

LIVRET

PÉDAGOGIQUE

- 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

AMIS FORMATEURS, QUELQUES CONSEILS 1

MATIÈRES À DÉLIVRER 5

FEUILLETS PÉDAGOGIQUES 9

- FEUILLET 1 : Contexte hydrologique de l'agriculture
- FEUILLET 2 : Fondement du système mondial de l'eau
- FEUILLET 3 : De l'eau pour le développement des plantes
- FEUILLET 4 : Agriculture et qualité de l'eau
- FEUILLET 5 : Irrigation
- FEUILLET 6 : Gestion de l'irrigation
- FEUILLET 7 : Gestion de l'eau destinée au lavage et au traitement post-récolte
- FEUILLET 8 : Droits sur l'eau, extraction et durabilité de l'utilisation de l'eau

RÉSUMÉ DU MANUEL 37

- 1. Contexte hydrologique de l'agriculture
- 2. Fondement du système mondial de l'eau
- 3. De l'eau pour le développement des plantes
- 4. Agriculture et qualité de l'eau
- 5. Irrigation
- 6. Gestion de l'irrigation
- 7. Gestion de l'eau destinée au lavage et au traitement post-récolte
- 8. Droits sur l'eau, extraction et durabilité de l'utilisation de l'eau

Amis formateurs, quelques conseils



POURQUOI UN LIVRET PÉDAGOGIQUE ?

Les « Manuels de formation » rédigés par le COLEACP sont de précieux supports de formation. Pour les rédiger, le COLEACP s'est adressé aux meilleurs experts du domaine abordé avec pour objectif de produire sur un thème donné un document de vulgarisation qui rassemble et structure l'essentiel des connaissances actuelles. Ces manuels se veulent les plus exacts et complets que possible, adaptés au contexte ACP, orienté sur les problématiques transversales qui concernent l'horticulture. Mais l'objectif était aussi qu'ils soient abordables, compréhensibles et agréables à lire par des personnes qui ne sont pas nécessairement des experts avertis de la matière. Néanmoins, assimiler souvent en un temps réduit l'ensemble de la matière ainsi rassemblée **représente un effort considérable**.

Les manuels de formation, qui s'adressent en priorité aux experts et aux personnes les plus qualifiées, étant **souvent volumineux et complexes**, il était nécessaire d'aider les experts-formateurs à identifier les éléments les plus importants à retenir, et de rassembler pour eux une liste de « messages clés » à diffuser vers les apprenants lors des formations du COLEACP. Ce livret pédagogique est donc **un outil précieux et pratique** qui est mis à votre disposition **pour vous aider à préparer vos formations** sur le thème dont il est question dans ce livret.

QUE CONTIENT LE LIVRET PÉDAGOGIQUE ?

Chaque livret pédagogique contient les éléments suivants.

1. La liste des matières à délivrer aux participants lors de la formation

C'est une table des matières résumée du manuel de formation. Cette liste vous permet d'avoir une **vue globale** de l'ensemble **des grands points** qui devront être abordés lors de la formation. **L'ordre de la liste ne doit pas nécessairement être respecté**, car l'organisation des séquences est laissée à votre appréciation et dépend éventuellement d'autres facteurs (ex. : disponibilité d'un expert-formateur ; timing des séquences de formation ; place réservée aux exercices...).

Dans certains cas, **seuls certains aspects** (ou chapitres) **de la matière seront abordés** (par exemple : si les participants maîtrisent parfaitement certaines parties du sujet abordé en formation, il est inutile de les présenter en détails ; un petit rappel peut suffire et être efficace pour aborder la suite).

Toutefois, quand vous abordez une partie de la matière (un chapitre), les principaux « points » repris pour chaque chapitre vous permettent d'organiser vos présentations et animations, de manière logique et pertinente pour l'apprenant. **Il vous est aussi conseillé de présenter tous les points d'un chapitre.**

2. Des feuillets pédagogiques

Un livret pédagogique contient autant de « feuillets » qu'il y a de chapitres dans le manuel de formation. Chaque feuille reprend d'une part les **objectifs pédagogiques** de cette partie de la matière à délivrer (ce que l'apprenant doit être capable de...), et d'autre part, suivant la structure de la table, les « **messages clés** » (ce que l'apprenant doit absolument avoir assimilé en fin de formation). Il est donc très important de vous assurer de **bien diffuser la totalité des messages au cours de la séquence de formation.**



3. Un résumé du contenu du manuel

Un résumé du manuel de formation a été inséré dans ce livret pédagogique. Structuré de manière identique au manuel, il reprend l'essentiel du contenu en 15-20 pages tout en restant beaucoup moins complet (le résumé ne reprend ni les tableaux, ni les figures).

Ce résumé est avant tout destiné au formateur.

- **En début de mission**, au moment de préparer ses séquences d'intervention et ses supports, il vous permet de prendre connaissance très rapidement de l'ensemble des contenus que vous devrez aborder et de visualiser les liens entre les différentes parties de la matière à délivrer.
- **En cours de formation**, vous pouvez utiliser ce résumé **pour préparer vos synthèses journalières**, en rappelant aux participants les éléments essentiels vus au cours d'une journée (synthèse de 15-20 minutes en fin de journée avec réponse aux questions).
- **En début ou en fin de formation**, si vous le souhaitez, vous pouvez délivrer aux participants une copie de ce résumé. Si le résumé est distribué au début de la formation, il vous est conseillé de demander aux participants de surligner les passages évoqués dans votre synthèse de fin de journée (points de repère dans la matière).

Ce résumé est également utile aux apprenants en fin de formation : il leur permettra en quelques minutes de **se rappeler l'essentiel du thème abordé** (p. ex. avant une évaluation des acquis), alors que relire l'ensemble du manuel pourrait s'avérer fastidieux.

COMMENT CE LIVRET PÉDAGOGIQUE PEUT-IL VOUS AIDER À PRÉPARER VOS INTERVENTIONS EN FORMATION ?

L'intention en mettant ce livret pédagogique à votre disposition est de **vous aider à préparer vos séquences de formation et à structurer votre programme jour par jour**.

- **Considérez que chaque feuillet représente un tout** : s'il y a, par exemple, 4 feuillets, cela signifie qu'il doit y avoir 4 parties distinctes dans votre formation. Un temps suffisant doit donc être accordé dans le programme à chacune de ces 4 parties. Chaque partie de la matière devra aussi faire l'objet d'une évaluation des compétences.
- **Considérez ensuite les objectifs pédagogiques** : cela vous aidera à choisir (a) la méthode de formation la plus adéquate pour l'atteinte de ses objectifs (faut-il, par ex. prévoir des exercices, des mises en situation, des animations de groupe...); (b) la méthode d'évaluation des acquis de cette partie.
- **Enfin, préparez vos supports** (ex : PowerPoint, tableaux à feuilles ou fiches d'animation, questions d'évaluation) en veillant à ce que l'ensemble des messages clés soient repris (« Ai-je bien prévu de parler de tous ces points ? Ai-je bien prévu une évaluation sur chaque point clé ? »).



N'OUBLIEZ PAS DE COMPLÉTER CE LIVRET PÉDAGOGIQUE !

Ce livret pédagogique est fait **pour vous... C'est un outil qui doit vivre !**

À la fin de chaque feuillet, un espace a été laissé libre pour ajouter **vos notes personnelles** : comme formateur, vous pouvez noter quelques réflexions sur la façon de faire passer les messages, noter vos questions, les réactions des participants, les points qui soulèvent des difficultés... **c'est-à-dire capitaliser votre expérience de formateur !**

Vous pouvez aussi y **noter les types de supports que vous avez utilisés**. Ce sera bien pratique quand vous aurez une nouvelle session à animer sur le même thème. Le COLEACP met à votre disposition de nombreux outils et supports mais n'hésitez pas à en créer d'autres ou à utiliser d'autres supports existant qui seraient disponibles... **la règle étant de bien maîtriser chacun des supports utilisés en formation** et de s'assurer qu'ils aident à faire passer les messages clés de manière plus efficace qu'en leur absence.





Matières à délivrer



CHAPITRE 1 — CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'AGRICULTURE

- Introduction : agriculture, alimentation et eau
- L'agriculture du futur
- Le rôle des pratiques agricoles
- Le rôle de l'irrigation
- Considérations relatives à l'horticulture

CHAPITRE 2 — FONDEMENTS DU SYSTÈME MONDIAL DE L'EAU

- Cycle hydrologique
- Unités hydrologiques, bassins hydrographiques et aquifères
- Bilan hydrologique d'un bassin
- La consommation humaine et la pollution de l'eau

CHAPITRE 3 — DE L'EAU POUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES

- L'importance de l'eau pour les plantes
- Besoins en eau pour les cultures
- Sol et eau
- Besoins en eau pour les cultures et l'irrigation

CHAPITRE 4 — AGRICULTURE ET QUALITÉ DE L'EAU

- Introduction
- L'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau
- L'importance de la qualité de l'eau pour l'agriculture
- Éviter la pollution de l'eau

CHAPITRE 5 — IRRIGATION

- Introduction
- Les méthodes d'irrigation
- Le choix de méthodes d'irrigation adaptées
- La conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation
- Les sources d'eau d'irrigation, le captage, le stockage et le recyclage de l'eau
- Les performances des systèmes d'irrigation



CHAPITRE 6 — GESTION DE L'IRRIGATION

- Qu'est-ce que la gestion de l'irrigation ?
- Les mesures pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation
- La gestion des eaux drainées
- Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation
- Les mesures d'atténuation des incidences sociales

CHAPITRE 7 — EAU DESTINÉE AU LAVAGE ET AU TRAITEMENT POST-RÉCOLTE

- Introduction
- L'utilisation de l'eau après la récolte
- Les problèmes d'eau pendant le lavage et le traitement postérieurs à la récolte
- Conservation de l'eau pendant le lavage et le traitement
- L'utilisation de l'eau après la récolte et les pertes alimentaires

CHAPITRE 8 — DROITS SUR L'EAU, EXTRACTION ET DURABILITÉ DE L'UTILISATION DE L'EAU

- Comprendre la législation sur l'eau : le droit à l'eau
- Guider l'action : pourquoi et par où commencer ?





Feuillets pédagogiques

Feuillet 1 : Contexte hydrologique de l'agriculture.....	11
Feuillet 2 : Fondements du système mondial de l'eau.....	15
Feuillet 3 : De l'eau pour le développement des plantes	19
Feuillet 4 : Agriculture et qualité de l'eau	23
Feuillet 5 : Irrigation.....	25
Feuillet 6 : Gestion de l'irrigation.....	29
Feuillet 7 : Eau destinée au lavage et au traitement post-récolte	33
Feuillet 8 : Droits sur l'eau, extraction et durabilité de l'utilisation de l'eau	35





FEUILLET 1

Contexte hydrologique de l'agriculture

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de :

- comprendre l'importance de l'eau dans la production alimentaire et dans quelle mesure l'agriculture participe à la satisfaction des besoins alimentaires ;
- comprendre de quoi sera faite l'agriculture du futur ;
- comprendre l'impact des pratiques agricoles sur l'eau ;
- comprendre les principes de la gestion durable de l'eau dans le cadre de l'irrigation ;
- maîtriser les considérations relatives à la gestion de la ressource en eau dans le cadre de l'horticulture.

MESSAGES CLÉS

1) L'importance de l'eau dans la production alimentaire et la participation de l'agriculture dans la satisfaction des besoins alimentaires

- L'eau est considérée comme une ressource renouvelable, puisqu'elle circule à la surface de la Terre en accomplissant un cycle.
- L'eau est nécessaire à la production alimentaire, et la plus grande partie de l'eau que l'homme consomme est incorporée dans les aliments qu'il mange.
- Il faut entre 1 000 et 3 000 litres d'eau pour produire 1 kg de riz, et environ 2 000 à 5 000 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, contre 22 % pour le secteur industriel et 8 % pour les ménages.
- La rareté de l'eau représente un défi majeur pour le développement de l'agriculture.
- La production alimentaire consomme beaucoup d'eau, mais aussi beaucoup d'énergie.
- La qualité des sols et celle de l'eau doit être suffisante pour offrir des conditions qui conviennent à la production végétale.
- Le changement climatique affecte la disponibilité de l'eau dans le monde de façon significative.
- L'agriculture doit réduire le plus possible toutes ses impacts négatifs sur les écosystèmes et sur la santé humaine, tout en étant capable d'augmenter la production pour répondre à la demande croissante des besoins alimentaires.



