

# LIVRET

---

## PÉDAGOGIQUE

- GESTION DE L'ENVIRONNEMENT -

## GESTION DURABLE DE LA QUALITÉ DE L'AIR



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](mailto:network@coleacp.org).



# GESTION DURABLE DE LA QUALITÉ DE L'AIR

**AMIS FORMATEURS, QUELQUES CONSEILS..... 1**

**MATIÈRES À DÉLIVRER..... 5**

**FEUILLETS PÉDAGOGIQUES ..... 7**

- FEUILLET 1 : Fondements sur la qualité de l'air
- FEUILLET 2 : Impacts des pratiques culturales sur la qualité de l'air
- FEUILLET 3 : Les gaz à effet de serre et le bilan carbone
- FEUILLET 4 : Impacts des pratiques agricoles sur la qualité de l'air et stratégies d'atténuation

**RÉSUMÉ DU MANUEL..... 29**

1. Fondements sur la qualité de l'air
2. Impacts des pratiques culturales sur la qualité de l'air
3. Les gaz à effets de serre et le bilan carbone
4. Impacts des pratiques agricoles sur la qualité de l'air et stratégies d'atténuation







# 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 :

### 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 p. 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 – FONDEMENTS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

- Introduction
- Composition et qualité de l'air
- Les impacts de la pollution atmosphérique : principaux faits
- Nature et effets sur la santé des polluants atmosphériques
- Nature et effets sur l'environnement des polluants atmosphériques
- Donner un cadre à la gestion de la qualité de l'air

## CHAPITRE 2 – IMPACTS DES PRATIQUES CULTURALES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

- Influence des pratiques agricoles sur la qualité de l'air
- Pollution atmosphérique par les matières fertilisantes
- Pollution atmosphérique par les produits phytopharmaceutiques

## CHAPITRE 3 – LES GAZ À EFFET DE SERRE ET LE BILAN CARBONE

- Les gaz à effet de serre (GES) et le climat
- Les principaux accords internationaux relatifs aux GES
- Les cycles de carbone et de l'azote
- Les sources principales de GES dans le secteur de l'agriculture
- Les différentes méthodes de calcul de GES dans le secteur de l'agriculture

## CHAPITRE 4 – IMPACTS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR ET STRATÉGIES D'ATTÉNUATION

- Pratiques agricoles et émissions de GES
- Possibilités d'atténuation et de compensation des émissions
- Nécessité d'évaluations holistiques et d'une approche systémique



# Feuilles pédagogiques

FEUILLET 1 : Fondements sur la qualité de l'air.....	9
FEUILLET 2 : Impacts des pratiques culturales sur la qualité de l'air .....	15
FEUILLET 3 : Les gaz à effet de serre et le bilan carbone .....	19
FEUILLET 4 : Impacts des pratiques agricoles sur la qualité de l'air et stratégies d'atténuation.....	25





# FEUILLET 1

## Fondements sur la qualité de l'air

### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

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

- connaître la définition de la pollution de l'air ;
- identifier la nature des principaux polluants de l'air ;
- comprendre quels sont les enjeux de la pollution de l'air ;
- connaître la composition de l'atmosphère et ses différentes couches ;
- comprendre les impacts de la pollution de l'air sur la santé, l'environnement et l'agriculture ;
- connaître le rôle des grands accords internationaux et le cadre juridique sur la qualité de l'air, les rejets et les valeurs limites.

### MESSAGES CLÉS

#### 1) Introduction

- La pollution de l'air est « la contamination de l'environnement intérieur ou extérieur par un agent chimique, physique ou biologique qui modifie les caractéristiques naturelles de l'atmosphère ».
- Les agents polluants en jeu sont des gaz ou des particules. Ils sont d'origine naturelle ou anthropique.
- L'agriculture a une part de responsabilité dans la présence de gaz à effet de serre et de particules fines dans l'atmosphère.
- La pollution de l'air a des impacts sanitaires, environnementaux et économiques.
- Les polluants les plus nocifs sont l'ozone, le CO, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le SO<sub>2</sub>, les POP et les pesticides. Le CO<sub>2</sub> n'est pas un polluant !



## 2) Composition et qualité de l'air

- Les intrants agricoles (matières fertilisantes et produits phytopharmaceutiques) peuvent agir en tant que polluants atmosphériques.
- L'atmosphère comporte 4 zones selon l'altitude (troposphère, stratosphère, mésosphère et thermosphère).
- Les proportions d'azote, d'oxygène et d'argon sont constantes dans toute l'atmosphère, tandis que les proportions d'eau, de gaz carbonique, de dioxyde de soufre et d'ozone varient avec l'altitude.
- La plupart des phénomènes climatiques (nuages porteurs d'orages, cumulonimbus, etc.) sont confinés à la troposphère. La troposphère est donc la couche la plus troublée.
- Les phénomènes climatiques expliquent comment les pesticides pulvérisés dans une parcelle de culture peuvent se disperser verticalement dans la « couche limite de l'atmosphère » (CLA), puis voyager sur de longues distances.
- La turbulence est thermique ou mécanique et varie selon la température de l'air qui dépend de l'altitude.

## 3) Les impacts de la pollution atmosphérique : principaux faits

- La pollution de l'air représente un risque environnemental majeur pour la santé.
- Les effets sont : les accidents vasculaires cérébraux, les cardiopathies, les cancers du poumon, et les affections respiratoires, y compris l'asthme.
- Plus de 90 % de la population mondiale vit dans des endroits où la qualité de l'air n'est pas respectée.
- Le plus grand nombre de décès prématurés concerne les pays pauvres.
- La fumée domestique représente aussi un grave risque sanitaire.

## 4) Nature et effets sur la santé des polluants atmosphériques

- Les « matières particulaires » sont formées d'un mélange de particules solides et liquides.
- Elles sont composées de carbone élémentaire (suies), de minéraux (érosion des sols), de sels (sulfates, nitrates, ammoniac, chlorure de sodium) et de matières organiques (composés organiques volatils).
- Pour les particules les plus grosses on parle de « poussières ».
- Pour les particules dont la taille est inférieure à 100 micromètres, on parle d'aérosols.
- Les particules d'un diamètre inférieur à 10  $\mu\text{m}$  (PM10) peuvent pénétrer et se loger profondément à l'intérieur des poumons.
- Celles dont le diamètre est inférieur ou égal à 2,5  $\mu\text{m}$  (PM2.5) sont encore plus nocives pour la santé.
- L'élevage et les grandes cultures sont générateurs de poussières et de particules fines (PM10 et PM2.5).
- L'ammoniac (fertilisant azoté) contribue significativement à la formation de ces particules.

- Même à faible concentration, la pollution aux petites particules a une incidence sanitaire ; en effet, on n'a identifié aucun seuil au-dessous duquel elle n'affecte en rien la santé.
- À des concentrations élevées, l'ozone a des effets marqués sur la santé de l'homme (notamment crises d'asthme).
- Le système respiratoire est affecté par l'ozone, le dioxyde d'azote ou le dioxyde de soufre.

## 5) Nature et effets sur l'environnement des polluants atmosphériques

- Les polluants émis par les industries et l'agriculture participent, après transformation, à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux naturels (exemple des pluies acides dues au  $\text{SO}_2$ ).
- Les dépôts d'ammoniac et de particules venant des retombées modifient la qualité des eaux et des sols dans les milieux naturels.
- Ces dépôts peuvent favoriser la croissance de certaines espèces de la faune et de la flore au détriment d'autres espèces, et provoquer localement une perte de biodiversité.
- Des liens étroits unissent la pollution particulaire et la formation d'ozone.
- L'effet de serre est un phénomène naturel permettant de maintenir une température moyenne de 15 °C à la surface de la Terre.
- La contribution à l'effet de serre de chaque GES s'exprime grâce à un indicateur appelé pouvoir de réchauffement global (PRG).
- Les zones agricoles sont des sources majeures de GES et de particules fines.
- Les zones agricoles et sylvicoles sont à la fois des sources et des puits de polluants atmosphériques.
- Les polluants atmosphériques générés par l'agriculture sont des gaz dispersés dans l'air – principalement l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ), l'ammoniac ( $\text{NH}_3$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ) – ou des particules, solides ou liquides, en suspension dans l'air.
- L'agriculture rejette du méthane (élevage et sols), du protoxyde d'azote (fertilisation azotée et gestion des déjections animales) et du dioxyde de carbone (consommation d'énergie).
- La pollution engendre une perte de qualité sanitaire des denrées (métaux lourds comme Pb et Cd, et POP).

## 6) Donner un cadre à la gestion de la qualité de l'air

- Il existe nombreux exemples de politiques pour réduire la pollution de l'air.
- Le Protocole de Kyoto de 1997 avait pour objectif de limiter les émissions de 6 GES, mais la mobilisation de la communauté internationale a été jugée insuffisante.
- L'Accord de Paris (COP21 – conférence de Paris sur le climat) a défini un nouveau protocole afin de maintenir le réchauffement climatique sous la barre des 2 °C.
- Au niveau de l'UE, la directive 2008/50/CE définit des objectifs en matière de qualité de l'air pour améliorer la santé humaine et la qualité environnementale d'ici 2020.
- La directive 2008/50/CE et la directive 1999/30/CE définissent des seuils d'alerte et des valeurs limites, ainsi que des obligations d'action en cas de dépassement.
- La directive-cadre 96/62/CE sur la qualité de l'air énonce les principes fondamentaux d'une stratégie visant à établir des objectifs de qualité de l'air ambiant.
- Selon la directive, la qualité de l'air ambiant doit être contrôlée sur tout le territoire des États membres.
- Une législation abondante existe au niveau européen, fixant des plafonds d'émission pour certains polluants atmosphériques (ex. : arsenic, cadmium, mercure, nickel et hydrocarbures aromatiques polycycliques).
- La directive 2010/75/UE (directive IED) définit une approche intégrée de la prévention et de la réduction des pollutions émises par les installations industrielles et agricoles. Un de ses principes directeurs est le recours aux meilleures techniques disponibles (MTD).
- Des valeurs limites indicatives d'exposition professionnelle (VLIIEP) sont fixées pour protéger les travailleurs contre les risques liés à l'exposition aux agents chimiques.
- Les valeurs limites indicatives d'exposition professionnelle (VLIIEP) sont les limites de la moyenne pondérée en fonction du temps de la concentration d'un agent chimique dans l'air de la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une période de référence déterminée.
- Des systèmes de mesure (appareils d'analyse) en temps réel et en temps différé ont été développés.







