conduire à une érosion du sol, lorsque la couche arable fertile est lessivée vers le bas de la pente. Les pratiques telles que le paillage, les cultures de couverture et la plantation suivant les lignes de niveau peuvent contribuer à réduire le ruissellement et l'érosion.

Les agriculteurs peuvent rechercher les signes d'une mauvaise gestion qui détériore le sol. La présence de flaques persistantes, de zones de mauvaise croissance des cultures et d'algues vertes en surface, ainsi que de dépôts de sel sont des signes que la parcelle est touchée par des problèmes qui doivent être traités. Les rigoles à la surface du sol, l'eau des rivières et de ruissellement troublée par des particules de sols, les racines exposées et les dépôts de sol au pied des pentes, sont tous des signes d'érosion du sol.



Figure 1 - Signes d'érosion du sol avec perte de la couche arable du sol et croissance retardée de la culture

La partie 1, chapitre 3, du présent manuel apporte des informations plus approfondies sur les interactions entre le sol, l'eau et la croissance des cultures.

11.1.2. Analyse de la rentabilité

Cultiver sur des sols en bonne santé, particulièrement sur des sols qui ont une capacité de rétention d'eau élevée, demande moins d'eau pour satisfaire aux besoins des cultures que cultiver sur des sols de mauvaise qualité. La bonne santé des sols accroît la rentabilité hydraulique, ce qui conduit à des économies directes sur le coût de captage et de pompage de l'eau.

De plus, les sols qui ont une teneur en matière organique élevée, une composition microbienne saine, un cycle et une disponibilité d'éléments nutritifs optimaux, ainsi qu'une bonne structure et une aération suffisante, sont généralement plus productifs : ils donnent de meilleurs rendements, nécessitent des coûts d'intrants inférieurs (fertilisants et eau) et permettent une meilleure rentabilité économique.

11.2. GÉRER LES SOLS POUR UNE UTILISATION EFFICACE DE L'EAU

11.2.1. Analyses et cartographie du sol

L'amélioration de la gestion des sols commence par la création d'une carte indiquant les types de sol présents dans les différents lieux autour de l'exploitation agricole. Cette carte fournit les informations de base qui sont nécessaires pour élaborer un plan en vue d'une meilleure gestion des sols. La carte des sols est également utile pour mettre en œuvre un plan et un calendrier d'irrigation plus précis.

Les cartes des sols peuvent aller des plus simples aux plus complexes, selon le type d'exploitation agricole et les ressources disponibles. Les cartes les plus élémentaires sont constituées de schémas tracés à la main, tandis que les plus sophistiquées s'appuient sur des techniques de cartographie numérique.

La première étape consiste à réaliser une étude pédologique pour enregistrer les types de sol et leurs propriétés dans les différents endroits autour de l'exploitation agricole, particulièrement dans les zones de cultures. Dans le contexte de la gestion

de l'eau, les critères essentiels dont il faut tenir compte sont la texture du sol, la structure du sol, et la teneur en matière organique. Les différentes catégories de sol trouvées aux différents endroits peuvent ensuite être portées sur la carte.

Plutôt que de préparer une nouvelle carte uniquement pour le sol, les exploitations agricoles/commerciales (particulièrement les petites exploitations) peuvent juger commode d'ajouter simplement cette information aux cartes des eaux qui existent déjà sur leur exploitation agricole. En plus d'éviter un travail supplémentaire, le fait d'avoir toutes les informations sur une même carte aide à visualiser le type et les caractéristiques des sols en fonction des parcelles/des cultures, des particularités topographiques (notamment des pentes), des sources d'eau, du ruissellement, des systèmes de stockage et de transport de l'eau, etc.

11.2.1.1. Effectuer une étude des sols

1. Si possible, procurez-vous auprès de sources officielles les informations existantes sur les types et les caractéristiques des sols de la zone. La plupart des pays disposent de cartes nationales des sols, et le ministère de l'agriculture ou les services locaux de conseil agricole ont généralement des informations sur les principales caractéristiques des sols de chaque région. Si ces informations ne sont pas disponibles, une carte mondiale des sols est publiée sur le site Web de l'ISRIC, le Centre international de référence et d'information pédologique (www.soilgrids.org). Ce site Web présente la classification des sols, leur texture (sable, limon, argile), leur teneur moyenne en matière organique, ainsi que l'acidité ou le pH dans le monde entier. Certaines connaissances dans les domaines des systèmes d'information géographique et de la gestion de données peuvent se révéler utiles pour utiliser ce site efficacement.
2. Dressez une carte de l'exploitation agricole ou utilisez la carte des eaux de l'exploitation déjà existante, ajoutez le plan puis indiquez un numéro pour chaque parcelle.
3. Effectuez une étude simplifiée de toutes les parcelles de l'exploitation agricole pour identifier les différentes catégories de sols [zones ou groupes de parcelles où les sols sont similaires du point de vue de la texture (voir l'encadré 1) et de la couleur]; inscrivez sur la carte les zones ou parcelles avec chacune de ces catégories de sol.
4. Pour chacune de ces catégories de sol, prélevez plusieurs échantillons de sol à la profondeur des racines. Le nombre des échantillons nécessaires pour chaque catégorie dépend de la superficie de la zone et des variations dans celle-ci (par exemple en raison de pentes, des ravines). Pour obtenir des informations détaillées sur les caractéristiques du sol, il convient de faire analyser ces échantillons par un laboratoire. Une autre solution consiste à effectuer de simples évaluations qualitatives du sol dans chaque zone (à une profondeur de 100 cm, si possible) pour estimer la texture du sol (à l'aide de la méthode présentée dans l'encadré 1) et la structure du sol (encadré 2).

Encadré 1. La texture du sol

Il y a trois catégories principales de sol en fonction de leur texture : les sols sablonneux, les sols limoneux, et les sols argileux.

La texture du sol est le principal facteur déterminant la capacité de rétention d'eau. Les sols sablonneux retiennent moins d'eau que les sols limoneux, qui retiennent eux-mêmes moins d'eau que les sols argileux. De façon analogue, les sols sablonneux peuvent contenir moins de matière organique que les sols limoneux, qui peuvent eux-mêmes contenir moins de matière organique que les sols argileux.

Pour déterminer la texture basique d'un sol, prenez une poignée de sol humide dans la zone radiculaire, et compressez la terre pour former une boule. S'il est impossible de former une boule, ou si la boule se désintègre presque immédiatement, la texture du sol est principalement sablonneuse. Si le sol reste en boule mais que la boule se brise lorsque vous la tapotez, le sol est principalement limoneux. Si le sol reste en boule même lorsqu'il est tapoté, il est principalement argileux.

Encadré 2. La structure du sol

La structure du sol décrit la manière dont les agrégats solides de terre s'agglomèrent ou se massent en laissant des pores (ou espaces) entre eux. Une bonne structure de sol présente des assemblages élémentaires (agrégats) dotés de pores qui permettent le passage de l'air et de l'eau. La structure dépend essentiellement des éléments à l'origine de la formation du sol, mais elle est aussi influencée par des facteurs de gestion, notamment la technique de culture, l'irrigation et la teneur en matière organique.

Les structures du sol sont classées en fonction de leur niveau de cohésion (ou agrégation). Normalement, on dénombre quatre classes de structure, mais pour plus de simplicité, trois classes seulement sont utilisées ici :

0. Aucune structure. Le sol est composé d'une masse d'argile d'apparence solide, ou d'un ensemble très meuble (sable). La capacité de rétention d'eau est faible.
1. Structure faible. Cette structure présente un petit nombre d'agrégats (petits assemblages élémentaires) dans un sol qui est principalement désagrégé. La capacité de rétention d'eau est limitée.
2. Structure modérée à forte. Cette structure est composée principalement d'agrégats distincts qui ne se détachent pas facilement, et d'une faible quantité de sol désagrégé. La capacité de rétention de l'eau est bonne.

La méthode suivante donne une idée approximative de la structure du sol :

- Creusez une fosse de 60 cm de profondeur et examinez le profil de la fosse (ou prélevez un échantillon de sol avec une sonde, si vous en avez une). Observez si le sol semble être a) complètement meuble (sablonneux) ; b) un bloc solide, ou c) si des assemblages élémentaires de sol (agrégats) sont visibles.
- Si vous n'êtes pas sûr, prélevez un morceau pour l'examiner de près.
 - S'il est solide (massif) ou complètement meuble sans aucune motte élémentaire (agrégats), le sol n'a pas de structure (classe 0).
 - S'il y a un nombre limité d'agrégats, avec du sol meuble ou du sol compact et massif entre eux, la structure est faible (classe 1).
 - Si le sol est composé en majorité de petites mottes et d'agrégats, il possède une structure modérée à forte (classe 3).



11.2.2. Capacité de rétention d'eau du sol

Grâce aux informations obtenues sur la texture et la structure du sol, les sols de l'exploitation agricole peuvent être classés et marqués sur la carte en fonction de leur aptitude probable à retenir l'eau, en utilisant la classification proposée au tableau 1.

Tableau 1 : Capacité de rétention d'eau en fonction de la texture et de la structure des sols

Texture du sol	Aucune structure	Structure faible	Structure modérée à bonne
Sablonneuse	Très faible	Faible	Moyenne
Limoneuse	Très faible à faible	Moyenne	Bonne
Argile	Faible à moyenne	Moyenne à bonne	Bonne à très bonne
Tourbe/ principalement organique	Bonne	Bonne	Bonne

Une fois qu'on a une bonne vue d'ensemble des différents sols sur l'exploitation agricole et de leur capacité de rétention d'eau respective, la teneur en humidité du sol peut être contrôlée. Cette opération doit faire partie de la gestion régulière pour garantir une planification efficiente et efficace de l'irrigation. Le tableau 2 propose une méthode simple et pratique pour estimer la teneur en humidité des sols.

Tableau 2 : Méthode simple pour estimer l'humidité du sol

Source : Colorado State University Extension, *Estimating Soil Moisture, Fact Sheet N° 4700*

Déficit hydrique du sol	Texture moyennement grossière	Texture moyenne	Textures fine et très fine
0 % (maximum = capacité au champ)	Lorsque l'on compresse la boule, aucune eau ne s'écoule sur le sol, mais elle laisse une trace d'humidité sur la main		
0-25 %	Forme une boule peu solide qui se casse facilement lorsqu'on la fait sauter dans la main*	Forme une boule très flexible, qui se lisse facilement*	Forme facilement des rubans lorsqu'on presse la terre entre le pouce et l'index*
25 %-50 %	Forme une boule qui se désintègre lorsqu'on la fait sauter*	Forme une boule; se lisse sous la pression*	Forme une boule, forme un ruban entre le pouce et l'index*
50 %-75 %	Apparence sèche; aucune boule ne se forme sous la pression*	Grumeleuse, reste agrégée sous la pression*	Un peu flexible, forme une boule sous la pression*
75 %-100 %	Sec, meuble, passe à travers les doigts	Poudreux, s'effrite facilement	Solide, difficile à briser pour faire de la poudre

*Comprimez fermement une poignée de terre pour faire le test de la « boule »

11.2.3. Améliorer la capacité de rétention d'eau du sol

L'objectif d'une exploitation agricole est de réduire les pertes d'eau par ruissellement, par évaporation ou par drainage. On peut atteindre cet objectif en améliorant la capacité du sol à retenir l'eau qui lui est apportée par l'irrigation ou les précipitations. Voici quelques méthodes pour y parvenir :

- **Réduire l'évaporation.** En appliquant un paillage à la surface du sol, en utilisant une technique sans labour, en effectuant un travail de conservation du sol ou un travail du sol superficiel avec semis direct. D'après la FAO (1998)²⁸⁰, l'utilisation d'un paillage plastique pour cultiver les tomates irriguées par un système de goutte-à-goutte entraîne une réduction de 35 % des pertes d'eau par évapotranspiration. La *Texas Cooperative Extension* (2006)²⁸¹ indique que l'évapotranspiration baisse de 25 % lorsque l'on a recours à des paillages organiques, comme les écorces de pin. Le paillage plastique permet généralement de réduire plus efficacement l'évapotranspiration que le paillage organique; cependant, un paillage organique de bonne qualité contribue

280 www.fao.org/docrep/x0490e/x0490e00.htm.

281 aggie-horticulture.tamu.edu/newsletters/hortupdate/hortupdate_archives/2006/nov06/ScienceFair.html.

également à accroître la teneur du sol en matière organique. La limitation du travail du sol a également un effet positif sur la teneur du sol en matière organique.

- **Préserver et gérer la structure du sol et la teneur en matière organique.** Comme on l'a noté précédemment, la meilleure structure que le sol puisse avoir est une structure meuble et friable doté d'agrégats, car elle permet à l'eau et à l'air de pénétrer rapidement. Les deux méthodes principales pour améliorer la structure du sol sont les suivantes :
 - a. ameublir le sol ;
 - b. maintenir une teneur élevée en matière organique.

La matière organique n'absorbe donc pas seulement l'eau, elle contribue également à la formation des agrégats de terre qui améliorent la structure du sol et donc la perméabilité et la capacité de rétention d'eau. Les pratiques agronomiques ont une incidence considérable sur ce facteur, et les teneurs peuvent être augmentées simplement par apport de matière organique. On peut apporter de la matière organique (par exemple) en laissant les résidus des cultures et les racines sur et dans le sol après la récolte, en répandant des engrais organiques, ou en semant et en incorporant des engrais verts. La rotation des cultures peut également être utilisée pour augmenter la teneur en matière organique ; les résidus de céréales apportent une grande quantité de matière organique dans le sol, tandis que les résidus de légumes en apportent très peu. Le drainage et la gestion de l'engorgement sont aussi essentiels.

- **Limiter le ruissellement.** Le travail de conservation du sol et le paillage organique limitent le ruissellement en permettant à l'eau de s'infiltrer dans le sol.
- **Autres pratiques agricoles :**
 - les rotations des cultures pour la conservation du sol aident à réduire le ruissellement et à améliorer la structure du sol ;
 - les haies brise-vent contribuent à réduire l'évapotranspiration des cultures (pour plus d'informations, voir la partie 1, chapitre 6).

Gérer les sols pour améliorer la rétention d'eau

Connaissez-vous les types de sols sur votre exploitation agricole, et savez-vous s'ils sont majoritairement sablonneux, limoneux ou argileux ?

Pouvez-vous dessiner une carte sommaire des types de sol que l'on trouve sur votre exploitation agricole ?

Évaluez-vous régulièrement l'humidité du sol ?

Comment pouvez-vous améliorer la capacité de rétention d'eau de votre sol ? Appliquez-vous l'une de ces méthodes sur votre exploitation agricole ?



11.3. EXEMPLE

11.3.1. Susan et Kioko

Récemment, Kioko s'est rendu compte que pour une même culture, avec un apport d'eau égal, certaines plantes poussaient plus vite que d'autres selon leur situation dans la parcelle. Il s'est rappelé ce qui avait été expliqué pendant la formation AgriWaterProofs à propos des caractéristiques du sol et de la rétention d'eau. En parcourant sa parcelle pour l'examiner de plus près, il s'est aperçu que la texture du sol variait d'une zone à l'autre. Il s'est souvenu qu'on avait parlé de ce phénomène pendant le cours, et qu'il était important de connaître la texture et la capacité de rétention d'eau du sol. Il a décidé de tester certains échantillons de sol en prélevant des poignées de sol humide dans la zone racinaire et en les écrasant pour former des boules, comme on le lui avait expliqué pendant la formation. Avec certains échantillons de terre, les boules se sont immédiatement désagrégées, tandis qu'avec d'autres, les boules sont restées entières. Après cela, il a décidé de dresser une carte sommaire de son champ pour localiser les différentes textures de sol (en utilisant l'encadré 1 fourni lors de la formation). Il a également réalisé qu'il pouvait estimer le déficit hydrique du sol en utilisant une méthode simple consistant à compresser une poignée de terre et à évaluer la sensation laissée par la boule formée (tableau 2). Grâce à cette information, il saura si ses cultures ont besoin d'être irriguées.



Kioko est maintenant conscient qu'il doit prendre soin de ses sols et de leur structure, et qu'il devra essayer d'améliorer leur état. Il décide de procéder à un travail de conservation du sol en laissant dans le champ les résidus de plants de tomates de la saison précédente, et en se contentant de nettoyer et d'ameublir des bandes étroites pour la prochaine plantation. Pendant la formation, il a appris que le ruissellement diminuerait probablement grâce à cette technique, ce qui serait fort appréciable, parce que la dernière fois, il a eu des problèmes parce que l'eau d'irrigation n'avait pas bien pénétré dans le sol et s'était en grande partie échappée de son champ par ruissellement, ce qui a été un fameux gaspillage. Il espère que cette méthode de travail de conservation du sol l'aidera à améliorer son sol et à retenir plus d'eau pour ses cultures.

Susan a aussi rencontré des problèmes de sol dans certaines parties de son champ, et elle s'inquiète de ne pas satisfaire aux exigences de l'audit GLOBALG.A.P. Elle souhaite en savoir plus sur les structures et les textures du sol qui se trouvent sur son exploitation agricole, pour pouvoir planter et irriguer de façon plus efficace. Elle a décidé de rendre visite à sa sœur à Nairobi qui a un ami analyste en systèmes d'information géographique. Avec son aide, elle a téléchargé une carte des sols où elle a trouvé des informations pédologiques précises sur la région dans laquelle son exploitation agricole se trouve. Grâce à cette information, elle peut étudier et classer la capacité de rétention d'eau du sol pour chaque zone de son exploitation agricole (tableau 1). Pour mieux connaître la structure du sol, elle demande à ses ouvriers de creuser des fosses de 60 cm de profondeur à certains endroits de son champ. Elle découvre qu'à certains endroits, les agrégats de sol sont trop meubles. Néanmoins, la plupart des agrégats sont uniformes, ce qui démontre que le sol présente une bonne structure et une bonne capacité de rétention d'eau. Dans les zones où la structure est moins favorable, elle demande à ses ouvriers d'apporter des résidus végétaux au sol pour accroître la quantité de matière organique et donc la capacité de rétention d'eau. Elle pense également à pailler son champ avec du foin sec qu'elle se procurerait chez ses voisins (elle pourrait l'obtenir à très bon prix), ainsi qu'à pratiquer la rotation de ses cultures. Elle ne sait pas exactement quelle quantité d'eau ces pratiques lui permettront d'économiser; elle doit commencer à enregistrer ces informations pour mieux comprendre le phénomène. Elle va certainement commencer à comptabiliser de façon plus systématique les arrivées et sorties d'eau sur son exploitation agricole.