- L'agriculture doit utiliser toutes les ressources, notamment l'eau, de façon plus efficace et plus efficiente.
- L'eau, la production alimentaire et l'agriculture sont des secteurs sous pression, tout comme le secteur de l'énergie.
- Pour relever le défi de la sécurité alimentaire, le changement des régimes alimentaires, couplé à la réduction du gaspillage alimentaire, sont des solutions à explorer.
- L'accroissement des rendements des cultures, lié à l'amélioration des terres, à la gestion de l'eau et au développement de l'agriculture sur des terres déjà dégradées, permettra de relever le défi de la sécurité alimentaire.

2) L'agriculture du futur

- La sécurité alimentaire existe lorsque tous les êtres humains ont, à tout moment, un accès à une nourriture non seulement suffisante, mais aussi saine et nutritive, leur permettant de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active.
- Le problème mondial de la sécurité alimentaire est exacerbé par la croissance prévue de la population mondiale, qui devrait passer d'environ 7 milliards d'habitants à environ 10 milliards ou plus en 2050.
- Pour que l'agriculture parvienne à un équilibre avec le milieu, elle doit cesser d'être gérée comme une industrie extractive pour devenir une activité plus renouvelable/durable.
- Le développement doit s'appuyer sur une agriculture durable qui se fonde sur l'inclusion et la résilience face au changement climatique.
- L'inclusion permet de résoudre les problèmes auxquels les petits et moyens exploitants agricoles et les agricultrices sont confrontés.
- La résilience face au changement climatique est une approche pour créer les conditions techniques, politiques et d'investissement permettant le développement d'une agriculture durable qui assurera la sécurité alimentaire.
- Les pratiques agricoles doivent être adaptées en vue d'accroître la productivité des cultures et d'une gestion durable de l'eau.
- L'agriculture du futur prendra en compte la recherche de rendements élevés grâce à des systèmes agro-écologiques sains.
- L'agriculture du futur doit investir 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.
- La gestion intégrée des ressources d'eau (GIRE) se fonde sur le principe que l'eau fait partie intégrante de l'écosystème, qu'elle est une ressource naturelle et qu'elle est un bien social et économique qui doit être protégé.
- Le but de la GIRE est d'engager les diverses institutions et les mesures politiques prises dans un système de gestion intégré.



3) L'impact des pratiques agricoles dans la gestion durable de l'eau

- Les pratiques agricoles ont des incidences majeures sur l'efficacité de l'utilisation des ressources que sont l'eau, la terre et les autres intrants agricoles.
- Il faut examiner les pratiques agricoles dans la perspective d'une utilisation plus rationnelle des ressources.
- L'exploitant doit avoir une vision intégrée de son exploitation et de ses environs.
- L'exploitant doit, dans son management agricole, prendre en compte la situation du climat, des sols, des cultures, la quantité et la qualité de l'eau nécessaire, ainsi que les besoins en engrais et en pesticides.
- L'exploitant doit planifier et mettre en œuvre des pratiques agricoles réalisables sur le plan financier et opérationnel.

4) Le rôle de l'irrigation dans l'agriculture et son impact dans la gestion durable de l'eau

- L'agriculture irriguée occupe 20 % des terres cultivées et génère 40 % de la production alimentaire mondiale.
- Selon le FIDA, l'irrigation multiplie de 2 à 5 fois les rendements de la plupart des cultures et permet la diversification vers des cultures de valeur plus élevée.
- Les cultures de valeur plus élevée consomment de grandes quantités d'intrants et dépendent d'un approvisionnement en eau fiable et flexible.
- Les projets d'irrigation, qui font grimper les frais généraux de mise en œuvre, de fonctionnement et de maintenance, et les investissements nécessaires, ne sont pas accessibles aux paysans pauvres.
- L'inclusion des paysans pauvres dans les projets d'irrigation doit être un préalable au renforcement des économies rurales et à l'amélioration de l'accès à la nourriture.
- Les plans d'irrigation dévalorisent les connaissances environnementales et agricoles, ainsi que l'expérience des paysans en matière de gestion de l'eau.
- Les petits systèmes d'irrigation, combinés à une gestion écologique des sols, des matières organiques et de l'eau, constituent une stratégie cruciale dans l'inclusion des paysans pauvres et dans la prévention de la dévalorisation de leurs connaissances agro-environnementales.
- Le développement de systèmes d'irrigation, dans le cadre d'une approche de gestion durable, doit prendre en compte les principes de l'agriculture durable et des réalités locales.

5) Les considérations relatives à l'horticulture

- La FAO définit l'agriculture comme un regroupement de toutes les productions animales et végétales (agronomie, horticulture et sylviculture).
- Le secteur horticole joue un rôle important dans la résolution des problèmes mondiaux de production alimentaire et de gestion de la ressource en eau.
- Les fruits et les légumes sont une composante essentielle du régime alimentaire de l'homme.



FEUILLET 2

Fondement du système mondial de l'eau

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de :

- comprendre les notions de base relatives au cycle de l'eau et les analyser ;
- définir les unités hydrologiques, les bassins hydrographiques et les aquifères, et comprendre leur importance dans le cycle hydrologique ;
- comprendre comment déterminer le bilan hydrologique d'un bassin ;
- comprendre l'importance de la consommation humaine en eau et l'origine de la pollution de l'eau.

MESSAGES CLÉS

1) Les notions de base du cycle de l'eau

- La quantité d'eau sur Terre est d'environ 1 386 millions de km³, mais 97 % de ce volume environ sont constitués par l'eau saline des océans.
- L'eau douce ne représente qu'environ 3 % de l'eau disponible sur la planète (mais une partie seulement est réellement disponible).
- Moins de 1 % de l'ensemble des ressources mondiales en eau est directement accessible pour l'utilisation humaine, mais sa distribution n'est pas uniforme sur la planète.
- La molécule d'eau est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène reliés entre eux par des liaisons covalentes.
- L'eau se comporte comme un liquide, mais l'eau est présente également sur Terre à l'état solide et gazeux. Sous sa forme liquide, l'eau est inodore, sans goût et transparente.
- L'eau se transforme, en fonction de la pression atmosphérique, en trois phases : vapeur, liquide ou glace.
- La mobilité de l'eau dépend de la phase ou état dans laquelle elle se trouve.
- Le changement continu de phases de l'eau, combiné à son déplacement autour de la Terre, est appelé « cycle hydrologique ».
- Le cycle de l'eau commence et finit au niveau de l'océan (vaporisation sous l'action de l'énergie du soleil) et il se répète indéfiniment au cours du temps.



- La gravité, la topographie de la Terre, les zones climatiques, le vent, les variations de température et de pression entraînent des changements de phase de l'eau.
- Le cycle de l'eau relie des parties du monde qui sont très éloignées les unes des autres et il se déroule donc sur des distances très importantes.

2) Les unités hydrologiques, les bassins hydrographiques et les aquifères

- L'eau s'écoule sous l'effet de la gravité jusqu'au point le plus bas de toute surface.
- L'écoulement de l'eau jusqu'au point le plus bas est à l'origine des cours d'eau.
- L'ensemble de la zone alimentant une rivière en eau est appelé « bassin hydrographique » ou « bassin versant ».
- Le mouvement et la distribution de l'eau sont étudiés et expliqués par des unités géographiques de dimensions variables nommées « unités hydrologiques ».
- Une unité hydrologique est une zone géographique qui couvre une partie ou l'intégralité d'un bassin versant, ou un élément hydrologique distinct.
- Les termes de « bassin hydrologique », « bassin hydrographique », « bassin versant » et « bassin fluvial » sont utilisés indifféremment.
- La nature et la forme des bassins versants sont déterminées par la topographie, la géologie et l'eau, qui peut être un bassin exoréique ou un bassin endoréique.
- 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.
- Un bassin hydrographique possède des caractéristiques climatiques, géologiques, pédologiques, écosystémiques et fluviales spécifiques, qui façonnent les systèmes de production agricole.
- L'eau ne ruisselle pas seulement en surface : elle s'infiltré également dans le sol et les roches plus en profondeur.
- Les « aquifères » sont des réservoirs d'eaux souterraines et peuvent ainsi stocker de l'eau pendant de très longues périodes.
- Les deux types d'aquifères sont : un aquifère à nappe libre, couvert de roches perméables et qui peut recevoir de l'eau provenant de la surface ; et un aquifère captif, qui est une masse d'eau souterraine située entre deux couches de roches moins perméables.
- 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'équilibre entre l'extraction et la recharge est essentielle à la gestion durable des eaux souterraines.
- Les eaux souterraines seront polluées si de l'eau contenant des polluants biologiques ou chimiques s'infiltrent dans l'aquifère.



3) Le bilan hydrologique d'un bassin

- La production d'un « bilan hydrologique » est la méthode de base pour comprendre l'état hydrologique d'un bassin quelconque.
- Le bilan hydrologique d'un bassin hydrographique est exprimé en unités de volume : mètres cubes (m^3) ou millions de mètres cubes (Mm^3).
- La production du bilan se base sur les principes de la conservation de la masse appliqués à l'eau, en tenant compte de tout ce qui entre dans le système et de tout ce qui en sort, ainsi que de tous les changements qui affectent l'accumulation d'eau.
- Le concept de bilan hydrologique permet de comprendre le comportement hydrologique d'un bassin hydrographique.
- Pour le bilan hydrologique d'un bassin, il faut distinguer l'eau « verte » et l'eau « bleue ».
- L'eau verte désigne la partie des précipitations qui s'évapore ou qui est transpirée par les plantes (absorption puis évaporation à partir des végétaux).
- Le « besoin environnemental » d'eau verte est défini comme la quantité d'eau verte provenant des terres qui doit être conservée pour préserver la biodiversité présente dans les écosystèmes des zones naturelles.
- L'eau bleue désigne l'eau qui s'écoule dans les fossés, les cours d'eau et les rivières, ainsi que l'eau qui s'infiltre et pénètre par percolation dans les nappes aquifères.
- Les débits environnementaux bleus requis jouent un rôle essentiel dans la création et le maintien d'un grand nombre d'habitats naturels, importants au plan écologique.
- Les « débits environnementaux » (verts et bleus) sont des concepts importants pour évaluer la durabilité de la consommation d'eau dans un bassin donné.
- Le bilan hydrologique prend en compte les débits environnementaux requis, mais surtout les débits environnementaux bleus.

4) L'importance de la consommation humaine en eau et la pollution de l'eau

- La notion d'« empreinte sur l'eau » et d'« eau virtuelle » sont des indicateurs proposés pour évaluer l'appropriation et l'utilisation de l'eau par les hommes.
- 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.
- L'empreinte sur l'eau verte désigne le volume d'eau des précipitations consommé par le processus de production et s'applique particulièrement aux produits agricoles et forestiers.
- 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.
- L'empreinte moyenne mondiale sur l'eau au cours de la période 1996-2005 a été de $9,087 \text{ Gm}^3/\text{an}$.
- Les empreintes sur l'eau, au niveau mondial, des secteurs agricole et industriel plus les ménages s'élèvent à 92 % pour l'eau verte, 4,4 % pour l'eau bleue et 3,6 % pour l'eau grise.



- Dans un pays industrialisé, le secteur industriel représente 80 % de l'utilisation des ressources en eau douce.
- En Asie du Sud, en Afrique, en Amérique centrale ou en Amérique du Sud, l'agriculture 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 considéré comme « contenu » dans le produit (au sens virtuel et non réel).
- L'empreinte d'eau virtuelle est l'indicateur qui désigne l'eau consommée ou polluée pour fabriquer le produit, y compris l'évapotranspiration des cultures et des fourrages.
- Le contenu en eau virtuelle ne fait référence qu'à un volume d'eau consommée ou polluée. 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.
- Toutes les régions du monde ne sont pas dotées des mêmes ressources en eau douce : et la rareté de l'eau est une situation dans laquelle le rapport entre l'utilisation de l'eau et la disponibilité de celle-ci dépasse un certain seuil.
- 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.
- Deux types de sources de pollution existent : des sources de pollution ponctuelle et des sources de pollution diffuse.

NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



FEUILLET 3

De l'eau pour le développement des plantes

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de :

- comprendre le rôle et l'importance de l'eau pour les plantes ;
- définir les besoins en eau pour les cultures ;
- comprendre le rôle des sols et les processus en œuvre dans les sols pour libérer l'eau nécessaire au développement des plantes ;
- définir les besoins en eau pour les cultures sous irrigation.

MESSAGES CLÉS

1) Le rôle et l'importance de l'eau pour les plantes

- L'eau est à la base de nombreux processus physiologiques nécessaires à la croissance des plantes.
- Le principal processus à l'origine de la circulation de l'eau dans les plantes est la transpiration.
- La transpiration est l'émission de vapeur d'eau par les végétaux ou évaporation.
- La transpiration conditionne le gradient de potentiel hydrique des feuilles aux racines.
- 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.
- La turgescence garantit une stabilité mécanique aux tissus des plantes afin qu'elles ne s'affaiblissent pas et que leurs processus physiologiques ne soient pas inhibés.
- La « teneur en eau du sol » conditionne le maintien de la turgescence des plantes.
- Le « point de flétrissement » (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. Le PF est réversible tant que le PFP n'est pas atteint.
- Le « point de flétrissement permanent » (PFP) est le seuil auquel le flux continu d'eau dans le xylème et les tissus de la plante est interrompu. La plante meurt quand le PFP est dépassé.
- L'eau joue un rôle essentiel dans la nutrition des plantes. L'eau transporte des sucres et des nutriments, mais parfois aussi des pesticides systémiques, dans la plante.



2) Les besoins en eau pour les cultures

- Les besoins en eau pour les cultures sont définis comme la profondeur ou la quantité d'eau requise pour l'évapotranspiration (ET) d'une culture donnée.
- Les besoins en eau pour les cultures sont entièrement corrélés à l'évapotranspiration de la culture.
- L'ET est la somme de la transpiration par les feuilles des plantes et de l'évaporation à la surface du sol.
- L'évaporation couvre tous les processus au cours desquels l'eau liquide est rejetée dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.
- Les besoins en eau des cultures sont fonction de ses quatre phases de croissance : phase initiale, phase de développement, phase de mi-saison, phase d'arrière-saison.
- Pour calculer les besoins en eau d'une culture il faut considérer l'« évapotranspiration potentielle » (ETP).
- Pour calculer l'ETP, un coefficient (K_c) spécifique à chaque type de culture, qui dépend non seulement de la culture mais aussi de l'humidité du sol, est utilisé.
- La valeur de K_c oscille généralement de 0,5 quand le sol est couvert à 25-40 %, à 0,7 avec un sol couvert à 40-60 %. À mesure qu'une culture se développe, la couverture du sol peut passer de 10 % à 100 % (couverture intégrale du sol par la culture).
- En fin de saison (phase d'arrière-saison), la valeur finale du K_c reflète la qualité et la durabilité des pratiques de gestion de l'eau en fonction des besoins des cultures.

3) Les sols et l'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.
- La perte de stabilité de la plante due à une perte de turgescence de ses cellules provoque son flétrissement, entrave sa croissance et entraîne, à terme, la mort de la plante.
- La détermination de la quantité d'eau mise à la disposition des cultures par le sol, prend en compte les processus relatifs à l'eau et au sol ainsi que les besoins d'eau des plantes.
- Les sols fournissent aux plantes un support physique, de l'air, de l'eau, des nutriments, une protection contre les toxines et un système de ventilation.
- La connaissance et la gestion des propriétés chimiques du sol sont essentielles pour offrir les meilleures conditions de croissance aux cultures.
- La porosité du sol détermine sa capacité de rétention de l'eau et caractérise sa perméabilité, à savoir la circulation de l'eau dans et à travers le sol.
- La « teneur en eau d'un sol » (TES) est la quantité d'eau retenue par le sol.
- Un sol est saturé lorsque, après des précipitations ou une irrigation, tous les pores du sol sont remplis d'eau.
- Les sols saturés ne contiennent pas d'air, alors que, pour se développer, les plantes et leurs racines ont besoin à la fois d'air et d'eau.



- La « capacité au champ » (CC) est la situation où la teneur/proportion en air et en eau est réputée idéale pour la croissance des plantes.
- La teneur en eau du sol 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 CC.

4) Les besoins en eau pour les cultures sous irrigation

- L'estimation des besoins en eau des cultures sous irrigation tient compte obligatoirement de l'établissement préalable de l'équilibre hydrique du sol.
- Le modèle CROPWAT de la FAO, par son module de planification, peut être utilisé pour le calcul quotidien de l'équilibre hydrique des sols avant qu'ils soient irrigués.
- Pour assurer la bonne gestion de l'irrigation par gravité, CROPWAT utilise une valeur par défaut de 70 % d'efficacité de l'irrigation.
- La valeur par défaut de CROPWAT correspond à une profondeur nette d'irrigation de 70 % du volume de la profondeur brute d'irrigation.
- Le volume réel d'eau nécessaire à l'irrigation peut aussi être calculé en mètres cubes (m^3) : les besoins d'irrigation exprimés en millimètre (mm) sont transformés en mètres (m) et multipliés par la superficie (en m^2) du champ concerné.



FEUILLET 4

Agriculture et qualité de l'eau

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- identifier l'impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau ;
- mieux comprendre l'importance de la qualité de l'eau pour l'agriculture ;
- comprendre comment l'agriculteur peut éviter la pollution de l'eau.

MESSAGES CLÉS

1) Impact de l'agriculture sur la qualité de l'eau

- Les normes et réglementations applicables à la qualité de l'eau servent de références pour décrire les niveaux de pollution des eaux de surface ou des eaux souterraines.
- L'agriculture et la qualité de l'eau sont étroitement liées, elle est à la fois source de pollution de l'eau et victime de celle-ci.
- Les sources de pollution agricole sont de deux types : les sources ponctuelles et les sources non ponctuelles.
- Les principaux problèmes de qualité de l'eau directement liés à l'agriculture sont : la salinisation, les charges en nutriments dans les sources d'eau et la pollution par les pesticides.
- L'eau « saline » (ou « sodique ») devient un risque pour la croissance et le rendement des cultures à cause des sels dissous tels que : le chlorure de sodium (Na^+Cl^-), le calcium (Ca^{2+}), le magnésium (Mg^{2+}), le sulfate (SO_4^{2-}) ou le bicarbonate (HCO_3^-).
- Les fortes concentrations en sels entravent l'absorption de l'eau par les plantes et entraînent une diminution du rendement des cultures.
- Le sodium (Na^+) a des incidences plus importantes sur les sols et sur les cultures que les autres cations.
- Les mauvaises pratiques agricoles ont également comme conséquence directe sur la qualité de l'eau, le dépôt ou l'accumulation dans les eaux de sédiments dus à l'érosion des sols.
- La libération d'agents pathogènes dans l'eau constitue un problème de pollution indirecte.
- La présence de niveaux élevés de nutriments dans l'eau provoque une prolifération des plantes aquatiques, du phytoplancton, des algues et des macrophytes.
- L'excès de nutriments dans les eaux provoque problèmes d'hypoxie (ou faible niveau d'oxygène dans l'eau) et d'anoxie (ou manque d'oxygène dans l'eau).



2) Importance de la qualité de l'eau pour l'agriculture

- Des millions d'agriculteurs dans le monde utilisent couramment de l'eau de qualité médiocre pour l'irrigation des cultures.
- La qualité médiocre de l'eau a des effets négatifs sur le rendement des cultures.
- La qualité chimique médiocre de l'eau engendre des risques de salinité/toxicité pour les sols et les plantes, et de corrosion ou obstruction pour les conduites du système d'irrigation.
- La qualité physique médiocre de l'eau entraîne des problèmes de blocages dus aux particules solides en suspension et à d'autres impuretés.
- La qualité biologique médiocre de l'eau est source de la prolifération d'agents pathogènes, nocifs pour la santé humaine et animale, pour les sols, pour les plantes et même pour le système d'irrigation (bouchage des goutte-à-goutte).
- Les eaux usées et/ou polluées doivent être traitées avant leur usage en agriculture ou après une analyse des différents paramètres, mais en s'appuyant sur les lignes directrices existantes, notamment celles de l'OMS ou de la FAO.

3) La pollution de l'eau due à l'agriculture peut être évitée

- La prise de conscience des impacts majeurs de l'agriculture sur l'environnement et sur la santé est un préalable incontestable pour éviter la pollution de l'eau par l'agriculture.
- La pollution de l'eau due à l'agriculture peut être évitée ou réduite de deux manières : le traitement des eaux usées et la réduction des rejets de polluants dans l'environnement.
- Le traitement est une option pour les sources de pollution ponctuelles, parce que les effluents sont aisément collectés et traités.
- Les pratiques visant à réduire les rejets de polluants dans l'environnement sont : le plan de gestion des nutriments, la gestion intégrée des nutriments pour végétaux (GINV) et la gestion intégrée des ravageurs (GIR ou IPM).
- La lutte contre l'érosion, la récupération et le traitement des eaux de ruissellement agricoles ainsi que le recyclage sont également des pratiques visant à réduire les rejets de polluants dans l'environnement.

NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....

.....



FEUILLET 5

Irrigation

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- identifier les différentes méthodes d'irrigation ;
- faire un choix judicieux de méthodes d'irrigation adaptées ;
- comprendre la conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation ;
- recenser les sources d'eau d'irrigation potentielles ;
- comprendre l'importance de capter, stocker ou recycler l'eau ;
- comprendre les éléments importants pour la performance des systèmes d'irrigation.

MESSAGES CLÉS

1) Les différentes méthodes d'irrigation

- Les techniques et les méthodes d'irrigation utilisées en agriculture sont l'héritage direct de siècles de développement technique et sont présentes dans toutes les civilisations.
- La grande variété des méthodes d'irrigation existantes peuvent être divisées en deux catégories principales : l'irrigation par gravité (par submersion ou bassins, sillons ou bordures) et l'irrigation sous pression (par aspersion ou goutte-à-goutte).
- La méthode d'irrigation par gravité est utilisée sur des pentes douces, régulières, et sur des sols dont le taux d'infiltration est moyen à faible, avec une texture moyenne à fine.
- La méthode d'irrigation par submersion (ou irrigation par bassins) est peu efficace, car plus de la moitié de l'eau est perdue (évaporation, ruissellement, percolation), mais elle permet de contrôler certains pathogènes.
- La méthode d'irrigation par sillons est caractérisée par la réalisation de tranchées ou de rigoles, creusées entre les rangées de semis où l'eau s'écoule par gravité, qui permettent de gérer l'irrigation plus efficacement. Elle est utilisée pour des cultures en rangs serrés ou en vergers.
- La méthode d'irrigation par bordures est une variante de l'irrigation par cuvettes qui est adaptée aux terrains en pente, généralement de formes allongées et rectangulaires.
- L'irrigation par sillons peut être effectuée en présence du couvert végétal.
- Dans l'irrigation par sillons, le plan d'eau est moins étendu et les pertes par évaporation plus faibles.



- La méthode d'irrigation par aspersion est conçue sur le modèle de la pluie naturelle et, bien qu'utilisée dans le monde entier sur des champs de petite et grande taille, elle est particulièrement recommandée dans les régions déficitaires en eau.
- Le rendement de l'aspersion dépasse parfois les 75 %, mais elle n'est pas possible quand les vents sont trop violents.
- L'irrigation goutte-à-goutte consiste à arroser chaque plante séparément avec une quantité précise d'eau, et, grâce à des goutteurs, apporter l'eau constamment au même endroit.
- Le système goutte-à-goutte existe par gravité (petits systèmes) ou sous pression.

2) Le choix de méthodes d'irrigation adaptées

- 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.
- L'irrigation peut être nécessaire pour assurer un rendement optimal des cultures, mais cela dépendra de la méthode utilisée et la bonne gestion générale du système d'irrigation.
- Le choix d'une méthode d'irrigation tient compte : des conditions naturelles, du type de culture, des particularités de la méthode, avec ses avantages et ses inconvénients, ainsi que de divers facteurs naturels, sociaux et économiques.
- Les conditions naturelles à considérer sont : le type de sol, la pente, le climat, la disponibilité en eau (constante ou non) et la qualité de l'eau (salinité).
- Toutes les méthodes d'irrigation présentent des avantages et des inconvénients : ce qui est déterminant, c'est d'avoir une bonne connaissance des conditions locales avant de prendre une décision.

