

COURS D'AGRONOMIE GENERALE

AGRICULTURE TROPICALE : PRODUCTION VEGETALE

Brevet de Technicien Supérieur (BTS) deuxième année

Sommaire

IÈRE PARTIE : NOTIONS FONDAMENTALES

Chapitre 1 : Définitions et Généralités

Chapitre 2 : Buts, Moyens et les limites de l'Agriculture

IIÈME PARTIE : ETUDE DES CARACTÉRISTIQUES DU MILIEU SOL

Chapitre 3 : Milieu de Vie

Chapitre 4 : Plantes

Chapitre 5 : Rappels sur la Pédogénèse- Constituants du Sol

Chapitre 6 : Composition et Organisation de la Phase Solide du Sol

IIIÈME PARTIE : MILIEU DE CULTURE

Chapitre 7 : Circulation de l'Eau dans le Système Sol-Plante- Atmosphère

Chapitre 8 : Climat et production Végétale

Chapitre 9 : Sol et Production Végétale

Chapitre 10 : Fonctionnement d'un Peuplement Végétal cultivé

Chapitre 11 : Raisonnement d'un Itinéraire Technique

Chapitre 12 : Association et Successions de Culture

Chapitre 13 : Amélioration des Plantes et Production de matériel végétal

Chapitre 14 : Lutte contre les Mauvaises Herbes et Protection contre les Maladies et les Ravageurs

PREMIÈRE PARTIE :
NOTIONS FONDAMENTALES

CHAPITRE 1 : DEFINITIONS ET GENERALITES

Se rapportant à l'une des plus anciennes activités de l'homme, les trois noms, Agriculture, Agronomie et Phytotechnie, désignent-ils une "Science", un "art", ou un ensemble de "techniques ?

1.1. Agriculture

Dans son sens étymologique (du latin *ager*, champ, et *colere*, cultiver), l'agriculture serait "l'art d'obtenir du sol, tout en maintenant sa fertilité, le maximum de produits utiles". Ces produits étant soit la plante, soit l'animal qui mange la plante, le terme "AGRICU.TURE" désigne aussi bien les techniques de production des végétaux que celles des productions animales.

L'agriculture (désigne l'ensemble des savoir-faire et activités ayant pour objet la culture des terres. Plus généralement, c'est l'ensemble des travaux sur le milieu naturel (pas seulement terrestre) permettant de cultiver et prélever des êtres vivants (végétaux, animaux etc.) utiles à l'être humain.

On distingue plusieurs systèmes agricoles, selon leur mode de fonctionnement et leur impact socio-économico-environnemental, parmi lesquels l'on peut citer :

- ☐ l'agriculture intensive ☐ l'agriculture biologique ☐ l'agriculture durable ☐ l'agriculture raisonnée ☐ l'agriculture extensive ☐ L'agriculture de subsistance.

1.1.1. Agriculture durable

L'agriculture durable est l'application à l'agriculture des principes du développement durable ou soutenable tels que reconnus par la communauté internationale à Rio de Janeiro en juin 1982. Il s'agit d'un système de production agricole qui vise à assurer une production pérenne de nourriture, de bois et de fibres en respectant les limites écologiques, économiques et sociales qui assurent la maintenance dans le temps de cette production.

« Ces principes sont basés sur la reconnaissance du fait que les ressources naturelles ne sont pas infinies et qu'elles doivent être utilisées de façon judicieuse pour garantir durablement la rentabilité économique, le bien-être social, et le respect de l'environnement (les trois piliers du développement durable) ».

1.1.2. Agriculture intensive

L'agriculture intensive est un système de production agricole fondé sur un accroissement de la production agricole optimisé par rapport à la disponibilité des facteurs de production (moyens

humains, matériels et surfaces cultivées). Ce rapport entre volume produit et facteur de production est appelé productivité. L'agriculture intensive existe dans deux systèmes opposés, l'un traditionnel et l'autre moderne. En système traditionnel, les ressources humaines sont nombreuses, les moyens matériels et les disponibilités foncières sont rares : l'intensification agricole y est fondée sur l'investissement humain maximal par rapport aux autres facteurs de production. En système moderne, on a la situation inverse, les moyens humains sont peu nombreux, l'intensification requiert des investissements importants et une utilisation accrue d'intrants agricoles (énergie, engrais, matériel). C'est ce deuxième système qui est habituellement désigné par l'appellation « agriculture intensive ».

1.1.3. Agriculture biologique

C'est un système de production qui maintient la santé des sols, des écosystèmes et des personnes. Elle s'appuie sur des processus écologiques, sur la biodiversité et sur des cycles adaptés aux conditions locales, plutôt que sur l'utilisation d'intrants ayant des effets néfastes. L'agriculture biologique allie la tradition, l'innovation et la science au bénéfice de l'environnement commun.

1.1.4. Agriculture raisonnée

« L'agriculture raisonnée est une démarche, qui s'applique aux productions agricoles prenant en compte la protection de l'environnement, la santé et le bien-être animal ». En France, le concept est réglementé par les pouvoirs publics (ministères de l'Agriculture et de l'Écologie) et la promotion est assurée par le réseau FARRE (Forum de l'Agriculture Raisonnée Respectueuse de l'Environnement). Une certification est attribuée aux exploitants agricoles respectant les principes de l'agriculture raisonnée.

1.1.5. Agriculture de subsistance

L'agriculture de subsistance est une économie choisie ou subie, relativement ou totalement à l'écart des flux économiques, où règne essentiellement l'autoconsommation. Les productions des biens alimentaires, mobiliers ou immobiliers nécessaires à l'existence reposent sur la famille ou un groupe restreint sans qu'il y ait d'échanges commerciaux ou de manière très limitée. Elle repose sur l'agriculture vivrière, qui produit la plus grande partie des apports nécessaires à l'alimentation au niveau mondial.

1.1.6. Agriculture extensive

« L'agriculture extensive est un système de production agricole qui ne maximise pas la productivité à court terme du sol en ne faisant pas appel à des intrants chimiques, à l'arrosage ou au drainage, mais plutôt aux ressources naturelles présentes sur place ». Pratiquée généralement sur de vastes étendues, elle se caractérise par des rendements à l'hectare relativement faibles et par un plus grand nombre d'emploi par quantité produite, mais avec des revenus parfois très bas.

1.2. Agronomie

Du grec nomos, règles, principes, l'Agronomie a aussi un sens général qui ne distingue pas le type de production tirée du sol: c'est "l'ensemble des sciences". Les "sciences agronomiques", qui cherchent à découvrir les lois de la production agricole". Les SCIENCES AGRONOMIQUES assureraient donc le progrès des TECHNIQUES AGRICOLES, leur donneraient des bases scientifiques.

1.3. Phytotechnie

La phytotechnie constitue avec la ZOOTECHNIE, les deux branches des sciences agronomiques et des techniques agricoles. La zootechnie vise la production des animaux, tandis que la phytotechnie (de photon, la plante, et technè; L'art, les techniques), désigne l'ensemble des techniques visant à faire produire par le sol sous un climat donné le maximum de végétaux utiles, dans les meilleures conditions économiques et sociales. Cette phytotechnie est "générale" lorsqu'elle étudie les bases communes à toute production végétale, elle est "spéciale" lorsqu'elle applique ces bases communes à la production des différentes "espèces". L'agronomie concerne donc les relations qui existent entre les différents éléments (plantes et milieux édaphiques (sol et climat), biologique, et socio-économique) d'un système que constitue le champ cultivé. Ce système est finalisé par l'homme et les connaissances qui sont développées en Agronomie portent donc sur une activité humaine : l'Agriculture, avec comme soucis implicite d'en améliorer l'efficacité. Aussi, dirions-nous que l'agronomie, est la théorie d'une pratique : l'agriculture. Pour comprendre et analyser cette importante activité humaine qu'est l'Agriculture, il faut donc comprendre quels sont ses buts, ses limites et contraintes et les moyens qui sont mis en œuvre pour la réaliser. C'est l'objet du chapitre 2. Le chapitre 3 présente le milieu de vie de la plante, en particulier la plante cultivée. L'étude des principales parties de la plante et leurs rôles fait l'objet du chapitre 4, tandis que le chapitre 5 fait l'exposé de quelques rappels de pédogenèse et des généralités sur la constitution du sol, support et pourvoyeur de l'essentiel des besoins de la plante.