Chapitre 12

L'évaluation des risques liés à l'eau

12.1. Pourquoi évaluer les risques liés à l'eau?	312
12.2. Les principes de l'évaluation des risques liés à l'eau	313
12.3. Outils permettant d'évaluer les risques liés à l'eau en entreprise	315
12.4. Exemple	322

12.1. POURQUOI ÉVALUER LES RISQUES LIÉS À L'EAU ?

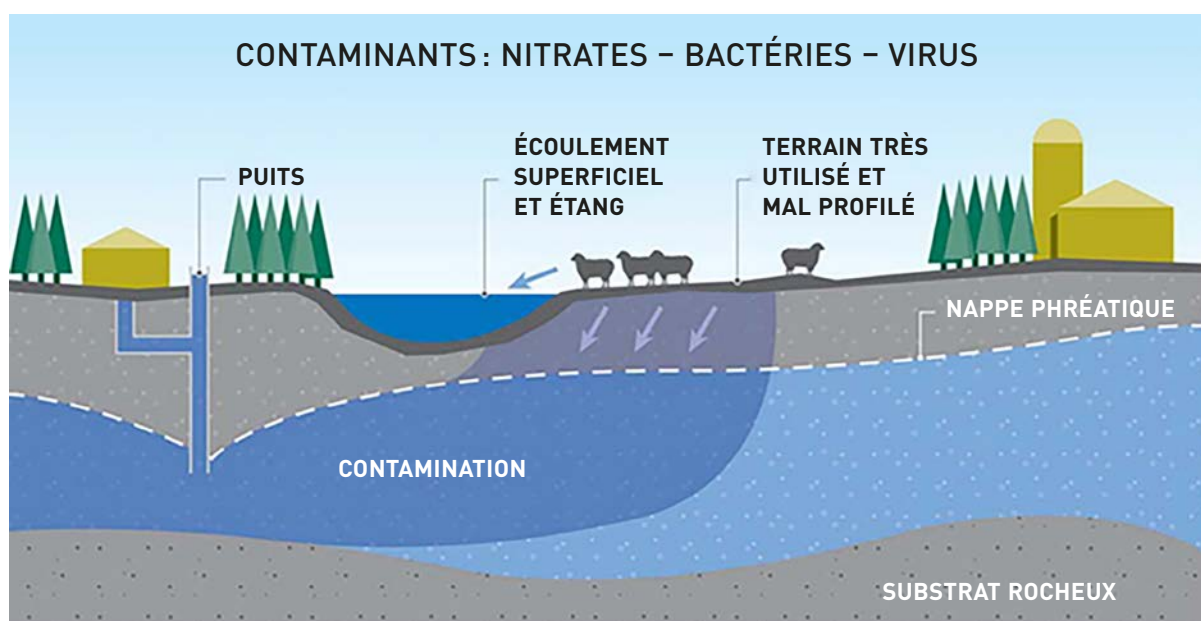
12.1.1. 12.1.1. Vue d'ensemble

L'évaluation des risques est simplement un processus dont l'objet est de réfléchir systématiquement aux dangers qui pourraient s'avérer nuisibles pour les personnes, l'environnement, les produits et votre entreprise, et de décider de prendre ou non des mesures raisonnables afin de prévenir ces risques. L'objectif **n'est pas de créer une surcharge de travail ou des formalités administratives supplémentaires, mais bien de définir les mesures raisonnables à adopter afin de maîtriser les risques dans votre entreprise.**

En sa qualité d'intrant crucial, l'eau devrait faire partie intégrante de l'évaluation des risques pour l'ensemble de l'exploitation agricole. Les autres éléments à examiner sont, entre autres, les sols, l'utilisation antérieure des terres, la législation et l'accès aux terres, qui peuvent tous avoir une incidence sur l'entreprise et sur les parties concernées qui y sont associées.

L'évaluation des risques liés à l'eau sur une exploitation ou dans une entreprise agricole et ses environs aide :

- à comprendre les problèmes hydriques auxquels l'exploitation, ainsi que la zone et la communauté environnantes (autrement dit, le bassin hydrographique dans lequel l'exploitation se trouve) sont confrontées ;
- à obtenir des informations de première main qui permettront de donner la priorité aux actions en rapport avec l'eau au niveau de l'exploitation et du bassin hydrographique ;
- à gérer les risques plus efficacement, en sachant comment et où les mesures d'atténuation peuvent être prises ;
- à éviter les dépenses inutiles dues à la mauvaise gestion de l'eau, et à être plus résilient en matière d'eau ;
- à déterminer les possibilités de gérer les risques et, dans le même temps, à améliorer la productivité, la rentabilité et la viabilité générale de l'entreprise.



12.2. LES PRINCIPES DE L'ÉVALUATION DES RISQUES LIÉS À L'EAU

12.2.1. Les types de risque

Dans toute évaluation des risques liés à l'eau, les risques sont évalués à deux niveaux :

1. interne (l'exploitation agricole/l'entreprise),
2. externe (le bassin hydrographique).

Dans une entreprise horticole, les risques internes liés à l'eau sont les risques associés à la production et à la gestion des cultures/marchandises après la récolte. Par exemple :

- la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation crée un risque de contamination des cultures, de dégradation de l'équipement d'irrigation, et de salinisation. Si une entreprise ne mesure pas la qualité de l'eau d'irrigation, le risque augmente, parce que l'exploitation/l'entreprise ne sait pas si la mauvaise qualité nuit aux produits, elle n'est pas en mesure de fournir cette information au moment des inspections/audits, et elle ne prend pas les mesures nécessaires pour résoudre (atténuer) les problèmes.
- Plus une exploitation/une entreprise doit utiliser d'eau, plus le risque est élevé, car elle est plus sensible et vulnérable aux pénuries d'eau, au prix de l'eau et aux réglementations sur l'eau. Si l'entreprise ne tient pas de registre de captage et n'évalue pas ses pratiques agricoles quotidiennes sous l'angle de l'utilisation de l'eau, elle aggrave les risques.
- Le manque de données est lui-même considéré comme un risque élevé, simplement parce qu'il est impossible de prendre des décisions de gestion sans une bonne compréhension de la situation.

Les risques liés au bassin hydrographique concernent la situation hydrique en dehors de l'exploitation, mais à l'intérieur du bassin hydrographique dans lequel celle-ci se trouve.

- Les risques externes sont par exemple la rareté de l'eau au niveau du bassin hydrographique (ou une prévision de futurs problèmes de rareté dus au changement climatique), des niveaux élevés de pollution, ou des écosystèmes qui sont menacés par les activités humaines.

S'il est relativement facile pour une entreprise d'évaluer et de gérer ses risques internes liés à l'eau, la gestion des risques externes peut cependant s'avérer difficile. Au niveau du bassin hydrographique, les risques sont partagés par tous les agriculteurs et autres utilisateurs de l'eau du bassin. Ces risques doivent être gérés collectivement, ce qui requiert un dialogue et une coopération entre toutes les parties.

Pour effectuer une évaluation des risques liés à l'eau, des données sur la quantité et la qualité de l'eau sont nécessaires, ainsi que des données sur les pratiques agricoles et sur le climat, entre autres. Le chapitre 14 récapitule les données nécessaires pour évaluer les risques liés à l'eau afin d'établir le plan de gestion de l'eau global de l'entreprise.

Les risques tant internes qu'externes se subdivisent en quatre catégories : physiques, réglementaires, pour la réputation et financiers. Le tableau 1 donne une vue d'ensemble de chacun ces risques.

Tableau 1 : Les risques liés à l'eau²⁸²

Type de risque	Description
Risques physiques	<p>Risques liés à la quantité d'eau, qu'elle soit excessive (inondation) ou insuffisante (pénuries d'eau, sécheresse). Cela concerne aussi la qualité de l'eau, en particulier les facteurs susceptibles de limiter les possibilités d'utilisation de l'eau (par exemple à cause des niveaux élevés de sels ou d'une contamination). Risque physique peut signifier qu'une exploitation agricole ou une entreprise ne dispose pas d'eau de qualité suffisante pour couvrir l'ensemble de ses activités commerciales.</p> <p>L'incidence des activités commerciales de l'exploitation sur l'environnement et les écosystèmes aux alentours peut aussi être considérée comme un risque physique (par exemple, la pollution par les eaux usées).</p>
Risques réglementaires	<p>Risques liés à l'imposition de restrictions sur l'utilisation de l'eau par le gouvernement ou les autres organes réglementaires. Il peut, entre autres, s'agir du prix de l'approvisionnement en eau et du rejet des eaux usées, des licences d'exploitation, des droits relatifs à l'eau, des normes de qualité, des demandes de déclaration de données, et de la certification.</p>
Risque pour la réputation	<p>Risque lié à l'incidence sur la marque et sur l'image d'une entreprise, qui peut influencer les décisions d'achat des clients.</p> <p>Si une exploitation agricole ou une entreprise est associée à de mauvaises pratiques ou à des pratiques irresponsables, il en résulte un risque de réputation tant pour l'entreprise que pour les entreprises agroalimentaires qui lui achètent des produits. Dans le secteur horticole, il peut par exemple s'agir d'un conflit lié à l'accès à l'eau (par exemple lorsque la production intensive de cultures destinées à l'exportation est à l'origine de pénuries d'eau pour les petits exploitants agricoles ou les communautés locales) ou de la dégradation de l'environnement et des ressources hydriques locales à cause du rejet d'eaux usées polluées.</p> <p>Les médias, les consommateurs et les acheteurs européens (en particulier les supermarchés) sont très sensibles aux rumeurs de mauvaises pratiques de ce type et ils demandent de plus en plus aux exploitations agricoles/aux entreprises d'apporter la preuve qu'elles utilisent l'eau de façon responsable (par exemple, grâce à une certification) avant d'acheter leurs produits.</p>
Risques financiers	<p>Risques liés aux pertes de productivité et de rentabilité dues aux risques susmentionnés (y compris le prix de l'eau).</p>

282 Tableau essentiellement basé (avec des ajouts des auteurs) sur WWF& DEG, « Assessing Water Risks », 2011, awsassets.panda.org/downloads/deg_wwf_water_risk_final.pdf.

12.2.2. Les éléments d'une évaluation des risques liés à l'eau

Les éléments suivants devraient être pris en considération dans une évaluation des risques liés à l'eau (voir les chapitres entre parenthèses pour plus de détails) :

- **La qualité de l'eau.** La qualité de l'eau d'irrigation devrait respecter les directives de l'OMS et les opérations postérieures à la récolte comme le lavage des produits doivent être effectuées avec de l'eau potable (directives de l'OMS en matière d'eau potable) (chapitres 6 et 7). La qualité des eaux usées (rejetées) devrait être conforme aux réglementations ou aux arrêtés locaux et être sans danger pour l'environnement et les autres utilisateurs.
- **La disponibilité de l'eau.** L'eau doit être disponible en suffisance pour satisfaire aux besoins de l'exploitation agricole/de l'entreprise toute l'année (ou au moins pendant la saison de croissance) (chapitre 2).
- **L'autorisation d'utilisation.** Conformément aux réglementations, aux licences, aux arrêtés, aux coutumes, aux plans d'irrigation ou aux zones protégées au niveau local (chapitre 2).
- **Les inondations.** Les inondations involontaires qui entraînent une contamination microbienne et chimique des produits (chapitre 2, chapitres 6-7).

12.3. OUTILS PERMETTANT D'ÉVALUER LES RISQUES LIÉS À L'EAU EN ENTREPRISE

12.3.1. Différentes possibilités libres

Plusieurs outils libres sont disponibles pour évaluer les risques liés à l'eau dans une entreprise, comme l'Aqua Gauge de CERES²⁸³ ou le Local Water Tool de GEMI²⁸⁴.

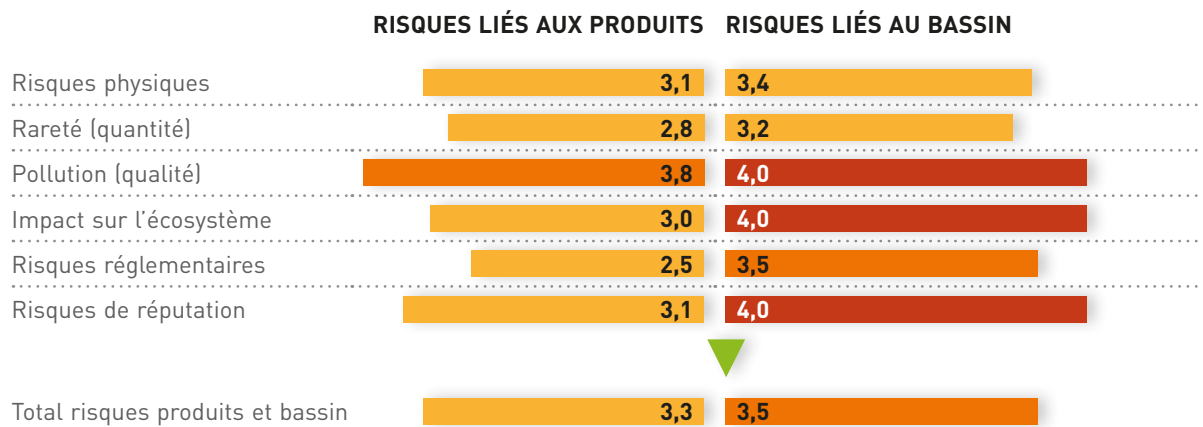
L'un des plus populaires est le Water Risk Filter, ou filtre des risques liés à l'eau²⁸⁵. Il note et classe les risques liés à l'eau d'une entreprise dans un format simple et convivial. Les notes qu'il attribue aident l'entreprise à définir les mesures à prendre pour réduire les risques et à établir des priorités parmi celles-ci. Un site Internet lui est consacré, sur lequel toute entreprise est libre de s'enregistrer comme utilisateur. Une fois sur le site, l'utilisateur localise le bassin hydrographique à l'intérieur duquel son entreprise se trouve. Il peut soit utiliser les bases de données mondiales prédéfinies (par défaut) pour réaliser une cartographie préliminaire des risques liés à l'eau, soit créer une évaluation personnalisée et plus complète en répondant à un questionnaire détaillé d'introduire les informations relatives à sa propre entreprise. Le graphique 1 montre un exemple typique des résultats générés par le Water Risk Filter.

283 www.ceres.org/issues/water/corporate-water-stewardship/aqua-gauge/aqua-gauge.

284 gemi.org/localwatertool.

285 waterriskfilter.panda.org.

GRAPHIQUE 1. RÉSULTATS DES RISQUES LIÉS À L'EAU GÉNÉRÉS PAR LE WATER RISK FILTER DU WWF POUR LA PRODUCTION DE TOMATES DANS LE BASSIN HYDROGRAPHIQUE DU GALANA, KENYA



Les risques sont notés de 1 à 5, 1 représentant un risque faible et 5 le risque le plus élevé. Les données par défaut concernant le bassin hydrographique figurant dans les bases de données mondiales ont été utilisées, et le questionnaire relatif aux risques liés aux marchandises a été complété manuellement à l'aide de données d'entrées estimées.

12.3.2. GLOBALG.A.P.

La version 5 de la norme « Integrated Farm Assurance (IFA) – Crops Base » (assurance intégrée pour les exploitations agricoles - base pour les cultures) de GLOBALG.A.P., qui est entrée en vigueur en juin 2016, comprenait pour la première fois plusieurs points de contrôle et critères de conformité (PCCC) expressément axés sur l'eau. Elle reconnaît ainsi l'importance accordée à l'utilisation responsable de l'eau par les acheteurs mondiaux dans l'industrie alimentaire et le commerce de détail, liée au risque de réputation.



En relation avec la norme IFA, GLOBALG.A.P. a préparé un guide pour une utilisation responsable de l'eau²⁸⁶ (annexe CB2) afin d'expliquer les PCCC axés sur l'eau et d'indiquer clairement aux exploitations agricoles et aux entreprises les exigences auxquelles elles doivent répondre pour réussir un audit GLOBALG.A.P.

Un des PCCC concerne l'évaluation des risques liés à l'eau, et le guide contient un résumé utile pour évaluer ces risques. Celui-ci présente des questions spécifiques pour chaque type de risque, dans le but de guider l'exploitation agricole sur la voie de l'utilisation responsable de l'eau. Pour chaque question, l'exploitation/l'entreprise est censée indiquer sa situation actuelle et dresser la liste des mesures d'atténuation prévues.

Les aspects suivants sont pris en considération :

- **les risques physiques** : la rareté de l'eau, les épisodes de sécheresse, les épisodes d'inondation, la pollution de l'eau, les sources d'eau alternatives,
- **les risques réglementaires** : le système d'affectation et de gestion de l'eau, les permis d'utilisation de l'eau, l'utilisation non autorisée de l'eau, l'utilisation prioritaire,
- **les risques pour la réputation** : les conflits liés à l'eau, les aspects environnementaux, les aspects sociaux, les aspects culturels, la gestion de l'eau par l'exploitation agricole,
- **les risques financiers** : le financement, les assurances, le prix de l'eau.

Le guide de GLOBALG.A.P. ne fournit pas de méthode de notation des risques (comme le Water Risk Filter du WWF) ni d'orientations concernant les bases de données à utiliser. Il répertorie une série de questions simples auxquelles les agriculteurs peuvent répondre de manière qualitative. Elles servent de réflexion afin de mieux comprendre les risques liés à l'eau au sein de l'exploitation agricole.