# FEUILLET 2

## Impacts des pratiques culturales sur la qualité de l'air

### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

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

- comprendre l'effet des pratiques agricoles sur la qualité de l'air et les relations complexes entre agriculture et qualité de l'air ;
- distinguer le rôle des engrais et des autres intrants dans la pollution atmosphérique ;
- comprendre comment les matières fertilisantes impactent la qualité de l'air ;
- comprendre les mécanismes de dispersion des polluants dans l'air ;
- comprendre comment les pesticides contaminent l'atmosphère et se dispersent via l'air.

### MESSAGES CLÉS

#### 1) Influence des pratiques agricoles sur la qualité de l'air

- L'agriculture est un secteur particulier en ce qui concerne la pollution de l'air. Les zones agricoles sont, en fonction des pratiques adoptées, tantôt des sources, tantôt des puits de carbone.
- L'agriculture industrielle est responsable de 35 % des émissions de GES.
- L'air est altéré par des polluants biologiques (pollen, virus, bactéries, spores...), physiques (érosion éolienne, suies) ou chimiques.
- Dans certaines circonstances, les particules en suspension et les gaz constituent des cocktails de polluants produisant un effet toxique et/ou écotoxique.
- L'agriculture et la forêt émettent ainsi 53 % du total des particules en suspension, 89 % du  $N_2O$ , 76 % du méthane, 10 % des oxydes d'azote, 50 % des COV biogènes et 97 % de l'ammoniac.
- La préparation du sol, la fertilisation et les opérations culturales vont générer l'émission de particules primaires en fonction du type de sol (plus le sol est dégradé, plus vite il émettra de la poussière) et de la météo.
- La pollution est aussi indirecte due à la volatilisation et à l'accumulation de polluants du sol (pesticides, engrais, effluents d'élevage, fertilisants).
- La combustion de la biomasse (« brûlage »), phénomène courant sous les tropiques (87 % des cas), est une source importante de gaz traces et de particules en suspension.

- Dans les fumées, il y a de très nombreuses substances chimiques (surtout CO<sub>2</sub>, mais aussi CO, COV, particules, NO<sub>x</sub>).
- La qualité des nappes phréatiques est aussi mise en jeu par les incendies.
- En Afrique australe, l'atmosphère relativement stable pendant la saison sèche permet le développement de fortes inversions thermiques, piégeant ainsi les particules dans les couches inférieures de l'atmosphère.
- Les agriculteurs utilisent en masse des engrais azotés, des pesticides, et mécanisent le travail du sol.
- Les plantes absorbent seulement la moitié des engrais. L'excédent finit dans l'atmosphère, le sol et l'eau, pollue les rivières et impacte la biodiversité aquatique.
- Les produits phytopharmaceutiques sont une cause possible du déclin des colonies d'abeilles et autres pollinisateurs, et de la biodiversité en général.

## 2) Pollution atmosphérique par les matières fertilisantes

- Les engrais organiques (lisiers, fumiers et purins) sont des sources très intéressantes et très appréciées de matière organique.
- Ce sont les engrais azotés qui polluent l'atmosphère (azote ammoniacal et oxyde nitreux essentiellement).
- La volatilisation de l'oxyde nitreux et de l'ammoniac constitue la voie principale de perte d'azote lors de l'épandage d'effluents d'élevage (lisier, fumier...) ou d'engrais.
- Trois processus de base, très lents, sont impliqués dans le recyclage de l'azote : la conversion bactérienne du diazote atmosphérique (N<sub>2</sub>) en azote assimilable (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), la nitrification et la dénitrification.
- L'épandage des effluents d'élevage génère plus du tiers des émissions totales d'ammoniac, qui va interagir avec des composés acides présents dans l'atmosphère (ex. : H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou HNO<sub>3</sub>) pour former des aérosols secondaires de sels d'ammonium.
- À proximité des sources d'émission se fait un dépôt sec des aérosols ou de l'ammoniac qui induit une intensification de la nitrification dans les sols (acidification des sols).
- Tous les sols émettent de l'oxyde nitreux, mais les émissions dépendent en majeure partie des caractéristiques du sol.
- Plus de 80 % de la population urbaine de l'UE est exposée à des concentrations excessives de PM10.
- L'ammoniac est le plus mal connu des polluants alors qu'il engendre une cascade d'effets environnementaux. Les concentrations en ammoniac présentent des variations saisonnières notables.

### 3) Pollution atmosphérique par les produits phytopharmaceutiques

- L'atmosphère joue un rôle primordial dans la dissémination des pesticides, mais, faute de mesures, la contamination diffuse est passée inaperçue et a été sous-estimée.
- La législation relative à la qualité de l'air ambiant ne fixe pas de valeurs limites pour les pesticides.
- La contamination peut être directe : pendant l'application, à cause des pertes par dérive (perte par transfert vertical et horizontal d'une partie de la bouillie pulvérisée dans l'atmosphère).
- La contamination peut être indirecte : en post-application soit par volatilisation depuis le sol ou le couvert traité, soit par érosion éolienne.
- Les transferts atmosphériques peuvent s'effectuer sur de longues périodes, ce qui explique la persistance de certains pesticides dans l'air.
- Lors d'une pulvérisation, la bouillie se retrouve divisée en différentes fractions. La dérive de pulvérisation est un transport atmosphérique de très petites gouttelettes ou de vapeurs de pesticides hors de la zone traitée sous l'effet du vent, qui se produit au moment même de l'application ou peu de temps après.
- La dérive varie en fonction : des conditions météorologiques (température, humidité relative, vitesse du vent) ; du type de pulvérisateur utilisé (taille des gouttes générées) ; des paramètres de pulvérisation (pression, hauteur de la rampe, type de buse employé, vitesse de travail, type de produit...).
- La taille des gouttes joue un rôle important au niveau de la répartition et de la couverture de la culture, donc de l'efficacité du pesticide appliqué, mais aussi sur la dérive : elle augmente inversement à la taille des gouttelettes.
- Les gouttelettes trop fines (inférieures à 100  $\mu\text{m}$ ) atteignent leur cible de façon aléatoire étant donné leur temps de chute long et leur sensibilité au vent.
- La volatilisation décrit le phénomène de dispersion dans l'atmosphère, qui survient à la suite des traitements phytopharmaceutiques. Elle varie selon la pression de vapeur, la solubilité dans l'eau et la constante de Henry (volatilisation à partir de la phase aqueuse), le coefficient de sorption Koc (volatilisation à partir de la phase solide), le temps de demi-vie dans l'air.
- Le déplacement dans l'air s'effectue par la combinaison de deux mécanismes : les mouvements atmosphériques qui dispersent par mélange avec l'air environnant (diffusion) ; et les mouvements turbulents (advection) qui se développent dans l'air instable ou qui sont engendrés par le vent.
- Des dépôts humides ou secs de pesticides surviennent par des processus de retombées atmosphériques (précipitations, gaz et particules).
- Les études démontrent que les pesticides sont présents dans l'air extérieur des zones rurales comme urbaines.



# FEUILLET 3

## Les gaz à effet de serre et le bilan carbone

### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

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

- connaître les caractéristiques des différents gaz à effet de serre et leur contribution à la problématique du changement climatique ;
- identifier les sources de GES au sein d'une entreprise ;
- réaliser une analyse sommaire des postes émetteurs de GES dans une entreprise ;
- comprendre la notion de « puits de carbone » ;
- distinguer les différentes méthodes de calcul ou d'estimation des émissions de GES.

### MESSAGES CLÉS

#### 1) L'atmosphère, les gaz à effet de serre (GES) et le réchauffement climatique

- Il existe un lien étroit entre l'homme et les types de climats. L'homme s'installe de préférence dans les endroits où les conditions de vie sont favorables.
- Les changements climatiques constituent une contrainte supplémentaire à l'existence humaine et au développement durable. L'agriculture y contribue à cause des émissions de gaz à effet de serre (GES).
- L'atmosphère est la couche gazeuse enveloppant la planète Terre et subdivisée en sous-couches d'importance variable.
- Les principaux composants de l'atmosphère sont les trois gaz chimiquement peu réactifs : l'azote moléculaire  $N_2$  (78,08 %), l'oxygène moléculaire  $O_2$  (20,95 %) et l'argon Ar (0,93 %).
- Trois principaux facteurs contribuant naturellement au chauffage de l'atmosphère sont :
  - i. l'absorption d'une fraction du flux solaire incident et celui thermique émis par la Terre ;
  - ii. l'émission du flux de chaleur latente lors de la condensation de la vapeur d'eau ;
  - iii. le chauffage direct de l'air au contact avec la surface terrestre.
- L'atmosphère joue un rôle important dans le bilan énergétique à la surface terrestre à travers les mécanismes interagissant avec les flux solaire et tellurique.
- L'effet de serre est un mécanisme naturel qui permet de retenir à la surface terrestre la chaleur provenant de l'absorption et de la réémission des rayonnements dans l'atmosphère.



- Les principaux gaz à effet de serre (GES) naturellement présents dans l'atmosphère sont le méthane (CH<sub>4</sub>), la vapeur d'eau (H<sub>2</sub>O), le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), l'ozone (O<sub>3</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O).
- L'évolution des concentrations des GES dans l'atmosphère influence sérieusement les valeurs moyennes des températures enregistrées à la surface terrestre.
- Tous les GES n'ont pas le même impact sur l'évolution du climat, et la contribution à l'effet de serre s'exprime grâce à l'indicateur PRG ou potentiel de réchauffement global qui vaut : CO<sub>2</sub> (1 par convention), CH<sub>4</sub> (25) et N<sub>2</sub>O (298).
- Les échanges de gaz entre l'atmosphère et la surface terrestre sont influencés non seulement par des facteurs naturels, mais également et surtout par des facteurs anthropiques.
- Le climat détermine le temps qu'il fait en un endroit donné de la Terre et est caractérisé par les principales variables météorologiques (rayonnement, température, précipitation, humidité, pression atmosphérique).
- Le réchauffement climatique désigne : des bouleversements significatifs des conditions climatiques, des phénomènes exceptionnels avec leurs fréquences, des températures sortant de leurs gammes de valeurs moyennes habituelles, des rétroactions et une augmentation continue des concentrations des GES (CO<sub>2</sub> en particulier) dans l'atmosphère.
- Les activités humaines n'agissent souvent pas seulement par l'augmentation des concentrations des GES, mais également par l'intermédiaire d'autres effets liés à l'albédo, aux émissions d'aérosols et au cycle de l'eau.