CHAPITRE 2 : LES BUTS, LES MOYENS ET LES LIMITES DE L'AGRICULTURE

A l'observation des champs cultivés, on peut se rendre compte que chacun a ses caractéristiques propres. Ces caractéristiques dépendent de nombreux éléments : le climat, les sols, les techniques utilisées, les plantes, les besoins des habitants, etc. Pour bien comprendre l'agriculture, nous devons entrer dans le détail de ces éléments. Mais, l'agriculture est avant tout une combinaison de : - ce que l'agriculteur veut faire, - ce que l'agriculteur peut faire, et - ce que l'agriculteur ne peut pas faire.

2.1. Ce que l'agriculture veut faire

La volonté de tout agriculteur est toujours de vivre et si possible de bien vivre. Les buts qu'il poursuit sont différents selon sa richesse, le lieu où il habite, la vie de sa région. □ Il peut chercher à satisfaire les besoins familiaux : dans ce cas, son but est l'AUTOSUBSISTANCE ou L'AUTOCONSOMMATION FAMILIALE □ Il peut aussi être intéressé par l'argent que lui procurera la vente de ses produits : On dit alors qu'il cherche un REVENU MONETAIRE. □ Cela peut être aussi la recherche de la SECURITE D'EXISTENCE : pour lui-même, pour sa famille et pour les travailleurs de sa ferme ou encore d'entente au sein de sa famille ou de la communauté dans laquelle il vit. □ Son but peut être aussi de PROTEGER LA TERRE ET LES AUTRES MOYENS dont il dispose pour faire l'agriculture. Le choix des plantes cultivées et des pratiques culturales est différent selon que l'on poursuit l'un ou l'autre but. Ce qui veut dire que l'agriculture est différente selon le but que l'on poursuit. Le tableau 1 en donne quelques exemples.

Tableau I : Exemples de types d'association des cultures sur un champ en fonction du but choisi par l'agriculteur

But	Type de champ	Association des cultures
Autosubsistance	Champ de case	Macabo, gombo
	Champ du village	Igname, manioc, taro
Vente (argent)	Plantation	Bananier, ananas, papayer, etc.
Autosubsistance et vente	verger	Caféier, palmier, bananier, niébé, etc.

2.2. Ce que l'agriculture peut faire

L'agriculteur dispose de moyens particuliers qu'on appelle les FACTEURS DE PRODUCTION. Ceux-ci constituent les choses qu'il faut mettre ensemble dans les champs pour obtenir une production agricole. Voyons donc quels sont les principaux facteurs de production :

2.2.1. Terre

La production d'une ferme dépend aussi bien de la surface de terres disponibles pour les cultures que de la qualité de ces terres. Pour être utilisable en agriculture, un sol doit nécessairement être alimenté en eau, et doit recevoir une nourriture adéquate. La nourriture que l'on apporte au sol peut être livrée, soit sous forme de fumiers qui sont des déchets de la matière vivante, soit sous forme d'engrais chimiques vendus dans le commerce, soit encore sous forme de plantes vertes que l'on enfouit dans le sol et qui y pourrissent.

2.2.2. Eau

Pour que la vie se développe correctement au bénéfice de l'agriculture, l'eau est nécessaire. Elle doit être présente aux bons moments de la vie des plantes, et en quantité suffisante. Dans la plupart des cas, c'est la pluie qui fournit l'eau aux cultures. Dans quelques cas, l'agriculteur cherche à contrôler lui-même l'eau qui alimente ses champs. On dit alors qu'il les irrigue. Dans de très nombreuses régions d'Afrique, et plus particulièrement au Sahel, l'eau limite la production des terres, car les pluies sont insuffisantes et irrégulières.

2.2.3. Plantes

C'est autour des plantes qu'est organisée l'agriculture. Tous les actes des cultivateurs visent à satisfaire les besoins des plantes pour que celles-ci fournissent le plus possible de produits. Une agriculture peut être caractérisée par le nombre de plantes qu'elle utilise, par la diversité des produits fournis et leurs qualités pour la consommation. L'agriculture est différente selon que les plantes cultivées sont des arbres ou des herbes, ou encore selon que les plantes vivent plusieurs années : on dit alors qu'elles sont pérennes ou vivaces, ou au contraire qu'elles sont saisonnières ou annuelles. L'agriculteur doit en outre rechercher les variétés des plantes qui répondent le mieux à ses souhaits, tant en qualité qu'en quantité. C'est pourquoi il est nécessaire de trouver de bonnes semences.

2.2.4. Travail

Cultiver la terre est un métier qui demande beaucoup de travail. Le travail agricole dépend des saisons et de la vie des plantes cultivées. C'est pourquoi on dit que le travail agricole est saisonnier. A certaines périodes, les travailleurs sont surchargés (par exemple au moment des semailles ou des récoltes) ; à d'autres au contraire, il y a peu à faire dans les champs. La disponibilité en travail, sa qualité et sa facilité peuvent être influencées par de bonnes pratiques agricoles et par le perfectionnement de l'outillage. Lorsqu'il s'agit d'utiliser la force (l'énergie), le travail peut être fait par l'homme, par l'animal ou par les machines. Toutefois, seul le travailleur est : capable d'utiliser son intelligence au bénéfice de l'agriculture. C'est la qualité de ses décisions qui fait la valeur de l'agriculture. Le travail peut être fourni par la famille, ou encore être payé à des travailleurs étrangers à la famille.

2.2.5. Outils

Pour effectuer son travail, le cultivateur utilise des outils plus ou moins perfectionnés qu'il actionne à la main, avec un animal ou avec un moteur. Plus les outils sont perfectionnés, moins ils peuvent être produits par les habitants des fermes ou des villages. Les outils plus simples peuvent par contre être fabriqués par ces habitants ou des artisans. Lorsque les outils doivent être achetés dans le commerce, cela nécessite d'avoir des réserves en argent.

2.2.6. Argent

L'argent est nécessaire pour acheter tous les facteurs de production qui ne peuvent être trouvés ou fabriqués à la ferme ; par exemple : des engrais chimiques, des insecticides, des machines, des moyens de traction, du carburant pour les machines, etc. L'agriculture d'autosubsistance réalisée par le fermier pour ses propres besoins familiaux nécessite peu d'argent. Par contre, certaines agricultures intensives, dont le but est uniquement de vendre, sont très exigeantes en argent parce qu'elles consomment beaucoup de machines et d'engrais, d'insecticides et d'autres facteurs de production.

2.2.7. Bétail

Le bétail est un facteur de production important dans les fermes d'élevage ou dans les fermes qui font en même temps des cultures et de l'élevage. Certaines fermes sont organisées exclusivement en vue de la production animale. Dans ce cas, les cultures servent uniquement à fournir les fourrages nécessaires au bétail de la ferme. L'élevage nomade pour sa part s'intéresse uniquement à la production animale, sans cultiver de fourrage. D'autres fermes

encore sont organisées pour produire aussi bien des produits végétaux qu'animaux ; on dit alors que ces formes sont mixtes, car elles associent l'agriculture et l'élevage. Associer l'agriculture et l'élevage devrait être un but pour chaque fermier. Remarque : cultiver, c'est combiner au mieux les facteurs de production, en relation avec les buts qu'on s'est fixés. Mais, attention aux méthodes de culture qui ne font qu'exploiter les facteurs de production sans veiller à les préserver et les reproduire pour l'avenir.

2.3. Ce que l'agriculteur ne peut pas faire

L'agriculteur rencontre de très nombreuses contraintes et limites à son activité. Les limites rencontrées peuvent être :

- liées à la nature, par exemple il peut manquer de pluies et l'eau va être insuffisante,
- liées à l'insuffisance des moyens, par exemple le manque de travailleurs en suffisance, manque d'argent, etc.