286 www.globalgap.org/export/sites/default/.content/.galleries/documents/160630_GG_IFA_CPCC_FV_V5_0-2_en.pdf.

ÉVALUER LES RISQUES LIÉS À L'EAU D'UNE EXPLOITATION AGRICOLE.

Utilisez le résumé de l'évaluation des risques de GLOBALG.A.P. afin de définir les principaux risques liés à l'eau dans votre exploitation agricole/entreprise ; préparez une liste des problèmes les plus urgents et des mesures d'atténuation nécessaires pour gérer les risques sur votre exploitation.

Source : GLOBALG.A.P. IFA V5 juillet 2016, Control Points and Compliance Criteria, Crops Base, pp. 79-82

Risque	Problème		Statut	Mesure
Risques physiques	Rareté de l'eau	Le bassin hydrographique ou la région sont-ils confrontés à un problème de rareté de l'eau dû à la surexploitation des ressources en eau ? La rareté de l'eau nuit-elle à l'utilisation actuelle ou prévue de l'eau par le producteur ? Les produits contribuent-ils de manière significative à la rareté de l'eau dans le bassin hydrographique ou dans la région, ou cela pourrait-il être le cas à l'avenir ?		
	Épisodes de sécheresse	Le bassin hydrographique ou la région sont-ils confrontés à des sécheresses en raison des chutes de pluie irrégulières ? Cela peut-il nuire à la disponibilité ou à l'utilisation de l'eau par le producteur ? Dans quelle mesure l'utilisation de l'eau par l'exploitation est-elle flexible ? Cela peut-il avoir une incidence sur les aspects environnementaux, sociaux ou culturels ?		
	Épisode d'inondation	Le bassin hydrographique ou la région sont-ils confrontés à des inondations en raison des chutes de pluie irrégulières ou de la gestion de l'eau ? Cela peut-il nuire au producteur ? Cela peut-il avoir une incidence sur les aspects environnementaux, sociaux ou culturels ?		
	Pollution de l'eau	Le bassin hydrographique ou la région sont-ils confrontés à un problème de pollution de l'eau ? Existe-t-il des sources de pollution réelles ou potentielles en amont, ou dans la même zone d'eaux souterraines que le producteur ? La pollution peut-elle nuire au producteur ? Cette pollution peut-elle avoir une incidence sur les aspects environnementaux, sociaux ou culturels ?		

Risque	Problème		Statut	Mesure
Risques physiques	Sources d'eau alternatives	Existe-t-il des sources d'eau alternatives qui ne sont pas surexploitées ou polluées ? Cette eau peut-elle être allouée au producteur (ou celui-ci peut-il y avoir accès) de façon régulière ? Cette eau peut-elle être allouée au producteur (ou celui-ci peut-il y avoir accès) s'il se trouve dans une situation extrême (sécheresse, pollution, etc.) ? Existe-t-il des installations de stockage de l'eau (neuves) pour parer temporairement aux situations extrêmes ? Quels sont les effets sur l'environnement de l'utilisation des sources d'eau alternatives ou des systèmes de stockage ?		
Risques réglementaires	Programme d'affectation et de gestion de l'eau	Le bassin hydrographique ou la région sont-ils gérés conformément à un plan ou à un programme ? Celui-ci a-t-il été établi en consultation avec le public et avec les parties intéressées, et approuvé par l'autorité compétente dans le domaine de l'eau ? Le plan est-il mis en œuvre et mis à jour régulièrement ? L'utilisation de l'eau par le producteur figure-t-elle dans le plan ou le programme ? Sinon, l'utilisation de l'eau par le producteur est-elle cohérente avec le système d'affectation et de gestion du plan ? Ce plan tient-il dûment compte des aspects environnementaux, sociaux et culturels ?		
	Permis d'utilisation de l'eau	Existe-t-il une procédure (ou une exigence) concernant un permis d'utilisation de l'eau ? Le producteur possède-t-il un permis d'utilisation de l'eau adapté à son utilisation ? Ce permis interagit-il avec d'autres permis (d'utilisation d'eau) ?		
	Utilisation non autorisée de l'eau	Le producteur utilise-t-il l'eau (en partie) sans l'autorisation nécessaire ? Les autres utilisateurs utilisent-ils l'eau sans l'autorisation nécessaire ? Cette utilisation non autorisée de l'eau peut-elle avoir une incidence sur le permis d'utilisation d'eau ou sur l'utilisation de l'eau (disponibilité) du producteur ? Cette utilisation non autorisée de l'eau peut-elle avoir une incidence sur les aspects environnementaux, sociaux ou culturels ?		

Risque	Problème		Statut	Mesure
Risques réglementaires	Utilisation prioritaire	Existe-t-il des priorités en matière d'utilisation de l'eau dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Quel est le classement du producteur par rapport aux autres utilisateurs d'eau ? Des réglementations particulières sont-elles prévues pour les situations extrêmes (sécheresse, pollution, etc.) ? Compte tenu des tendances et des scénarios actuels concernant les utilisateurs prioritaires et les situations extrêmes, existe-t-il un risque pour l'utilisation de l'eau du producteur ? Une dérogation au permis est-elle possible afin d'approvisionner un utilisateur prioritaire en eau ?		
Risque pour la réputation	Conflit lié à l'eau	Le bassin hydrographique ou la zone des eaux souterraines franchissent-ils des frontières régionales, locales ou culturelles/ethniques ? Existe-t-il des conflits liés à l'eau dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Quelles en sont les raisons ? Ces conflits sont-ils gérés dans le cadre d'un processus de résolution de conflit/de dialogue ? Le producteur est-il impliqué dans des conflits liés à l'eau dans cette région ou dans toute autre zone géographique où il est actif ? D'autres utilisateurs d'eau semblables sont-ils impliqués dans des conflits liés à l'eau dans le bassin hydrographique ou dans des zones adjacentes ?		
	Aspects environnementaux	Quel est l'état actuel de l'environnement de l'eau douce dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Quelles sont les tendances en matière d'environnement et de biodiversité dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Ces tendances peuvent-elles avoir un effet négatif sur les activités de l'exploitation agricole ? L'utilisation de l'eau par l'exploitation a-t-elle une incidence significative, directe ou indirecte, sur les caractéristiques essentielles de l'environnement ou de la biodiversité ? Le producteur a-t-il élaboré une déclaration environnementale ou un plan environnemental (publics) ? Ce plan répond-il aux éventuels conflits environnementaux ou aux éventuelles préoccupations environnementales concernant l'eau qui sont apparus ? Ce plan est-il mis en œuvre, audité et mis à jour régulièrement ? Ce plan est-il accessible au public ?		

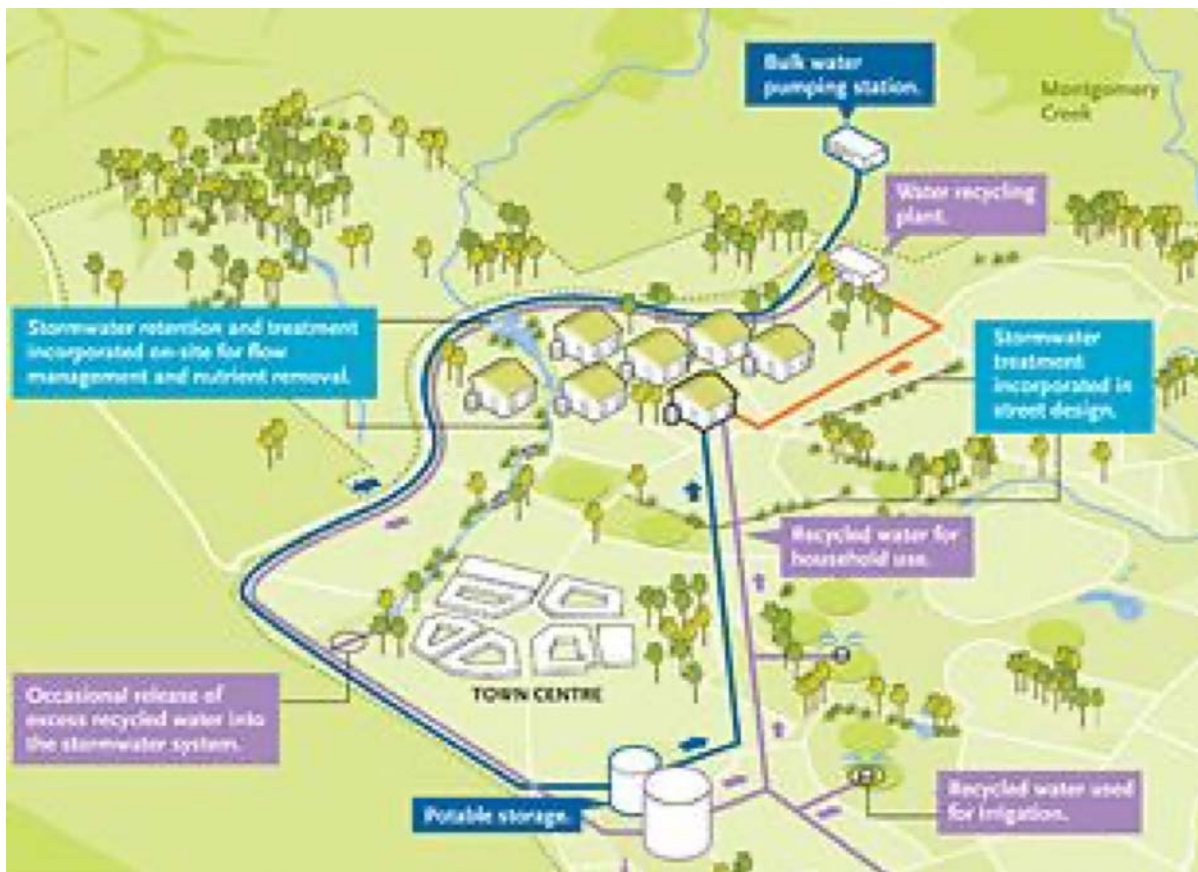
Risque	Problème		Statut	Mesure
Risque pour la réputation	Aspects sociaux	Quelle est la situation sociale actuelle concernant l'eau (accès à l'eau potable, assainissement adéquat, etc.) dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Quelles sont les tendances dans ce domaine ? Les exigences ou les revendications sociales peuvent-elles avoir un effet négatif sur les activités de l'exploitation ? L'utilisation de l'eau par l'exploitation a-t-elle une incidence significative (directe ou indirecte) sur l'accès à l'eau potable et à l'assainissement des habitants du bassin hydrographique ou de la région ? Le producteur a-t-il élaboré une déclaration ou un plan (publics) à cet égard ? Ce plan répond-il aux éventuels conflits environnementaux ou aux éventuelles préoccupations environnementales concernant l'eau qui sont apparus ? Ce plan est-il mis en œuvre, audité et mis à jour régulièrement ? Est-il accessible au public ?		
	Aspects culturels	Quels sont les principaux aspects culturels liés à l'eau dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Comment ont-ils évolué ? Les tendances, les exigences ou les revendications culturelles peuvent-elles avoir un effet négatif sur les activités de l'exploitation ? L'utilisation de l'eau par l'exploitation a-t-elle une incidence significative (directe ou indirecte) sur le patrimoine culturel dans le bassin hydrographique ou dans la région ? Le producteur a-t-il élaboré une déclaration ou un plan (publics) à cet égard ? Ce plan répond-il aux éventuels conflits environnementaux ou aux éventuelles préoccupations environnementales concernant l'eau qui sont apparus ? Est-il mis en œuvre, audité et mis à jour régulièrement ? Est-il accessible au public ?		
	Gestion de l'eau sur l'exploitation agricole	L'eau utilisée sur l'exploitation est-elle gérée conformément à un plan ? Ce plan comprend-il un registre de l'utilisation historique, actuelle et future de l'eau ? Comprend-il des dispositions relatives à l'utilisation durable et efficiente de l'eau ? Répond-il aux éventuels conflits ou préoccupations qui sont le résultat de la gestion de l'eau dans l'exploitation ? Ce plan est-il mis en œuvre, audité et mis à jour régulièrement ? Est-il accessible au public ?		

Risque	Problème		Statut	Mesure
Risques financiers	Financement	Le producteur a-t-il besoin d'un financement extérieur régulier ou périodique ? Les investisseurs (actuels et potentiels) prennent-ils les critères relatifs à l'eau en considération dans leur évaluation du financement ? Certains éléments particuliers (par exemple, le plan de gestion de l'eau, les permis d'utilisation de l'eau) sont-ils exigés par les investisseurs ? Fixent-ils des seuils à respecter pour respecter leurs critères relatifs à l'eau ?		
	Assurance	Le producteur dispose-t-il d'une assurance qui couvre ses activités ? Les compagnies d'assurance (actuelles et potentielles) prennent-elles les critères relatifs à l'eau en considération dans leur évaluation ? Certains aspects particuliers (par exemple, le plan de gestion de l'eau, les permis d'utilisation de l'eau) sont-ils exigés par les compagnies d'assurance ? Fixent-ils des seuils de risque à respecter pour remplir leurs critères relatifs à l'eau ?		
	Prix de l'eau	Le producteur paye-t-il pour utiliser l'eau ? Comment le prix, la taxe, le tarif sont-ils fixés ? Les frais d'exploitation et les externalités (environnementales) sont-ils compris ? Le système de tarification est-il stable, prévisible et transparent ? Quelle est la probabilité que les prix augmentent régulièrement ou non ?		

12.4. EXEMPLE

12.4.1. Susan et Kioko

Susan examine les documents de GLOBALG.A.P. afin de s'assurer qu'elle contrôle tout et qu'aucun nouveau problème ne va se poser plus tard. Elle comprend que l'évaluation des risques, qui permet d'apprécier les aspects environnementaux dans le cadre de la gestion de l'eau dans son exploitation, est à présent une exigence mineure, et que cela deviendra une exigence majeure (obligatoire) d'ici juillet 2017. Elle veut que son exploitation soit résiliente en matière d'eau et possède un bon rendement hydraulique, car elle est consciente de la menace du changement climatique, et elle veut assurer la future économie de l'exploitation en améliorant sa productivité, sa qualité et sa réputation.



Susan connaît bien la région et collecte des données sur son exploitation depuis quelques années concernant des facteurs tels que les volumes d'eau captés, les rendements des cultures, et l'épandage d'engrais et de pesticides. Elle ne dispose peut-être pas encore de toutes les données nécessaires pour évaluer les risques liés à l'eau, mais elle suit une formation et elle sait qu'elle peut déjà commencer à évaluer ses risques liés à l'eau avec les informations et les connaissances dont elle dispose déjà. Elle a besoin d'un cadre pour rassembler toutes les informations et pour vérifier quelles données manquent. Pendant la formation, ils ont mentionné le filtre des risques liés à l'eau (Water Risk Filter), et elle prend donc le temps de s'asseoir à l'ordinateur et de créer un profil d'utilisateur. Elle sélectionne son activité économique (l'agriculture), ses produits (les tomates et les haricots verts) et sa position géographique (bassin hydrographique du Galana, Kenya). Elle introduit les informations au mieux de ses connaissances (les méthodes d'irrigation, les données d'irrigation) et répond aux questions relatives à la protection de l'humidité du sol, aux mesures de la qualité de l'eau, etc. Quand elle n'est pas sûre, elle sélectionne une réponse dans la liste des réponses fournies, en se basant sur son meilleur jugement. Elle se rend compte qu'elle a besoin de collecter des informations plus détaillées sur tous les intrants de l'exploitation pour pouvoir répondre de manière précise. Avec les informations qu'elle fournit, le filtre des risques liés à l'eau lui attribue la note de risque la plus élevée pour la pollution de l'eau, et elle comprend que c'est parce qu'elle ne sait pas si elle respecte les réglementations sur le rejet des effluents. Mesurer la qualité des eaux usées semble être une priorité. Elle obtient aussi une note élevée pour le risque de réputation et comprend que c'est à cause des nombreux petits conflits avec les autres parties concernées du bassin (essentiellement avec

les producteurs de riz], et aussi parce qu'elle ne possède pas encore de stratégie pour l'eau ni de plan d'urgence pour répondre aux risques liés à l'eau.

Susan remplit ensuite le résumé des risques de GLOBALG.A.P. (annexe CB5) et complète les informations sur sa situation actuelle en matière de risques physiques, réglementaires, de réputation et financiers. Elle se rend compte qu'il y a certains points pour lesquels elle ne sait pas vraiment voire pas du tout quoi répondre, et qu'elle manque de données. Par exemple, elle n'a aucune idée des sources de pollution potentielles en amont, mais elle comprend désormais que cela pourrait représenter une menace pour ses cultures. En appliquant le filtre des risques liés à l'eau et le résumé des risques de GLOBALG.A.P., elle se rend compte que ses propres risques sont liés aux risques globaux du bassin hydrographique. Elle est désormais consciente qu'en plus de son exploitation, elle doit penser à son bassin hydrographique. Avec toutes ces informations, elle est à même de déterminer les mesures les plus urgentes à prendre pour combler les lacunes dans les données et réduire les risques. Pour ce faire, elle a besoin d'une stratégie claire et d'un plan d'action pour l'eau.

Kioko, bien qu'ayant pris plusieurs mesures et ayant apporté des améliorations à son exploitation agricole, reste inquiet concernant l'avenir. Il comprend désormais beaucoup mieux la valeur de l'eau et des sources d'eau auxquelles il a accès, ainsi que le changement dans les conditions climatiques, et il veut faire le nécessaire pour que la qualité de ses produits soit assez bonne pour l'entreprise dont il est le fournisseur. Ses finances et sa famille en dépendent, et il veut donc essayer de faire de son mieux pour gérer les risques potentiels qui pourraient menacer sa productivité et son rendement.