## 2) Les principaux accords internationaux relatifs aux GES

- Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (GIEC) fut créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et l'ONU Environnement, avec pour objectif de fournir des évaluations de l'état des connaissances scientifiques, techniques et socio-économiques relatifs aux changements climatiques, leurs causes, leurs répercussions potentielles et les stratégies de parade.
- Le cinquième *Rapport d'évaluation* du GIEC ayant confirmé le principal rôle des activités humaines dans les changements climatiques, la limitation ou la réduction des budgets des GES dans l'atmosphère est la clé. Ce rapport met en exergue un certain nombre de conséquences des changements climatiques qui pourraient être évitées si le réchauffement était limité 1,5 °C, et non à 2 °C ou plus.
- La Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) avait vu le jour en 1992 en vue de contribuer à réduire le réchauffement global et faire face à toute hausse inévitable des températures. Avec 197 parties, la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) jouit d'une adhésion presque universelle.
- Plusieurs rencontres internationales ont débouché sur d'importants accords relatifs aux mesures et synergies nécessaires pour lutter contre les changements climatiques : le Protocole de Kyoto en 1992 et l'Accord de Paris en 2015. Le Protocole de Kyoto a été ratifié par 172 pays et est entré en vigueur depuis 2005. Il pose une limite aux grandes économies mondiales sur le rejet total des émissions de gaz à effet de serre.

- Les pays ont pris collectivement l'engagement de réduire, sur la période 2008-2012, leurs émissions de 5 % par rapport aux niveaux de 1990.
- Les principales mesures suggérées par le Protocole de Kyoto concernent les émissions de CO<sub>2</sub> énergétiques (transport, industrie, production d'énergie, habitat) et celles liées à la déforestation.
- L'Accord de Paris fait suite aux négociations qui se sont tenues lors de la Conférence de Paris sur le climat (COP21) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Dans le cadre de cet accord, les parties se sont engagées à prendre des mesures ambitieuses pour maintenir l'élévation de la température mondiale en dessous de 2 °C d'ici à la fin du siècle.

### 3) Les cycles de carbone et de l'azote

- Le dioxyde de carbone CO<sub>2</sub> est l'un des éléments clés du cycle de la vie terrestre. Il constitue, avec la vapeur d'eau et la lumière, les premiers maillons de la matière vivante. Initiateur de la vie, il est aussi le produit final de sa dégradation.
- Le cycle global de carbone est constitué des échanges de carbone entre les grands réservoirs : les océans, l'atmosphère et les écosystèmes terrestres (ressources fossile, biomasse et sol).
- Le cycle global de carbone, relativement en équilibre à l'état naturel, est déséquilibré ces dernières décennies, principalement à cause des émissions anthropiques de GES (surtout le CO<sub>2</sub>) dans l'atmosphère.
- L'écosystème (plante et sol) va réémettre du CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère par le processus de la respiration.
- Le secteur agricole peut atténuer le réchauffement climatique par l'adoption de pratiques culturales favorisant le stockage de carbone dans les sols.
- Les filières de production et d'utilisation des fossiles contribuent aux émissions de composés gazeux dans l'atmosphère, notamment le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et le N<sub>2</sub>O.
- Le facteur d'émission (FE) de GES est très indispensable dans le calcul du bilan de GES.
- Les directives du GIEC ont publié des valeurs par défaut de FE, mais elles peuvent également être déterminées pour chaque culture en fonction des précisions recherchées et des spécificités des régions, voire des pays.
- L'atmosphère est constituée d'environ 78% d'azote (N), un des éléments indispensables aux vivants, car il se trouve dans les protéines. Le cycle de l'azote est constitué de plusieurs processus combinant les actions d'une multitude de bactéries.
- Les processus du cycle de l'azote (fixation, nitrification et dénitrification) sont très lents, et l'apport excessif d'engrais azotés et d'effluents agricoles pourraient limiter les processus d'assimilation de l'ammonium NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, de l'ammoniac NH<sub>3</sub> et des nitrates NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (formes d'ionisation les plus communes des fertilisants azotés).

#### 4) Les sources principales des GES dans le secteur de l'agriculture

- Les émissions des GES, principalement le CO<sub>2</sub>, le CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O observées en agriculture proviennent de l'amont, l'intérieur et l'aval des exploitations.
- Les principaux postes responsables d'émissions agricoles sont la fermentation entérique (CH<sub>4</sub>), les apports azotés aux sols agricoles (N<sub>2</sub>O), la gestion et le stockage des effluents d'élevage (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), le brûlage de la biomasse ou des résidus agricoles (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), le traitement phytosanitaire (CO<sub>2</sub>), la conversion des prairies en terres agricoles (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O), la riziculture (CH<sub>4</sub>) et le transport (CO<sub>2</sub>).
- Les émissions de carbone en agriculture sont principalement dues à l'utilisation d'engins (carburant), aux pratiques agricoles et à la conversion des écosystèmes naturels (forêts, savanes, prairies...) en parcelles agricoles.
- Le fonctionnement des engins/appareils et le chauffage des serres ou bâtiments d'élevage dans les exploitations agricoles consomment du carburant (énergie fossile), source d'émission de CO<sub>2</sub>.
- L'apport d'engrais organiques ou minéraux au sol agricole peut favoriser l'émission de CO<sub>2</sub>.
- La minéralisation de la matière organique du sol et le processus de respiration des écosystèmes sont d'importantes émissions du CO<sub>2</sub>.
- Les émissions de N<sub>2</sub>O proviennent de l'épandage de l'azote sur les sols agricoles nécessaire à la croissance et au développement harmonieux des cultures. On enregistre aussi des émissions de N<sub>2</sub>O au niveau de l'élevage. Elles sont dues aux processus de nitrification-dénitrification pendant le séjour d'animaux et le stockage des déjections.
- Les émissions de CH<sub>4</sub> sont issues de la fermentation entérique (notamment chez les ruminants), de la gestion des déjections animales et des rizicultures.

#### 5) Les différentes méthodes de calcul des GES dans le secteur de l'agriculture

- Dans le secteur agricole, plusieurs méthodologies sont utilisées pour l'estimation des émissions de GES, dont celles proposées par le GIEC.
- Les méthodes sont essentiellement basées sur les facteurs d'émissions (FE), les résultats des travaux de recherche (champs ou laboratoire), les statistiques et les modèles (modélisation biophysique).
- Dans l'évaluation des émissions de CH<sub>4</sub> et de N<sub>2</sub>O, il est tenu compte des émissions directes et indirectes.
- Pour le CO<sub>2</sub>, on intègre par contre les changements d'usage ou non. Certains pays ont adopté d'autres dispositions particulières en fonction des engagements particuliers.
- Les émissions de GES en agriculture restent complexes et difficiles à appréhender.

## NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



## NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



# FEUILLET 4

## Impacts des pratiques agricoles sur la qualité de l'air et stratégies d'atténuation

### OBJECTIFS PÉDAGOGIQUES

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

- comprendre que l'horticulture contribue aux émissions de GES à toutes les étapes de la chaîne d'approvisionnement ;
- connaître les principales sources d'émissions de GES dans la production agricole et les chaînes d'approvisionnement horticoles ;
- connaître l'importance relative des différentes sources d'émissions de GES et les facteurs qui influencent les émissions ;
- comprendre que l'agriculture et l'horticulture peuvent contribuer aux efforts d'atténuation du changement climatique ;
- identifier les opportunités dans les exploitations agricoles et dans le système alimentaire au sens large, pour réduire les émissions et augmenter la quantité de carbone stockée ;
- comprendre que les mesures d'atténuation climatiques les plus appropriées doivent être identifiées au cas par cas et d'une manière spécifique en fonction du site ;
- apprécier le potentiel d'amélioration de la gestion individuelle des exploitations agricoles d'une manière holistique afin d'accroître l'efficacité du système et de réduire les émissions ;
- comprendre la nécessité d'approches holistiques.

### MESSAGES CLÉS

#### 1) Pratiques agricoles et émissions de GES

- Agriculture et horticulture sont liées au changement climatique de trois façons : émission des gaz à effet de serre (GES) ; contribution à la lutte contre le changement climatique parce qu'elles ont le potentiel de retenir le carbone dans les sols et la biomasse ; elles sont déjà et seront de plus en plus affectées par le changement climatique.
- Les sols agricoles sont une source mondiale nette de GES : émission du carbone (décomposition de la MO), du N<sub>2</sub>O et du CO<sub>2</sub> (application d'azote minéral et organique, engrais à base d'urée).
- La perte de carbone des sols cultivés est affectée par l'utilisation des terres, les changements d'affectation des terres, la couverture végétale et la gestion des sols.



- L'un des principaux facteurs conduisant l'appauvrissement en carbone du sol est la conversion des terres, des forêts et des prairies en terres agricoles cultivées (ou changement d'affectation des terres – CAT).
- Le travail du sol (labours) comme le drainage des sols organiques augmentent la minéralisation de la matière organique du sol et donc les émissions de CO<sub>2</sub>.
- L'application de matières azotées sur les sols agricoles entraîne des émissions directes et indirectes de N<sub>2</sub>O.
- La volatilisation de l'ammoniac à partir de fumier animal et d'engrais azotés, et surtout d'engrais à base d'urée, contribue également à la formation de particules.
- L'épandage d'engrais contenant de la chaux et de l'urée sur les sols entraîne l'émission de CO<sub>2</sub> à la suite de processus chimiques.
- Les travaux agricoles, l'irrigation, le stockage des produits frais et la transformation utilisent de l'énergie fossile (diesel, essence ou électricité) et émettent des GES contribuant ainsi au changement climatique.
- Lorsque les résidus de culture sont labourés dans le sol ou laissés à la surface du sol, ils restituent au sol l'azote qui a déjà été appliqué dans les engrais.
- La conversion d'une catégorie d'utilisation des terres à une autre s'appelle CUT. Les émissions dues au CUT sont incluses dans les calculs de l'empreinte carbone liée au produit quand le CUT s'est produit jusqu'à 20 ans avant le calcul.
- La conversion des forêts, prairies, savanes, zones humides ou zones arbustives tropicales entraîne également d'importantes émissions de carbone.
- Le drainage des tourbières tropicales, mangroves et sols organiques gorgés d'eau augmente la décomposition du carbone organique et libère du CO<sub>2</sub> et du N<sub>2</sub>O.
- Les émissions provenant de la production et du transport des intrants représentent une source indirecte, en amont, d'émissions pour les exploitations qui achètent ces matières.
- L'importance du transport pour l'empreinte carbone des différents produits horticoles dépend dans une large mesure de leur marché de destination, de leur degré de périssabilité et de la possibilité de les transporter par bateau ou par avion sur de longues distances.
- La réfrigération implique généralement l'utilisation de ces substances ayant un impact très élevé sur le changement climatique et peut contribuer de manière significative à l'empreinte carbone des produits.
- L'emballage de produits frais, le déplacement des consommateurs en voiture, la préparation des aliments et le gaspillage sont autant de sources d'émission.
- Un tiers des aliments produits sont perdus ou gaspillés et représentent environ 8 % de toutes les émissions mondiales de GES. Les fruits et légumes représentent la plus grande part des déchets sur la base de leur poids.