Les limites rencontrées sont aussi appelées des contraintes. Ces contraintes peuvent être très nombreuses et très diversifiées. Outre les exemples que nous venons de citer, on peut dire qu'il existe des contraintes de :

- surfaces cultivables.
- qualité des sols,
- qualité et quantité des semences,
- climat,
- maladies des hommes, des plantes ou du bétail,
- qualité de l'outillage.
- etc.

Il se peut que plusieurs facteurs fassent défaut simultanément, Mais, il peut arriver aussi que l'insuffisance d'un seul facteur empêche la culture, par exemple l'eau ou les semences. D'autres contraintes, non liées aux facteurs de production peuvent également entraver l'activité de l'agriculteur. C'est en particuliers celles liées au milieu environnant :

- les prix de produits,
- l'organisation ou la désorganisation des marchés,
- les connaissances techniques insuffisantes,
- la situation de la ferme par rapport à la route,
- etc.

Conclusion

L'agriculteur progressiste lutte constamment pour dépasser les contraintes ou limites qui gênent son activité.

Retenons :

-Les mots clés suivants : Agriculture- les systèmes agricoles (agriculture intensive ; agriculture biologique ; agriculture durable ; agriculture raisonnée ; agriculture extensive, agriculture de subsistance)

- Agronomie- Phytotechnie.

-L'agriculture a un but

-Il faut des moyens pour réaliser les objectifs agricoles

-Des contraintes peuvent entraver la réalisation du But

- Connaissances des différents facteurs de production

Deuxième partie :

ETUDE DES CARACTERISTIQUES DU MILIEU

CHAPITRE 3 : MILIEU DE VIE

Introduction

Le milieu dans lequel se réalise l'agriculture s'articule autour de trois principaux éléments qui sont : le milieu vivant, le milieu non vivant, le milieu économique et social,

3.1. Milieu Vivant

Le milieu vivant d'une plante, c'est tout ce qui vit autour et sur cette plante. On l'appelle également milieu biotique ou milieu biologique. Ce milieu biologique, qu'il soit aérien ou du sol est constitué des ETRES VIVANTS, végétaux et animaux, en association bénéfique ou en concurrence avec la plante cultivée (Figure 1). Ces êtres vivants :

1. influent sur les caractéristiques du sol, et
2. participent ou nuisent à la nutrition de la plante

Ils sont à leur tour influencés par :

1. Les constituants de l'air et les agents climatiques, et
2. les caractéristiques physico-chimiques du sol

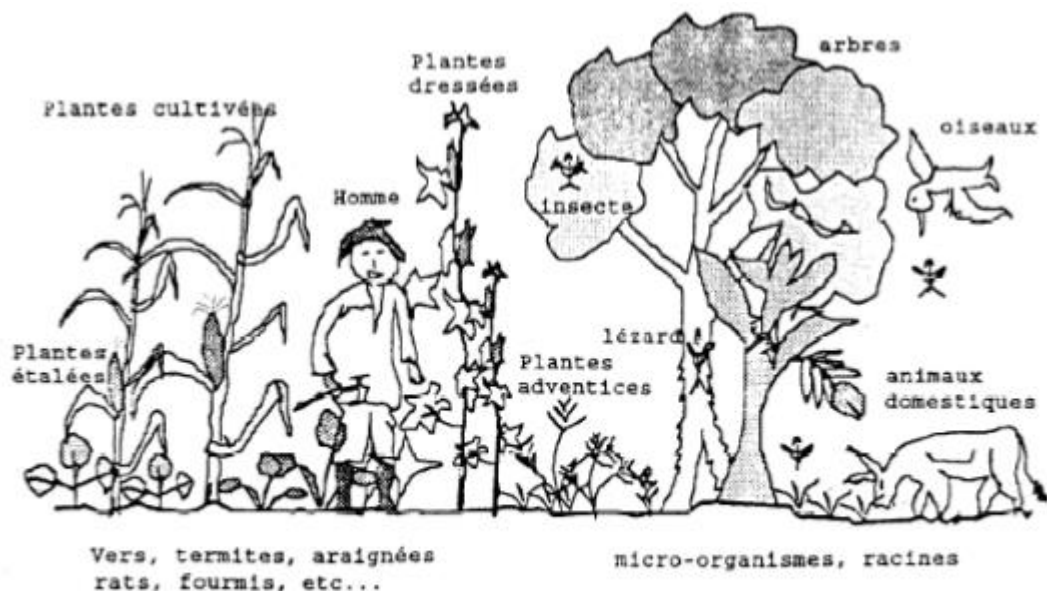


Figure 1 : Représentation schématique des composantes du milieu vivant.

Exemples :

- les micro-organismes du sol mélangent et décomposent les déchets des autres êtres vivants, plantes et animaux (matière organique) et les mettent à la disposition de la plante cultivée. □
- d'autres espèces par contre sont nuisibles pour la plante cultivée avec laquelle ils rentrent en concurrence pour extraire la nourriture et l'eau disponibles : ce sont des espèces parasites par opposition à ceux qui participent à la vie de la plante en lui fournissant ses besoins : on les qualifie d'espèces symbiotiques ou vivant en symbiose avec la plante.

3.2. Milieu non vivant

Le milieu non vivant, encore appelé milieu abiotique ou milieu physique, est un milieu fort changeant constitué du sol et du climat (Figure 2).

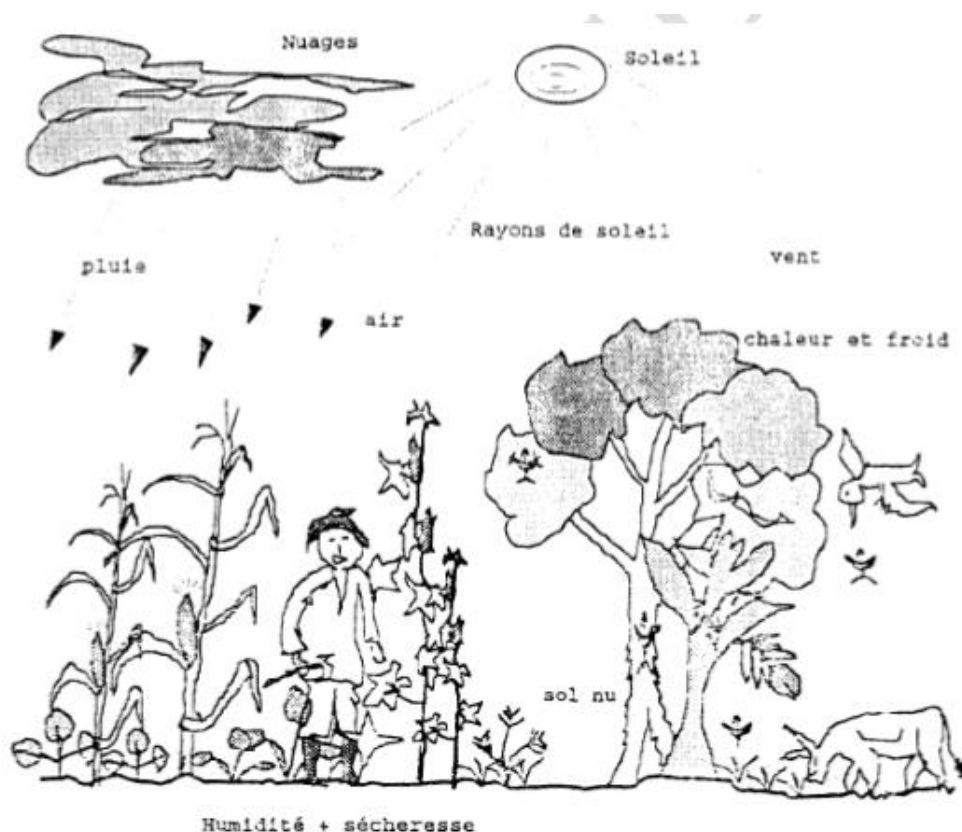


Figure 2 : Représentation schématique du milieu non vivant.

- Le sol, en tant que support de la plante, doit être stable, continu, meuble et le plus profond possible.