La dernière fois qu'il a suivi un cours de formation sur l'eau, il a reçu un document avec le résumé des risques de GLOBALG.A.P. Celui-ci contenait une liste de questions sur les risques physiques, réglementaires, de réputation et financiers. Il décide d'essayer de répondre aux questions, mais il se rend vite compte qu'il ne connaît pas la réponse à la plupart d'entre elles. Il y a cependant trois choses dont il est sûr : il ne possède pas les permis requis pour utiliser l'eau de la source ; ses cultures pourraient à nouveau échouer s'il n'obtient pas suffisamment d'eau ; et il ne connaît pas vraiment les besoins hydriques de ses cultures. Il pense que ces trois points sont ses risques liés à l'eau les plus immédiats et les plus urgents. Il comprend qu'il est possible qu'il soit exposé à d'autres risques liés à l'eau, comme il l'a appris au cours de formation et dans le résumé des risques de GLOBALG.A.P., mais pour l'instant, il va se concentrer sur ces trois risques prioritaires et tenter de trouver des solutions. Il veut y remédier, car il sait que sa production sera ainsi moins erratique et qu'il aura plus de chances d'augmenter sa productivité et son revenu.

Chapitre 13

Le plan de gestion de l'eau

13.1. Qu'est-ce qu'un plan de gestion de l'eau?	326
13.2. Pourquoi développer un plan de gestion de l'eau?	327
13.3. Comment développer un plan de gestion de l'eau?	328
13.4. Exemple	332

13.1. QU'EST-CE QU'UN PLAN DE GESTION DE L'EAU ?

13.1.1. Définition

Un plan de gestion de l'eau est un document écrit qui détaille toutes les mesures qu'une exploitation agricole ou une entreprise va prendre pour gérer les risques liés à l'eau, utiliser l'eau de manière plus efficace, réduire la pollution de l'eau au minimum, respecter les réglementations sur l'eau et, pour certaines entreprises, répondre aux exigences de certification.

Le plan de gestion de l'eau présente une série de mesures qui seront prises au cours d'une certaine période. Il y a lieu de contrôler régulièrement que le plan est correctement et efficacement mis en œuvre et, le cas échéant, d'adapter la mise en œuvre en fonction des résultats. Le plan lui-même devrait aussi être mis à jour régulièrement (au moins une fois par an) afin de tenir compte des changements pertinents intervenus dans l'exploitation agricole ou dans le bassin hydrographique.



Le développement et la mise en œuvre d'un plan de gestion de l'eau demandent un investissement en temps, en argent et en ressources humaines. Un plan mis en œuvre efficacement se traduira par une augmentation de la production, des coûts réduits, et une plus grande résilience, mais il a besoin de vision dès le départ, d'adhésion, d'appui et de l'enthousiasme des décideurs pour faire le pas et mettre le processus en route.

Il est aussi très important de nommer une ou plusieurs personnes sur l'exploitation ou dans l'entreprise qui seront chargées de mettre en œuvre et de contrôler les divers éléments du plan de gestion de l'eau.

13.2. POURQUOI DÉVELOPPER UN PLAN DE GESTION DE L'EAU ?

13.2.1. Les éléments

Le plan de gestion de l'eau aidera l'exploitation agricole ou l'entreprise à :

- se concentrer sur les aspects essentiels des risques liés à l'eau ;
- prendre en priorité les mesures qui permettront de gérer ou d'atténuer le plus efficacement les risques liés à l'eau ;
- réaliser une analyse risques/bénéfices et définir les pratiques agronomiques et de gestion qui peuvent être changées et qui auront le plus d'effet en termes d'une meilleure utilisation de l'eau et d'une meilleure qualité de l'eau sur l'exploitation ;
- garantir une gestion efficace de l'irrigation, de façon intégrée et durable, conformément aux pratiques agricoles, aux facteurs dans le bassin hydrographique, aux risques liés à l'eau de l'exploitation et à toutes les réglementations applicables ;
- permettre la réalisation d'une évaluation de la productivité économique de l'exploitation du point de vue de l'utilisation de l'eau (productivité économique de l'eau) ;
- respecter les réglementations et les exigences des acheteurs ;
- communiquer ses politiques et ses actions en matière d'utilisation responsable de l'eau à ses clients, à ses investisseurs et aux communautés voisines.



L'industrie agroalimentaire et les détaillants exigent de plus en plus que leurs fournisseurs disposent d'un plan de gestion de l'eau. Comme on l'a déjà dit, la version 5 de la norme GLOBALG.A.P. a vu l'ajout de critères expressément axés

sur l'eau, notamment l'élaboration et la mise en œuvre d'un plan de gestion de l'eau. Elle définit le plan de gestion de l'eau comme «un plan d'action qui vise à optimiser l'utilisation de l'eau dans une exploitation agricole et à gérer l'eau comme une ressource naturelle rare». La mise en place d'un plan de gestion de l'eau opérationnel fait partie des points de contrôle de la norme GLOBALG.A.P., et cela deviendra une exigence majeure (obligatoire) à partir de juillet 2017.

13.3. COMMENT DÉVELOPPER UN PLAN DE GESTION DE L'EAU ?

Ce chapitre fournit les grandes lignes des étapes nécessaires pour élaborer un plan de gestion de l'eau pour une exploitation ou une entreprise horticole. Il met en évidence le fait que l'exploitation à elle seule n'a pas le contrôle total de la maîtrise et de la gestion de ses risques liés à l'eau, mais opère dans un bassin hydrographique qu'elle doit partager avec d'autres utilisateurs et avec l'environnement.

Ces grandes lignes constituent un cadre que les exploitations agricoles/les entreprises peuvent utiliser pour développer leur plan de gestion de l'eau. Les différentes parties devraient pouvoir être complétées au moyen des informations et des méthodes décrites dans les chapitres précédents.

La dernière partie de ce chapitre présente les exigences particulières (le contenu attendu) d'un plan de gestion de l'eau conformément à la norme GLOBALG.A.P. Elle est donnée ici comme exemple de ce que l'on attend d'un programme de certification au niveau de l'exploitation sur le plan de la gestion responsable de l'eau. Ces deux approches suivent la même logique, mais adoptent une perspective différente sur le sujet. La première vise à aider une entreprise à intégrer l'eau dans la stratégie globale qui lui permettra d'être une entreprise productive, compétitive et durable. La seconde est davantage liée à l'accès au marché et reflète les attentes des acheteurs des chaînes d'approvisionnement mondiales en matière de preuves d'une utilisation responsable de l'eau.

13.3.1. Grandes lignes d'un plan de gestion de l'eau sur une exploitation/dans une entreprise agricole

1. **Exprimer son engagement en faveur de l'utilisation responsable de l'eau.**
Si les décideurs de l'exploitation/de l'entreprise sont convaincus, ils sont plus susceptibles d'affecter des tâches, d'allouer les ressources nécessaires, et d'apporter leur soutien aux employés chargés de mettre le plan de gestion de l'eau en œuvre.
2. **Définir les objectifs et le champ d'application du plan de gestion de l'eau.**
 - Le champ d'application peut être défini à différents niveaux : a) sur l'exploitation elle-même ou b) dans le bassin hydrographique ou c) chez les petits fournisseurs indépendants. Il peut porter uniquement sur la production des cultures ou aussi sur le lavage, le tri et le conditionnement après la récolte.
 - Exemples d'objectifs :
 - garantir un volume d'eau suffisant pour la production des cultures,

- recycler l'eau autant que possible,
 - améliorer le système d'irrigation et l'efficacité de l'irrigation,
 - aider les petits producteurs indépendants à améliorer leurs pratiques d'irrigation,
 - gérer les risques liés à l'eau conformément à une évaluation des risques,
 - se conformer aux réglementations nationales, aux exigences des acheteurs ou aux programmes de certification.
3. **Dessiner ou obtenir une carte de l'exploitation** qui montre son emplacement dans le(s) bassin(s) hydrographique(s).
 4. **Ajouter les sources d'eau et les utilisateurs sur la carte de l'exploitation.** Indiquer l'emplacement des sources d'eau bleue (chapitre 2.2). Indiquer l'emplacement des utilisateurs d'eau (en amont et en aval). Numéroté les sources et créer un tableau reprenant leurs caractéristiques respectives (y compris la qualité de l'eau, les problèmes de rareté, les autres utilisateurs, et les variations dans la disponibilité de l'eau, le cas échéant).
 5. **Tenir un registre des données climatiques** pour l'exploitation, suivant les méthodes indiquées au chapitre 9.
 6. **Prendre note des informations détaillées sur l'utilisation de l'eau par l'exploitation,** suivant l'approche décrite au chapitre 2.4. Parmi ces informations, les besoins hydriques des cultures, la consommation d'eau verte et bleue, le traitement et le conditionnement, etc. Elles devraient aussi comprendre des facteurs tels que le calendrier d'utilisation de l'eau (par exemple, le calendrier d'irrigation pendant la saison de croissance), le traitement, le recyclage et la réutilisation de l'eau. Décrire les 3 à 5 principales préoccupations en matière de disponibilité ou de rareté de l'eau.
 7. **Prendre note des informations sur la qualité de l'eau.** Parmi celles-ci, l'eau qui entre dans l'exploitation, ainsi que les eaux usées qui sont rejetées sous la forme d'effluents (avec une pollution possible), à l'aide des méthodes décrites aux chapitres 6 et 7. Déterminer les 3 à 5 principales préoccupations en matière de qualité de l'eau.
 8. **Fournir des informations sur les réglementations sur l'eau.** Toutes les réglementations nationales, tous les arrêtés locaux et toutes les coutumes applicables au(x) bassin(s) hydrographique(s) dans le(s)quel(s) l'exploitation se trouve devraient être couverts (voir le chapitre 2.2 et le chapitre 6). Répertorier les institutions ou les programmes de gestion de l'eau du secteur public pertinents, ainsi que les éventuels programmes d'irrigation privés, les processus existants ou les plates-formes de parties concernées.
 9. **Décrire les éventuels problèmes sociaux et environnementaux.** La description devrait plus particulièrement couvrir le bassin hydrographique et ses alentours. Elle pourrait (par exemple) couvrir des aspects tels que l'érosion du sol, les écosystèmes fragiles ou les zones de gestion de la biodiversité, les terres sujettes aux inondations, l'infrastructure municipale d'approvisionnement en eau et d'assainissement, les zones touchées par la pollution de l'eau. L'exploitation contribue-t-elle positivement ou négativement à ces facteurs ?

10. **Donner une vue d'ensemble des risques liés à l'eau.** Intégrer les risques liés à l'eau pour l'exploitation à traiter en priorité suivant l'approche décrite au chapitre 12.
11. **Définir des domaines d'action prioritaires** sur la base des risques liés à l'eau à traiter en priorité. Par exemple, améliorer le rendement hydraulique général (chapitre 5), l'efficacité de l'irrigation (chapitre 8), la gestion des sols (chapitre 11), l'amélioration de l'accès à l'eau grâce à la récupération et au recyclage de l'eau (chapitres 3 et 4), l'amélioration de la qualité de l'eau (chapitres 6 et 7), l'affectation d'une plus grande quantité d'eau à l'exploitation (chapitre 2), les méthodes d'irrigation et l'entretien (chapitre 8), l'utilisation des données climatiques (chapitre 9).
12. **Déterminer quelles sont les mesures rentables** pour les domaines prioritaires, suivant l'approche de la productivité économique de l'eau (chapitre 10). Utiliser ces informations pour définir un plan d'action (avec un calendrier, des objectifs et des actions).
13. **Collecter des informations et des données pour contrôler l'incidence des mesures.** Parmi celles-ci, toute réduction des risques liés à l'eau après mise en œuvre des mesures d'atténuation des risques. Il convient aussi de prendre note des économies de coût et de tout changement dans la productivité et la rentabilité (voir le chapitre 14 La tenue de registres). Sur la base des progrès accomplis, de l'incidence des mesures et des éventuels nouveaux problèmes, mettre le plan de gestion de l'eau à jour chaque année.

13.3.2. Soutenir les petits fournisseurs indépendants

Si le champ d'application du plan de gestion de l'eau couvre les petits fournisseurs indépendants, des mesures supplémentaires doivent être définies :

1. indiquer l'emplacement des petits fournisseurs sur la carte ;
2. les soutenir et les former afin qu'ils comprennent les risques liés à l'eau auxquels ils sont exposés, comment leurs activités influencent la situation hydrique locale et comment leurs activités peuvent contribuer aux problèmes hydriques rencontrés sur leur site de production ;
3. élaborer une stratégie d'engagement afin d'aider les petits fournisseurs indépendants à élaborer et à mettre en œuvre des stratégies de gestion de l'eau.

Dans la pratique, le plan de gestion de l'eau de l'exploitation devra très probablement s'accompagner en parallèle des processus suivants :

- l'application de mesures concrètes afin d'améliorer le rendement hydraulique ;
- la collecte d'informations ;
- la planification ;
- l'engagement ;
- la communication ;
- le contrôle et la gestion adaptative.

13.3.3. Le plan de gestion de l'eau et GLOBALG.A.P.

Les directives GLOBALG.A.P. recommandent vivement d'élaborer un plan de gestion de l'eau afin d'optimiser l'utilisation de l'eau et de réduire les quantités d'eaux usées²⁸⁷. Pour obtenir la certification, le plan doit être présenté par écrit et peut prendre la forme soit d'un plan individuel soit d'une activité régionale si l'exploitation agricole participe à un programme de groupe ou régional ou si elle est couverte par un tel programme. Le plan devrait être basé sur le résumé de l'évaluation des risques liés à l'eau de GLOBALG.A.P. (voir l'encadré au chapitre 12).

Quelques-uns des PCCC de GLOBALG.A.P. relatifs à l'eau constituent une ressource supplémentaire utile pour le développement du plan de gestion de l'eau (il est obligatoire de satisfaire à une exigence majeure («major must») pour obtenir la certification):



GLOBALG.A.P.

- des méthodes systématiques de prévision des besoins hydriques des cultures devraient être utilisées. Des registres des calculs et des données devraient être disponibles, notamment des cartes des sols et de la teneur en humidité des sols (recommandation);
- évitez de gaspiller l'eau en utilisant un système d'irrigation efficient (exigence majeure);
- respectez la législation sur les restrictions locales en matière d'utilisation de l'eau (recommandation);
- tenez des registres d'irrigation/de fertigation (irrigation fertilisante) (dates, volumes d'eau, durée de l'irrigation) (recommandé);
- n'utilisez pas les eaux usées non traitées pour l'irrigation (exigence majeure);
- évaluez le risque de pollution de l'eau d'irrigation chaque année (pollution microbienne, chimique et physique de toutes les sources d'eau d'irrigation/de fertigation) (exigence mineure);
- analysez la qualité de l'eau d'irrigation et prendre des mesures correctives ou des décisions si nécessaire (exigence mineure);
- captez l'eau à partir d'une source durable (exigence mineure);
- entretenez une communication écrite avec les autorités locales concernant les conseils en matière de captage d'eau (exigence mineure);
- gérez bien les produits phytosanitaires et les conteneurs (exigence mineure).

287 www.globalgap.org/export/sites/default/.content/.galleries/documents/160630_GG_IFA_CPCC_FV_V5_0-2_en.pdf.

Créer un projet de plan de gestion de l'eau

- Expliquez pourquoi vous voulez élaborer et mettre en œuvre un plan de gestion de l'eau.
- Quels sont vos principaux objectifs? Quel est le champ d'application du plan? Couvre-t-il les petits fournisseurs indépendants?
- En suivant les étapes proposées au chapitre 13.3.1, créez un plan de gestion de l'eau pour votre exploitation agricole/votre entreprise.
- Qui, sur votre exploitation/dans votre entreprise, serait chargé de développer, de mettre en œuvre et de contrôler le plan?



13.4. EXEMPLE

13.4.1. Susan et Kioko

Kioko est désormais plus conscient des risques liés à l'eau imminents auxquels son exploitation est exposée :

- a. le captage d'eau illégal,
- b. le volume d'eau insuffisant pour sa culture, et
- c. la méconnaissance des besoins hydriques de sa culture. Dans son plan d'action, il décide de s'attaquer à ces trois points.



- **Le captage d'eau illégal.** Son objectif est de s'approvisionner en eau à la source de façon légale. Il va prendre rendez-vous avec l'administration locale qui délivre les permis afin de savoir ce qu'il doit faire. Il doit aussi porter en compte le coût supplémentaire du permis/du captage. Il sait que les permis sont rares et il doit donc comprendre combien d'eau il peut effectivement obtenir de façon légale.
- **Le volume d'eau insuffisant pour sa culture.** Il sait que son demi-hectare de tomates a besoin de 4350 m³ d'eau, et que l'année dernière, il n'en a eu que 1440 m³ à partir du printemps et que la culture a échoué. Il dispose à présent de plus d'informations: il sait que la pluie peut couvrir la moitié des besoins hydriques de sa culture (217 m³ environ) et qu'il lui manque donc 735 m³ environ. Auparavant, il a envisagé de cultiver des tomates sur une parcelle plus petite de son champ, la moitié, et de creuser des rigoles. Il peut ainsi utiliser toute l'eau qu'il reçoit pour stimuler la productivité sur cette parcelle. Mais peut-il à la fois pratiquer le semis direct pour accroître la capacité de rétention du sol et utiliser des rigoles? Cela ne devrait en réalité pas être un problème, car l'eau coulera à travers les rigoles et les résidus des cultures peuvent être laissés sur les autres zones du sol. S'il cultive des tomates sur un quart d'hectare, il aura besoin de 1090 m³ d'eau d'irrigation environ, peut-être moins avec les nouvelles techniques (rigoles et semis direct). Il récupérera aussi de l'eau de son toit, qu'il stockera et utilisera en cas de sécheresse. Il a décidé de ne pas utiliser les effluents ménagers après avoir entendu que ceux-ci ne devraient pas être utilisés sans aucun traitement.
- **La méconnaissance des besoins hydriques de sa culture.** Kioko va commencer à noter la quantité d'eau qu'il déverse sur ses terres. Mais il va aussi commencer à contrôler la teneur en humidité du sol à l'aide de la méthode simple expliquée lors de la formation. Il utilisera ces informations pour déterminer quand il doit irriguer. Mais surtout, il consultera à nouveau ses données à la fin de la saison de croissance pour se faire une meilleure idée des besoins hydriques de sa culture par rapport à l'eau déversée. Il comparera ces informations aux rendements obtenus. Il intégrera aussi à l'analyse les données relatives aux précipitations (chutes de pluie) obtenues grâce à la jauge à eau qu'il a installée.