## 2) Possibilités d'atténuation et de compensation des émissions

- Tous les secteurs industriels peuvent et doivent contribuer aux efforts d'atténuation.
- Il existe trois grandes possibilités d'atténuer le changement climatique en agriculture et en horticulture:
  - i. réduire les émissions (p. ex. en utilisant plus efficacement les engrais azotés) ;

- ii. améliorer les prélèvements (retenir le carbone dans les sols ou la biomasse des arbres) ;
- iii. éviter ou remplacer les émissions (p. ex., en utilisant la bioénergie).
- Les entreprises peuvent mettre en œuvre des mesures d'atténuation du changement climatique qui mènent à des réductions ou à des absorptions d'émissions.
- Il existe deux types de marchés du carbone : le marché réglementaire du carbone, (les compensations sont vendues aux organisations et aux gouvernements qui doivent se conformer aux objectifs de réduction des émissions de GES fixés par le Protocole de Kyoto ou d'autres initiatives réglementaires) ; et le marché volontaire des crédits et des compensations de carbone.
- La « compensation carbone » a été critiquée, car les entreprises devraient plutôt réduire les émissions résultant de leurs propres activités que de payer pour que d'autres fassent des efforts de réduction ailleurs.
- L'utilisation équilibrée et efficace des engrais minéraux, la réduction de la consommation d'énergie et l'augmentation de l'efficacité énergétique réduisent les émissions à la ferme.
- Parmi les mesures de réduction des GES, il est important d'accroître l'efficacité de l'irrigation (méthodes adoptées ; systèmes performants).
- Les sols peuvent contribuer à l'atténuation du changement climatique en absorbant le carbone atmosphérique, mais ils ont une capacité limitée dans le temps de le faire jusqu'à ce qu'ils aient atteint un nouvel équilibre.
- L'augmentation du stock de MO peut être obtenue en retournant les résidus, en augmentant la production de biomasse, en appliquant des composts, des cultures de couverture, des cultures pérennes et par des rotations de cultures complexes.
- Le travail minimal du sol, le travail réduit du sol et les systèmes sans labour augmentent souvent la teneur en carbone du sol parce qu'ils réduisent ou évitent la perturbation du sol.
- L'utilisation de cultures de couverture, d'engrais verts et de paillis peut accroître les stocks de carbone organique du sol, seul ou en combinaison avec un travail réduit du sol.
- Le carbone peut également être enfermé dans les systèmes agroforestiers, les arbres d'ombrage, les haies, les bandes enherbées ou les cultures horticoles vivaces (arbres fruitiers ou arbres à épices).

### 3) Nécessité d'évaluations holistiques et d'une approche systémique

- Il faut prendre en compte toutes les pratiques et les effets nets des mesures d'atténuation sur tous les GES afin d'éviter un transfert involontaire du fardeau d'un processus ou d'un GES à un autre. Par exemple, sans labour, le niveau de carbone organique du sol augmente, mais les émissions de N<sub>2</sub>O augmentent en même temps.
- Au niveau de l'exploitation agricole, l'approche systémique dite « agriculture de conservation » combine plusieurs pratiques qui peuvent améliorer la fertilité des sols, réduire les risques d'érosion, conserver l'humidité des sols et contribuer à l'atténuation des changements climatiques en augmentant les niveaux de carbone dans le sol.
- Il est important d'adopter une approche holistique des défis interdépendants dans les secteurs de l'utilisation des terres, L'atténuation et l'adaptation au changement climatique doivent aller de pair.

## NOTES PERSONNELLES ET RÉFÉRENCES DES SUPPORTS UTILISÉS

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....



# Résumé du manuel

## Gestion durable de la qualité de l'air

1. Fondements sur la qualité de l'air .....	30
2. Impacts des pratiques culturales sur la qualité de l'air .....	33
3. Les gaz à effet de serre et le bilan carbone .....	36
4. Impacts des pratiques agricoles sur la qualité de l'air et stratégies d'atténuation .....	39

# 1. FONDEMENTS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

## 1.1. Introduction

La pollution de l'air que nous respirons est aujourd'hui une préoccupation sociétale de tout premier plan. Les agents polluants en jeu sont des gaz ou des particules dont les sources sont naturelles (ex. : feux de forêt) ou anthropiques. Les principales causes de la pollution de l'air sont en relation avec l'ignition de combustibles fossiles (charbon, pétrole et gaz) utilisés par l'homme. Le transport routier, les industries, le secteur résidentiel, mais aussi l'agriculture sont parmi les principales activités humaines contributrices à la pollution de l'air. **L'agriculture n'échappe pas à une part de responsabilité dans la présence de gaz à effet de serre et de particules fines dans l'atmosphère.**

La pollution de l'air a des impacts sanitaires et environnementaux, et, en conséquence, des répercussions économiques importantes. L'exposition aux matières particulaires (PM) et à différents gaz, affecte la santé humaine. **Les polluants les plus nocifs** pour la santé publique sont notamment, le monoxyde de carbone (CO), l'ozone (O<sub>3</sub>), le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>), les polluants organiques persistants (POPs) et les « pesticides » présents dans l'air.

## 1.2. Composition et qualité de l'air

**L'atmosphère comporte 4 zones** selon l'altitude (troposphère, stratosphère, mésosphère et thermosphère). Les proportions d'azote, d'oxygène et d'argon sont constantes dans toute l'atmosphère, tandis que les proportions d'eau, de gaz carbonique, de dioxyde de soufre et d'ozone varient avec l'altitude. La plupart des phénomènes climatiques (nuages porteurs d'orages, cumulonimbus, etc.) sont confinés à la troposphère. De façon générale, le climat terrestre dépend étroitement des effets qui existent entre la chaleur du Soleil et l'ensemble de l'atmosphère. La météorologie et la climatologie s'intéressent plus spécialement aux événements qui se produisent dans la couche la plus basse, la troposphère.

La couche de l'atmosphère qui nous importe le plus **est la partie de la troposphère s'étendant jusqu'à 1 km d'altitude en moyenne, appelée « couche limite atmosphérique » (CLA)**. La turbulence verticale est due à des phénomènes qui expliquent que les polluants (comme des pesticides pulvérisés dans une parcelle de culture) peuvent se disperser verticalement dans l'atmosphère, puis voyager sur de longues distances. La turbulence est liée à la stabilité de l'atmosphère. En effet, la stabilité de l'air dépend de l'évolution de la **température de l'air avec l'altitude**, de la **turbulence thermique** et de la **turbulence mécanique**.

## 1.3. Les impacts de la pollution atmosphérique : principaux faits

Selon l'OMS, la pollution de l'air représente **un risque environnemental majeur pour la santé**. En diminuant les niveaux de pollution atmosphérique, les pays peuvent réduire la charge de morbidité imputable aux accidents vasculaires cérébraux, aux cardiopathies, au cancer du poumon et aux affections respiratoires, chroniques ou aiguës, y compris l'asthme. En 2016, 91 % de la population mondiale vivaient dans des endroits où les lignes directrices de l'OMS relatives à la qualité de l'air n'étaient pas respectées. On estimait à 4,2 millions le nombre de décès prématurés provoqués dans le monde par la pollution ambiante (de l'air extérieur) dans les zones urbaines, périurbaines et rurales.



Outre la pollution de l'air extérieur, la fumée domestique représente un grave risque sanitaire pour environ 3 milliards de personnes qui font cuire leurs aliments, chauffent et éclairent leur logement à l'aide de combustibles à base de biomasse, de fuel et de charbon.

#### 1.4. Nature et effets sur la santé des polluants atmosphériques

Les « **matières particulaires** » sont classées en fonction de leur diamètre et leur source émettrice. Elles sont formées d'un mélange complexe de particules solides et liquides de substances organiques et minérales en suspension dans l'air. Les particules **les plus grosses** sont regroupées sous l'appellation « **poussières** ». Les particules les plus grossières sont riches en fractions minérales issues de processus mécaniques (particules terrigènes générées par l'érosion, sels de mer, etc.).

Les particules dont la taille est **inférieure à 100 micromètres** (de  $10^{-9}$  à  $10^{-6}$  m) sont appelées, soit « **aérosols** » (ex. : gouttelettes  $< 100 \mu\text{m}$  émises dans l'atmosphère lors de la pulvérisation des pesticides), soit, quand les particules sont encore plus petites, « **particules fines** » (ou PM). L'exposition chronique aux particules fines contribue au risque de développer des maladies cardiovasculaires, respiratoires et des cancers pulmonaires.

**Les particules dont le diamètre est inférieur ou égal à  $2,5 \mu$  ( $\leq \text{PM}_{2.5}$ ) sont les plus nocives pour la santé.** Elles peuvent franchir la barrière pulmonaire et entrer dans la circulation sanguine. **L'élevage et les grandes cultures sont générateurs de poussières et de particules fines** ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ ). Les émissions agricoles de ces contaminants primaires se répartissent entre les cultures **lors du travail du sol**, de la récolte et du **brûlage des résidus de récolte** et, pour l'élevage, au niveau essentiellement des bâtiments d'élevage. Il existe un lien étroit et quantitatif entre l'exposition à des concentrations élevées en particules ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ ) et un accroissement des taux de mortalité et de morbidité, au quotidien aussi bien qu'à plus long terme. L'OMS a établi des valeurs indicatives pour les  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ .

**L'ammoniac** (fertilisants azotés) **contribue significativement à la formation de ces particules.** Même à faible concentration, la pollution aux petites particules a une incidence sanitaire ; en effet, on n'a identifié aucun seuil au-dessous duquel elle n'affecte en rien la santé. À des concentrations élevées, l'ozone a des effets marqués sur la santé de l'homme (notamment crises d'asthme). Le système respiratoire est affecté par l'ozone, le dioxyde d'azote ou le dioxyde de soufre.

#### 1.5. Nature et effets sur l'environnement des polluants atmosphériques

Les polluants émis par les industries et l'agriculture participent, après transformation, à l'acidification et à l'eutrophisation des milieux naturels (exemple des pluies acides dues au  $\text{SO}_2$ ). Les **dépôts d'ammoniac** et de particules venant des retombées modifient la qualité des eaux et des sols dans les milieux naturels. Ces dépôts peuvent favoriser la croissance de certaines espèces de la faune et de la flore au détriment d'autres espèces, et provoquer localement une **perte de biodiversité**. Des liens étroits unissent la pollution particulaire et la formation d'ozone.