- Le sol, en tant que pourvoyeur des besoins alimentaires et physiologiques de la plante, doit :
 - donner accès à l'eau et la conserver, tout en laissant s'écouler les excédents ;
 - se laisser pénétrer par l'air et par la chaleur ;
 - contenir et retenir les éléments nutritifs ;
 - permettre enfin, l'activité des microbes utiles, intermédiaires indispensables entre les substances nutritives organiques et minérales et la plante à nourrir.
- Le climat, moteur de la vie végétale, doit fournir à la plante les constituants de l'air et les agents climatiques dont elle a besoin, en particulier la lumière (énergie), l'oxygène, la chaleur et le gaz carbonique. □
- Le climat, moteur de la formation et de l'évolution du sol lui appose l'eau, le gaz carbonique, l'oxygène et la chaleur (température)

3.3. Milieu Economique et Social

Tout ce qui touche à la production, à la consommation des produits et à leur commercialisation fait partie de l'ECONOMIE ou de la VIE ECONOMIQUE. On parle de VIE SOCIALE pour caractériser l'organisation des communautés et les relations entre les habitants. La vie économique et la vie sociale d'une communauté sont toujours intimement liées. Pour l'agriculteur la vie économique comporte plusieurs grands aspects :

- la production agricole en quantité et en qualité (production végétale et/ou animale)
- la disponibilité des facteurs de production,
- la consommation,
- le stockage des produits,
- la commercialisation,
- l'approvisionnement,
- la production des semences,
- la transformation des produits,
- l'artisanat,
- les transports vers et hors exploitation.

Conclusion

Toutes ces activités réunies forment l'économie du village. Développer ces activités, c'est développer le village, la région, le pays. L'activité économique locale est cependant dépendante de l'activité économique qui se déroule avec d'autres régions rurales, dans les villes et dans les pays étrangers. Le choix d'un assolement, ou répartition des cultures sur une ferme au cours d'une même année, celui des dates de semis et de récolte s'appuient à la fois sur des exigences techniques (la nécessité d'une rotation par exemple), et sur des critères socio-économiques : main d'œuvre disponible, mécanisation possible, débouchés existants ou à rechercher, etc. Ces principaux aspects de la vie économique d'une ferme sont illustrés dans la figure 3 ci-après.

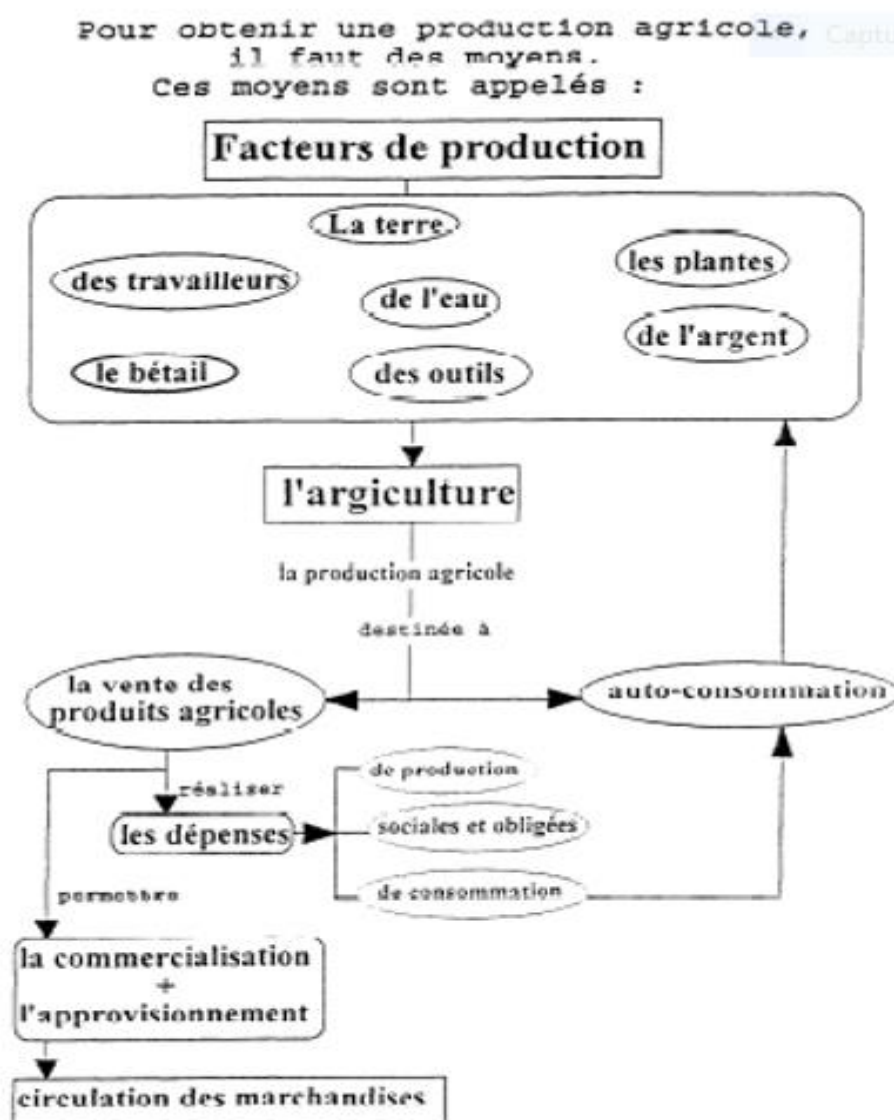


Figure 3 : Les principaux aspects de la vie économique d'une ferme

CHAPITRE 4 : PLANTES

Introduction

Il existe une branche des sciences agronomiques qui s'occupe spécialement de l'étude des plantes et de leur vie : c'est la BOTANIQUE. En effet, les plantes sont si nombreuses et si complexes que des milliers de livres ont été écrits à leur sujet. Dans cette partie, nous n'allons étudier que quelques aspects généraux de la botanique : ceux qui nous sont nécessaires pour comprendre l'activité agricole.

4.1. Différentes parties d'une plante et leurs principaux rôles

La figure 4 ci-après nous montre quelles sont les différentes parties d'une plante.

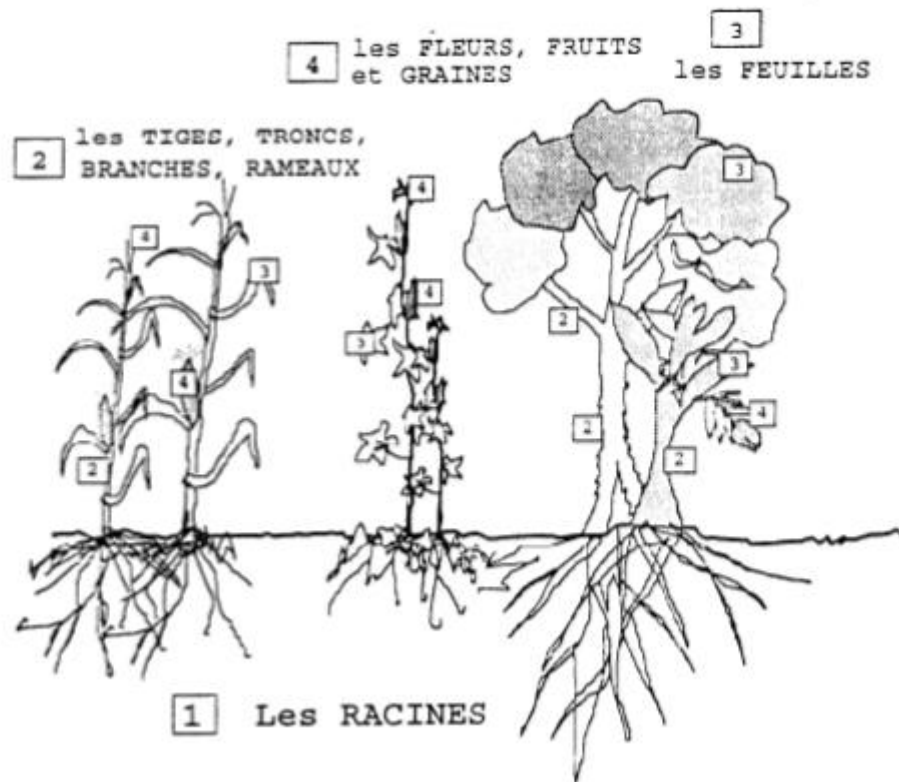


Figure 4 : Les différentes parties d'une plante

4.1.1. Racines

Elles forment la partie souterraine des plantes,

- elles fixent la plante dans le sol,
- elles puisent l'eau et les aliments du sol à travers les "poils radiculaires",
- elles peuvent aussi rejeter des déchets dans le sol,
- elles servent parfois de "grenier" : la plante peut y faire des réserves (plantes à tubercules comme le manioc, l'igname, etc.)
- les racines contiennent de très fines canalisations qui conduisent l'eau et les aliments puisés dans le sol vers les tiges.