Susan se rend compte qu'outre l'évaluation des risques, elle a besoin d'un plan de gestion de l'eau; cela deviendra obligatoire pour obtenir la certification GLOBALG.A.P. à partir de juillet 2017. Elle est à un moment crucial pour son entreprise, où les exportations sont très importantes et où il y a beaucoup de concurrence de la part d'autres entreprises qui essaient de mettre leurs produits sur les marchés étrangers. C'est une opportunité commerciale à ne pas manquer. Elle tient beaucoup à faire en sorte que son audit GLOBALG.A.P. se déroule bien et elle veut s'assurer que toutes les exigences (« musts ») seront remplies à l'avance, en particulier celles relatives à la gestion de l'eau.

Elle a désormais collecté beaucoup d'informations, y compris des cartes et des photos, et ses sources d'eau sont bien identifiées.

Susan suit toutes les étapes (de 1 à 13) données dans le cours de formation afin d'élaborer un plan de gestion de l'eau de base. Ce faisant, elle découvre qu'elle a déjà effectué une grande partie du travail sur tous ces points; il ne lui reste plus qu'à

structurer les informations dans le cadre et à les mettre par écrit. Son plan d'action comprend des mesures au niveau de son exploitation et des mesures au niveau du bassin hydrographique. Parmi celles-ci :

- **au niveau de son exploitation** : utiliser l'irrigation goutte-à-goutte pour ses haricots verts, calculer les besoins hydriques des cultures, contrôler la teneur en eau du sol à l'aide d'un tensiomètre, compléter un bilan hydrique pour l'exploitation à l'aide des entrées et des sorties d'eau, amender le sol à l'aide de matière organique, en particulier dans les zones jugées critiques (exemple 11). De plus, il est clair pour elle qu'une des mesures cruciales à prendre est de contrôler la qualité de l'eau dans ses effluents des eaux usées. C'est une priorité,
- **au niveau du bassin hydrographique** : elle doit nouer le dialogue avec les autres parties concernées, en plus des membres du système d'irrigation. Elle sait qu'il existe une plate-forme pour l'eau dont les membres se réunissent deux fois par an, et elle va se renseigner afin d'en devenir membre. Elle a aussi entendu dire que les autorités du district étaient en train de préparer un plan de gestion pour le bassin du Galana, et elle doit absolument se procurer leurs rapports et toute autre information afin de pouvoir mieux évaluer les risques liés à l'eau auxquels elle est exposée. L'administration locale lui permettra d'en savoir plus à ce sujet.

Chapitre 14

La tenue de registres

14.1. Pourquoi tenir des registres?	336
14.2. Quels genres de registres faut-il tenir?	338
14.3. Les systèmes de tenue de registres	341
14.4. Exemple	343

14.1. POURQUOI TENIR DES REGISTRES ?

14.1.1. 14.1.1. Champ d'application

La tenue de registres est la collecte et le stockage des données utiles pour la gestion d'une exploitation et d'une entreprise horticole. Sur le plan de la production, des registres sont tenus sur le sol, le climat, les cultures, les engrais, les produits phytosanitaires, les mesures d'hygiène, le rendement des cultures, les petits fournisseurs indépendants, et l'eau, entre autres. Sur le plan commercial, des données sont enregistrées sur les employés, le coût des intrants, les aspects sociaux, la conformité juridique, les marchés, l'environnement, les membres de groupes ou de programmes d'agriculteurs, etc. La tenue des registres consiste à collecter, enregistrer et stocker systématiquement les données essentielles. Les registres peuvent être tenus sur papier ou de manière électronique, mais quelle que soit la méthode, un système qui permette d'accéder aisément et rapidement aux données doit être en place.

Dans de nombreux pays, les autorités nationales (par exemple, le ministère de l'Agriculture, le ministère de l'Environnement) exigent que certaines données soient collectées et conservées pendant une certaine période. Une exploitation agricole ou une entreprise qui est certifiée selon une norme privée (par exemple, GLOBALG.A.P., BRC, Organic, Fairtrade) devra aussi tenir une série de registres qui seront examinés pendant l'audit.

Même en l'absence d'exigence juridique ou commerciale particulière de tenir des registres, cette pratique devrait faire partie intégrante de la gestion d'une entreprise horticole florissante. Tenir et contrôler des registres permet de comprendre comment les facteurs clés influencent la productivité et la rentabilité de l'entreprise. Les décisions de gestion qui reposent sur des suppositions plutôt que sur une compréhension réelle de la situation sont risquées et ont peu de chances de garantir la compétitivité et la durabilité à long terme.



La tenue de registres est le fondement de tout système de gestion et de contrôle interne, notamment de la traçabilité.

Ce chapitre est consacré à la tenue de registres relatifs à l'eau. Les responsables d'une exploitation agricole doivent être conscients qu'il est fondamental de tenir des registres pour évaluer et stimuler les performances. Les registres sont vitaux pour gérer l'eau de manière efficiente et ils font partie intégrante de la gestion de l'eau, notamment de l'évaluation des risques liés à l'eau. Des registres sur l'eau sont tenus et utilisés à différents niveaux : en interne (pour guider les opérations de l'exploitation agricole), au niveau des partenaires de la chaîne d'approvisionnement (pour contrôler les fournisseurs et informer les acheteurs), et en externe (pour informer les autorités et nouer le dialogue avec les parties concernées du bassin hydrographique).

14.1.2. Bénéfices



Les bénéfices de la tenue de registres sont, entre autres, les suivants :

- un système de tenue de registres organisé donne les informations sur l'eau fondamentales nécessaires pour évaluer les **risques liés à l'eau** auxquels l'entreprise est exposée et pour préparer les **plans d'irrigation et de gestion de l'eau** ;
- cela permet de **contrôler les progrès** accomplis dans la mise en œuvre des activités de gestion de l'eau et d'évaluer **leur incidence** ;
- ces enregistrements de données donnent des informations cruciales pour **communiquer** avec les fournisseurs et les consommateurs ;
- les informations sur la situation hydrique dans le bassin hydrographique permettent à l'entreprise de repérer **les changements et les tendances dans la disponibilité et la qualité de l'eau**, et de disposer de données précises pour prendre les décisions et les mesures qui s'imposent ;
- elle fournit des données solides qui prouvent **que l'entreprise respecte les dispositions juridiques** concernant, par exemple, les permis de captage d'eau, les rejets d'eau et la qualité des effluents. La tenue de registres donne aussi à l'agriculteur la possibilité d'apporter les éventuelles modifications nécessaires avant une inspection légale ;
- elle permet de prouver aux acheteurs que l'entreprise utilise l'eau de façon responsable et d'évaluer la conformité avec des normes privées telles que GLOBALG.A.P. L'examen des registres d'une exploitation, notamment des registres sur l'eau, est un élément fondamental d'un audit de certification. La tenue de registres est une exigence majeure en vue d'obtenir la certification GLOBALG.A.P.

14.2. QUELS GENRES DE REGISTRES FAUT-IL TENIR ?

Les chapitres précédents ont décrit en détail les données sur l'eau nécessaires à la planification de l'irrigation, à l'évaluation des risques liés à l'eau et à la préparation du plan de gestion de l'eau. Ce chapitre récapitule toutes les données sur l'eau qui devraient être collectées au niveau de l'exploitation agricole.



14.2.1. Récapitulatif des données à enregistrer au sujet de l'eau

- **Les volumes d'eau captée et utilisée (par source):** pour contrôler la consommation d'eau de base dans le temps. Ce sont les données les plus fondamentales à collecter. Elles sont essentielles afin de contrôler et de démontrer l'incidence des pratiques de gestion de l'eau améliorées. Elles guident la planification de la gestion de l'eau et sont utilisées pour montrer aux parties concernées extérieures (par exemple, les communautés locales et les acheteurs) que les entreprises utilisent l'eau de manière responsable et s'attellent à en réduire la consommation.
- **Les volumes d'eau récupérée, et la capacité de stockage:** pour évaluer la capacité de résilience de l'exploitation pendant les périodes de rareté de l'eau, et pour calculer les économies de coût potentielles sur le captage de l'eau.

- **Les volumes d'eau recyclée** : pour gérer l'approvisionnement, pour rendre compte des activités de gestion de l'eau, et pour calculer les économies de coûts sur le captage de l'eau.
- **La qualité de l'eau captée**, sur la base de l'analyse des composants essentiels : pour contrôler l'évolution, remédier aux éventuels problèmes de qualité avec les organismes concernés, et orienter les éventuelles mesures d'atténuation ou de traitement nécessaires.
- **La qualité de l'eau rejetée (eaux usées)**, sur la base de l'analyse des composants essentiels : pour faire rapport aux autorités compétentes, montrer les activités de gestion de l'eau et leurs résultats, et orienter les éventuelles mesures d'atténuation ou de traitement nécessaires.
- **Les données de production**, notamment le rendement/ha et le prix/tonne : pour calculer la productivité agricole et économique de l'eau consommée, pour contrôler l'évolution, et pour calculer les avantages économiques des pratiques de gestion de l'eau améliorées.
- **L'évapotranspiration des cultures** : pour calculer l'empreinte sur l'eau bleue et verte, la productivité et donc le rendement.
- **Les volumes et le calendrier d'irrigation** : pour calculer l'empreinte sur l'eau bleue et la productivité de l'eau.
- **Les registres des problèmes/situations extrêmes hydriques** : pour mieux comprendre et prévoir les risques liés à l'eau, par exemple ceux dus à la rareté de l'eau ou aux inondations.
- **Les débordements et les incidents de pollution** dont l'exploitation agricole est victime et ceux dont elle est responsable : pour faire rapport en interne et en externe, aux autorités et aux autres parties concernées, en particulier en cas de risque pour les approvisionnements en eau potable ou pour les zones sensibles sur le plan environnemental. Ces données doivent être accompagnées d'informations sur les mesures prises pour régler le problème, et sur les éventuelles adaptations de la gestion (mesures d'atténuation) en vue d'éviter les futurs incidents.
- **Les données climatiques au niveau de l'exploitation** : des mesures détaillées de la température, des précipitations (chutes de pluie) et de l'évaporation, pour mieux gérer l'irrigation, les cultures et l'eau.
- **Les données essentielles sur le sol** (en particulier, la texture du sol, sa structure, les niveaux de nutriments et la teneur en carbone) : pour mieux comprendre et améliorer les sols, la gestion des sols et l'utilisation de l'eau.
- Les données sur le potentiel de succion du sol en temps réel, la capacité du champ : pour améliorer le volume et le calendrier d'irrigation.
- **Les informations sur le bassin hydrographique** concernant la rareté de l'eau, les niveaux de pollution, la biodiversité et les écosystèmes, et les cadres juridiques : pour l'analyse et la gestion intégrées des risques liés à l'eau.
- **Les informations sur la chaîne d'approvisionnement**, en particulier concernant les petits fournisseurs, ainsi que les exigences des acheteurs.

14.2.2. Les exigences de tenue de registres : l'exemple de GLOBALG.A.P.

Il est obligatoire de tenir des registres adéquats pour obtenir la certification GLOBALG.A.P. Les registres qui doivent être tenus sont spécifiés et sont vérifiés de manière approfondie pendant l'audit.

Dans les PCCC relatifs à l'exploitation agricole dans son ensemble. Les registres relatifs à l'eau comprennent :

- l'historique du site et la gestion du site. Des cartes de l'exploitation agricole afin de localiser les principales infrastructures, les sources d'eau, les caractéristiques paysagères et les zones de production, entre autres ;
- des informations sur les sols, les conditions climatiques, la disponibilité de l'eau, la qualité de l'eau et les droits d'eau ;
- une évaluation des risques écrite afin de déterminer les risques physiques, chimiques et biologiques potentiels, des données concernant l'utilisation précédente des terres, et les caractéristiques essentielles de l'environnement physique et social. Élaborer un plan et mettre des procédures en place afin d'atténuer et de maîtriser les risques, et mettre en œuvre des solutions à court et à long terme. Vérifier, mettre à jour et enregistrer régulièrement la mise en œuvre du plan ;
- les procédures d'hygiène concernant l'eau ;
- l'identification et l'inventaire des déchets (par exemple, papier, huiles, conteneurs et sacs vides, conduites d'eau, bois, eaux usées) et des sources de pollution potentielles (par exemple, pesticides, engrais, biocides, produits d'assainissement). Enregistrer comment ils sont éliminés pour protéger la santé des travailleurs, la sécurité alimentaire et l'environnement ;
- disposer d'un plan de conservation pour éviter les effets négatifs et pour améliorer l'environnement et la biodiversité aux alentours ;
- les éventuelles mesures mises en place pour récupérer et recycler l'eau, en tenant compte des risques pour la sécurité alimentaire.

Les registres relatifs à l'eau qui sont propres aux PCCC de la base pour les cultures comprennent :

- des informations sur les caractéristiques chimiques des matériaux ou des semences achetés ;
- un plan de gestion des sols, y compris des cartes des sols, des informations sur la rotation des cultures, le contrôle de l'érosion, le débit de semences, et les dates de plantation ;
- des informations sur les pesticides et les engrais (sources, types, dates, fréquence et méthodes d'épandage, stockage) ;
- les outils utilisés pour prévoir les besoins d'irrigation ;
- le plan de gestion de l'eau qui reprend les sources d'eau et les mesures de l'eau, afin de garantir un bon rendement hydraulique ;
- le recensement et la localisation des infrastructures hydrauliques, y compris les puits, les valves ou les vannes, ainsi que des registres d'entretien écrits ;

- les volumes d'eau, d'engrais et de pesticides utilisés ;
- la qualité de l'eau (ce qui nécessite des analyses en laboratoire) ;
- les permis et licences de captage d'eau ;
- les installations de stockage d'eau utilisées, ainsi que leurs licences, leur état et leurs caractéristiques.

14.3. LES SYSTÈMES DE TENUE DE REGISTRES

14.3.1. Les méthodes disponibles

En fonction des ressources, de la technologie et de la capacité disponibles dans l'exploitation agricole/l'entreprise, différentes méthodes peuvent être utilisées pour créer et tenir les registres de l'exploitation. Quel que soit le système utilisé, il est très important qu'au moins une personne soit chargée de coordonner la collecte des données dans chaque domaine essentiel (irrigation, production, station de conditionnement).

Les systèmes électroniques facilitent grandement le stockage, l'organisation et l'analyse des données, en particulier dans les exploitations et les entreprises plus grandes. Cependant, en milieu rural, l'accès à l'électricité et à Internet peut être limité. Si nécessaire, les données peuvent être enregistrées sur papier puis transférées sur un ordinateur portable ou fixe. Les systèmes d'enregistrement de l'information sur tablettes et téléphones intelligents sont aussi de plus en plus disponibles.

14.3.1.1. Les registres sur papier

Enregistrer les données, effectuer les calculs et dessiner les cartes de l'exploitation sont des opérations qui peuvent toutes être effectuées à la main. Comme cela risque, au fil du temps, de consommer une grande quantité de papier, il est crucial de mettre en place un système pour organiser et stocker le matériel afin qu'il soit en sécurité et aisément accessible quand on en a besoin. Pour les petites exploitations ou entreprises, en particulier en milieu rural, les registres sur papier peuvent être la solution la plus pratique et la plus abordable.

14.3.1.2. Les listes de vérification et les feuilles de calcul Excel



Les systèmes informatiques peuvent être utilisés, avec ou sans connexion internet, si les ressources et l'infrastructure nécessaires sont disponibles. De simples listes de vérification ou feuilles de calcul Excel peuvent être utilisées pour enregistrer les données et les stocker sous forme numérique, afin de pouvoir aisément y accéder, les corriger, les compléter et les analyser à tout moment. Une feuille de calcul de base pour enregistrer les différentes activités peut être téléchargée à l'adresse suivante : www.nebeginningfarmers.org/2012/04/15/15-record-keeping.

Les listes de vérification des systèmes de certification peuvent aussi être téléchargées et adaptées pour servir de cadre à un système de tenue de registres. La liste de vérification de GLOBALG.A.P. en est un bon exemple.

La liste de vérification LEAF également, qui peut être téléchargée à l'adresse suivante : www.leafuk.org/leaf/global/search.eb?terms=checklist. LEAF (*Linking Environment and Farming*) est une ONG britannique qui travaille avec les agriculteurs afin de les aider à produire des denrées alimentaires de façon durable. La liste de vérification de LEAF est plus particulièrement axée sur les critères environnementaux, dont l'eau.

14.3.1.3. Les applications en ligne/pour téléphone intelligent et les logiciels de tenue de registres haute technologie

Il existe désormais de nombreuses options sur le marché pour enregistrer tous les types de données agricoles, qui permettent aux agriculteurs d'enregistrer, de conserver et d'analyser les données en temps réel à l'aide de différents appareils, notamment les ordinateurs, les tablettes ou les téléphones intelligents. Dans ce cas, un équipement plus sophistiqué, une capacité informatique, une connexion Internet et peut-être une formation en informatique ou un soutien informatique sont nécessaires. Un exemple de cette technologie se trouve sur farmlogs.com.

Vos registres et votre système de tenue de registres actuels sont-ils suffisamment bons ?