**L'effet de serre est un phénomène naturel** permettant de maintenir une température moyenne de  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  à la surface de la Terre. La contribution à l'effet de serre de chaque GES s'exprime grâce à un indicateur appelé **pouvoir de réchauffement global (PRG)**, unité de mesure qui correspond à l'effet d'un gaz sur le réchauffement de l'atmosphère cumulé sur une durée de 100 ans. Cette valeur se mesure par rapport au  $\text{CO}_2$ . Par exemple, 1 kg de  $\text{CH}_4$



émis dans l'atmosphère produira le même effet, sur un siècle, que l'émission de 25 kg de CO<sub>2</sub>.

**Les zones agricoles sont des sources majeures de GES** et de particules fines. Les zones agricoles et sylvicoles sont à la fois des sources et des puits de polluants atmosphériques. Les polluants atmosphériques générés par l'agriculture sont des gaz dispersés dans l'air – principalement l'oxyde nitreux (N<sub>2</sub>O), l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et le méthane (CH<sub>4</sub>) – ou des particules, solides ou liquides, en suspension dans l'air. L'agriculture rejette du méthane (élevage et sols), du protoxyde d'azote (fertilisation azotée et gestion des déjections animales) et du dioxyde de carbone (consommation d'énergie). La pollution engendre une perte de qualité sanitaire des denrées (métaux lourds comme Pb et Cd, et POP).

Des concentrations élevées en CO<sub>2</sub> atmosphérique ont une influence positive sur la photosynthèse. C'est ce qu'on appelle **l'effet fertilisant du CO<sub>2</sub>**. Le CO<sub>2</sub> présente aussi un **effet anti-transpirant** : l'augmentation de CO<sub>2</sub> dans l'atmosphère réduit le nombre et l'ouverture des stomates, ce qui réduit la transpiration de la plante et induit une consommation plus efficace de l'eau.

### 1.6. Donner un cadre à la gestion de la qualité de l'air

Il existe nombreux exemples de politiques pour réduire la pollution de l'air. Le **Protocole de Kyoto de 1997** avait pour objectif de limiter les émissions de 6 GES : dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), méthane (CH<sub>4</sub>), protoxyde d'azote (NO), hydrofluorocarbures (HFC), perfluorocarbures (PFC) et hexafluorure de soufre (SF<sub>6</sub>) en fixant des quotas d'émissions pour les pays développés, considérés comme les plus gros émetteurs de GES. D'ici 2012, les émissions de GES des pays engagés par le Protocole de Kyoto devaient être inférieures à celles de 2012. Mais la mobilisation de la communauté internationale a été jugée insuffisante.

**L'Accord de Paris** (COP21 – conférence de Paris sur le climat) a défini un nouveau protocole afin de maintenir le réchauffement climatique sous la barre des 2 °C. Pour cela, l'Accord de Paris prévoit que tous les pays engagés revoient tous les cinq ans ses engagements liés à la diminution des émissions de GES.

Au niveau de l'UE, la **directive 2008/50/CE** définit des objectifs en matière de qualité de l'air pour améliorer la santé humaine et la qualité environnementale d'ici 2020. La directive 2008/50/CE et la directive 1999/30/CE définissent des seuils d'alerte et des valeurs limites, ainsi que des obligations d'action en cas de dépassement. La **directive-cadre 96/62/CE** sur la qualité de l'air énonce les principes fondamentaux d'une stratégie visant à établir des objectifs de qualité de l'air ambiant. Selon la directive, la qualité de l'air ambiant doit être contrôlée sur tout le territoire des États membres. Une législation abondante existe au niveau européen, fixant des plafonds d'émission pour certains polluants atmosphériques (ex. : arsenic, cadmium, mercure, nickel et hydrocarbures aromatiques polycycliques).

La **directive 2010/75/UE (directive IED)** définit une approche intégrée de la prévention et de la réduction des pollutions émises par les installations industrielles et agricoles. Un de ses principes directeurs est le recours aux meilleures techniques disponibles (MTD). Des valeurs limites indicatives d'exposition professionnelle (VLIIEP) sont fixées pour protéger les travailleurs contre les risques liés à l'exposition aux agents chimiques. Les valeurs limites indicatives d'exposition professionnelle (VLIIEP) sont les limites de la moyenne pondérée en fonction du temps de la concentration d'un agent chimique dans l'air de la zone de respiration d'un travailleur au cours d'une période de référence déterminée. Des systèmes de mesure (appareils d'analyse) en temps réel et en temps différé ont été développés.

## 2. IMPACTS DES PRATIQUES CULTURALES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR

### 2.1. Influence des pratiques agricoles sur la qualité de l'air

Il est reconnu que l'agriculture participe largement à l'altération de la qualité de l'air, **d'autant plus que les pratiques adoptées sont agressives pour le milieu et éloignées des principes de l'agro-écologie**. Le paradoxe de l'agriculture, c'est que les zones agricoles ont la particularité d'être, **en fonction des pratiques adoptées** (agriculture conventionnelle par opposition à agriculture agro-écologique ou biologique), **tantôt des sources, tantôt des puits** pour les polluants de l'air.

L'agriculture industrielle est responsable de près de 35 % des émissions de gaz à effet de serre (GES : CO<sub>2</sub> et méthane notamment), alors que, d'un autre côté, les sols agricoles sont des puits de carbone très importants. L'agriculture apparaît aussi comme un **secteur particulier : émetteur** de GES et de polluants atmosphériques (principalement de l'ammoniac, NH<sub>3</sub>) ; mais aussi **victime** de la pollution atmosphérique (diminution des rendements, dégradation de la qualité des sols, des eaux et des produits végétaux, dégradation de la biodiversité, etc.).

L'air est altéré par des **polluants biologiques** (pollen, virus, bactéries, spores...), **physiques** (érosion éolienne, suies) ou **chimiques**. Dans certaines circonstances, les particules en suspension et les gaz constituent des cocktails de polluants produisant un effet toxique et/ou écotoxique. L'agriculture participe aux émissions de composés azotés, de COV, du méthane et des pesticides, ainsi que des particules primaires.

En agriculture, **la préparation du sol, la fertilisation, l'apport de produits phytopharmaceutiques, les opérations culturales vont générer l'émission de particules primaires en fonction du type de sol** (plus le sol est dégradé, plus vite il émettra de la poussière) et de la météo (plus le sol est sec, plus il dégagera de poussières ; plus il fait chaud, plus intense sera la volatilisation). La pollution de l'air est aussi indirecte : elle est liée à la présence, à la volatilisation et à l'accumulation (retombées atmosphériques) de polluants du sol (pesticides, engrais, effluents d'élevage, fertilisants).

Selon la FAO, la combustion de la biomasse (« brûlage ») est un phénomène courant et très répandu dans tout le monde tropical. Les incendies de végétation, qu'ils soient allumés pour diverses raisons par les populations, ou par la foudre, sont fréquents et couvrent de grandes étendues. Les feux alimentés par le bois, le charbon de bois ou les résidus agricoles sont la principale source d'énergie domestique pour la cuisine et le chauffage. Le feu est aussi utilisé pour éliminer la biomasse lors du défrichage des terres destinées à l'agriculture, ou, après la culture, pour se débarrasser des résidus agricoles indésirables. **L'ensemble de ces feux constitue une source importante de gaz traces et de particules en suspension** libérés dans l'atmosphère. Les incendies de forêt ont de nombreuses incidences sur l'environnement et notamment sur la qualité de l'air, donc en finale sur la santé. Selon l'ANSES (France), deux types de polluants sont à considérer pour leurs effets sur la santé :

- les particules en suspension : elles représentent le polluant de l'air le plus élevé par rapport aux seuils réglementaires dans les zones impactées par les fumées ; environ 80 % de la masse des fumées sont des particules fines (diamètre < 2,5 µm).
- le monoxyde de carbone (CO).

Les polluants composant les fumées des incendies de végétation peuvent se déposer, se distribuer et subir des modifications chimiques au niveau du sol et des plans d'eau. La qualité des nappes phréatiques est donc mise en jeu par ces incendies. Ces effets négatifs

sont à mettre en balance avec les avantages apparents du brûlage de la végétation, tels qu'ils sont perçus par les populations.

## 2.2. Pollution atmosphérique par les matières fertilisantes

Les agriculteurs utilisent en masse des **engrais azotés et d'autres matières fertilisantes** pour apporter aux plantes les éléments nutritifs dont elles ont besoin pour se développer, et qui peuvent manquer dans les sols trop peu fertiles ou trop exploités. Le problème est que les plantes absorbent seulement la moitié de ces engrais, et qu'une fraction minime des pesticides atteint réellement la cible. **Le reste finit donc dans l'atmosphère, le sol et l'eau**, polluant les rivières et endommageant la biodiversité aquatique. Les intrants qui sont répandus à grande échelle dans l'environnement peuvent s'introduire dans l'atmosphère : directement lors de l'application, ou indirectement en s'y diffusant par les phénomènes d'érosion éolienne, ou encore de vaporisation de leurs dépôts sur les zones traitées. Les matières fertilisantes (engrais organiques ou chimiques) peuvent être source de pollution de l'air, par volatilisation, et surtout des eaux, quand ils sont appliqués en quantité supérieure à ce que les cultures et le sol peuvent absorber.

La pollution azotée en agriculture prend principalement la forme d'oxyde nitreux ( $N_2O$ ), d'ammoniac ( $NH_3$ ) et de nitrates ( $NO_3$ ). Le surplus d'azote est redistribué sous différentes formes, dans l'eau, mais aussi dans l'air. **La volatilisation de l'oxyde nitreux** (ou protoxyde d'azote) **et de l'ammoniac constitue la voie principale de perte d'azote** lors de l'épandage d'effluents d'élevage (lisier, fumier...) ou d'engrais riches en ammonium comme l'urée –  $CO(NH_2)_2$  – ou l'ammonitrate (engrais azoté minéral à base de nitrate d'ammonium,  $NH_4NO_3$ ).

Trois processus de base sont impliqués dans le recyclage de l'azote :

1. **la conversion bactérienne du diazote atmosphérique** ( $N_2$ ) en azote assimilable ( $NH_{4+}$ ) par les plantes et les animaux ;
2. **la nitrification** qui transforme les produits de la fixation ( $NH_{4+}$ ,  $NH_3$ ) en  $NO_x$  (ex. : nitrates,  $NO_3$ ) dans des sols pauvres en oxygène ( $O_2$ ) ;
3. **la dénitrification** qui retourne l'azote à l'atmosphère sous sa forme moléculaire  $N_2$ , avec comme produit secondaire du  $CO_2$  et de l'oxyde nitreux  $N_2O$ .