3) La conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation

- Le choix de méthodes d'irrigation appropriées précède la sélection du « système d'irrigation » qui doit être adapté à chaque situation particulière (coût d'aménagement et coût d'entretien, p. ex.).
- Divers systèmes d'irrigation sont possibles, adaptés à diverses échelles et pour utiliser diverses sources d'eau.
- Pour développer un système d'irrigation, il est essentiel de connaître la disponibilité en eau dans la zone géographique concernée.
- L'installation d'un système d'irrigation sous pression, composé d'un réseau de tuyaux sous pression, exige la conception d'un plan détaillé et l'aide d'un spécialiste s'impose.
- Le système d'irrigation sous pression est complexe et comprend une pompe, des tuyaux, des raccords, des systèmes de réglage du débit, des filtres, etc.
- La conception d'un système d'irrigation sous pression impose une approche générale préalable (surface, méthode d'émission, besoins en eau).
- Le système d'irrigation sous pression nécessite un suivi rigoureux à toutes les étapes de mise en œuvre.



- L'irrigation fertilisante dans les systèmes d'irrigation sous pression est l'administration combinée de nutriments (engrais) et d'eau à une culture. Mal mise en œuvre, elle peut endommager les cultures et polluer l'environnement.
- Les systèmes hydroponiques, qui consistent à cultiver hors sol ou dans un milieu aquatique dans une serre, sont efficaces et productifs, car les plantes reçoivent exactement ce dont elles ont besoin, au moment où elles en ont besoin.
- Les systèmes hydroponiques qui fonctionnent en circuit fermé permettent de réduire au minimum l'incidence sur l'environnement de la pollution liée à l'eau.
- Le drainage joue un rôle très important en irrigation, car : il permet l'élimination des eaux d'irrigation excédentaires en provenance des systèmes d'irrigation, 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 d'un drain principal, ciblant à la fois le drainage de surface et le drainage en profondeur, et d'un point d'écoulement.

4) Les sources d'eau d'irrigation, le captage, le stockage et le recyclage de l'eau

- La source d'eau utilisée pour l'irrigation dépend principalement de la disponibilité de l'eau dans une zone géographique donnée (parfois l'accès à l'eau doit être partagé).
- Les diverses sources d'eau sont : l'eau souterraine provenant des sources, des puits ou des forages, et l'eau de surface provenant des cours d'eau, des lacs ou des réservoirs.
- L'utilisation de sources non conventionnelles telles que les eaux usées, l'eau dessalée, l'eau de pluie collectée, ou l'eau de drainage est possible.
- Il est important de planifier la manière de capter l'eau lorsque la source d'eau est identifiée.
- Les cours d'eau sont souvent utilisés pour l'irrigation, mais l'écoulement n'est pas constant (variation de débit) et donc la quantité d'eau disponible fluctue au fil du temps. Les barrages permettent de réguler les niveaux d'eau et de faciliter la collecte.
- La collecte, qui peut se faire sur les canaux d'alimentation par des prises d'eau munies de vannes, est facilement contrôlée.
- La collecte peut aussi se faire par pompage lorsque l'eau ne peut être déviée par gravité (pomper coûte plus cher que stocker dans un barrage).
- Le stockage de l'eau (de fleuve, de pluie) est possible par la construction artificielle de réservoirs, ou l'eau d'un fleuve peut être déviée vers les bras morts du cours d'eau, ou accumulée dans une vallée (barrages de contrôle).
- L'eau stockée dans un réservoir est utilisée pour l'irrigation par le système de gravité, ou par le système de tuyaux, ou pompée en amont durant la saison sèche.
- Les eaux souterraines sont prélevées soit naturellement, directement à la source, soit artificiellement, par des pompes et/ou des puits.
- Le principe de base de l'utilisation des eaux souterraines est que l'extraction d'eau ne devrait jamais dépasser la recharge.
- Les barrages de contrôle renforcent l'infiltration de l'eau vers les nappes.

- Les matelas de rameaux formés de broussailles, de branches d'arbres et de tiges, ainsi que les bouchons de terre ont pour but de collecter les eaux de pluie ruisselant sur le sol et de les diriger vers le sous-sol pour les emmagasiner.
- Les eaux usées (sanitaires) peuvent être recyclées, mais il faut vérifier leur qualité chimique et biologique.
- L'utilisation combinée de plusieurs sources d'eau constitue le meilleur moyen de garantir un approvisionnement en eau durable et efficace à long terme.

5) Performance des systèmes d'irrigation

- La performance des systèmes d'irrigation est évaluée 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 (UD).
- L'EI est le pourcentage du volume d'eau capté, et dirigé vers un système d'irrigation, qui est effectivement utilisé (évaporé) par les plantes.
- L'EI, essentiel pour améliorer le rendement hydraulique, est ramenée à deux facteurs : l'efficacité du transport (ec) et l'efficacité d'application (ea) de l'irrigation.
- L'ec est l'efficacité du transport de l'eau, de la source au champ, qui dépend de : la longueur des canalisations, la perméabilité du type de sol, l'état et l'entretien des canaux.
- L'ea est l'efficacité de l'application de l'eau dans le champ, qui dépend principalement de : la méthode d'irrigation utilisée et de la discipline de l'agriculteur (gravité : 60 % ; goutte-à-goutte : 75-90 %).
- Le stockage de l'eau joue un rôle crucial dans l'EI, car connaître la quantité d'eau stockée et les conditions de stockage permet de contrôler sa disponibilité.
- Les paramètres qui conditionnent l'efficacité de l'irrigation sont : le volume de l'eau captée et stockée, les méthodes de stockage et les méthodes de distribution dans le champ, l'infiltration dans le sol, l'évaporation au niveau du sol, la capacité de rétention de l'eau, le type de culture et les besoins de drainage.
- Le rendement hydraulique d'une irrigation (RHI) est le rapport entre la quantité d'eau captée et le rendement agricole ou le profit généré.
- L'uniformité de la distribution (UD) indique la mesure dans laquelle l'eau s'infiltré uniformément dans le sol au cours de l'irrigation. Elle varie de 100 à 0 %.
- L'UD est une mesure de la performance du système d'irrigation.

NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....



FEUILLET 6

Gestion de l'irrigation

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de :

- définir la gestion de l'irrigation ;
- comprendre et appliquer les mesures adaptées pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation ;
- diversifier les sources d'eau d'irrigation par la gestion des eaux drainées ;
- comprendre l'importance de la mise en place des mesures pour réduire les incidences environnementales et les incidences sociales de l'irrigation.

MESSAGES CLÉS

1) Qu'est-ce qu'une gestion durable de l'irrigation ?

- La gestion durable de l'irrigation est d'avoir une utilisation de l'eau de la manière la plus efficace et efficiente possible.
- Une gestion efficace et efficiente de l'irrigation s'emploie à économiser l'énergie et à réduire au minimum la pollution et ses autres incidences environnementales et sociales négatives.
- La bonne gestion doit être appliquée à toutes les étapes du système d'irrigation mis en place.
- Les différentes étapes sont : le prélèvement ou le pompage, le transport et la distribution au champ et le drainage. Chaque étape est un « système » à analyser.
- La gestion efficace et efficiente signifie la conservation de l'eau.
- La conservation de l'eau est possible par toute réduction de l'utilisation, des pertes ou du gaspillage de l'eau.
- La conservation de l'eau se réfère également à une amélioration de la gestion de l'eau et à des pratiques agricoles optimisant l'utilisation de la ressource en eau, au profit de la population et de l'environnement.

2) Les mesures adaptées pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation

- Les mesures adoptées pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation visent à la conservation de l'eau.
- Les meilleurs résultats sont obtenus lorsque les efforts consentis pour la conservation de l'eau sont coordonnés au niveau de l'exploitation agricole et au niveau du bassin versant.



- Dans un système d'irrigation, la conservation de l'eau est possible par la réduction des pertes pendant l'adduction et le transport de l'eau d'irrigation, et par l'amélioration des pratiques agricoles.
- Dans un système d'irrigation, la conservation de l'eau est aussi atteinte grâce à un calendrier optimal des apports d'eau d'irrigation basé sur une planification rigoureuse.
- L'efficacité du transport de l'eau d'irrigation est obtenue par l'efficacité de l'adduction et l'efficacité de l'application sur le champ.
- Les mesures adaptées concernent la distribution de l'eau de la source jusqu'à l'exploitation et, sur l'exploitation même, le rapport entre l'eau utilisée et l'eau répandue sur le champ.
- Le passage d'un système de canaux à ciel ouvert à un réseau de conduites est un moyen de limiter les pertes d'eau par percolation ou infiltration dans le sol, ou encore par évaporation.
- Le partage des responsabilités et des travaux d'inspection, d'entretien et de réparation des canaux facilite la mise en place d'un système efficace de conservation de l'eau d'irrigation.
- Il est indispensable de planifier correctement l'irrigation pour améliorer le rendement hydraulique à l'échelle de l'exploitation.
- 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.
- Le modèle CROPWAT 8.0 de la FAO est un outil pratique de planification de l'irrigation.
- La planification de l'irrigation déficitaire permet à l'exploitant d'optimiser l'utilisation de l'eau disponible, particulièrement lorsque les quantités d'eau disponibles sont limitées.
- L'irrigation intelligente utilise des technologies innovantes qui aident les exploitants à déterminer avec plus de précision les besoins d'eau des cultures en quantité et dans le temps.
- Les pratiques agricoles qui 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 sont des mesures à prendre en compte dans la conservation de l'eau.

3) La gestion des eaux drainées

- La gestion des eaux de drainage est une 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.
- Le drainage doit créer un milieu racinaire adapté à la croissance des plantes avec un sol suffisamment aéré et gérer la teneur en sels dans la zone racinaire.
- Les bonnes pratiques de gestion des eaux de drainage sont la gestion du niveau de nappe, la réutilisation de l'eau de drainage, le traitement de l'eau de drainage et les bandes enherbées.
- La limitation de l'écoulement de l'eau par un drain souterrain permet de gérer le niveau de nappe et de la faire remonter.



- La réutilisation de l'eau de drainage est une solution dans les cas où l'approvisionnement en eau est limité afin de réduire les charges en nutriments dans les eaux réceptrices.
- Le traitement de l'eau de drainage peut être réalisé à l'aide de filtres constitués de plantations (bandes ou zones de végétation) qui sont efficaces pour éliminer les sédiments, la matière organique et d'autres polluants des eaux de drainage qui quittent les champs.

4) Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation

- Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation concernent principalement la gestion de la salinité.
- Les pratiques de contrôle de la salinité incluent la réduction de l'apport de sels, le choix des sites et de cultures adaptées, avec l'application de bonnes pratiques de gestion du sol et/ou de l'eau.
- Les bonnes pratiques de gestion du sol et/ou de l'eau regroupent : la sélection des cultures, l'injection d'acides dans les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte et la planification de l'irrigation.
- La disposition des lits de semences et le maintien de la matière organique (MO) du sol sont également de bonnes pratiques de gestion du sol et/ou de l'eau.

5) Mesures pour l'atténuation des incidences sociales de l'irrigation

- L'utilisation de l'eau d'irrigation entraîne souvent une réduction de l'eau disponible pour les autres utilisations, notamment pour les usages domestiques.
- La disponibilité réduite d'eau ou le surcroît de pollution a des incidences négatives sur les écosystèmes et sur leurs services.
- La limitation des incidences sociales va de pair avec la gestion durable et responsable de l'eau, et les bonnes pratiques d'irrigation.
- Les incidences environnementales ont aussi incidences sociales, c'est-à-dire qui touchent directement la population.
- Les mesures pour l'atténuation des incidences sociales et environnementales de l'irrigation doivent prendre leur source dans la connaissance de la réglementation locale.
- Le système d'irrigation complet doit être conçu pour s'intégrer harmonieusement à la situation et au contexte politique local.
- La gestion participative de l'irrigation (GPI) est une mesure à conseiller pour l'atténuation des incidences sociales de l'irrigation.
- Un « plan de gestion de l'eau et de l'irrigation » est une bonne mesure pour l'atténuation des incidences sociales de l'irrigation : il permet d'assurer la meilleure gestion possible de l'eau.