4.1.2. Tiges, Troncs, Branches et Rameaux

Les tiges, troncs, branches et rameaux forment, avec les feuilles et fruits, la partie aérienne de la plante.

- Les tiges forment la charpente de la plante. Elles soutiennent les feuilles, les fleurs et les fruits. Chaque plante à sa charpente ou son "port propre".
- Les tiges, troncs, branches et rameaux sont, comme les racines, parcourus de très fines canalisations. Certaines conduisent la sève non élaborée (sève brute) qui vient des racines, vers les feuilles. D'autres canalisations conduisent la sève élaborée, préparée dans les feuilles, vers les fleurs, les fruits et les racines.
- Les tiges peuvent, comme les racines, contenir des réserves d'aliments pour la plante.

4.1.3. Feuilles

Les feuilles sont la cuisine de la plante. C'est dans les feuilles que la plante transforme la sève brute qui est composée d'eau et de sels minéraux, en sève élaborée, composée des sucres, des graisses, des protéines qui forment la matière vivante de la plante.

- Pour faire cette transformation, la plante utilise l'air et la lumière (photosynthèse).
- Les feuilles de la plante respirent : elles puisent de l'air dans leur milieu, et y renvoient de l'air.
- Les feuilles transpirent : elles envoient la vapeur d'eau dans l'air.

4.2. Plante et Photosynthèse

La photosynthèse est le processus de conversion d'énergie radiative en énergie chimique, transportable et réutilisable. Ce phénomène repose donc sur la transformation suivante :

FORMULE DE LA PHOTOSYNTHESE

Les trois éléments C, H et O sont prélevés par les plantes dans le CO₂ de l'air et l'eau du sol. Ils constituent les éléments de base de toute matière organique animale ou végétale. Les hydrates de carbone sont polymérisés en macromolécules pour les parois cellulaires ou réservés sous forme de : - **graisses**, - **sucres**, - **source d'énergie**, - **protéines**, - **vitamines**, et – **amidon**. La récupération de cette énergie stockée se fait par la dégradation oxydative, c'est-à-dire par la **RESPIRATION** :

Cette réaction est considérée comme une réaction inverse de la photosynthèse, bien que l'énergie libérée soit sous forme chimique et non radiative. La transformation s'arrête à l'épuisement du potentiel énergétique des hydrates de carbone. Il existe des facteurs limitant à ces réactions. Ce sont : - l'alimentation en énergie, - la capacité d'absorption d'énergie, - la disponibilité en CO₂ dans l'air (teneur de l'ordre de 0,03 % < l'optimum de photosynthèse), - la disponibilité en oxygène, et - la disponibilité en eau du sol. La figure 5 résume ces différents phénomènes :

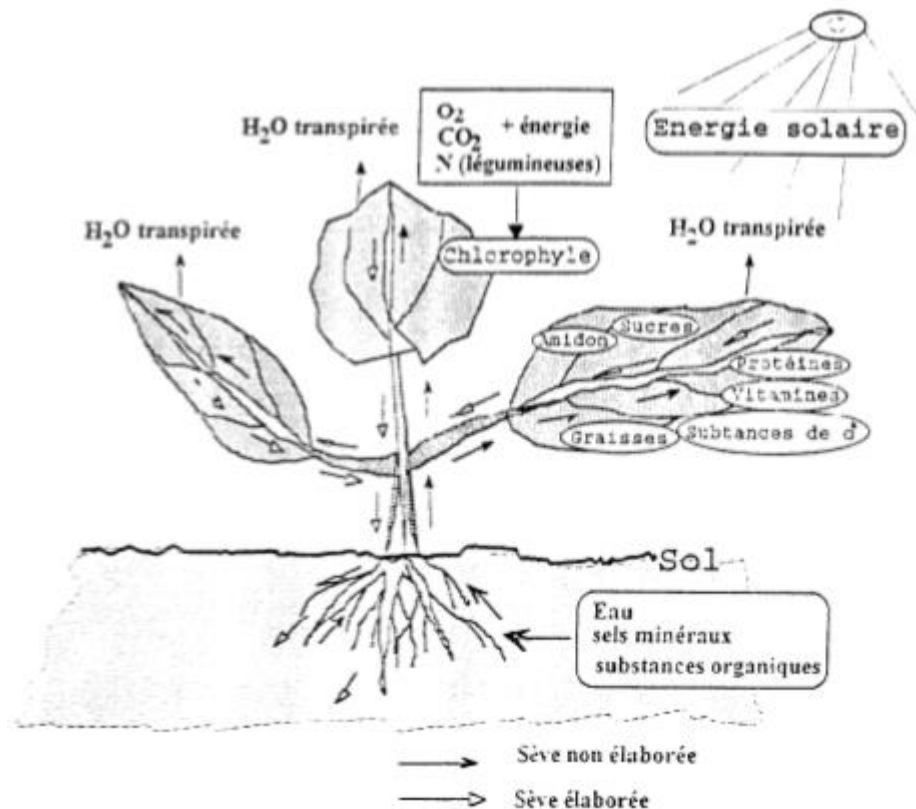


Figure 5 : Représentation des deux fonctions : Photosynthèse et Respiration chez une plante

4.3. Etapes de la vie des Plantes

La vie des plantes se déroule en étapes successives. Ce déroulement s'appelle cycle végétatif. Il est important de connaître le cycle végétatif des plantes cultivées puisqu'à chaque étape de la vie, les besoins en eau, en nourriture, en chaleur et en lumière sont différents. Mais, avant d'étudier ces cycles, distinguons d'abord deux types d'activités chez la plante :

(1) La croissance

C'est une grandeur mesurable, régie par les deux fonctions : - **photosynthèse** et - **respiration**. La Croissance correspond donc à une augmentation - **De la masse végétale**, et - **Du nombre d'organes identiques à ceux existants déjà**.

(2) Le développement

C'est une grandeur repérable, un concept. Il correspond à un changement d'état, changement d'orientation de la Croissance. On parle de stades de développement de la plante.

4.3.1. Cycle végétatif des plantes saisonnières

Voyons quelles sont les principales périodes de la vie des plantes saisonnières, illustrée par le cas des céréales, tel que le sorgho par exemple □

- **La GERMINATION et l'ETABLISSEMENT de la plante**

C'est le moment où la jeune plante forme ses premières racines et tiges La LEVEE est le moment où la jeune plante sort de terre Le TALLAGE est le moment où la jeune tige se divise en plusieurs parties au ras du sol. On l'observe chez certaines graminées seulement, dont le sorgho, le riz, le blé, alors que d'autres ne tallent pas, comme le maïs. □

- **LA CROISSANCE VEGETATIVE**

C'est la période durant laquelle la plante développe ses racines et son feuillage : on parle aussi, pour les céréales de la MONTAISON □

- **LA FLORAISON OU L'EPIAISON** C'est à ce stade qu'apparaissent les fleurs ou les épis. Immédiatement après la Floraison, il y a ce qu'on appelle la NOUAISON, c'est le moment où se forme le tout jeune fruit. Si la nouaison ne se fait pas ou se fait mal, la production des fruits et des graines est compromise. □

- Pour les plantes à tubercules, la floraison a moins d'importance. Ce qui intéresse le cultivateur, c'est la TUBERISATION, c'est-à-dire la période au cours de laquelle les tubercules prennent forme.