Ces processus sont **très lents**, et l'apport excessif d'engrais azotés et d'effluents agricoles limite les processus d'assimilation de l'ammonium  $NH_{4+}$ , de l'ammoniac  $NH_3$  et des nitrates  $NO_3$  (formes d'ionisation les plus communes des fertilisants azotés).

L'ammoniac, par son caractère acido-basique, va interagir avec des composés acides présents dans l'atmosphère (ex. :  $H_2SO_4$  ou  $HNO_3$ ) pour former des **aérosols secondaires** de sels d'ammonium –  $(NH_4)_2SO_4$  ou  $NH_4NO_3$ . Le dépôt d'ammoniac ou d'ammonium induit aussi une **intensification de la nitrification dans les sols (acidification des sols)**. Un certain nombre d'écosystèmes terrestres naturels ou semi-naturels sont très sensibles aux dépôts azotés. Cet effet d'eutrophisation peut conduire localement à des pertes de biodiversité de la flore et de la faune.

Une des difficultés dans la prévision à court terme (quelques jours) de l'évolution des seuils de pollution est due à la méconnaissance des sources d'ammoniac liées aux activités agricoles et à l'élevage. L'ammoniac est en effet le plus mal connu des polluants régulés par les directives européennes pour la qualité de l'air : ses cadastres d'émission sont peu précis, et sa surveillance globale et systématique est difficile. L'ammoniac fait aujourd'hui l'objet d'une surveillance dans l'atmosphère. On constate que les concentrations en ammoniac présentent des **variations saisonnières notables** qui diffèrent en fonction de la

source d'émission principale. En zone rurale, éloignée des sources, les concentrations en ammoniac sont plus importantes en été. À l'inverse, si ces zones sont des zones d'élevage, les concentrations maximales en ammoniac coïncident avec les périodes d'épandage.

### 2.3. Pollution atmosphérique par les produits phytopharmaceutiques

Les produits phytopharmaceutiques sont pointés du doigt comme une cause possible du **déclin des colonies d'abeilles** et autres pollinisateurs, et de la biodiversité en général. Il est un fait reconnu que certains produits phytopharmaceutiques portent atteinte à la santé des applicateurs, des ouvriers qui entrent en contact avec les dépôts résiduels, et des consommateurs exposés aux **résidus dans leur alimentation**.

La pollution par les pesticides est essentiellement perçue au travers de leur présence dans les eaux de surface et les eaux souterraines (celles qui servent en priorité à l'alimentation), le sol et les denrées alimentaires. **L'atmosphère joue cependant un rôle primordial dans la dissémination des pesticides à l'échelle locale, régionale et globale**, mais, faute de mesures de la présence des pesticides dans l'air et des conséquences potentielles de celle-ci, cette contamination diffuse est passée inaperçue et a été longtemps sous-estimée.

L'application des pesticides se fait le plus souvent **par pulvérisation de gouttelettes** sur les plantes ou sur le sol. Plusieurs voies de contamination de l'atmosphère sont possibles :

- une **contamination directe** pendant l'application à cause des pertes **par dérive** (perte par transfert vertical et horizontal d'une partie de la bouillie pulvérisée dans l'atmosphère) ;
- une **contamination indirecte en post-application**, soit **par volatilisation** depuis le sol ou le couvert traité, soit **par érosion éolienne**.

Les transferts atmosphériques **peuvent s'effectuer sur de longues périodes**, ce qui explique la persistance de certains pesticides dans l'air en dehors des périodes d'épandages.

**La dérive de pulvérisation** est un transport atmosphérique de très petites gouttelettes ou de vapeurs de pesticides **hors de la zone traitée** sous l'effet du vent, qui se produit au moment même de l'application ou peu de temps après. On l'exprime **en % de la quantité appliquée par hectare** (la dérive est de quelques % habituellement). Une partie de la dérive se dépose habituellement à proximité du point d'application (dérive sédimentaire), mais **une autre partie subsiste plus longtemps dans l'atmosphère et peut être transportée sur de plus longues distances (dérive éolienne)**. De nombreux facteurs influencent l'importance de la dérive. Certains facteurs sont mécaniques (ex. : pression de travail ou le type de buse utilisé), d'autres dépendent de la pratique de l'agriculteur (ex. : la hauteur de la rampe, la vitesse d'avancement, le volume de bouillie par hectare), mais les plus importants sont certainement ceux liés à la taille des gouttes et aux conditions atmosphériques, comme la vitesse et la direction du vent pendant l'application, ou la température et l'humidité relative de l'air.

## 3. LES GAZ À EFFET DE SERRE ET LE BILAN CARBONE

### 3.1. Les gaz à effet de serre (GES) et le climat

La couche atmosphérique joue un rôle important dans le bilan énergétique à la surface terrestre via les divers mécanismes interagissant avec les flux solaire et tellurique. L'atmosphère est la couche gazeuse enveloppant la Terre, subdivisée en couches d'importance variable (la troposphère, la stratosphère, la mésosphère, thermosphère et l'exosphère). Elle est **principalement constituée de trois gaz** chimiquement peu réactifs :

- l'azote moléculaire  $N_2$  (78,08 %) ;
- l'oxygène moléculaire  $O_2$  (20,95 %) ;
- l'argon Ar (0,93 %).

Ces gaz ne subissent pas de changement de phase et leur concentration relative est répartie de façon homogène sur les 80 premiers km de l'atmosphère. Viennent ensuite la vapeur d'eau  $H_2O$  (en moyenne 0,4 %) et le dioxyde de carbone  $CO_2$  (0,039 %). Les autres composants sont les nuages, les aérosols et d'autres gaz, dont le méthane  $CH_4$ , l'oxyde nitreux  $N_2O$  et l'ozone  $O_3$  qui contribuent peu à la masse atmosphérique. Bien que ces gaz subissent un cycle saisonnier, la teneur du  $CO_2$ ,  $N_2O$  et  $CH_4$  reste également homogène en moyenne annuelle. Par contre, l'ozone et la vapeur d'eau n'ont pas le même comportement. La répartition de la vapeur d'eau est fortement liée à l'évaporation et la condensation.

Globalement, un peu plus de 50 % du rayonnement solaire sont absorbés par la croûte terrestre et les océans, 20 % par l'atmosphère et 30 % directement renvoyés par l'atmosphère vers l'espace. Les **rayonnements visibles** de courte longueur d'onde traversent l'atmosphère avant d'être absorbés par la surface terrestre qu'ils réchauffent. Une partie du rayonnement thermique de longue longueur d'onde émis par la surface réchauffée est partiellement absorbée par l'atmosphère (notamment par certains gaz présents en faible concentration). La seconde partie est transmise directement à l'espace quittant la surface terrestre. Les flux d'énergie absorbés **réchauffent l'atmosphère puis sont réémis à parts égales vers l'espace et la surface terrestre.**

Pendant ce temps, une grande partie du **rayonnement infrarouge** émis par le soleil est captée par l'atmosphère et **rediffusée vers la surface terrestre.**

En somme, la surface de la Terre reçoit (et absorbe) les rayonnements solaires intégralement transmis à travers l'atmosphère, mais, en plus, une partie non négligeable du flux infrarouge émis par la surface terrestre. Le résultat de l'ensemble de ces mécanismes est le réchauffement de la surface de la Terre. C'est **l'effet de serre**. L'effet de serre est donc un mécanisme naturel qui permet de retenir à la surface terrestre la chaleur due à l'absorption et à la réémission des rayonnements dans l'atmosphère. Les principaux gaz à effet de serre (GES) naturellement présents dans l'atmosphère sont la vapeur d'eau ( $H_2O$ ), le dioxyde de carbone ( $CO_2$ ), l'ozone ( $O_3$ ), le méthane ( $CH_4$ ) et le protoxyde d'azote ( $N_2O$ ).

Ces dernières décennies, un important bouleversement a été observé (rapports du GIEC). Il est dû à **l'augmentation continue des concentrations de certains « gaz à effet de serre ou GES » ( $CO_2$ ,  $CH_4$ ) dans l'atmosphère.** Cela a modifié de façon significative les flux de chauffage de la surface terrestre, en provoquant un forçage radiatif qui perturbe sérieusement l'équilibre climatique. **Le changement climatique**, désormais une réalité scientifique mondiale, constitue une **contrainte supplémentaire** à l'existence humaine et au développement durable. Le **réchauffement climatique** désigne des bouleversements significatifs des conditions climatiques, des phénomènes exceptionnels avec leurs fréquences, des températures sortant de leurs gammes de valeurs moyennes habituelles, des rétroactions et une augmentation



continue des concentrations des GES (CO<sub>2</sub> en particulier) dans l'atmosphère.

L'agriculture y contribue **à cause des émissions de gaz à effet de serre (GES)**, mais en subit également les impacts compte tenu de sa complexité, du nombre de personnes à nourrir et surtout des défis à relever. Les impacts du changement climatique sont encore plus importants dans les pays moins avancés et très vulnérables comme les pays ACP. Le secteur de l'agriculture/production alimentaire pourrait être responsable de 35 % des émissions totales mondiales de GES.

Cependant, **le secteur agricole peut atténuer le réchauffement climatique** par l'adoption de pratiques culturales favorisant **le stockage de carbone** dans les sols.

### 3.2. Les principaux accords internationaux relatifs aux GES

Le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC) a été créé en 1988 par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et ONU Environnement. En 2013, le GIEC a clarifié le rôle des activités humaines dans le changement climatique en publiant son cinquième rapport d'évaluation. Sa conclusion est catégorique : le changement climatique est réel et les activités humaines en sont la cause principale. Le cinquième *Rapport d'évaluation* du GIEC confirme que le réchauffement du système climatique est sans équivoque et que nombre des changements observés sont sans précédent depuis des décennies, voire des millénaires. **Ce rapport met en exergue un certain nombre de conséquences des changements climatiques qui pourraient être évitées si le réchauffement était limité 1,5 °C, et non à 2 °C ou plus.** Ainsi, d'ici à 2100, le niveau de la mer à l'échelle de la planète serait, si le réchauffement était limité à 1,5°C, inférieur de 10 cm à celui qui risquerait d'être enregistré s'il était limité à 2°C. Il est indiqué dans le rapport que la limitation du réchauffement planétaire à 1,5 °C nécessiterait des **transitions « rapides et de grande envergure »** dans les domaines de l'aménagement du territoire, de l'énergie, de l'industrie, du bâtiment, du transport et de l'urbanisme. Les émissions mondiales nettes de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) d'origine anthropique devraient être réduites d'environ 45 % par rapport aux niveaux de 2010 d'ici à 2030, et il **faudrait atteindre un « bilan nul » des émissions** aux alentours de 2050, ce qui signifie que les émissions restantes devraient être compensées en éliminant du CO<sub>2</sub> de l'atmosphère.