- Devez-vous déjà tenir des registres et les mettre à la disposition d'une agence externe (par exemple, une autorité locale, un client, un système de certification) ?
- Si tel est le cas, quelle agence ? Quels registres ? Cela comprend-il des données relatives à l'eau ?
- Collectez-vous systématiquement des données sur l'eau et tenez-vous systématiquement des registres pour l'usage interne de votre propre exploitation/entreprise ? Si tel est le cas, quelles données ?
- Analysez-vous et utilisez-vous ces informations pour vous aider à prendre des décisions de gestion (par exemple, concernant les systèmes de culture, les volumes et le calendrier d'irrigation, l'investissement dans l'infrastructure hydraulique) ?
- Ces informations sont-elles suffisantes pour vous permettre de dresser un tableau complet de votre situation hydrique et de l'efficacité de vos activités de gestion de l'eau ?
- Les informations sont-elles suffisantes pour réaliser une évaluation des risques liés à l'eau et pour élaborer un plan de gestion de l'eau ?
- Quelles informations manquent, selon vous ?



14.4. EXEMPLE

14.4.1. Susan et Kioko

Kioko pense à tous les changements auxquels il a procédé sur son exploitation afin d'améliorer son rendement hydraulique. Il a entre autres calculé les besoins hydriques des cultures, mesuré l'irrigation, changé de systèmes d'irrigation, géré les sols et l'épandage de l'engrais et déterminé les risques liés à l'eau. Cependant, alors qu'il réfléchit aux prochaines récoltes et à la façon dont il va s'y prendre pour les planifier, il ne parvient pas à se souvenir du volume d'eau dont il a eu besoin pour irriguer ses tomates l'année dernière ; il a aussi oublié de noter certaines mesures des précipitations données par la jauge à eau et il ne dispose donc pas d'un tableau complet de la situation. Il se rend compte qu'il va devoir essayer d'obtenir des données sur les chutes de pluie ailleurs, et refaire tous les calculs, et cela l'ennuie.

Lorsqu'il a suivi le cours de formation sur l'eau, il a dessiné une carte de son exploitation et des sources d'eau : cela lui a été très utile et lui a permis de voir comment l'eau et le changement climatique influençaient ses cultures. Il a aussi dessiné une carte simplifiée des sols, ébauchant les différents types de sols selon leur texture, mais il ne l'a plus vraiment consultée depuis lors. Il se rend compte qu'il manque une occasion d'utiliser toutes ces informations et décide d'agir et d'y donner suite. Le lendemain, il se rend à Taveta et achète des carnets, du papier, des stylos et des dossiers pour enregistrer toutes les données qu'il possède et pour commencer à les organiser.

Alors qu'il est en ville, il croise un vieil ami qui l'informe des nouvelles réglementations plus strictes en matière de contrôle de la pollution de l'eau. Il entend aussi parler d'une chaîne de supermarchés qui recherche des producteurs locaux pour lui fournir des produits de première qualité pour un nouveau magasin à Nairobi. Cela encourage vraiment Kioko à penser à prendre davantage le contrôle de ses activités agricoles. Il veut vraiment éviter tout problème avec les autorités (et les éventuelles amendes) et est désireux d'explorer la possibilité de gagner plus d'argent avec le nouveau marché. Il sait qu'il a déjà fait une grande partie du travail et qu'il a simplement besoin de mieux organiser les informations et de les utiliser.

Avec l'aide de sa femme, il recalcule l'eau dont il a eu besoin pour irriguer l'année dernière et commence à enregistrer quotidiennement des données sur l'eau. Parmi celles-ci, les chutes de pluie, l'eau récoltée du toit, l'eau d'irrigation, les pesticides et les engrais utilisés, les dates de plantation et d'autres activités liées à la production, et le volume total d'eau utilisée. Il est ainsi plus conscient de la valeur de l'eau, en particulier alors que les permis de captage deviennent très limités et que les régimes des pluies deviennent assez imprévisibles (peut-être à cause du changement climatique).

Il se demande ensuite quelles sont les meilleures méthodes pour organiser ces registres, ainsi que les mesures qu'il doit prendre si quelque chose se passe mal. Ainsi équipé, il se sent plus à même d'étudier la possibilité d'accéder au nouveau marché dont il a entendu parler.

Maintenant qu'il a un meilleur contrôle de son exploitation, qu'il en prend davantage soin, qu'il est plus systématique et méthodique, son exploitation a l'air plus propre, les cultures semblent bien se développer, il dépend moins de l'eau achetée (au titre du permis), et il sait ce qu'il doit faire au quotidien pour que les choses continuent à bien se passer.

Susan tient un registre détaillé de nombreux critères et de nombreuses activités agricoles depuis que ses clients au Royaume-Uni lui ont demandé d'être certifiée GLOBALG.A.P.

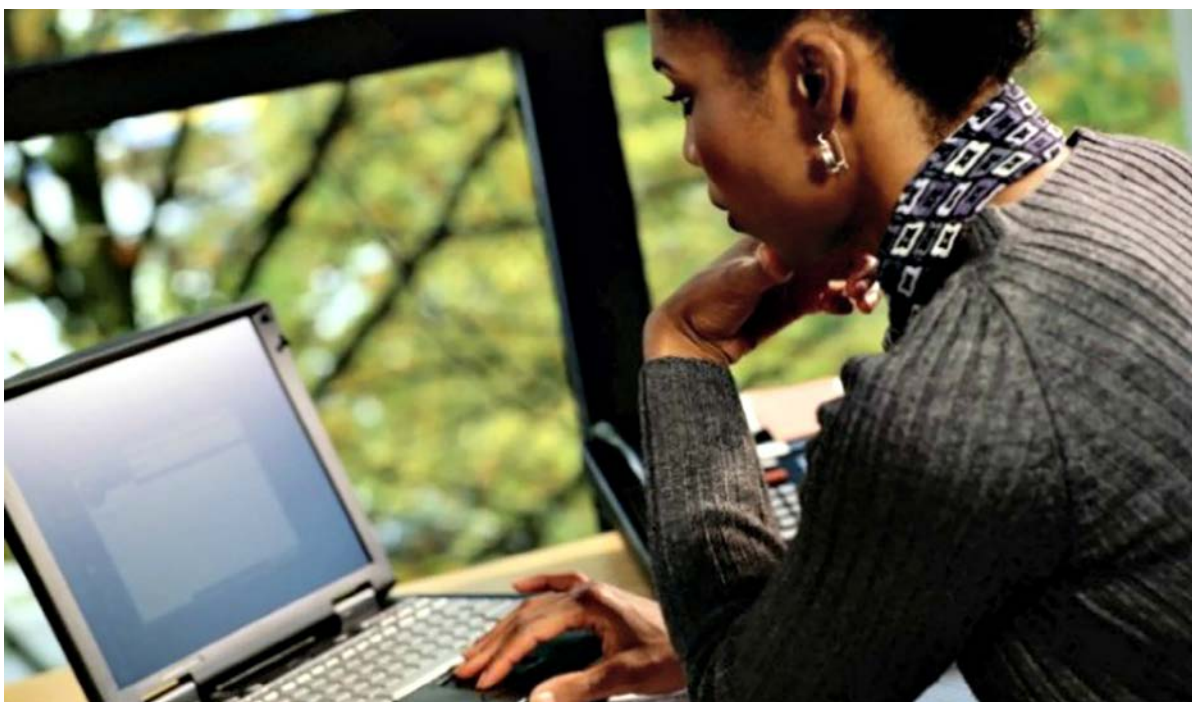
Elle a créé des cartes et des dessins des sources d'eau, elle enregistre les volumes d'engrais et d'eau utilisés, et elle a élaboré un plan de gestion de l'eau. Plusieurs points continuent cependant à lui poser problème. Parmi ceux-ci, les déchets solides qu'elle a trouvés dans le champ, et l'eau non traitée qu'elle continue de rejeter dans la rivière. Elle se rend aussi compte que la tenue de registres est une exigence majeure pour la certification GLOBALG.A.P., mais que ses registres sont incomplets et désorganisés. Elle se rappelle aussi qu'un des ouvriers lui a parlé d'un problème de sels dans le sol dont elle ne s'est pas occupée.

Elle s'est rendu compte que depuis qu'elle a commencé à enregistrer toutes ces données, les ouvriers sont beaucoup plus conscients de la manière dont ils utilisent l'eau et sont plus attentifs à cet égard. Les volumes d'eau captés ont diminué et l'exploitation a, de manière générale, un bien meilleur aspect. Elle craint pourtant que parce qu'elle ne maîtrise pas le problème des effluents, ou parce qu'elle n'a pas mis en place des mesures pour maîtriser les incidents susceptibles d'affecter ses cultures, elle pourrait avoir un problème avec

l'audit GLOBALG.A.P. Elle craint aussi de ne pas pouvoir se conformer aux nouvelles réglementations locales sur la lutte contre la pollution et la protection de l'environnement.

Sur la base de l'expérience qu'elle a acquise au cours de l'année écoulée, elle décide de se former, elle-même et peut-être certains ouvriers, à l'utilisation des feuilles de calcul Excel. En outre, elle doit créer ou trouver des modèles qu'elle pourra utiliser pour l'aider à organiser ses registres, et faire en sorte de couvrir tous les points prévus dans l'audit (liste de vérification). Elle sait aussi qu'elle doit mettre en place un système d'audit interne plus efficace afin d'être totalement prête pour la certification.

Elle comprend qu'elle aurait bien besoin d'aide et de conseils supplémentaires. Elle contacte l'association horticole nationale afin d'obtenir des informations sur les programmes d'assistance technique dans le secteur horticole susceptibles de lui apporter l'aide dont elle a besoin.





Abréviations et acronymes

ABRÉVIATIONS ET ACRONYMES LES PLUS UTILISÉS

ACP	Afrique – Caraïbe – Pacifique (pays du Groupe des ACP, ayant signé une série d'accords particuliers avec l'UE appelé «accords de Cotonou»)
AEE	Agence européenne pour l'environnement
AIC	Agriculture intelligente face au climat
AWS	<i>Alliance for water standardship</i> (Alliance pour la qualité de l'eau)
C	Symbole chimique du carbone
Ca	Symbole chimique du calcium
CAS	Coefficient d'absorption du sodium
CC	Capacité du champ
CCP	<i>Critical control point</i> (points de contrôle critiques de la méthode HACCP)
CDP	<i>Carbon Disclosure Project</i> (Projet de divulgation des émissions de carbone)
CE	Conductivité électrique
CEC	Capacité d'échange cationique
Cl	Symbole chimique du chlore
CO ₂	Symbole chimique du dioxyde de carbone
DBO	Demande biologique en oxygène
DCE	Directive-cadre sur l'eau
dS/m	Déci-Siemens par mètre
ea	Apport d'eau
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (États-Unis)
ET	Évapotranspiration
ET _p	Évapotranspiration potentielle
FAO	<i>Food and Agriculture Organisation</i> (Organisation des Nations Unies pour l'agriculture et l'alimentation)
FIDA	Fonds international de développement agricole
FNUAP	Fonds des Nations Unies pour la population

GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat
GIRE	Gestion intégrée des ressources en eau
GRAS	<i>Generally Recognised As Safe</i> (généralement reconnu inoffensive)
GSI	<i>Good Stuff International</i>
H	Symbole chimique de l'hydrogène
H₂O	Symbole chimique de l'eau
HCO₃	Symbole chimique du bicarbonate
HGCA	<i>Home Grown Cereals Authority</i>
I	Irrigation
IFA	<i>Integrated Farm Assurance</i> (référentiel)
IT	Technologies de l'information
K	Symbole chimique du potassium
K_c	Constante d'équilibre, l'équilibre d'une réaction chimique
KCl	Symbole chimique du chlorure de potassium
kPa	Kilo pascal
K_s	Coefficient de stress
K_{sat}	Perméabilité moyenne
ky	Coefficient de réponse du rendement
LEAF	Linking Environment and Farming
Mg	Symbole chimique du magnésium
MO	Matière organique
MOS	Matière organique du sol
N	Symbole chimique de l'azote
NaCl	Symbole chimique du chlorure de sodium
NU	Organisation des Nations Unies
NU DAES	Nations Unies Département des affaires économiques et sociales
O	Symbole chimique de l'oxygène

OCDE	Organisation de coopération et de développement économiques
OGM	Organisme génétiquement modifié
OMS	Organisation mondiale de la santé
P	Symbole chimique du phosphore
PAM	Programme alimentaire mondial
PAN	<i>Pesticide Action Network</i>
PCCC	Points de contrôle et critères de conformité
PF	Point de flétrissement
PFP	Point de flétrissement permanent
pH	Potentiel hydrogène
PIC	<i>Prior Informed Consent</i> (Consentement préalable en connaissance de cause : procédure PIC)
PNUE	Programme des Nations Unies pour l'environnement
PP	Percolation profonde
RC	Remontées capillaires
RFU	Réserve d'eau facilement utilisable
RHI	Rendement hydraulique d'une irrigation
RO	Ruissellement
RU	Réserve utile d'eau
S	Symbole chimique du soufre
SDT	Solides dissous totaux
SIG	Système d'information géographique
SO ₄ ²⁻	Symbole chimique du sulfite
TES	Teneur en eau du sol
UNESCO	Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture
WBCSD	<i>World Business Council for Sustainable Development</i> 5 Conseil mondial des affaires pour le développement durable ^o
WFN	<i>Water Footprint Network</i>

UE	Union européenne
WRI	<i>World Resources Institute</i> (Institut des ressources mondiales)
WRMA	<i>Water Resources Management Authority</i> (Autorité de gestion des ressources en eau)
WRUA	<i>Water resource user associations</i> (Associations d'utilisateurs des ressources en eau)
WWF	<i>World Water Forum</i> (Conseil mondial de l'eau)



Références bibliographiques

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Abbott, C.L. et Hasnip, N.J., *The safe use of marginal quality water in agriculture. A guide for the water resource planner*, HR Wallingford, Report OD 140, 1997, eprints.hrwallingford.co.uk/101/1/od140.pdf.

Agrofair Sur, « Factores que predisponen el crecimiento y desarrollo del cultivo de banano orgánico en 'Savanna grown' », TASTE, ApecolInca, Master SRL, 2011.

Agrofair Sur, « Introducción de bananos 'Savanna grown' y 'Mountain grown': hacia nuevos conceptos para una fruta tropical más sostenible. Estudio territorial ambiental y estudios de caso socioeconómicos y ambientales de fincas bananeras en Perú », TASTE, ApecolInca, Master SRL, 2011.

Alberta Water Council, « Water conservation », 2015, www.waterforlife.alberta.ca/01549.html.

Aldaya, M., García-Novo, F. et Llamas M.R., « Incorporating the water Footprint and environmental Water requirements into Policy: reflections from the Doñana region (Spain) », Papeles Agua Virtual, Madrid, Observatorio del agua, Fundacion Marcelo Botin, 2010, www.huellahidrica.org/Reports/Aldaya-et-al-2010-Donana.pdf.

Aldaya, M.M., Garrido, A., Llamas, M.R., Varelo-Ortega, C., Novo, P. et Casado, R.R., « Water footprint and virtual water trade in Spain », in *Water policy in Spain* (A. Garrido et M.R. Llamas éd.), Leiden, CRC Press, 2010, pp. 49-59.

Allen R.G., Pereira, L.S., Raes, D. et Smith, M., « Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements », Document FAO Irrigation et drainage 56, Rome, FAO, 1998.

Bachman, J. et Earles, R., « Postharvest handling of fruits and vegetables », ATTRA, 2000.

Banque mondiale, Institut des ressources naturelles et FAO, *Missing food: The case of postharvest grain losses in sub-Saharan Africa*, Rapport n° 60371-AFR, 2011, siteresources.worldbank.org/INTARD/Resources/MissingFoods10_web.pdf.

BBC news, « Kenya aquifers discovered in dry Turkana region », 2013, www.bbc.com/news/science-environment-24049800.

Bifani, P., *Medio ambiente y desarrollo sostenible*, 4^e éd., Madrid, Instituto de Estudios Políticos para América Latina y África (IEPALA), 1999.

Bihn, E.A., Schermann, M.A., Wszelaki, A.L, Wall, G.L. et Amundson, S.K., « Sanitation and Postharvest Handling Overview », 2014, gaps.cornell.edu/sites/gaps.cornell.edu/files/shared/documents/sanitation/Sanitation%20and%20Postharvest%20Handling-COMLETE-FINAL.pdf.

- BPIA, « History of biopesticides », 2015.
www.biopesticideindustryalliance.org/history-of-biopesticides.
- Broner, I., « Irrigation Scheduling », Colorado State U. Extension, 2005,
www.ext.colostate.edu/pubs/crops/04708.html.
- Brouwer, C. et Heibloem, M., *Irrigation water management: Irrigation water needs*, Rome, FAO, 1986.
- California SWRCB, « Regulation of Agricultural Drainage to the San Joaquin River: Executive Summary », California State Water Resources Control Board, Doc. n°WQ-85-1, 1987.
- CDP, « Water disclosure project », 2015, www.cdp.net/water.
- CE, Règlement (CE) 852/2004 du Parlement européen et du Conseil sur l'hygiène des denrées alimentaires, *JOUE*, 2004, eur-lex.europa.eu/legal-content/fr/TXT/?uri=CELEX%3A32004R0852.
- CE, « Traitement des eaux urbaines résiduaires », Directive 91/271/CEE, 1991, eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=CELEX%3A31991L0271.
- CE, « Objectifs de la Directive-cadre sur l'eau », 2015,
ec.europa.eu/environment/water/water-framework/index_en.html.
- CE, Directive-cadre sur l'eau, Bruxelles, 1999.
- CE, « Protection et gestion de l'eau », Directive-cadre sur l'eau 2000/60/EC, 2000,
eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/?uri=URISERV%3A128002b.
- Chandler, D., Bailey, A., Tatchell, G., Davidson, G., Greaves, J. et Grant, W., « The development, regulation and use of biopesticides for integrated pest management », *Philosophical Transactions B of The Royal Society of London*, vol. 366, n°1573, 2011, rstb.royalsocietypublishing.org/content/366/1573/1987.
- Chaplin, M., « Water phase diagram. Water structure and science », 2015,
www1.lsbu.ac.uk/water/water_phase_diagram.html.
- Chen, L., « Development of a Continuous Water Recycling Unit for Application in Postharvest Washing of Leafy Greens », Guelph U., 2013, atrium.lib.uoguelph.ca/xmlui/bitstream/handle/10214/7618/Liang_Chen_201311_MSc.pdf?sequence=1.
- Chun E. Kan, « Improving Irrigation Management Systems for Rice Farming », Department of Bioenvironmental Systems Engineering, National Taiwan University, 2004, www.fftc.agnet.org/library.php?func=view&style=type&id=20110808164432.