- **La MATURATION** est la période durant laquelle les fruits, les graines ou les tubercules mûrissent. Les tout jeunes fruits ou graines, formés lors de la nouaison, se remplissent de réserves. C'est à cette époque que les grains accumulent l'amidon, les sucres, les graisses ou les protéines et que les fruits forment leur pulpe et leurs épis.

- La maturation des tubercules est la période où ils achèvent de fabriquer leurs réserves. En résumé, retenons que chez les céréales, il y a quatre grandes phases ou stades végétatifs :

1. Germination - levée,
2. Croissance végétative,
3. Floraison - épiaison, et

4. Maturation.

Les besoins de la plante varient en fonction de ces phases : ils sont par exemple peu importants dans la phase 1 et maximums dans la phase 3.

4.3.2 Cycle pluriannuel et cycles saisonniers des plantes pérennes

On doit distinguer ici ce qui se passe sur plusieurs années (le cycle pluriannuel) de ce qui se passe chaque année (les cycles saisonniers).

(1) Le cycle pluriannuel

- La germination et l'établissement du jeune plant (premiers mois de sa vie),
- La croissance et la formation de l'arbre. Elle peut prendre plusieurs années (de 4 à 7 ans selon les espèces),
- La période de végétation ou de floraison. Elle peut durer de nombreuses années. C'est au cours de cette période que se déroulent les cycles saisonniers, □
- Le vieillissement et la mort.

(2) les cycles saisonniers

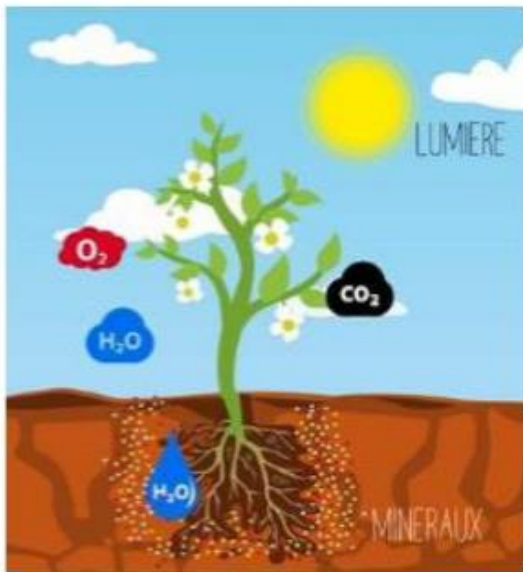
Certains arbres perdent toutes leurs feuilles lors d'une saison déterminée. Pour ces arbres, la période de foliaison est celle au cours de laquelle se développe le feuillage. Pour les autres, la foliaison est permanente : ils perdent des feuilles pendant que d'autres poussent. On ne peut donc pas reconnaître une période particulière de floraison.

- La floraison est la période d'ouverture des fleurs. Elle est immédiatement suivie de la nouaison, comme dans le cas des plantes saisonnières,
- Puis viennent la fructification et la maturation des fruits. C'est la période durant laquelle se forment les fruits.

4.4. Les mécanismes de la plante

La plante possède des mécanismes qui lui permettent d'adapter sa croissance et son développement à son environnement. Dans cet environnement, on trouvera des facteurs comme l'eau, les minéraux, la lumière, la température, le vent : **ce sont les facteurs abiotiques.**

D'autres facteurs sont liés à des êtres vivants, présents dans l'atmosphère et le sol (microbes bénéfiques ou pathogènes, animaux pollinisateurs ou ravageurs) : **ce sont les facteurs biotiques.**



5 Composantes sont indispensables au bon développement du végétal :

- ☐ l'eau (H_2O);
- ☐ la lumière ;
- ☐ le gaz carbonique (CO_2)
- ☐ l'oxygène (O_2);
- ☐ les minéraux.

Les plantes peuvent grâce à ces éléments synthétiser toutes les molécules nécessaires à leur développement : sucres, vitamines, hormones qui circulent dans les vaisseaux conducteurs de la plante et permettent ainsi la communication entre racine, tige et feuilles. Il existe deux types de vaisseaux : xylème et phloème dont nous préciserons les rôles par la suite.

4.5. Différents états de l'eau utiles pour la production

4.5.1. Eau dans la plante

L'eau est la composante cellulaire majoritaire de tous les êtres vivants (80% de la masse d'une plante contre 70% chez les animaux). L'eau pénètre principalement par les racines les plus fines au niveau des poils absorbants. L'eau dans la plante prend deux états :

(1) Eau de constitution

Cette eau rentre dans la composition des tissus végétaux. Elle correspond à 75 voire 85 % du poids du végétal vivant, mais à seulement 1 / 100 de la demande globale en eau de la plante.

(2) Eau de végétation

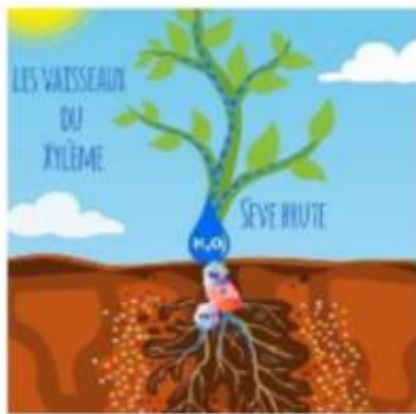
C'est l'eau puisée dans le sol, par les racines, et rejetée dans l'atmosphère en transitant par la plante. Cette eau constitue plus de 85 % de la demande globale (ou besoins en eau). C'est elle qui est à l'origine du phénomène de transpiration dont l'intensité est proportionnelle à la synthèse de matière sèche par la plante. Cette eau véhicule les substances minérales et organiques.

4.5.2. Eau évaporée par le sol

Cette eau, nécessaire pour la production, est évaporée directement par le sol. Sa quantité est variable selon le tassement et la couverture du sol. On l'estime entre 750 et 1200 m³/ha, soit 75 à 120 mm.

4.5.3. L'absorption de l'eau par le sol

L'eau emporte avec elle les minéraux présents dans les sols dans les vaisseaux du xylème. C'est la sève brute qui circule des racines vers les parties aériennes de la plante. Elle transporte les molécules synthétisées par les parties chlorophylliennes de la plante (feuilles) dans les vaisseaux du phloème. C'est la sève élaborée qui circule vers les parties non chlorophylliennes de la plante (racine, fruit, fleur, bourgeon, ...).



L'eau a la propriété de gonfler les tissus (c'est le phénomène de turgescence) ce qui permet aux plantes d'avoir un port droit, érigé. Par exemple si une plante n'est pas arrosée correctement, elle n'aura pas ce port droit, érigé c'est ce qui donne cet aspect fané à la plante.



4.5.4. L'absorption de l'eau par les feuilles et la transpiration

Au niveau des feuilles, l'eau peut entrer ou sortir du végétal sous forme de vapeur, par des ouvertures appelées les stomates. Ils sont situés au niveau de l'épiderme des feuilles et des tiges.

Les stomates peuvent être ouverts, se fermer partiellement ou totalement pour contrôler les pertes en eau (atmosphère sèche, sol peu irrigué, vent, température trop élevée). Cette fermeture a des conséquences sur la photosynthèse comme nous le verrons plus tard.

La perte en eau par les stomates (transpiration) permet l'absorption et la circulation de l'eau dans toute la plante : des racines vers les parties aériennes et vice-versa. Comme chez les animaux, la transpiration permet également à la plante de réguler sa température interne. La transpiration est d'autant plus forte que la température est élevée. Dès que la température dépasse les 25-30°C, les stomates se ferment pour éviter une trop grande perte en eau.

4.5.5. La biodisponibilité de l'eau

La biodisponibilité de l'eau au sein du sol traduit sa capacité biophysique à être prélevée par le système racinaire d'une plante. C'est d'un point de vue physique la possibilité énergétique de transférer de l'eau du sol vers la plante. Deux processus principaux au sein du sol vont jouer sur la biodisponibilité de l'eau pour une plante : les processus matriciels d'une part et les processus salins d'autre part.