**En 1992, des pays ont joint un traité international**, – la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (CCNUCC) – en vue de considérer ce qui pouvait être fait pour réduire le réchauffement global et faire face à toute hausse inévitable des températures.

Plusieurs rencontres internationales ont débouché sur d'importants accords relatifs aux mesures et synergies nécessaires pour lutter contre les changements climatiques : le **Protocole de Kyoto en 1992 et l'Accord de Paris en 2015**. Le Protocole de Kyoto a été ratifié par 172 pays et est entré en vigueur depuis 2005. Il pose une limite aux grandes économies mondiales sur le rejet total des émissions de gaz à effet de serre. Les pays ont pris collectivement l'engagement de réduire, sur la période 2008-2012, leurs émissions de 5 % par rapport aux niveaux de 1990. Les principales mesures suggérées par le Protocole de Kyoto concernent les émissions de CO<sub>2</sub> énergétiques (transport, industrie, production d'énergie, habitat) et celles liées à la déforestation. L'Accord de Paris fait suite aux négociations qui se sont tenues lors de la Conférence de Paris sur le climat (COP21) de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques. Dans le cadre de cet accord, les parties se sont engagées à prendre des mesures ambitieuses pour maintenir l'élévation de la température mondiale en dessous de 2 °C d'ici à la fin du siècle.



### 3.3. Les cycles de carbone et de l'azote

Le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ) est l'un des éléments clés du cycle de la vie terrestre. Il constitue, avec la vapeur d'eau et la lumière, les premiers maillons de la matière vivante. Initiateur de la vie, il est aussi le produit final de sa dégradation. Le cycle global de carbone est constitué des échanges de carbone entre les grands réservoirs : les océans, l'atmosphère et les écosystèmes terrestres (ressources fossile, biomasse et sol). Le cycle global de carbone, relativement en équilibre à l'état naturel, est déséquilibré ces dernières décennies, principalement à cause des émissions anthropiques de GES (surtout le  $\text{CO}_2$ ) dans l'atmosphère. L'écosystème (plante et sol) va réémettre du  $\text{CO}_2$  dans l'atmosphère par le processus de la respiration.

L'atmosphère est constituée d'environ 78 % d'azote (N), un des éléments indispensables aux vivants, car il se trouve dans les protéines. Le cycle de l'azote est constitué de plusieurs processus combinant les actions d'une multitude de bactéries. **Les processus du cycle de l'azote (fixation, nitrification et dénitrification) sont très lents**, et l'apport excessif d'engrais azotés et d'effluents agricoles pourraient limiter les processus d'assimilation de l'ammonium  $\text{NH}_4^+$ , de l'ammoniac  $\text{NH}_3$  et des nitrates  $\text{NO}_3^-$  (formes d'ionisation les plus communes des fertilisants azotés).

Le secteur agricole peut atténuer le réchauffement climatique par l'adoption de pratiques culturales favorisant le stockage de carbone dans les sols. Les filières de production et d'utilisation des fossiles contribuent aux émissions de composés gazeux dans l'atmosphère, notamment le  $\text{CO}_2$ , le  $\text{CH}_4$  et le  $\text{N}_2\text{O}$ .

**Le facteur d'émission (FE) de GES est indispensable dans le calcul du bilan de GES.** Les directives du GIEC ont publié des valeurs par défaut de FE, mais elles peuvent également être déterminées pour chaque culture en fonction des précisions recherchées et des spécificités des régions, voire des pays.

### 3.4. Les sources principales de GES dans le secteur de l'agriculture

Les émissions des GES, principalement le  $\text{CO}_2$ , le  $\text{CH}_4$  et  $\text{N}_2\text{O}$  observées en agriculture proviennent de l'amont, l'intérieur et de l'aval des exploitations. Elles concernent principalement les productions végétale et animale, les industries agro-alimentaires, l'utilisation d'engrais, le traitement phytosanitaire et le transport. En particulier, les principaux postes responsables sont la **fermentation entérique** ( $\text{CH}_4$ ), les **apports azotés aux sols agricoles** ( $\text{N}_2\text{O}$ ), la **gestion et le stockage des effluents d'élevage** ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), le **brûlage de la biomasse ou des résidus agricoles** ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), le **traitement phytosanitaire** ( $\text{CO}_2$ ), la **conversion des prairies en terres agricoles** ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ), la **riziculture** ( $\text{CH}_4$ ) et le **transport** ( $\text{CO}_2$ ).

Les émissions de carbone en agriculture sont principalement dues à l'utilisation d'engins (carburant), aux pratiques agricoles et à la conversion des écosystèmes naturels (forêts, savanes, prairies...) en parcelles agricoles. Le fonctionnement des engins/appareils et le chauffage des serres ou bâtiments d'élevage dans les exploitations agricoles consomment du carburant (énergie fossile), source d'émission de  $\text{CO}_2$ .

**L'apport d'engrais organiques ou minéraux au sol agricole peut favoriser l'émission de  $\text{CO}_2$ .** La minéralisation de la matière organique du sol et le processus de respiration des écosystèmes sont d'importantes d'émission du  $\text{CO}_2$ . Les émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  proviennent de l'épandage de l'azote sur les sols agricoles nécessaire à la croissance et au développement harmonieux des cultures. On enregistre aussi des émissions de  $\text{N}_2\text{O}$  au niveau de l'élevage.

Elles sont dues aux processus de nitrification-dénitrification pendant le séjour d'animaux et le stockage des déjections. Les émissions de  $\text{CH}_4$  sont issues de la fermentation entérique (notamment chez les ruminants), de la gestion des déjections animales et des rizicultures.

### 3.5. Les différentes méthodes de calcul de GES dans le secteur de l'agriculture

Dans le secteur agricole, **plusieurs méthodologies sont utilisées** pour l'estimation des émissions de GES, dont celles proposées par le GIEC. Les méthodes sont essentiellement basées sur les facteurs d'émissions (FE), les résultats des travaux de recherche (champs ou laboratoire), les statistiques et les modèles (modélisation biophysique). Dans l'évaluation des émissions de  $\text{CH}_4$  et de  $\text{N}_2\text{O}$ , il est tenu compte des émissions directes et indirectes.

Pour le  $\text{CO}_2$ , on intègre par contre les changements d'usage ou non. Certains pays ont adopté d'autres dispositions particulières en fonction des engagements particuliers. Les émissions de GES en agriculture restent complexes et difficiles à appréhender.

## 4. IMPACTS DES PRATIQUES AGRICOLES SUR LA QUALITÉ DE L'AIR ET STRATÉGIES D'ATTÉNUATION

### 4.1. Pratiques agricoles et émissions de GES

L'agriculture et l'horticulture se distinguent des autres secteurs industriels par le fait qu'elles soient liées au changement climatique de **trois façons principales** :

1. elles émettent des gaz à effet de serre (GES) dans l'atmosphère ;
2. elles peuvent contribuer à la lutte contre le changement climatique parce qu'elles ont le potentiel de retenir le carbone dans les sols et la biomasse ;
3. elles sont déjà et seront de plus en plus affectées par le changement climatique.

Les **activités des systèmes agricoles et alimentaires contribuent au changement climatique** en libérant des GES dans l'atmosphère à tous les stades des chaînes de valeur agricoles.

Les **trois principaux GES** liés à l'agriculture sont le dioxyde de carbone ( $\text{CO}_2$ ), l'oxyde nitreux ( $\text{N}_2\text{O}$ ) et le méthane ( $\text{CH}_4$ ). Le méthane est particulièrement important dans les fermes d'élevage et de riziculture, mais ne représente généralement pas une source importante de GES dans les fermes horticoles où le  $\text{CO}_2$  et le  $\text{N}_2\text{O}$  sont plus importants.

Les sols agricoles sont une source mondiale nette de GES. Ils peuvent émettre du carbone à partir de la décomposition de la matière organique du sol et du  $\text{N}_2\text{O}$  et du  $\text{CO}_2$  liés à l'application d'azote minéral et organique, d'engrais à base d'urée et de chaux.

Les pratiques agricoles peuvent avoir **des effets négatifs sur les sols**, y compris la **perte de matière organique et les émissions de GES connexes**.

**L'un des principaux facteurs conduisant à cet appauvrissement du carbone du sol est la conversion des terres occupées par les forêts et les prairies non perturbées en terres agricoles cultivées.** Les pratiques de gestion qui contribuent à une perte de carbone dans le sol comprennent l'élimination des résidus, les opérations de travail du sol mécanisées et intensives, les périodes de jachère courtes (ou inexistantes), la réduction ou l'absence de systèmes de rotation des cultures, l'épuisement ou le déséquilibre des nutriments.

**La consommation des énergies fossiles en agriculture est considérable et est responsable de rejets importants de GES.**

- **Elle est directe**, pour les travaux agricoles, l'irrigation, le stockage des produits frais et la transformation utilisant de l'énergie fossile (diesel, essence ou électricité) et émettant des GES, contribuant ainsi au changement climatique. **L'importance du transport pour l'empreinte carbone** des différents produits horticoles dépend dans une large mesure de leur marché de destination, de leur degré de périssabilité et de la possibilité de les transporter par bateau ou par avion sur de longues distances. **Le transport des produits récoltés** contribue aux émissions de GES dues à l'utilisation de combustibles fossiles et d'énergie. Différents modes de transport sont liés à différentes quantités d'émissions. Le **fret aérien** est associé à une empreinte carbone beaucoup plus élevée que le transport maritime, de sorte que les produits transportés par voie aérienne ont généralement une empreinte carbone relativement élevée qui est dominée par cette étape du transport. **La réfrigération** implique généralement l'utilisation de ces substances ayant un impact très élevé sur le changement climatique et peut contribuer de manière significative à l'empreinte carbone des produits. L'emballage de produits frais, le déplacement des consommateurs en voiture, la préparation des aliments et le gaspillage sont autant de sources d'émission.
- **Elle est indirecte aussi** : les émissions provenant de la production et du transport des intrants représentent une source en amont d'émissions pour les exploitations qui achètent ces matières. De plus, un tiers des aliments produits sont perdus ou gaspillés et représentent environ 8 % de toutes les émissions mondiales de GES. Les fruits et légumes représentent la plus grande part des déchets sur la base de leur poids.