FEUILLET 7

Gestion de l'eau destinée au lavage et au traitement post-récolte

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de/d' :

- comprendre l'importance de la gestion de l'eau après la récolte ;
- identifier les problèmes liés à l'eau pendant le lavage et les traitements postérieurs à la récolte ;
- prendre en compte la conservation de l'eau pendant le lavage et le traitement post-récolte ;
- expliquer le rapport entre l'utilisation de l'eau après la récolte et les pertes alimentaires.

MESSAGES CLÉS

1) L'utilisation de l'eau après la récolte

- La gestion de l'eau en post-récolte est essentielle pour maintenir la qualité du produit récolté jusqu'à la consommation.
- La transpiration du fruit ou l'évaporation de l'eau affecte le poids, l'apparence et la qualité du produit récolté.
- L'eau utilisée après la récolte est une source potentielle de contamination, et il est important de comprendre et de gérer les risques qui y sont associés.
- La quantité d'eau consommée après la récolte pour laver et traiter les produits est importante, et la plus grande partie de l'eau utilisée retourne au système sous forme d'effluent.
- L'utilisation de l'eau pour le lavage des produits en post-récolte est soumise à des normes de qualité et la réglementation en vigueur doit être respectée.
- Le contrôle des critères de qualité de l'eau et de la température est indispensable pour l'utilisation de l'eau dans les traitements phytosanitaires postérieurs à la récolte.
- L'eau joue un rôle important dans le conditionnement et le stockage, surtout pour les denrées périssables qui ont des durées de conservation courtes.

2) Les problèmes d'eau pendant le lavage et le traitement postérieurs à la récolte

- Pour garantir la disponibilité constante de l'eau propre pour les utilisations postérieures à la récolte, les problèmes liés aux infrastructures de distribution appropriées et à la quantité d'eau potable sont récurrents.
- L'eau utilisée pour les opérations de nettoyage, de lavage ou de conditionnement est souvent contaminée par les polluants.



- Les effluents d'eaux usées ont généralement des effets négatifs sur les autres utilisateurs de l'eau ou sur l'environnement.
- La gestion des effluents requiert une vérification des contaminants : il faut décider quelle est la forme de rejet appropriée et si un traitement avant le déversement est nécessaire.
- Une évaluation des risques pour déterminer le degré de dangerosité des contaminants doit être mise en œuvre ; des mesures doivent être prises pour les éviter ou en atténuer les incidences sur l'environnement.

3) La conservation de l'eau pendant le lavage et le traitement

- Le traitement et le recyclage des effluents sont des mesures de conservation de l'eau qui doivent être appliquées après la récolte.
- Pour le recyclage, des appareils domestiques de purification de l'eau sanitaire existent et permettent de réutiliser l'eau de traitement pour certaines utilisations domestiques.
- Le traitement et le recyclage peuvent être réalisés par l'ultrafiltration, un système qui réduit considérablement l'utilisation d'eau et d'énergie, tout en offrant des niveaux élevés de qualité de l'eau.
- Une exploitation agricole peut installer une petite unité de purification pour traiter ses effluents, lui permettant de réutiliser l'eau souillée dans son installation de conditionnement, pour l'irrigation ou pour des besoins domestiques.

4) L'utilisation de l'eau après la récolte et les pertes alimentaires

- La gestion médiocre de l'eau et de l'humidité dans les étapes postérieures à la récolte génère des pertes significatives et conduit au gaspillage des produits récoltés.
- Les pertes significatives et le gaspillage des produits récoltés ont pour conséquence des problèmes de sécurité alimentaire et la détérioration de la qualité des produits.
- La plus grande partie des pertes alimentaires se produit après la récolte et pendant le traitement des produits.
- L'utilisation durable de l'eau et l'amélioration de la manipulation des produits après récolte revêtent une importance cruciale, particulièrement dans les pays en développement.

NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....

.....



FEUILLET 8

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

OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

À l'issue de cette séquence de formation, le participant doit être capable de :

- comprendre l'origine du droit à l'eau et les évolutions de ce droit selon l'époque, les coutumes locales et l'histoire du lieu ;
- définir le droit à l'eau (selon la FAO) ;
- comprendre le rôle des agriculteurs dans le droit à l'eau et dans la gestion de la ressource en eau, spécialement des horticulteurs ;
- connaître les exigences en matière de qualité des masses d'eau (cadre législatif) ;
- comprendre les principes de la GIRE (gestion intégrée de la ressource en eau) ;
- comprendre ce qu'implique l'intérêt du secteur privé dans la gestion de l'eau et les exigences intégrées aux normes volontaires privées comme GLOBALG.AP.

MESSAGES CLÉS

1) Comprendre la législation sur l'eau : le droit à l'eau

- 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 au cours du temps (coutumes locales ; droit romain en Europe).
- Les coutumes locales et le droit coutumier est bien vivant, et doit être considéré.
- La réglementation européenne influence fortement la législation de nombreux États.
- La fin du XX^e siècle a vu débiter 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.
- La FAO définit le droit sur l'eau comme « un droit légal d'extraire et d'utiliser un volume d'eau d'une source naturelle telle qu'une rivière, un ruisseau ou un aquifère ».
- 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).
- 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 » reconnu par les Nations Unies.
- Dans les situations où les ressources en eau sont rares, la législation moderne sur l'eau peut déterminer quelles utilisations prévalent sur les autres (« hiérarchie des utilisations de l'eau »).



- Un « droit de réserve » peut aussi exister dans certains pays pour garantir les besoins fondamentaux et écologiques.
- 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 (ex. : directive-cadre sur l'eau de l'UE).
- 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 ».
- Il est important de comprendre comment les horticulteurs/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.
- 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.

2) Guider l'action : pourquoi et par où commencer ?

- Lors du sommet Rio de 1992, 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.
- La GIRE repose sur 5 principes.
- En 2012, 80 % des pays ont déclaré avoir entamé des réformes afin d'améliorer l'environnement nécessaire à la gestion intégrée des ressources en eau ; les risques et rivalités ont aussi augmentés.
- Le secteur privé s'est intéressé de plus en plus à la gestion de la ressource en eau.
- L'évaluation de l'« empreinte sur l'eau » s'est normalisée grâce au *Water Footprint Network* et à la norme ISO 14046.
- GLOBALG.A.P. a introduit des exigences concernant l'eau dans sa norme IFA (*Integrated Farm Assurance*).
- Des outils avancés permettant de comprendre les risques liés à l'eau pour les entreprises ont été mis en libre accès (ex. : AQUEDUCT)
- 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 5 principes de la GIRE doivent devenir partie intégrante de l'utilisation de l'eau et des pratiques agricoles.
- Une démarche en 5 étapes est proposée pour incorporer la gestion intégrée des ressources en eau dans un environnement horticole.



Résumé du manuel

Gestion durable de l'eau

1. Contexte hydrologique de l'agriculture	38
2. Fondements du système mondial de l'eau	42
3. De l'eau pour le développement des plantes.....	47
4. Agriculture et qualité de l'eau.....	50
5. Irrigation	53
6. Gestion de l'irrigation	56
7. Eau destinée au lavage et au traitement post-récolte.....	61
8. Droits sur l'eau, extraction et durabilité de l'utilisation de l'eau.....	63



L'eau est indispensable à la vie et elle est utilisée 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-Unis.

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 1 000 et 3 000 litres d'eau pour produire 1 kg de riz, et environ 2 000 à 5 000 litres d'eau pour produire le besoin quotidien en nourriture d'une personne.

1. CONTEXTE HYDROLOGIQUE DE L'AGRICULTURE

L'agriculture est le premier consommateur d'eau douce, avec environ **70 % des prélèvements mondiaux d'eau douce**, provenant des bassins versants et des lacs, contre 22 % pour le secteur industriel et 8 % pour les ménages.

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

- la demande croissante de produits agricoles: l'augmentation de la concurrence pour les ressources foncières et hydriques ;
- la rareté de l'eau : l'eau est une ressource limitée ;
- le changement climatique: l'agriculture y contribue tout en étant affectée par celui-ci ;
- 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 ;
- les besoins énergétiques : la production alimentaire consomme beaucoup d'eau, mais aussi beaucoup d'énergie ;
- les incidences environnementales : tout en augmentant la production, pour répondre à la demande croissante, l'agriculture doit réduire le plus possible 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.

L'eau dans la production alimentaire et la participation de l'agriculture dans la satisfaction des besoins alimentaires

D'après la FAO, l'agriculture regroupe les productions animales et végétales (plantes, champignons, fibres et cultures bioénergétiques). La production alimentaire ne représente qu'une partie de l'agriculture. Selon la FAO, 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 qui leur permet de satisfaire leurs besoins énergétiques et leurs préférences alimentaires pour mener une vie saine et active ». 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 1990-1992. 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**.

L'eau est considérée comme une ressource renouvelable, puisqu'elle circule à la surface de la Terre en accomplissant le cycle de l'eau. Mais, bien que renouvelable, **l'eau reste une ressource finie**, ce qui signifie que la quantité d'eau disponible sur la 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. Selon l'UNESCO, 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 ;
- dans le monde, plus d'une personne sur six 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 et polluent les réserves d'eau utilisables.

L'Assemblée générale des Nations Unies reconnaît explicitement **le droit de l'homme à l'eau** et à l'assainissement (résolution de 2010). 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 naturels, et attise la concurrence entre les secteurs qui utilisent l'eau. 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 Forum*, l'augmentation de la consommation d'eau destinée à l'agriculture d'exportation, par exemple, aurait eu des retombées négatives sur les écosystèmes et les populations locales, tout en accentuant la rareté de l'eau.

La pollution de l'eau aggrave considérablement les pressions sur le secteur de l'eau. D'après le PNUÉ14, 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 PNUÉ 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.

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. 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.



L'agriculture du futur

D'après le WRI, l'agriculture devra parvenir à un équilibre subtil au cours des prochaines années et devra permettre d'envisager un avenir durable sur le plan alimentaire. Cela nécessite 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 économique ;
- 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).
- **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 et réduire l'évaporation, afin de réduire les besoins en irrigation.
- **La recherche de rendements élevés grâce à des systèmes agro-écologiques** sains 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.
- **L'intégration de la gestion de l'eau à usage agricole à la gestion intégrée des ressources d'eau (GIRE)** : 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 ainsi qu'un bien social et économique qui doit être protégé.

L'impact et le rôle des pratiques agricoles et de l'irrigation dans la gestion durable de l'eau

Les pratiques agricoles ont des **incidences majeures sur l'efficacité** de l'utilisation des ressources que sont l'eau, la terre et les autres intrants agricoles. Il est utile d'examiner les pratiques agricoles dans la perspective d'une utilisation plus rationnelle des ressources, avant d'étudier les solutions technologiques, notamment les nouvelles techniques d'irrigation. Pour ce faire, **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. L'exploitant peut donc **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.

Pour survivre et se développer, les cultures ont besoin d'eau ; celle-ci peut être apportée soit par l'agriculture pluviale, soit par agriculture irriguée. Sur 1,4 milliard d'hectares estimés 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 mondiale. 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.

L'importance de l'irrigation doit être prise comme un élément central des efforts consentis pour parvenir à la sécurité alimentaire. L'attention est également attirée sur **deux effets secondaires courants et indésirables** des projets d'irrigation.

- Les projets d'irrigation cherchent à **favoriser les exploitants les plus riches** et laissent donc les plus pauvres à l'écart. 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.
- Les plans d'irrigation **bouleversent souvent les équilibres locaux, les droits et les coutumes, ils dévalorisent les connaissances environnementales et agricoles**, et l'expérience que les fermiers ont accumulée de génération en génération.

L'irrigation joue 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 », du contexte mondial décrit, et des réalités et politiques locales.

Considérations relatives à l'horticulture

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 et efficaces de l'eau. Au niveau mondial, le secteur horticole joue 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. Compte tenu de la pression qui s'exercera à l'avenir pour produire plus de nourriture avec moins d'eau, la production de végétaux présentera un intérêt croissant comme source 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 de ce secteur est donc en moyenne plus élevée.** Le développement de ce secteur joue un rôle majeur dans la réalisation des objectifs de réduction de la pauvreté et de sécurité 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.