4.5.5.1. Les processus matriciels

La liaison de l'eau au solide, appelée aussi matricielle, deviendra d'autant plus importante que l'eau y sera retenue dans une porosité de plus en plus fine. On peut grossièrement estimer que lorsque l'eau sera retenue au sein des agrégats dans une porosité inférieure à 0,2 micromètre, elle ne peut plus alors être prélevée par une plante au sein du sol qui a atteint le point dit de flétrissement et entraîne un phénomène de sécheresse.

Les sols peuvent être saturés en eau soit par des phénomènes de présence de nappe ou par absence de porosité grossière dite de drainage. Dans ce cas, ils n'offriront pas suffisamment de phase gazeuse connectée et entraîneront l'asphyxie racinaire des plantes qu'ils supporteront.

CHAPITRE 5 : RAPPELS SUR LA PEDOGENESE – CONSTITUANTS DU SOL

5.1. Définition – Généralités

Le sol peut être défini suivant l'utilisation qu'on en fait, Aussi, distingue-t-on la définition agrologique et la définition pédologique.

5.1.1. Définition Agrologique

“Le Sol agricole est la partie de la couche superficielle de l'écorce terrestre qui, grâce à sa structure meuble et sa composition physico-chimique, est en mesure d'assurer un développement normal des végétaux cultivés. L'agrologie s'intéresse donc au sol cultivable. C'est une science tournée vers la pratique, mais une science trop restreinte : insuffisance dans le classement des sols. On parle alors de : Sols sableux, sols argileux, sols limoneux, sols humifères, etc. Cette classification considère toutes les couches homogènes.

5.1.2. Définition Pédologique

“Le sol est la formation à structure meuble et d'épaisseur variable, résultant de la transformation de la roche mère sous-jacente sous l'influence de divers processus physiques, chimiques et biologiques” La pédologie fait intervenir des notions de pédogenèse. Par conséquent il n'y a plus de distinction sol arable, sous-sol, mais sol tout court. C'est donc une définition plus logique et plus complète. Elle permet de faire une classification plus exacte.

5.2. Éléments de pédogénèse

La formation du sol est un phénomène multidimensionnel contrôlé par une combinaison de cinq facteurs écologiques : le climat, le matériel minéral parental, les êtres et leur matière organique, le relief et le temps. Si le climat est déterminant à l'échelle du globe, les autres agents interviennent de manière forte aux niveaux régionaux et locaux. Les cinq facteurs et leurs variations se combinent pour donner une gamme presque infinie de sols à la surface de la Terre. Pourtant, un seul principe commun d'évolution relie ces derniers en trois phases à la fois successive et simultanées, alors qu'un nombre finalement assez réduit de processus fondamentaux suffisent à expliquer la majorité des pédogénèses.

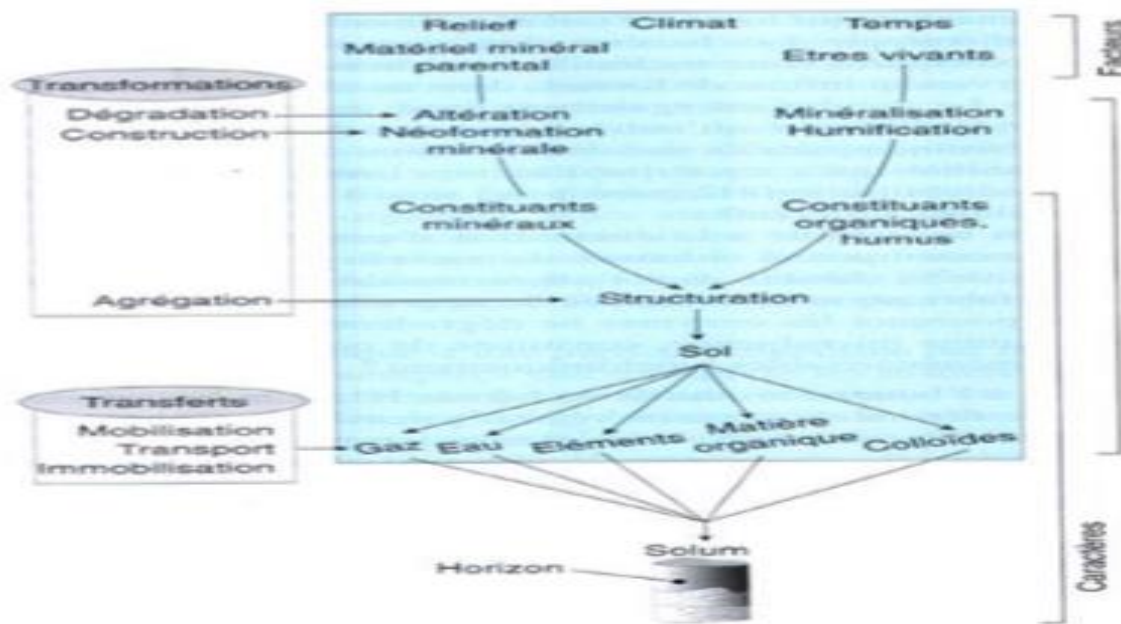


Figure 6a : Principe général de la pédogenèse

Trois groupes de phénomènes sont impliqués dans les processus de pédogenèse :

- des transformations chimiques, biochimiques et physicochimiques (altération minérale, biominéralisation),
- des transports de matières, dissoutes ou en suspension (lixiviation, lessivage),
- des fragmentations et brassages mécaniques (gélifraction, cryoturbation, bioturbation).

5.2.1. Trois étapes de la pédogénèse (ou Formation d'un sol) Ce sont :

- (1) la dégradation et l'altération d'une roche,
- (2) l'enrichissement en matières organiques, et
- (3) la différenciation des couches ou "horizon", sous l'action des migrations ou lixiviation.

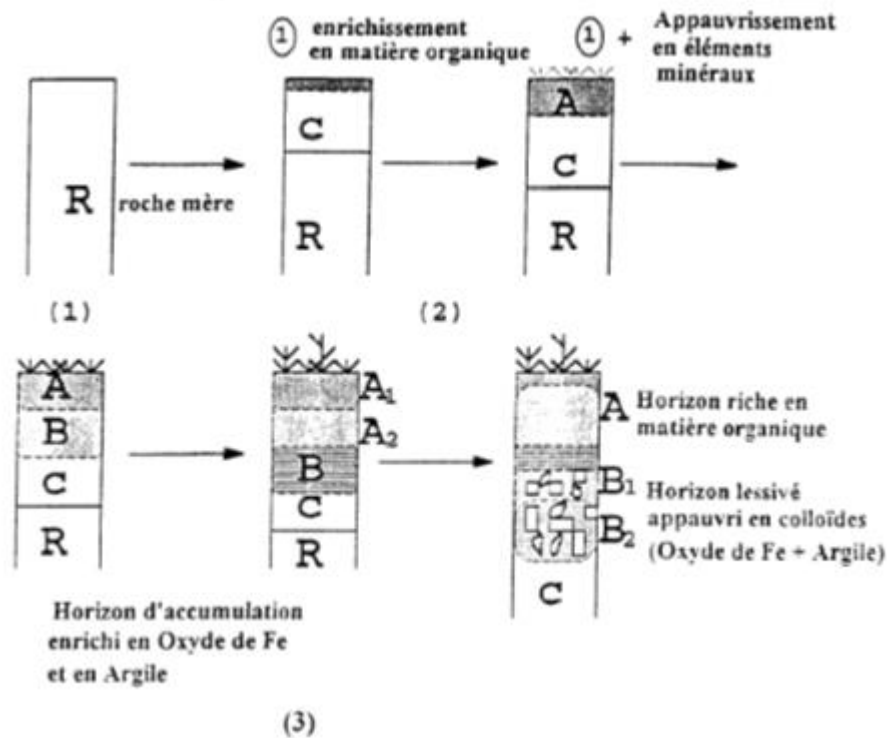


Figure 6b : Étapes de la pédogénèse

5.2.2. Facteurs de la pédogénèse

5.2.2.1. Climat

Le climat intervient essentiellement par deux paramètres : la pluviométrie et la température.