Clayton, R., «A Review of Current Knowledge Desalination for Water Supply», Bucks, Foundation for Water Research, 2011, www.fwr.org/desal.pdf

COLEACP, *Lutte biologique et protection intégrée*, Manuel de formation, Bruxelles, COLEACP, 2017.

COLEACP, *Principes d'hygiène et de management de la qualité sanitaire et phytosanitaire*, Manuel de formation, Bruxelles, COLEACP, 2017.

COLEACP, *Produire de façon durable et responsable*, Manuel de formation, Bruxelles, COLEACP, 2017.

Colorado geological society, «What is an Aquifer?», 2015, www.douglas.co.us/water/water-supply/what-is-an-aquifer.

Conservation Gateway, «Nature's value: water conservation through agricultural practices», 2015, www.conservationgateway.org/ConservationPractices/EcosystemServices/NaturesValues/NaturesValuesWaterConservationThroughAgriculturalPractices/Pages/nature's-values-water-con.aspx#.

Convention on Biological Diversity, «Aichi Biodiversity Targets», 2011, www.cbd.int/sp/targets/default.shtml.

Dahal, S., *Post-harvest handling of cut-flower rose*, Rampur, IAAS, 2013, www.academia.edu/3276681/POST_HARVEST_HANDLING_OF_CUT-FLOWER_ROSE.

Dingman, S.L., *Physical Hydrology*, Prentice Hall, Upper Saddle River, 1992.

Dudley, T. et Fulton, A., «Conjunctive Water Management. What is it? Why consider it? What are the Challenges?», Red Bluff, U. Ca., 2005.

EEA, *The European environment – state and outlook 2015 – synthesis report*, Copenhagen, EEA, 2015, www.eea.europa.eu/soer-2015/synthesis/report, visité le 23 septembre 2015.

EEA, «Water pollution – overview», 2008, www.eea.europa.eu/themes/water/water-pollution.

EPA, «About Pesticides», 2015, www.epa.gov/pesticides/about.

EPA, «A Citizen's Guide to phytoremediation», 2012, clu-in.org/download/Citizens/a_citizens_guide_to_phytoremediation.pdf.

EPA, «Nonpoint source: agriculture», Washington D.C, 2003, water.epa.gov/polwaste/nps/agriculture/upload/2003_09_24_NPS_agmm_chap4f.pdf.

- EPA, « Nutrient Management », 2015,
www.epa.gov/oecaagct/ag101/croplandnutrientmgt.html.
- EPA, « Parameters of water quality. Interpretation and Standards », 2001,
www.epa.gov/epaospr/owp/parameters/Water_Quality.pdf.
- EPA, « The origins of EPA », 1985, www.epa.gov/history/origins-epa.
- EPA, « Water Quality Standards Handbook », 2015,
water.epa.gov/scitech/swguidance/standards/handbook.
- ESCAP, « Guidelines for the Preparation of National Master Water Plans »,
 NU Série de ressources hydriques, n°65, 1989.
- Falkenmark, M. et Rockström, J., « The New Blue and Green Water Paradigm:
 Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management », 2006,
[ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/\(ASCE\)0733-9496\(2006\)132:3A3\(129\)](http://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/(ASCE)0733-9496(2006)132:3A3(129)).
- FAO, « Agricultural drainage water management in arid and semi-arid areas »,
 FAO irrigation and drainage paper 61, Rome, FAO, 2002,
www.fao.org/docrep/005/y4263e/y4263e00.htm#Contents.
- FAO, *Agriculture and water quality interactions: a global overview*,
 Rapport thématique 08, Rome/Londres, Earthscan, 2011.
- FAO, « Aquamaps », 2015,
www.fao.org/nr/water/infores_databases_aquamaps.html.
- FAO, *Canals*, Manuel de formation n°7, Rome, FAO, 1992,
[ftp.fao.org/agl/aglw/fwm/Manual7.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/fwm/Manual7.pdf).
- FAO, « Climate-smart agriculture source-book », Rome, FAO, 2013,
www.fao.org/docrep/018/i3325e/i3325e.pdf.
- FAO, « CLIMWAT model », Rome, FAO, 2010,
www.fao.org/nr/water/infores_databases_climwat.html.
- FAO, « Control of water pollution from agriculture »,
 Document FAO irrigation et drainage 55, Rome, FAO, 1996,
www.fao.org/docrep/w2598e/w2598e00.htm#Contents.
- FAO, « CROPWAT model », Rome, FAO, 2010,
www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html.
- FAO, *Deficit irrigation practices*, Rapport sur l'eau 22, Rome, FAO, 2000,
www.fao.org/docrep/004/y3655e/y3655e00.htm#TopOfPage.

- FAO, « Economic and social development department. Water and people. Whose right is it? », Rome, FAO, 2015, www.fao.org/docrep/005/y4555e/y4555e00.htm.
- FAO, « Fertigation », *Pressurized irrigation techniques*, 2007, [ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1336e/a1336e16.pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1336e/a1336e16.pdf).
- FAO, *Fish production in irrigation canals. A review*, Rome, FAO, 1991.
- FAO, *Grape: Post-harvest Operations. InPho Post-harvest compendium*, Rome, FAO, 2005.
- FAO, *Guidelines to control water pollution from agriculture in China. Decoupling water pollution from agricultural production*, Rapport sur l'eau FAO 40, Rome, FAO, 2013.
- FAO, *Handling and Preservation of Fruits and Vegetables by Combined Methods for Rural Areas*, Rome, FAO, 2003, www.fao.org/docrep/005/y4358e/y4358e00.htm#Contents.
- FAO, « Integrated Plant Nutrient Management », Rome, FAO, 2015, www.fao.org/agriculture/crops/thematic-sitemap/theme/spi/scpi-home/managing-ecosystems/integrated-plant-nutrient-management/ipnm-what/en/#b.
- FAO, *Introduction to Irrigation*, Manuel de formation n°1, Rome, FAO, 1985, www.fao.org/docrep/r4082e/r4082e00.htm#Contents.
- FAO, *Irrigation Methods*, Manuel de formation n°5, Rome, FAO, 1989.
- FAO, *Irrigation Scheduling*, Manuel de formation n°4, Rome, FAO, 1989.
- FAO, *Management of agricultural drainage water quality*, Rapport sur l'eau FAO 13, Rome, FAO, 1997, www.fao.org/docrep/w7224e/w7224e00.htm#Contents.
- FAO, *Mango: Post-harvest Operations. InPho Post-harvest compendium*, Rome, FAO, 2002.
- FAO, « Modern water rights. Theory and practice », Étude législative FAO 92, Rome, FAO, 2006, [ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0864e/a0864e00.pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a0864e/a0864e00.pdf).
- FAO, « New LocClim: local climate estimator », 2014, www.fao.org/nr/climpag/pub/en3_051002_en.asp.
- FAO, « Plant nutrition for food security. A guide for integrated nutrient management », Rome, FAO, 2006, [ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0443e/a0443e.pdf](ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0443e/a0443e.pdf).
- FAO, « Policy brief on Food Security », n°2, Rome, FAO, juin 2006, www.fao.org/forestry/13128-0e6f36f27e0091055bec28ebe830f46b3.pdf.

- FAO, «Save and Grow toolkit. A policymaker's guide to the sustainable intensification of small-holder crop production», Rome, FAO, 2011, www.fao.org/ag/save-and-grow.
- FAO, *Scheme Irrigation Water Needs and Supply*, Manuel de formation n°6, Rome, FAO, 1992, www.fao.org/docrep/u5835e/u5835e00.htm#Contents.
- FAO, «Simple methods for Aquaculture», Série de formations FAO, Rome, FAO, 1998, [ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/ENG_MENU.htm](ftp://ftp.fao.org/fi/CDrom/FAO_Training/FAO_Training/ENG_MENU.htm).
- FAO, «Soils portal, physical properties», 2015, www.fao.org/soils-portal/soil-survey/soil-properties/physical-properties/en.
- FAO, *The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce*, Rome, FAO, 2004, www.fao.org/3/a-y5431e/y5431e00.htm#Contents.
- FAO, «Water Quality for Agriculture», Document FAO Irrigation et Drainage n°26, Rome, FAO, 1994, www.fao.org/DOCRp/003/T0234e/T0234E06.htm, visité le 3 décembre 2015.
- FAO, «Watershed Management Field Manual. Gully Control», Rome, FAO, 1986, www.fao.org/docrep/006/ad082e/AD082e00.htm#cont.
- FAO, IFAD et WFP, «The State of Food Insecurity in the World 2015. Meeting the 2015 international hunger targets: taking stock of uneven progress», Rome, FAO, 2015, www.fao.org/3/a-i4646e.pdf.
- FloraCulture, «New post-harvest water recycling technology for the flower industry», 2015, www.floraculture.eu/?p=21172.
- French, A.N., Schugge, T.J., Kustas, W.P. et Prueger, J.H., «Evapotranspiration Estimation Using Multispectral Thermal Infrared Data from ASTER and MODIS», American Geophysical Union, Réunion automne 2009, abstract #U32A-08.
- FSA Ireland, *Code of Practice for food safety in the fresh produce supply chain in Ireland*, Dublin, FSA, 2001.
- GLOBALG.A.P., «Integrated Farm Assurance – All Farm Base – Crops Base – Fruit and Vegetables – IFA V5.0_July15», English Version Control Points and Compliance Criteria, Cologne, 2015.
- Government of Kenya, Water Act, chap. 372, éd révisée 2012, National Council for Law Reporting within the Authority of the Attorney General, Nairobi, 2012, faolex.fao.org/docs/pdf/ken37553.pdf retrieved 23 September 2015.

- Government of South Africa, National Water Act n°36 de 1998, www.acts.co.za/national-water-act-1998, retrieved 16 September 2015.
- Greene, B., «How did Water come to earth?», *Smithsonian magazine*, 2013, www.smithsonianmag.com/science-nature/how-did-water-come-to-earth-72037248/?no-ist.
- Green Farming, «Green Farming's hydroponic system in Kenyan flower farm to save 60 % irrigation water and to produce 10 % more roses», 2012, www.dutchwatersector.com/news-events/news/4017-green-farming-s-hydroponic-system-in-kenyan-flower-farm-to-save-60-irrigation-water-and-to-produce-10-more-roses.html.
- Groenfeldt, D. et Sun, P., «The concept of participatory irrigation management», *Medit*, n°2, 1997, www.iamb.it/share/img_new_medit_articoli/765_45groenfeldt.pdf.
- Gustavsson, J. et al., «Global food losses and food waste. Extent, causes and prevention», Rome, FAO, 2011, www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e.pdf.
- Hansen, R., «Water and wastewater systems in imperial Rome», *Waterhistory*, 2015, www.waterhistory.org/histories/rome/rome.pdf.
- Hanson, B., «A simple way to estimate the distribution uniformity in furrow irrigation systems», U. Ca., 2011, cetulare.ucanr.edu/files/82038.pdf, visité le 8 décembre 2015.
- Hatum, T. et Worm, J., «Rainwater Harvesting for Domestic USE», Wageningen, Agrosima et CTA, 2006, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/HATUM%20and%20WORM%202006%20Rainwater%20Harvesting%20for%20Domestic%20USE.pdf.
- Helling, C.S., Chesters, G. et Corey, R.B., «Contributions of organic matter and clay to soil cation exchange capacity as affected by the pH of the saturating solution», *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, n°28, 1964, pp. 517-520.
- Helvetas, «Advanced furrow irrigation technologies save water and increase water productivity», 2015, assets.helvetas.org/downloads/factsheet_furrow_irrigation_final_high_en.pdf.
- HGCA, *Home-grown cereals authority. Precision farming of cereals. Practical guidelines and crop nutrition*, Londres, HGCA, 2002.
- Hijmans, R.J. et al., «The WorldClim interpolated global terrestrial climate surfaces», vers. 1.3, 2004, www.worldclim.org.

- Hoekstra, A., *The Water Footprint of Modern Consumer Society*, Londres, Routledge, 2013.
- Hoekstra, A.Y. et Mekonnen, M.M., «Global water scarcity: monthly blue water footprint compared to blue water availability for the world's major river basins», *Value of Water Research Report Series*, n°53, Delft, UNESCO-IHE, 2011.
- Hoekstra, A.Y. et Mekonnen, M.M., «Water Footprint of Humanity», *PNAS*, vol. 109, n°9, 28 février 2012, www.pnas.org/content/109/9/3232.full.
- Hoekstra, A.Y., Mekonnen, M.M., Chapagain, A.K., Mathews, R.E. et Richter, B.D., «Global Monthly Water Scarcity: Blue Water Footprints versus Blue Water Availability», *PLoS ONE*, vol. 7, n°2, art. e32688, 2012, doi:10.1371/journal.pone.0032688, journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0032688.
- Hoekstra, A.Y., Chapagain, A.K., Aldaya, M.M. et Mekonnen, M.M., *The water footprint assessment manual: Setting the global standard*, Londres, Earthscan, 2011, waterfootprint.org/media/downloads/TheWaterFootprintAssessmentManual_2.pdf.
- ICID, «Pressurized irrigation», 2014, www.icid.org/press_irri.html.
- Indira, V. et Sudheer, K.P., «Postharvest Technology of Horticultural Crops», *Horticulture Science Series*, vol. 07, 2007.
- Infonet-biovision (éd.), *Water for Irrigation*, Zürich, Biovision, 2010.
- Interagency Task Force, *Irrigation Water Use and Management*, Washington, DC, US Gov't Printing Office, 1979.
- IPCC, *The Regional Impacts of Climate Change*, Rapport spécial, 2015, www.ipcc.ch/ipccreports/sres/regional/index.php?idp=11.
- ISO 14046:2014, «Management environnemental – Empreinte eau – Principes, exigences et lignes directrices», Geneva, 2014.
- Jarvis, A. et al., «Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database», 2008, srtm.csi.cgiar.org.
- Jenny, H., *Factors of Soil Formation: A System of Quantitative Pedology*, New York, Dover, 1994, www.soilandhealth.org/01aglibrary/010159.Jenny.pdf.
- Kader, A. et al., *The role of post-harvest management in assuring the quality and safety of horticultural produce*, Rome, FAO, 2004.

Kitinoja, L. et Kader, A. *Small-Scale Postharvest Handling Practices: A Manual for Horticultural Crops*, 4^e éd., U. Ca., Davis Postharvest Technology Research and Information Center, 2002, ucce.ucdavis.edu/files/datastore/234-1450.pdf.

Landis, T., Pinto, R. et Davis, A., «Fertigation – injecting soluble fertilizers into the irrigation system», *Great lakes Christmas tree journal*, 2010, christmastreeformsu.edu/pdf/nutrition_manage/Fertigation.PDF.

Library of Congress, Legislation on Use of Water in Agriculture, 2013, blogs.loc.gov/law/2014/04/legislation-on-use-of-water-in-agriculture.

Liu, C., Kroeze, C., Hoekstra, A.Y. et Gerbens-Leenes, W., «Past and future trends in grey water footprints of anthropogenic nitrogen and phosphorus inputs to major world rivers», *Ecological Indicators*, n°18, 2012, pp. 42-49.

Malesu, M.M., Oduor, A.R. et Odhiambo, O.J. (éd.), *Green Water Management Handbook. Rainwater Harvesting for Agricultural Production and Ecological Sustainability*, Nairobi, The World Agroforestry Centre, 2007, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/MALESU%202007%20Green%20Water%20Management%20Handbook.pdf.

McMahon, T.A. *et al.*, «Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data: a pragmatic synthesis», *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, n°17, 2013, pp. 1331–1363, www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/1331/2013/hess-17-1331-2013.pdf.

MDA, «Conservation practices – Minnesota conservation funding guide», 2014, www.mda.state.mn.us/protecting/conservation/practices/winderosion.aspx.

Mechell, J., «Rainwater Harvesting: Soil Storage and Infiltration Systems», The Texas A&M University System, 2005, www.ctahr.hawaii.edu/hawaiiirain/Library/papers/Mechell_Justin.pdf.

Mekonnen, M.M. et Hoekstra, A.Y., «The blue water footprint of electricity from hydropower», Department of Water Engineering and Management, U. Twente, Enschede, 2012.

Mekonnen, M., Hoekstra, A. et Becht, R., «Mitigating the Water Footprint of Export Cut Flowers from the Lake Naivasha Basin, Kenya», *Water Resources Management*, n°26, 2012, pp. 3725-3742.

Meyer, B., Newenhouse, A., Miquelon, M. *et al.*, «Post Harvest Handling for Best Crop Quality», Wisconsin School for Beginning Market Gardeners, 2001, bse.wisc.edu/HFHP/tipsheets_html/postharvest.htm.

MINISTÈRE DE L'AGRICULTURE, DE LA NATURE ET DE LA QUALITÉ ALIMENTAIRE, Pays-Bas, *IWRM: for sustainable use of water. 50 years of international experience with the concept of integrated water management*, Wageningen, 2004.

Mugira, F., « 120 M US Dollars for Lake Victoria Water and Sanitation Programme », *Water Journalists Africa*, 2011, waterjournalistsafrica.com/2011/04/20/120-m-usd-for-lake-victoria-water-and-sanitation-programme.

National Geographic, « India's Food Security Threatened by Groundwater Depletion », 2015, voices.nationalgeographic.com/2015/02/03/indias-food-security-threatened-by-groundwater-depletion.

NOAA, « Glossary of Hydrologic Terms », 2015, www.nws.noaa.gov/om/hod/SHManual/SHMan014_glossary.htm.