**La conversion** d'une catégorie d'utilisation des terres peut conduire à l'émission de grandes quantités de gaz à effet de serre en raison de la libération de carbone, qui était auparavant stocké dans la biomasse et dans les sols. Par exemple, les forêts tropicales contiennent beaucoup de carbone, qui est stocké dans leur sol et dans leurs arbres. L'agriculture est le principal moteur direct de la déforestation mondiale et est à l'origine d'environ 70 à 80 % de toute la déforestation. La conversion des forêts, prairies, savanes, zones humides ou zones arbustives tropicales entraîne également d'importantes émissions de carbone. Le drainage des tourbières tropicales, mangroves et sols organiques gorgés d'eau augmente la décomposition du carbone organique, et libère du CO<sub>2</sub> et du N<sub>2</sub>O. **La conversion d'une catégorie d'utilisation des terres** à une autre s'appelle CUT. Les émissions dues au CUT sont incluses dans les calculs de l'empreinte carbone liée au produit quand le CUT s'est produit jusqu'à 20 ans avant le calcul.

#### 4.2. Possibilités d'atténuation et de compensation des émissions

L'atténuation du changement climatique signifie **réduire ou prévenir les émissions de GES** d'une part, et améliorer l'élimination du carbone de l'atmosphère d'autre part (p. ex., en plantant des forêts).

L'atténuation du changement climatique comprend des activités telles que :

- l'augmentation de l'utilisation des énergies renouvelables ;
- l'augmentation de l'efficacité énergétique ;
- le changement de notre comportement et de notre demande de produits à forte intensité d'émissions de GES ;
- l'introduction de nouvelles technologies comme les voitures électriques.

D'une manière générale, **il existe trois grandes possibilités d'atténuer le changement climatique en agriculture et en horticulture :**

1. réduire les émissions (p. ex., en utilisant plus efficacement les engrais azotés) ;
2. l'améliorer les prélèvements (p. ex., en retenant le carbone dans les sols ou la biomasse des arbres des systèmes agroforestiers) ;
3. éviter ou remplacer les émissions (p. ex., éviter les émissions de combustibles fossiles en utilisant la bioénergie).

Les entreprises peuvent mettre en œuvre des mesures d'atténuation du changement climatique qui mènent à des réductions ou à des absorptions d'émissions au sein de leurs propres opérations ou chaînes d'approvisionnement. La quantité de GES économisée grâce à ces projets est **contrôlée par des organismes indépendants** qui vendent des **certificats de réduction** de CO<sub>2</sub>.

**La compensation carbone a été critiquée pour plusieurs raisons.** L'une des raisons est que les entreprises, les organisations et les particuliers devraient plutôt réduire les émissions résultant de leurs propres activités que de payer pour des réductions ailleurs.

#### 4.3. Nécessité d'évaluations holistiques et d'une approche systémique

L'**importance relative** des sources d'émission peut varier entre les systèmes de production, les pays, les chaînes d'approvisionnement et les fermes individuelles. Par exemple, si l'irrigation nécessite de grandes quantités d'énergie, cela peut représenter une part importante des émissions totales de GES ; en revanche, si aucune irrigation n'a lieu, d'autres processus agricoles peuvent devenir plus importants, par exemple, la production d'engrais minéraux ou les émissions des sols fertilisés. Par conséquent, les meilleures possibilités de réduction des émissions **doivent être évaluées au cas par cas.**

**La capacité des sols à stocker du carbone** supplémentaire dépend de l'équilibre entre la photosynthèse qui fixe le CO<sub>2</sub> de l'air, la respiration des organismes décomposeurs qui libèrent du CO<sub>2</sub> dans l'air et la stabilisation du carbone du sol. Pour l'atténuation des changements climatiques, l'augmentation de la teneur en carbone organique du sol est considérée comme une option peu coûteuse avec une faible empreinte écologique et hydrique et une faible consommation d'énergie, c'est-à-dire une option sans regret avec peu d'effets externes négatifs. **Le maintien des stocks actuels de carbone organique du sol devrait être l'objectif minimal.** Bien que les sols puissent contribuer à l'atténuation du changement climatique en absorbant le carbone atmosphérique, il est important de considérer qu'ils ont une capacité limitée dans le temps de le faire jusqu'à ce qu'ils aient atteint un nouvel équilibre et que les gains éventuels soient facilement réversibles si les pratiques de gestion qui favorisent la séquestration du carbone sont abandonnées.

Les **mesures qui peuvent maintenir et augmenter la teneur en carbone du sol** comprennent :

- la réduction de l'érosion physique par le vent ou l'eau ;
- la réduction de la perturbation mécanique des sols ;
- le maintien de la couverture végétale ;
- l'augmentation de la teneur en eau des sols organiques ;
- l'augmentation de la répartition du carbone sous terre (c.-à-d. une densité de racines supérieure).

Il faut prendre en compte toutes les pratiques et les effets nets des mesures d'atténuation sur tous les GES afin d'éviter un transfert involontaire du fardeau d'un processus ou d'un GES à un autre. Ainsi, **le travail minimal du sol, le travail réduit du sol et les systèmes sans labour** augmentent souvent la teneur en carbone du sol, parce qu'ils réduisent ou évitent la perturbation du sol, qui entraîne une décomposition et une érosion accrues. Cependant, **cette augmentation du carbone du sol n'est pas toujours évidente dans les systèmes de travail réduit du sol**. De plus, il y a un **risque d'augmentation des émissions de N<sub>2</sub>O** dans les systèmes sans (ou avec peu de) labours, en particulier dans les sols à drainage restreint et dans les climats humides.

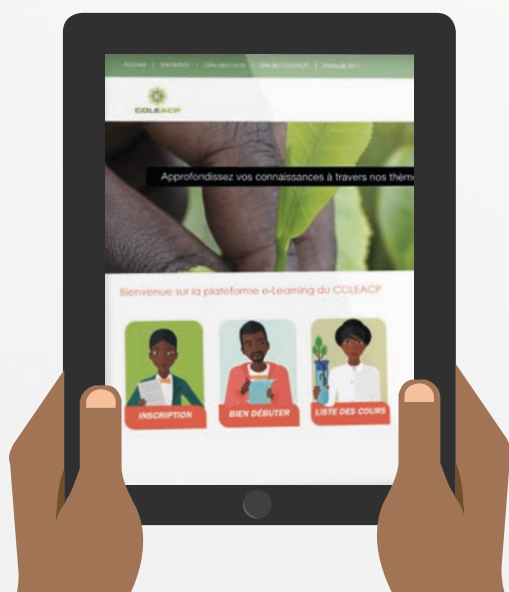
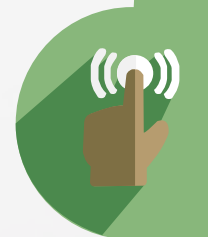
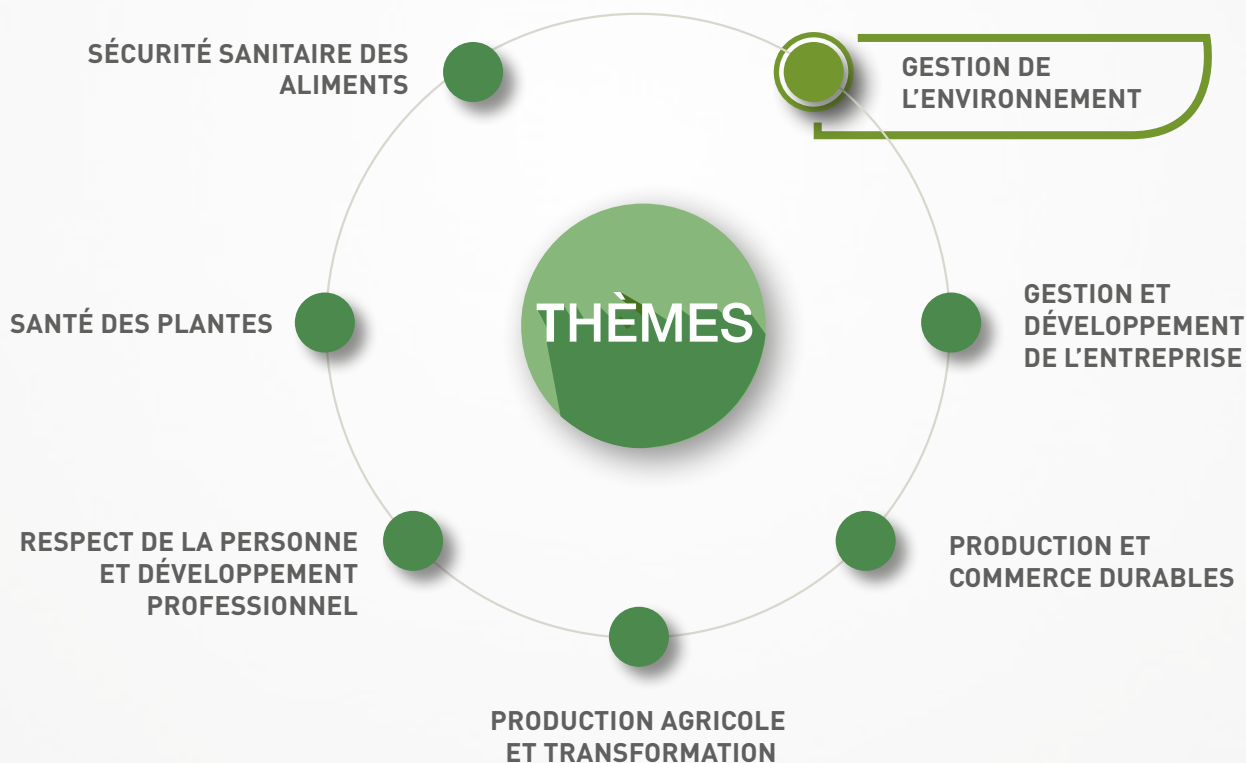
Au niveau de l'exploitation agricole, l'approche systémique dite « agriculture de conservation » combine plusieurs pratiques qui peuvent améliorer la fertilité des sols, réduire les risques d'érosion, conserver l'humidité des sols et contribuer à l'atténuation des changements climatiques en augmentant les niveaux de carbone dans le sol. Les plantes absorbent le carbone au fur et à mesure de leur croissance, de sorte que le carbone atmosphérique peut également être enfermé dans la nouvelle biomasse des fermes, par exemple, dans les systèmes agroforestiers, les arbres d'ombrage, les haies, les bandes enherbées ou les cultures horticoles vivaces, comme les arbres fruitiers ou les arbres à épices.

Il est important d'adopter une approche holistique des défis interdépendants dans les secteurs de l'utilisation des terres, L'atténuation et l'adaptation au changement climatique doivent aller de pair.

# 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