Le secteur horticole est également confronté à de nombreux défis et à certains problèmes propres à l'horticulture, notamment africaine. 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.

2. FONDEMENTS DU SYSTÈME MONDIAL DE L'EAU

L'eau est la ressource la plus importante pour la vie sur Terre : sa molécule est composée d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène reliés entre eux par des liaisons covalentes. 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.

Les notions de base du cycle de l'eau

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 % 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 et 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.**

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, et inversement. 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 ;
- l'eau liquide est moins mobile que la vapeur d'eau.

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. Pour décrire le cycle de l'eau, il convient de commencer par l'océan.

- **La vapeur d'eau** : le soleil réchauffe la surface de l'océan, et 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. 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 est également produite directement par sublimation de la glace.
- **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 s'écoule 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 qui s'infiltré plus profondément dans le sol devient de l'eau souterraine.

Le cycle de l'eau est beaucoup plus complexe et des 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. **Le cycle de l'eau relie des parties du monde qui sont très éloignées les unes des autres.** L'évaporation du sol et des plantes est également très variable. Certaines plantes et cultures se caractérisent par une évaporation d'eau plus importante que les autres. Ces faits illustrent trois points importants :

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

Cela 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.

Les unités hydrologiques, les bassins hydrographiques et les aquifères

Dans un paysage, le processus d'« écoulement de l'eau jusqu'au point le plus bas » est à l'origine des cours d'eau. L'ensemble des cours d'eau de la zone qui alimente la 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. 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** est la 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). 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 commun.

- **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 ».

Un bassin hydrographique est toujours délimité par **une ligne de partage des eaux** qui n'est qu'une ligne imaginaire séparant 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.

L'eau ne ruisselle pas seulement en surface : elle s'infiltre également dans le sol et les roches plus en profondeur. Ce processus entraîne la **création d'une unité hydrologique dénommée nappe aquifère.** 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 ;
- un aquifère captif est une masse d'eau souterraine située entre deux couches de roches moins perméables.

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 quitte les aquifères de différentes manières :

- elle peut surgir naturellement des **sources** et venir ainsi s'ajouter aux ressources en eau de surface ;
- elle **peut être extraite artificiellement par des puits ou des forages de pompage** pour les ménages, l'agriculture ou les industries.

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 sont polluées si de l'eau contenant des polluants biologiques ou chimiques s'infiltre dans l'aquifère ; ou si elle est surexploitée, elle **devient 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 également par l'examen attentif des problèmes de qualité de l'eau.

Bilan hydrologique d'un bassin

La méthode de base pour comprendre l'état hydrologique d'un bassin quelconque consiste à produire un « **bilan hydrologique** ». Le bilan hydrologique d'un système 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. Le concept de bilan hydrologique permet de comprendre le comportement hydrologique d'un bassin hydrographique.



Pour estimer le bilan hydrologique d'un bassin, il faut distinguer l'eau verte et l'eau bleue :

- **l'eau verte** désigne la partie des précipitations qui s'évapore ou est transpirée par les plantes ;
- **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.

Le bilan hydrologique d'un bassin hydrographique est exprimé en unités de volume : mètre cube (m³) ou millions de mètres cubes (Mm³). **L'agriculture irriguée utilise à la fois l'eau verte et l'eau bleue** si les cultures utilisent à la fois l'humidité du sol, provenant des précipitations, et l'eau d'irrigation, provenant de sources de surface et/ou souterraines. **Les besoins de consommation d'eau bleue, c'est-à-dire les besoins d'irrigation**, dépendent principalement des conditions climatiques locales. **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.

Les débits environnementaux requis

Les « **débits environnementaux requis** » désignent la quantité, la qualité et la saisonnalité des **débits d'eau bleue 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, selon la Déclaration de Brisbane (2007). 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.

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 » d'après *Water Footprint Network* (2015).

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. **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.

L'importance de la consommation humaine en eau et la pollution de l'eau

L'empreinte sur l'eau est un indicateur proposé pour évaluer l'appropriation et l'utilisation de l'eau par les hommes. Il est utilisé pour déterminer la consommation humaine et évaluer la pollution des eaux. L'empreinte sur l'eau a **trois composantes**.

- **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. 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.**



- **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.**

L’empreinte moyenne mondiale sur l’eau au cours de la période 1996-2005 a été de 9,087 Gm³/an soit : 74 % d’eau verte, 11 % d’eau bleue et 15 % d’eau grise. 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 % de l’empreinte totale sur l’eau (soit 945 Gm³/an) à l’échelle mondiale.** Les principales utilisations de l’eau douce varient d’un pays à l’autre, par exemple, dans les pays ACP, l’agriculture utilise plus de 85 % de l’eau extraite. **En Asie du Sud, en Afrique, en Amérique centrale ou en Amérique du Sud, l’agriculture est le premier consommateur d’eau.**

Le contenu en eau virtuelle d’un produit fait référence au volume d’eau douce « contenu » dans le produit, au sens virtuel. 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. 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, **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. Les importations/exportations d’eau virtuelle ont été décrites 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. 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, et enfin, la dépendance politique.

La rareté de l’eau à travers le monde et les normes de qualité avec les niveaux de pollution de l’eau

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.** 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. 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.



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 »**. 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 le niveau d'éducation des hommes.

Deux sources de pollution sont généralement constatées.

- 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 ».
- La **pollution diffuse** peut être provoquée par une série d'activités n'ayant pas de point de rejet particulier, telle que l'agriculture, qui est une source majeure de pollution diffuse (ex. : fertilisants, pesticides, sédiments, parasites, toxines, virus). Mais aussi les drogues humaines ou produits chimiques et médicaments, pétrole, détergents, métaux lourds et microbes fécaux.

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. 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.

Les normes sont mises en place pour protéger contre les effets négatifs prévus sur la santé ou le bien-être de l'homme, la vie sauvage ou le fonctionnement des écosystèmes ; elles peuvent être publiées pour un État particulier, un pays ou un groupe de pays.

3. DE L'EAU POUR LE DÉVELOPPEMENT DES PLANTES

L'eau est à la base des nombreux processus physiologiques nécessaires à la croissance des plantes. 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 ou évaporation. Environ 95 % de l'eau pompée dans le sol par les plantes sont utilisés 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.

L'importance de l'eau pour les plantes

La **transpiration conditionne le gradient de potentiel hydrique** des feuilles aux racines. 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. La transpiration varie en fonction du stade de développement de la plante et 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. Pour pousser dans des régions chaudes, les plantes ont généralement besoin d'une quantité d'eau plus importante.

La turgescence garantit une stabilité mécanique aux tissus des plantes non ligneuses. Sans la stabilité que leur confère la turgescence, de nombreuses plantes s'affaibliraient et leurs processus physiologiques seraient inhibés. Ces processus comprennent notamment, l'élargissement cellulaire ou la 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) qui correspond à la teneur en eau du sol en deçà de laquelle la plante ne peut plus prélever l'eau dont elle a besoin. 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) c'est-à-dire, 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.

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. Le déplacement de l'eau à travers la plante résulte de deux phénomènes :

- le principal est la transpiration par les feuilles ;
- le second processus 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.

Besoins en eau pour les cultures

Les besoins en eau pour les cultures se définissent comme la profondeur ou la quantité d'eau requise pour l'évapotranspiration d'une culture donnée ou évapotranspiration potentielle.

L'évapotranspiration (ET) est la somme de la transpiration par les feuilles des plantes et de l'évaporation à la surface du sol. 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. Les besoins en eau des cultures sont fonction de ses quatre phases de croissance : phase initiale, phase de développement, phase de mi-saison, phase d'arrière-saison.

Pour calculer les besoins en eau d'une culture ou « **évapotranspiration potentielle** » (ETP), un coefficient (Kc), spécifique à chaque type de culture, est utilisé. Le Kc dépend du type de culture et de l'humidité du sol, et sa valeur oscille généralement de 0,5 si le sol est couvert à 25-40 %, à 0,7 avec un sol couvert à 40-60 %. À mesure qu'une culture se développe, la couverture du sol peut passer de 10 % à 100 %, ce qui représente la couverture intégrale du sol par la culture. En fin de saison ou dite « phase d'arrière-saison », la valeur finale du Kc reflète la qualité et la durabilité des pratiques de gestion de l'eau et des besoins des cultures.



Les sols et l'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. Les sols fournissent aux plantes :

- un support physique ;
- de l'air, de l'eau ;
- des nutriments ;
- une protection contre les toxines et un système de ventilation.

Les sols sont des milieux vivants et complexes, qui possèdent des propriétés physiques et chimiques importantes pour les agriculteurs, en particulier celles qui ont trait à l'eau. La connaissance et la gestion de ces propriétés physiques et chimiques sont essentielles pour offrir les meilleures conditions de croissance aux cultures. En effet, la **porosité du sol** détermine sa capacité de rétention de l'eau et caractérise sa perméabilité, à savoir la circulation de l'eau dans et à travers le sol. La **teneur en eau d'un sol (TES)** est la quantité d'eau retenue par le sol. Un sol est saturé lorsque, après des précipitations ou une irrigation, tous les pores du sol sont remplis d'eau. Les sols saturés ne contiennent pas d'air, or pour se développer, les plantes et leurs racines ont besoin à la fois d'air et d'eau. La **capacité au champ (CC)** est la situation où la teneur en air et en eau est réputée idéale pour la croissance des plantes. La teneur en eau du sol 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 CC.

L'humus est un réservoir de carbone dans le sol, et les microbes présents dans le sol respirent plus rapidement si les concentrations de carbone sont plus importantes. Les matières organiques du sol (MOS) 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.

Besoins en eau pour les cultures et l'irrigation

L'évaluation des besoins en eau des cultures sous irrigation tient compte obligatoirement de l'établissement préalable de l'équilibre hydrique du sol. **CROPWAT est un modèle de la FAO** qui calcule quotidiennement l'équilibre hydrique des sols avant qu'ils soient irrigués. Pour assurer la bonne gestion de l'irrigation par gravité, CROPWAT utilise une valeur par défaut à savoir 70 % d'efficacité de l'irrigation. Cela signifie que la profondeur nette d'irrigation correspond à 70 % du volume de la profondeur brute d'irrigation. **Dans ce modèle, 30 % de l'eau d'irrigation sont donc « perdus » à cause des déficiences.** Pour ce faire, les besoins d'irrigation exprimés en mm sont transformés en m par une division par 1 000. Le chiffre obtenu est ensuite multiplié par la superficie en m² du champ concerné.



4. AGRICULTURE ET QUALITÉ DE L'EAU

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 sédiments dans les eaux de surface ou les eaux souterraines, de la perte nette de sol par 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 contaminent les cultures et transmettent des maladies aux consommateurs et aux travailleurs agricoles. Il existe deux types de sources de pollution agricole : les sources ponctuelles et les sources non ponctuelles. **Dans le secteur horticole, les sources de pollution ponctuelle les plus courantes sont les effluents de l'eau utilisée pour traiter et laver les produits.**

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.** 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.

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 salinité est un problème qui concerne à la fois le sol et l'eau, car l'un influence l'autre.

Les fortes concentrations en sels entravent l'absorption de l'eau par les plantes et entraînent une diminution du rendement des cultures. Le sodium (Na⁺) a des incidences plus importantes sur les sols et sur les cultures que les autres cations. Les mauvaises pratiques agricoles ont également des conséquences directes sur la qualité de l'eau : le dépôt ou l'accumulation dans les eaux de sédiments dus à l'érosion des sols. La libération d'agents pathogènes dans l'eau constitue un problème de pollution indirecte.

La présence de niveaux élevés de nutriments dans l'eau provoque une prolifération des plantes aquatiques, du phytoplancton, des algues et des macrophytes. L'excès de nutriments dans les eaux provoque un problème d'hypoxie, qui est le faible niveau d'oxygène dans l'eau, et d'anoxie ou manque d'oxygène dans l'eau.

Une partie des **pesticides** atteignent une destination autre que leur cible 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. Il existe **quatre trajectoires** principales que les pesticides peuvent suivre avant d'atteindre l'eau avec un potentiel de pollution ou de contamination et ils peuvent :

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



Le problème des pesticides 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.