Nowak, J. et Rudnicki, R.M., *Postharvest handling and storage of cut flowers, floristgreens and potted plants*, Portland, Timber press, 1990, p. 210.

NSW, Department of Primary Industries, « Postharvest care of cut flowers », 2002, www.dpi.nsw.gov.au/agriculture/horticulture/floriculture/post-harvest/care.

NU, DAES, « Food and Agriculture: The future of sustainability », 2012, sustainabledevelopment.un.org/content/documents/1443sd21brief.pdf.

NU, Résolution 64/292, « Le droit fondamental à l'eau et à l'assainissement », adoptée par l'AGNU le 28 juillet 2010, www.un.org/fr/ga/64/resolutions.shtml.

NU, « Décennie internationale d'action », 2006, www.un.org/fr/waterforlifedecade/.

NU, Status Report on Integrated Approaches to Water Resource Management, Rapport sur l'eau 2012, www.unwater.org/fileadmin/user_upload/unwater_new/docs/UNW_status_report_Rio2012.pdf, visité le 15 septembre 2015.

NU, « Journée mondiale de l'eau 2010 », www.unwater.org/wwd10/index_fr.html.

OCDE, « Gestion durable des ressources en eau dans le secteur agricole », 2010, www.oecd.org/fr/tad/agriculture-durable/gestiondurabledesressourceseneaudanslesecteuragricole.htm

OMS, *Guidelines for drinking water quality*, 4^e éd., Rome, OMS, 2011, www.who.int/water_sanitation_health/publications/2011/dwq_guidelines/en.

OMS, « Wastewater use in agriculture », vol. 2, *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater*, Rome, OMS, 2006, www.who.int/water_sanitation_health/wastewater/wwvol2intro.pdf.

- Oregon Department of Agriculture, « 'Cut-off' Flood Irrigation. A management practice that works for the inland Rogue Basin », Jackson Soil and Water Conservation District, 2008.
- PAN, « Environmental effects of pesticides », 2015, www.pan-uk.org/environment/environmental-effects-of-pesticides.
- Peña Varón, M., *Waste stabilization ponds*, IRC, Cali/Leeds, 2004, www.bvsde.paho.org/bvsacd/cd27/ponds.pdf.
- Perry, C., « Efficient irrigation; inefficient communication; flawed recommendations », *Irrigation and Drainage*, vol. 56, Wiley Interscience, 2007, pp. 367-378.
- Pescod, M.B., « Wastewater treatment and use in agriculture », Document FAO irrigation et drainage 47, Rome, FAO, 1992, www.fao.org/docrep/t0551e/t0551e00.htm#Contents.
- Peter, K.V., *Basics of Horticulture*, 2^e éd., Delhi, New India publishing Agency, 2015.
- Phocaidés, A., *Technical Handbook on pressurised irrigation techniques*, Rome, FAO, 2000, [ftp.fao.org/agl/aglw/docs/pressirrig.pdf](ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/pressirrig.pdf), retrieved 8 December 2015.
- Plumer, B., « We've covered the world in pesticides. Is that a problem? », *The Washington Post*, 18 août 2013, www.washingtonpost.com/blogs/wonkblog/wp/2013/08/18/the-world-uses-billions-of-pounds-of-pesticides-each-year-is-that-a-problem.
- Porter, D. et Marek, T., « Irrigation management with saline water », *Texas Agricultural Experiment Extension*, 2006, www.k-state.edu/irrigate/oow/p06/Porter06.pdf.
- Queensland Government, « Salinity Management Handbook », 2011, publications.qld.gov.au/en/dataset/salinity-management-handbook/resource/529b12b0-8e23-4cd3-a1cd-7659d0b9b3b4, retrieved 3 December 2015.
- Rhoades, J., Kandiah, A. et Mashali, A., « The use of saline waters for crop production », Document FAO irrigation et drainage 48, Rome, FAO, 1992, www.fao.org/docrep/T0667E/t0667e00.htm#Contents.
- SAI, « Water conservation technical briefs – TB-6, Irrigation scheduling », SAI platform, 2010, www.saiplatform.org/uploads/Library/Technical%20Brief%206.%20Irrigation%20Scheduling.pdf.
- SAI, « Water conservation technical briefs – TB-14, Salinity control », plateforme SAI, 2012 www.saiplatform.org/uploads/Library/Technical%20Brief%206.%20Irrigation%20Scheduling.pdf.

- Schemenauer, R. et Cereceda, P., «Fog Collection», *Tiempo*, 1997, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHEMENAUER%20and%20CERECEDA%201997%20Fog%20Collection.pdf.
- Scherer, T., «Selecting a Sprinkler Irrigation System», Fargo, NDSU, 2010, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/SCHERER%202010%20Selecting%20a%20Sprinkler%20Irrigation%20System.pdf.
- Simply hydroponics and Organics, «What is hydroponics?», 2008, www.simplyhydro.com/whatis.htm.
- Standish, S., «How to Irrigate On A Shoestring», Portland, Global Envision, 2009, www.globalenvision.org/2009/11/19/how-irrigate-shoestring.
- Stehle, S. et Schulz, R., «Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale», *PNAS*, vol. 112, n°18, mai 2015.
- Suslow, T., «Ozone applications for post-harvest disinfection of edible horticultural crops», U. Ca., Division of Agriculture and Natural Resources, Publ. 8133, 2004, anrcatalog.ucanr.edu/pdf/8133.pdf.
- Suslow, T., «Postharvest Chlorination. Basic Properties and Key Points for Effective Disinfection», U. Ca., Division of Agriculture and Natural Resources, 1997, ucfoodsafety.ucdavis.edu/files/26414.pdf.
- Sytsema, W. et Kalkman, E.C., «Post-harvest studies on *Syringa vulgaris*», *Acta Horticulturae*, n°298, 1991, pp. 127-133.
- Tacker, P., «Border irrigation good alternative», Delta Farm Press, 2003, deltafarmpress.com/soybeans/border-irrigation-good-alternative.
- TNAU Agritech portal, «Fertigation», 2015, agritech.tnau.ac.in/agriculture/agri_nutrientmgt_fertigation.html.
- UCCE (éd.) and GWPA, «Irrigation Systems and their Performance», UCCE, 2005, www.sswm.info/sites/default/files/reference_attachments/UCCE%202005%20Irrigation%20Systems%20and%20their%20Performance.pdf.
- UNEP, «Freshwater use by sector at the beginning of the 2000s», 2008, new.unep.org/dewa/vitalwater/article48.html.
- UNEP, «Science in UNEP: about the global water quality challenge», 2015, www.unep.org/science/chief-scientist/Activities/EcosystemsManagementandAgricultureEfficiency/GlobalWaterQualityChallenge.aspx.
- UNFPA, «Water: a critical resource», New York, 2002, lwlaplata.org/files/unfpa_water_1_.pdf.

- UNEP/DEWA, «Groundwater and its susceptibility to degradation», 2003, www.unep.org/DEWA/water/groundwater/pdfs/Groundwater_INC_cover.pdf.
- UNESCO, «Programme mondial pour l'évaluation des ressources en eau», 2015, www.unesco.org/new/fr/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact2-agricultural-use/.
- University of Montana, «Saline and/or sodic water and soils», 2015, waterquality.montana.edu/energy/cbm/faq-watersoil.html.
- USAID, «Rehabilitation of irrigation systems in Afghanistan», 2015, www.usaid.gov/results-data/success-stories/rehabilitation-irrigation-systems-afghanistan.
- USDA Salinity Lab, Agricultural Research Service, «Salt Tolerance databases», 2015, www.ars.usda.gov/Services/docs.htm?docid=8908.
- USGS, «General facts and concepts about ground water», 2013, pubs.usgs.gov/circ/circ1186/html/gen_facts.html.
- USGS, «Summary of the Water Cycle», 2015, water.usgs.gov/edu/watercyclesummary.html.
- USGS, «Types and Sources of Water-Quality Benchmarks for Pesticides», 2014, water.usgs.gov/nawqa/pnsp/benchmarks/source.html.
- van Koppen, B., Giordano, M. et Butterworth, J., «Community-based Water Law and Water Resource Management Reform in Developing Countries», CAB International, 2007, www.iwmi.cgiar.org/Publications/CABI_Publications/CA_CABI_Series/Community_Law/protected/index.htm.
- Van der Ent, R. *et al.*, «Land use change influences continental water cycle», Delft University, 2013.
- Vos, J., Boelens, R. et Mena, P., «From local to virtual water control: The globalization of water insecurity and water access conflicts», Global Water Forum, 2014, www.globalwaterforum.org/2014/05/13/from-local-to-virtual-water-control-the-globalization-of-water-insecurity-and-water-access-conflicts.
- Walker, W.R., «Guidelines for designing and evaluating surface irrigation systems», FAO Irrigation and drainage paper 45, Rome, FAO, 1989, www.fao.org/docrep/t0231e/t0231e00.htm#Contents.
- Walker, W.R., *Surface Irrigation Simulation Evaluation and Design*, Logan, Utah State U., 2003, ocw.usu.edu/Biological_and_Irrigation_Engineering/Surface_Irrigation_Design/SIRMOD_III_Manual.pdf.

- Water Nexus Solutions, «The perfect storm scenario», 2015, www.waternexussolutions.org/284.
- WBCSD, «Facts and Trends of Water», 2006, www.unwater.org/downloads/Water_facts_and_trends.pdf.
- WBCSD, «The WBCSD Global Water Tool», 2015, old.wbcsd.org/work-program/sector-projects/water/global-water-tool.aspx.
- WFN, «Glossary of terms», 2015, waterfootprint.org/en/water-footprint/glossary.
- WFN, «Water Footprint Assessment Tool», 2015, waterfootprint.org/en/resources/interactive-tools/#CP.
- Whitcher, B., Byers, S., Guttorp, P. et Percival, D., «Testing for Homogeneity of Variance in Time Series: Long Memory, Wavelets and the Nile River», *Water Resources Research*, n°38, 2002.
- WRI, «AQUEDUCT. Measuring and mapping water risk», 2015, www.wri.org/our-work/project/aqueduct.
- WRI, «Disappearing Food: How Big are Postharvest Losses?», *EarthTrends*, 1998.
- WRI, «The global food challenge explained in 18 graphics», 2015, www.wri.org/blog/2013/12/global-food-challenge-explained-18-graphics.
- Wright, K.R., Zegarra, A.V. et Lorah, W.L., «Ancient Machu Picchu Drainage Engineering», *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, novembre-décembre 1999.
- WWF/DEG, «Water Risk Filter», 2015, waterriskfilter.panda.org
- Zarate, E., «Water Footprint Assessment of bananas produced by small banana farmers in Peru and Ecuador», *Acta Horticulturae*, mars 2016.
- Zhang, L., Dawes, W.R. et Walker, G.R., «Predicting the effect of vegetation changes on catchment average water balance», 1999, catalogue.nla.gov.au/Record/408538.
- Zomer, R.J. et al., «Climate Change Mitigation: A Spatial Analysis of Global Land Suitability for Clean Development Mechanism Afforestation and Reforestation», *Agric. Ecosystems and Envir.*, n°126, Rome, FAO, 2008, pp. 67-80.



Sites Web utiles

SITES WEB UTILES

ACIA – Agence canadienne d’inspection des aliments : www.inspection.gc.ca

African Farming :

africanfarming.net/crops/horticulture/horticulture-faces-many-challenges

Agence européenne pour l’environnement : www.eea.europa.eu/fr

AgroFair : www.Agrofair.nl

Alberta Environment and Parks : aep.alberta.ca

Alliance for Waterstewardship – AWS :

www.allianceforwaterstewardship.org

aWhere : www.awhere.com

BBC : www.bbc.com

CDP : www.cdp.net

Ceres : www.ceres.org

CGIAR CSI : www.cgiar-csi.org

COLEACP : coleacp.org

Commission européenne : ec.europa.eu

Conservation Gateway : www.conservationgateway.org

Convention sur la diversité biologique : www.cbd.int

Dutch Water Sector : www.dutchwatersector.com

Eur-Lex : eur-lex.europa.eu

Geographical Open Data Kit : www.geoodk.com

Global Water Forum : www.globalwaterforum.org

Good Stuff International : www.goodstuffinternational.com

FAO : www.fao.org/home/fr

H₂O : All-water.org

Huella Hídrica :

www.huellahidrica.org

IFAD – International Fund for Agricultural Development :

www.ifad.org/english/water/key.htm

Indian Council of Agricultural Research :

www.icar.org.in

INPIM : www.inpim.org

Intergovernmental Panel on Climate Change :

www.ipcc.ch/home_languages_main_french.shtml

Ireland Environmental Agency :

www.epa.ie

Irrigation Association :

www.irrigation.org

Mississippi State University Extension : extension.msstate.edu

National Geographic : nationalgeographic.com

National Library of Australia : catalogue.nla.gov.au

National Weather Service : nws.noaa.gov

Nations Unies : www.un.org/fr/index.html

OCDE : www.oecd.org/fr

Pacific Community : pacificwater.org

Pesticide Action Network UK : www.pan-uk.org

PLOS One : journals.plos.org/plosone

Proceedings of the National Academy of Sciences : www.pnas.org

Smithsonian : www.smithsonianmag.com

Soil & Health Library : soilandhealth.org

TASTE : www.fairtaste.nl

UNESCO : fr.unesco.org

PNUE – Programme des Nations Unies pour l’environnement : www.unep.org

United Nations Inter-Agency Mechanism on all Freshwater: www.unwater.org

U.S. Aid : www.usaid.gov

U.S. Department of Agriculture –USDA : www.ams.usda.gov

U.S. Environmental Agency : www.epa.gov

U.S. Geological Survey : www.usgs.gov

Water4Everyone : www.water4everyone.org

Water Footprint Network : waterfootprint.org

Water History: Waterhistory.org

OMS –Organisation mondiale de la santé : www.who.int/fr

World Mapper : worldmapper.org

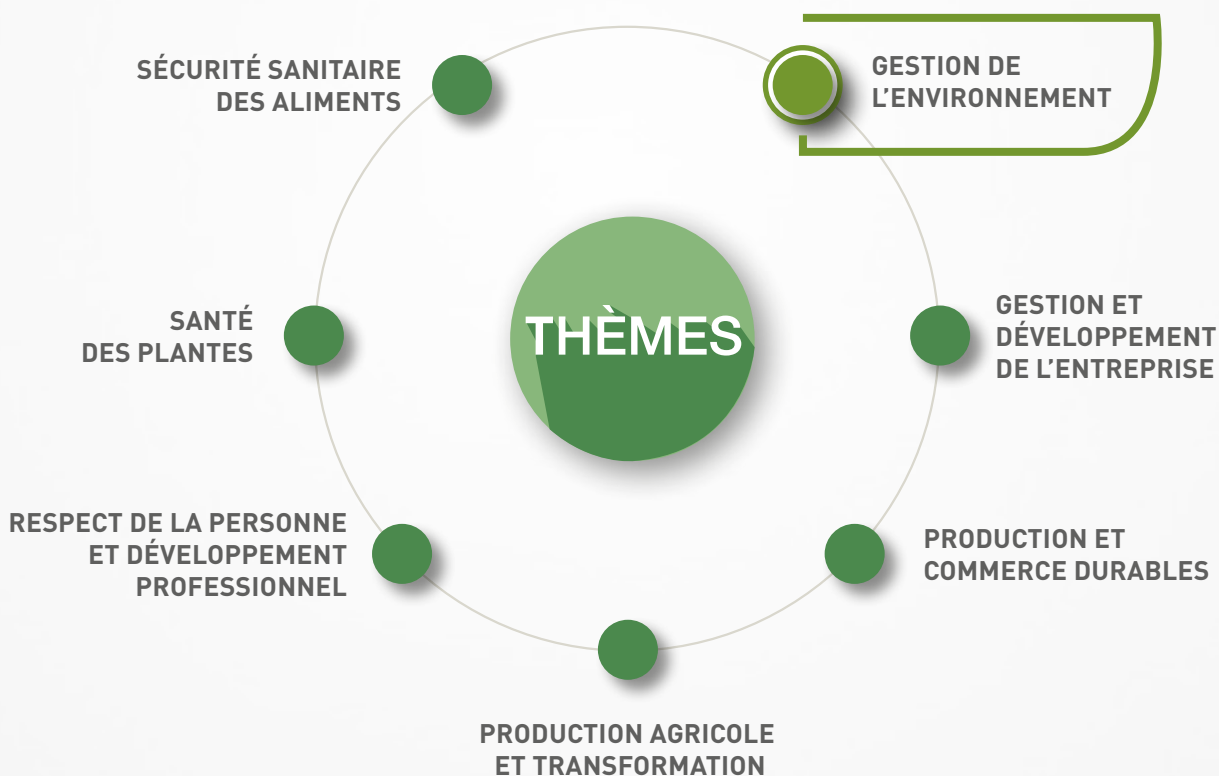
Worldometers : www.worldometers.info/water

World Resources Institute : www.wri.org

PLATEFORME E-LEARNING DU COLEACP

RECEVEZ VOTRE ACCÈS À NOTRE PLATEFORME DE FORMATION À DISTANCE RÉSERVÉE AUX ACTEURS DU SECTEUR AGRICOLE DANS LES PAYS D'AFRIQUE, DES CARAÏBES ET DU PACIFIQUE.

TESTEZ ET AMÉLIOREZ VOS CONNAISSANCES À VOTRE RYTHME !



<https://training.coleacp.org>



PRODUCTION ET COMMERCE
DURABLES

SANTÉ DES PLANTES

SÉCURITÉ SANITAIRE
DES ALIMENTS

PRODUCTION AGRICOLE
ET TRANSFORMATION

RESPECT DE LA PERSONNE
ET DÉVELOPPEMENT
PROFESSIONNEL

**GESTION DE
L'ENVIRONNEMENT**

GESTION ET DÉVELOPPEMENT
DE L'ENTREPRISE

MÉTHODOLOGIES
DE FORMATION