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. 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 ». La qualité médiocre de l'eau a aussi des effets négatifs sur le rendement des cultures tel que la réduction du rendement aux différents niveaux de salinité.

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'irrigation.

L'utilisation des eaux usées urbaines dans l'agriculture

Les eaux usées urbaines sont généralement une combinaison d'effluents domestiques, à savoir les eaux 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.



Cependant, 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 de ces eaux usées demande simplement un traitement adéquat, suivant les normes ou les lignes directrices existantes, notamment celles de l'OMS et/ou de la FAO avant leur usage.

Éviter la pollution de l'eau

La pollution de l'eau due à l'agriculture peut être évitée ou réduite de deux manières :

- **Le traitement des eaux usées** : le traitement est une option pour les sources de pollution ponctuelle, parce que les effluents peuvent être aisément collectés et traités ;
- **La réduction des rejets de polluants dans l'environnement**, afin de réduire ainsi les risques que ces polluants n'atteignent les sources d'eau. En effet, il existe toute une série de pratiques visant à réduire les rejets de polluants dans l'environnement.

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. Ensuite, **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.

Voici quelques techniques très répandues.

- Le plan de gestion des nutriments : c'est la gestion des apports en nutriments aux plantes tant pour une croissance efficiente des cultures que pour la protection de la qualité de l'eau.
- La gestion intégrée des nutriments pour végétaux (GINV) : c'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. 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 terres. 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 organique.
- La gestion intégrée des ravageurs (GIR ou IPM) 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.
- La lutte contre l'érosion peut aisément être réduite par les pratiques d'utilisation des terres au niveau de l'exploitation agricole.
- 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, tels que les lits de graviers ou les marais artificiels, qui fonctionnent comme des purificateurs d'eau naturels. Il s'agit d'un moyen bon marché, simple et écologique de traiter l'eau, et de piéger les polluants tels que les nutriments.



- Le recyclage : les applications potentielles pour les eaux « usées » à l'intérieur de la même exploitation agricole sont évaluées. Si la qualité de l'eau est acceptable, l'eau utilisée pour le traitement et le nettoyage sont ensuite utilisée pour l'irrigation.

5. L'IRRIGATION

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 2600 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. 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.

Les différentes méthodes d'irrigation

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. **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. 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.

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

- l'irrigation par gravité : bassins, sillons, bordures ;
- l'irrigation sous pression : aspersion et irrigation goutte-à-goutte.

L'irrigation par gravité est la méthode utilisée depuis des siècles qui reste la plus largement utilisée. Cette méthode est généralement utilisée sur des pentes douces et régulières, 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.

- La méthode d'irrigation par submersion ou irrigation par bassins est principalement utilisée sur des terres de forme carrée, bien qu'elle puisse aussi être appliquée à des champs rectangulaires ou de forme irrégulière.
- La méthode d'irrigation par bordures est une variante de l'irrigation par cuvettes. Elle est adaptée aux terrains en pente, généralement de forme allongée et rectangulaire. Elle convient également aux exploitations de grande taille où les travaux agricoles sont mécanisés, mais n'est pas recommandée pour les sols argileux lourds.
- La méthode d'irrigation par sillons a pour principale caractéristique les tranchées ou rigoles creusées entre les rangées de semis. L'eau est libérée à l'extrémité supérieure du canal quaternaire par des siphons ou des tuyaux d'alimentation.



Les méthodes d'irrigation sous pression conviennent à toutes les surfaces, y compris aux surfaces irrégulières. Les méthodes d'irrigation sous pression les plus courantes sont les systèmes par aspersion, les canons d'arrosage, et l'irrigation goutte-à-goutte.

Les méthodes d'irrigation sous pression exploitent mieux les ressources hydriques et sont particulièrement recommandées dans les régions déficitaires en eau. La méthode d'irrigation 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 tailles. Les systèmes d'irrigation par aspersion sont adaptables à tous les types de sols, de cultures et de surfaces. L'irrigation goutte-à-goutte consiste à arroser chaque plante séparément d'une quantité précise d'eau grâce à des goutteurs. L'eau tombe constamment au même endroit. **L'irrigation goutte-à-goutte**, micro-irrigation, ou irrigation localisée permet à l'eau de s'introduire lentement dans le sol jusqu'aux racines de la plante ou de parvenir directement dans la zone radiculaire par écoulement souterrain. 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. L'utilisation d'un système d'irrigation goutte-à-goutte permet d'envisager l'irrigation fertilisante.

Le choix de méthodes d'irrigation adaptées

Pour trouver la méthode d'irrigation la plus appropriée à une culture et à une situation particulière, **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 choix d'une méthode d'irrigation tient compte de la culture, des particularités de la méthode avec ses avantages et ses inconvénients, ainsi que des divers facteurs naturels, sociaux et économiques qui entrent en jeu. Les conditions naturelles sont : le type de sol, les pentes, le climat, les disponibilités en eau et la qualité de l'eau. Toutes les méthodes présentent des avantages et des inconvénients. Ce qui est déterminant, c'est d'avoir une bonne connaissance des conditions locales avant de prendre une décision.

La conception et l'aménagement des systèmes d'irrigation

Une bonne connaissance des conditions locales et des facteurs permet de sélectionner la ou les méthodes d'irrigation appropriées. Le choix des méthodes d'irrigation appropriées précède la sélection du système d'irrigation qui doit être développé pour chaque situation particulière. Divers systèmes d'irrigation sont aménagés à diverses échelles pour utiliser diverses sources d'eau et pour développer un système d'irrigation, il est essentiel de comprendre la disponibilité de l'eau dans la zone géographique concernée.

L'installation d'un système d'irrigation sous pression exige la conception d'un plan **détaillé**. À cet effet, l'aide d'un spécialiste s'impose. Sa conception impose un suivi rigoureux et obligatoire dans toutes les étapes de la mise en œuvre. La méthode de l'irrigation fertilisante dans les systèmes d'irrigation sous pression est l'administration combinée de nutriments et d'eau à une culture, un mélange d'engrais et d'irrigation. Les **systèmes hydroponiques dans une serre** sont efficaces et productifs, car les plantes reçoivent exactement ce dont elles ont besoin, au moment où elles en ont besoin. Les systèmes hydroponiques, fonctionnant en circuit fermé, permettent de réduire au minimum l'incidence sur l'environnement de la pollution liée à l'eau, mais le recyclage ne doit pas être effectué sur des milieux inertes.

Le drainage joue un rôle très important en irrigation, car il permet l'élimination des eaux d'irrigation excédentaires des systèmes d'irrigation. Le drainage est également une méthode qui empêche la salinisation, prévient la baisse du niveau de la nappe phréatique,



et élimine les sels et les toxines qui se sont accumulés. Un système de drainage se compose 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.

Les sources d'eau d'irrigation, le captage, le stockage et le recyclage de l'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, comme la récupération de l'eau de pluie, la collecte du brouillard, la réutilisation des eaux usées, le dessalement.

Les diverses sources d'eau sont : 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.

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 la fluctuation au fil du temps de la quantité d'eau disponible dans les cours d'eau. Le **captage de l'eau des cours d'eau** se fait par les barrages, mais aussi par pompage lorsque l'eau ne peut être déviée par gravité. **L'utilisation des sources non conventionnelles telles que les eaux usées, l'eau dessalée, l'eau de pluie collectée**, ou l'eau de drainage est possible. Il est important de comprendre et de planifier la manière de capter l'eau lorsque la source d'eau est recensée. Les prises d'eau munies de vanne avec des canaux d'irrigation facilement contrôlés sont un moyen de collecte d'eau. La construction artificielle de réservoirs pour stocker l'eau dans une vallée ou stocker l'eau de pluie permet d'accumuler de l'eau, quand bien même l'eau peut être déviée vers les bras morts d'un cours d'eau. L'eau stockée dans un réservoir est utilisée pour l'irrigation par le système de gravité, ou par le système de tuyaux, ou pompée en amont durant la saison sèche.

Les **eaux souterraines** sont prélevées naturellement directement à la source et artificiellement par les pompes et/ou les puits. 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.

Les matelas de rameaux formés de broussailles, de branches d'arbres et de tiges, les bouchons de terre, les systèmes d'infiltration et d'emmagasinage dans le sol ont pour but de **collecter les eaux de pluie ruisselante et de les diriger vers le sous-sol**. L'utilisation combinée de plusieurs sources d'eau constitue le meilleur moyen de garantir un approvisionnement en eau durable et efficace à long terme.

Les performances des systèmes d'irrigation

Les performances des systèmes d'irrigation sont 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.

Le renforcement de l'efficacité de l'irrigation (EI) est essentiel pour améliorer les performances des systèmes d'irrigation et le rendement hydraulique. 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.
- **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 %.

Avec les deux paramètres susmentionnés, l'efficacité de l'irrigation (EI) est calculée à l'aide de la formule et l'EI dépend principalement des pertes d'eau à toutes les étapes.

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. 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 ». Une meilleure gestion des terres, de l'eau et des cultures, accroît leur productivité et améliore l'efficacité de l'irrigation. **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.

6. GESTION DE L'IRRIGATION

Une fois mis en place, le système d'irrigation doit être géré et 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 drainage. 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.

Quelle définition donner à la gestion de l'irrigation

La gestion de l'irrigation est l'utilisation de l'eau de la manière la plus efficace et efficiente possible. La gestion de l'irrigation efficace et efficiente s'emploie à économiser l'énergie et à réduire au minimum la pollution et ses autres incidences environnementales et sociales négatives. La gestion efficace et efficiente se réfère à la conservation de l'eau, qui est toute réduction bénéfique de l'utilisation, des pertes ou du gaspillage de l'eau. La conservation de l'eau se réfère également à une amélioration de la gestion de l'eau et des pratiques



agricoles optimisant l'utilisation des ressources en eau, et profitant à la population et à l'environnement.

Les mesures pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation

La question de la **conservation des eaux agricoles** concerne à la fois l'exploitation agricole et le bassin versant. Les mesures pour une utilisation efficace de l'eau d'irrigation visent la conservation de l'eau. 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 un système d'irrigation, la conservation de l'eau est poursuivie par :

- la réduction des pertes pendant l'adduction ;
- le transport de l'eau d'irrigation ;
- l'amélioration des pratiques agricoles ;
- un calendrier optimal des apports d'eau d'irrigation grâce à une planification rigoureuse.

L'efficacité du transport de l'eau d'irrigation est obtenue par l'efficacité de l'adduction et l'efficacité de l'application sur le champ. 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 :

- 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 ;
- 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.

Les mesures adaptées concernent la distribution de l'eau de la source à l'exploitation et sur l'exploitation, à savoir le rapport entre l'eau utilisée et l'eau répandue sur le champ. À ce titre, le passage d'un système de canaux à ciel ouvert à un réseau de conduites est un moyen de limiter les pertes d'eau par percolation ou infiltration dans le sol ou encore par évaporation.

À cela s'ajoute le partage des responsabilités, des travaux d'inspection, d'entretien et de réparation des canaux qui facilite la mise en place d'un système efficace de conservation de l'eau d'irrigation. Il est indispensable 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. 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.



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.

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.

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 simulation. Toutes ces méthodes permettent de mesurer la consommation d'eau par les cultures et la teneur en eau du sol.

Elles sont 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.
- **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. 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. 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. Quelques-unes de ces méthodes sont :
 - le **modèle CROPWAT 8.0 de la FAO** : c'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 ;
 - la **planification de l'irrigation déficitaire** : mise en place avec l'objectif de couvrir l'ensemble des besoins d'eau des cultures, ou alors elle est conçue pour assurer l'utilisation optimale de l'eau par les cultures. 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.

Enfin, **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.

La gestion des eaux drainées

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 transportant 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, on peut citer les suivantes.
 - La gestion du niveau de nappe doit être la limitation de l'écoulement d'eau par un drain souterrain permettant de faire remonter et de contrôler le niveau de la nappe.
 - La réutilisation de l'eau de drainage doit être la 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 est mise en œuvre en combinaison avec des techniques de gestion des nutriments.
 - Le traitement de l'eau de drainage doit être réalisé le plus souvent, à l'aide de filtres plantés. Les filtres plantés sont efficaces pour éliminer les sédiments et les nutriments.
- 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.

Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation



Pour maintenir les rendements, il faut gérer les sels qui se concentrent dans le sol. Les mesures pour réduire les incidences environnementales de l'irrigation concernent principalement la gestion de la salinité. Les **principales mesures** sont les suivantes.

- Les pratiques de **contrôle de la salinité** incluent la réduction de l'apport de sels, le choix des sites et cultures adaptées avec l'application des bonnes pratiques de gestion du sol et/ou de l'eau.
- Les **bonnes pratiques de gestion du sol** et/ou de l'eau regroupent : la sélection des cultures, l'injection d'acides dans les systèmes d'irrigation goutte-à-goutte et la planification de l'irrigation.
- Le placement des lits de semences et le **maintien de la matière organique (MO) du sol** sont également de bonnes pratiques de gestion du sol et/ou de l'eau.

Les mesures pour l'atténuation des incidences sociales de l'irrigation

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 comme des incidences secondaires touchant directement la population qui découlent d'incidences environnementales primaires. La réduction de l'eau disponible pour les autres utilisations, notamment pour les usages domestiques et la disponibilité réduite d'eau due au surcroît de pollution a des incidences négatives sur les écosystèmes et sur leurs services. Les mesures pour l'atténuation des incidences sociales et environnementales de l'irrigation doivent prendre leur source dans la connaissance de la réglementation locale. En effet, le système d'irrigation complet doit être conçu pour s'intégrer harmonieusement à la situation et au contexte politique local à savoir :

- la gestion participative de l'irrigation (GPI) est une mesure pour l'atténuation des incidences sociales de l'irrigation ;
- le plan de gestion de l'eau et de l'irrigation comme mesure pour l'atténuation des incidences sociales de l'irrigation permet d'assurer la meilleure gestion possible de l'eau.



7. GESTION DE L'EAU DESTINÉE AU LAVAGE ET AU TRAITEMENT POST-RÉCOLTE

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 ainsi qu'avec 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. À cet effet, il faut examiner l'utilisation qui est faite de l'eau dans les diverses activités intervenant après la récolte, afin de pouvoir expliquer la nécessité de gérer rigoureusement les problèmes d'eau. **Une attention particulière doit être prêtée au recyclage de l'eau et au traitement des effluents, et l'accent doit également être mis sur ce qui est réalisable et recommandé à l'échelle de l'exploitation agricole, compte tenu de la réglementation et des normes privées, et ce, y compris la sécurité alimentaire.**

L'utilisation de l'eau après la récolte

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. La qualité des produits, et donc leur valeur, diminue 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 produit.

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 associés. 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.

La consommation fait référence à l'eau qui est utilisée et qui n'est plus disponible pour d'autres utilisations. 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. Plusieurs activités postérieures à la récolte et utilisant chacune l'eau d'une manière différente interviennent en fonction de la culture, de la réglementation et des demandes des clients. L'eau joue alors un rôle important dans le conditionnement et le stockage, surtout pour les denrées périssables qui ont des durées de conservation courtes. **Le contrôle des critères de qualité de l'eau et de la température est indispensable** pour l'utilisation de l'eau dans les traitements phytosanitaires postérieurs à la récolte.

Les problèmes d'eau pendant le lavage et le traitement postérieurs à la récolte

Pour garantir la disponibilité constante de l'eau propre pour les utilisations postérieures à la récolte, des problèmes liés aux infrastructures de distribution appropriée et de la



quantité d'eau potable sont récurrents. **Deux aspects** doivent être bien maîtrisés quand on utilise de l'eau pour le traitement des produits :

- **la disponibilité d'eau propre** pour le traitement, en quantité et en qualité, d'une part ;
- **la gestion des effluents** d'autre part.

En effet, après le lavage, le produit est 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. La **présence d'organismes pathogènes dans l'eau stagnante est un risque potentiel**, et génère de sérieux problèmes pendant le stockage et au moment de la consommation. Les fruits et légumes sont des denrées périssables qui ont des durées de conservation courtes.

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 suivantes.

- La pré-réfrigération : le fruit est dit pré-réfrigéré lorsque sa température est réduite de 3 °C à 6 °C et qu'elle est suffisamment froide pour permettre un transport sûr.
- Le glaçage : une couche de glace pilée est placée directement au-dessus des produits dans les boîtes.
- La 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.
- 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.

La gestion des effluents requiert une vérification des contaminants et la forme de rejet appropriée, et **cela nécessite un traitement avant le déversement**. Une **évaluation des risques pour déterminer leur degré de dangerosité doit être mise en œuvre** avec des mesures prises pour éviter ou atténuer les incidences sur l'environnement.

La conservation de l'eau pendant le lavage et le traitement

La conservation de l'eau se définit comme toute réduction bénéfique de l'utilisation, des pertes ou du gaspillage de l'eau. 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'environnement s'appliquant aux étapes postérieures à la récolte. Le traitement et le recyclage des effluents sont des exemples de mesures de conservation de l'eau qui peut être appliquée après la récolte. À l'échelle de l'exploitation agricole, les diverses mesures de base qui sont mises en œuvre pour réduire la consommation d'eau et la pollution des effluents sont :

- le **traitement et le recyclage** des effluents par l'ultrafiltration est un système qui réduit considérablement l'utilisation d'eau et d'énergie tout en offrant des niveaux élevés de qualité de l'eau ;
- le **recyclage** par des appareils domestiques de purification de l'eau sanitaire ;
- l'installation d'une petite **unité de purification** pour traiter les effluents et permet de réutiliser les eaux usées.



L'utilisation de l'eau après la récolte et les pertes alimentaires

La gestion médiocre de l'eau et de l'humidité dans les étapes postérieures à la récolte génère des pertes significatives et **conduit au gaspillage des produits récoltés**. Cela a pour conséquences des problèmes de sécurité alimentaire, la détérioration de la qualité des produits, ou simplement une dégradation de l'aspect, rendant 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.

Les pertes élevées sont dues à des facteurs tels que le climat, l'absence de moyens de transport et d'installations de stockage adéquats des récoltes. 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.

8. DROITS SUR L'EAU, EXTRACTION ET DURABILITÉ DE L'UTILISATION DE L'EAU

Comprendre la législation sur l'eau : le droit à 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. 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. 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 législation sur l'eau varie beaucoup d'un pays à l'autre.

Il n'existe pas non plus de définition commune des « droits sur l'eau », mais selon la FAO, la définition la plus simple d'un droit à l'eau est la suivante : « un droit légal d'extraire 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 bien l'utilisation consommatrice que non consommatrice de l'eau. 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.

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. Chaque État membre doit définir le « bon état » de ses masses d'eau, élaborer des plans de gestion des bassins hydrographiques et définir un programme de mesures pour parvenir à cet état.



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. Il est important de comprendre comment les agriculteurs peuvent participer à la gouvernance et à l'affectation des ressources en eau.

Guider l'action : pourquoi et par où commencer ?

Lors du sommet de Rio en 1992, 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. **La GIRE repose sur 5 principes :**

1. l'eau douce 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 ;
3. les femmes jouent un rôle essentiel ;
4. l'eau est un bien public et a une valeur économique et sociale ;
5. la gestion intégrée des ressources en eau repose sur la gestion équitable et efficiente et l'utilisation durable de l'eau.

Vingt ans après Rio, 80 % des pays déclarent avoir entamé des réformes afin d'améliorer l'environnement nécessaire à la gestion intégrée des ressources en eau. 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. Par exemple, l'application de la méthode de **l'évaluation de l'empreinte sur l'eau** s'est normalisée grâce au *Water Footprint Network* et à la norme ISO 14046. **GLOBALG.A.P. a introduit des exigences concernant l'eau dans sa norme IFA (Integrated Farm Assurance).**

Une **méthode en 5 étapes** permet aux agriculteurs de répondre aux objectifs de la GIRE :

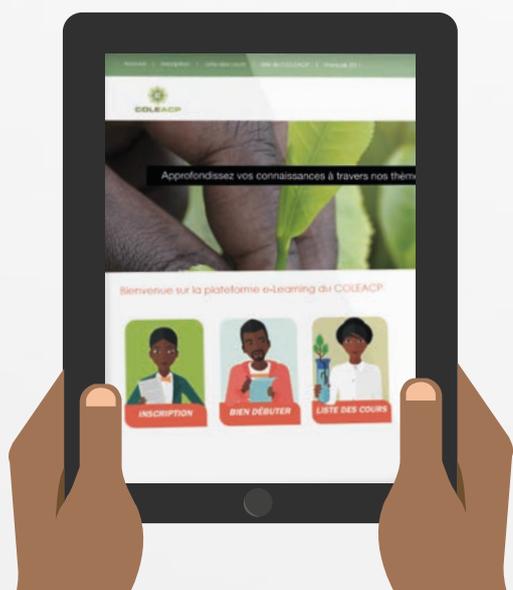
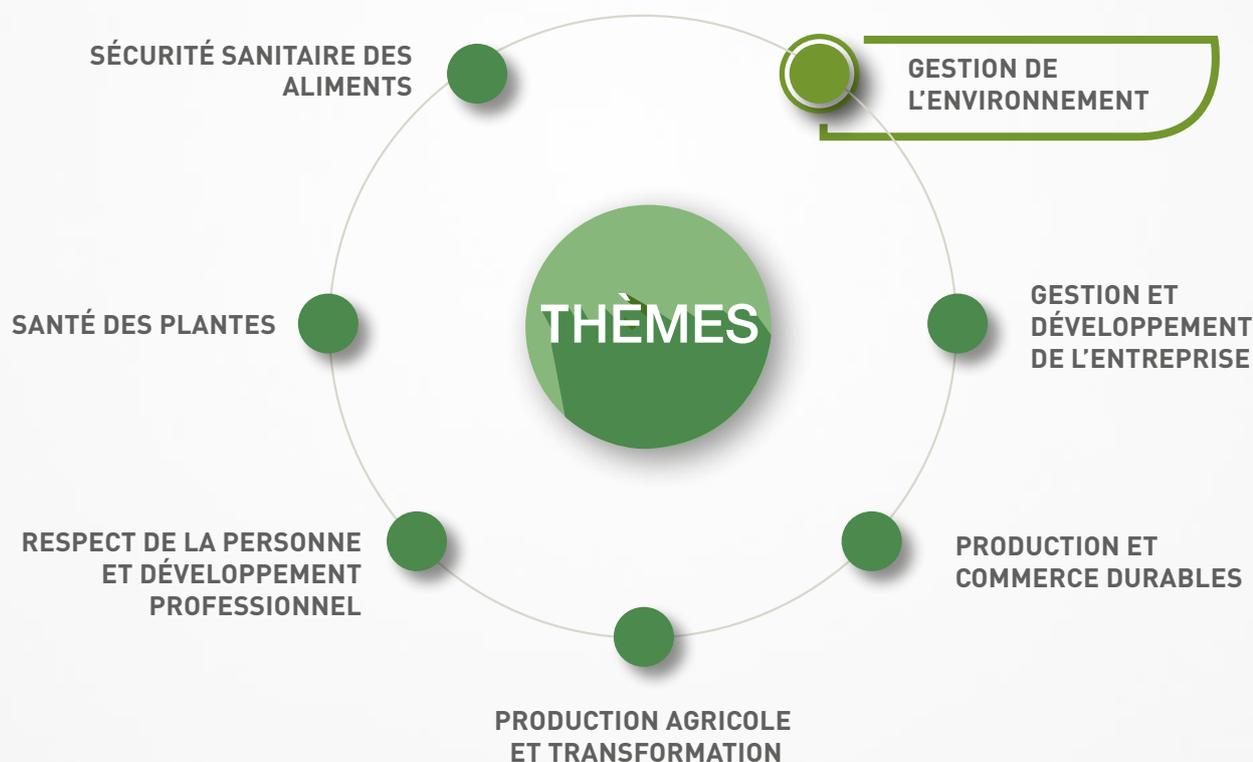
1. évaluer l'empreinte sur l'eau, les risques, l'investissement nécessaire pour l'irrigation ;
2. comprendre la situation hydrique physique actuelle de l'exploitation ;
3. comprendre les risques et les possibilités pour votre exploitation ainsi que la durabilité de l'utilisation de l'eau ;
4. élaborer un plan de gestion de l'eau ;
5. suivre et adapter sans cesse l'efficacité et l'incidence des activités agricoles dans le plan de gestion de l'eau.



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