- pluviométrie : elle favorise les phénomènes de dissolution et des migrations dans le profil de sol.
- température : elle agit sur la vitesse des transformations. Par exemple :
 - en zones humides et chaudes les sols sont très évolués, tandis qu'en zones très froides, ils sont peu évolués.

5.2.2.2. Roche mère

Elle intervient par sa dureté, sa perméabilité et sa nature chimique. Par exemple :

- une roche perméable telle que le sable évolue plus rapidement qu'une roche peu perméable telle que l'argile ou le granite ;
- une roche acide (calcaire) évolue également de manière rapide.

5.2.2.3. Végétation

- les racines : permettent la fissuration et l'élargissement des fissures existantes

- les parties aériennes : contribuent à la modification du microclimat (sol nu – sol couvert) et protègent le sol contre l'érosion.
- la production de la matière organique : paramètre essentiel dans la formation des couches superficielles du sol ou même des sols humifères tout court.

5.2.2.4. Relief ou Topographie

- favorise la création des microclimats ou pédoclimat au travers de : l'altitude, l'altération, le régime hydrique, et le régime thermique.
- Favorise ou réduit le phénomène d'érosion (le départ du sol) à travers la pente ;
- Favorise ou réduit le phénomène de lessivage oblique ;
- Crée l'engorgement entraînant l'asphyxie et ralentit l'évolution des sols.

5.2.2.5. Temps

La formation des sols est un processus très lent, f(10x siècles). On parle ainsi de sols :

- jeunes, - murs (climatiques), et - dégradés (perte d'une partie des horizons)

Remarque : Faire attention à la destruction du sol, à notre action sur le sol et prendre conscience de la portée de notre action sur le sol pour les siècles et les millénaires à venir :

Exemple : l'abatage des forêts équatoriales et tropicales qui entraîne la modification du microclimat et par suite la pauvreté des sols et l'arrêt des activités agricoles.

5.2.2.6. Homme

Il intervient par la destruction de la végétation (forêt, pâturage, culture) qui entraîne l'érosion des sols et, avec elle, le comblement des barrages et des cours d'eau, l'augmentation des crues ; des inondations ;

- La modification de l'ambiance physico-chimique du sol par la pratique des techniques culturales plus ou moins adaptées. Exemple :
- les labours mal adaptés entraînent la déstabilisation de la structure du sol.
- l'utilisation abusive des engrais qui peuvent jouer sur le pH du sol.
- l'irrigation sans assainissement (drainage agricole) qui entraîne la salinisation des terres.

5.2.2.7. Autres facteurs biologiques

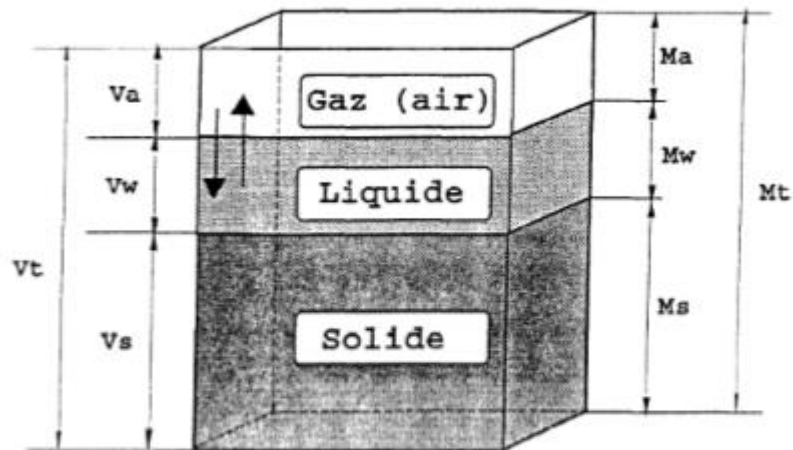
- faune : transport, Aération, transformation et brassage
- les micro-organismes : dégradation, transformation et réorganisation.

5.3. Constituants du sol

5.3.1. Généralités

Le sol est un système triphasique

- 1) La phase solide : Elle contient deux types de constituants : organiques et minéraux
- 2) La phase liquide ou encore appelée eau du sol ou solution du sol.
- 3) La phase gazeuse ou atmosphère du sol. Elle a la même composition que l'air ambiant.



V_a = volume de l'air	M_a = masse de l'air
V_w = volume de l'eau	M_w = masse de l'eau
V_s = volume du solide	M_s = masse du solide
V_t = volume total	M_t = masse totale

Figure 7 : Représentation schématique d'un échantillon de sol.

CHAPITRE 6 : COMPOSITION ET ORGANISATION DE LA PHASE SOLIDE DU SOL

6.1. Composition de la phase solide

La phase solide est composée de deux types de constituants : - les constituants minéraux, et - les constituants organiques.

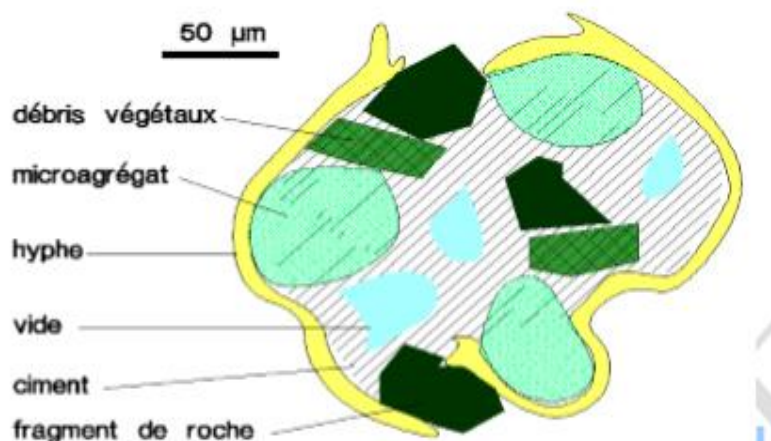


Figure 8a : Organisation de la phase solide du sol

6.1.1. Fraction minérale – Texture d'un sol

Lorsqu'on observe un échantillon de sol, on voit des mottes de grosseur variable pouvant se fracturer de façon également variable. C'est ce qu'illustre le schéma de la figure 8 ci-dessous.

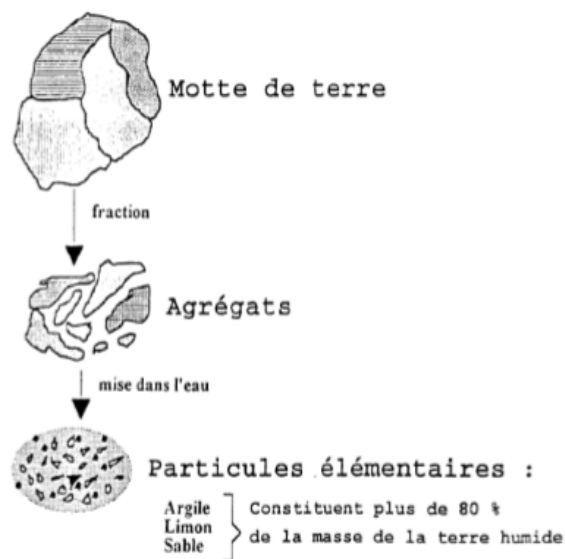


Figure 8 : Schéma montrant la composition du sol

Ce sont ces particules que l'on appelle constituants minéraux du sol. L'étude et le classement de ces particules en fonction de leur taille et leur nature correspond à ce qu'on appelle analyse granulométrique, ou granulométrie.

6.1.1.1. Granulométrie

L'analyse granulométrique consiste à déterminer ou à classer les éléments du sol d'après leur grosseur et à déterminer le pourcentage de chaque fraction. Les différentes étapes de la granulométrie sont :

1) Le triage des éléments grossiers

Graviers, cailloux, pierres, concrétions, etc. Ce sont des éléments de diamètre supérieur à 2 mm.

2) Destruction de la matière organique

Les particules organiques jouent le rôle de ciment. Cette destruction se fait soit par calcination, soit par traitement à l'eau oxygénée (H_2O_2). On peut aussi utiliser de l'acide chlorhydrique (HCl). Le tamisage se fait soit à sec, soit à l'eau.

3) Dispersion des particules

On utilise pour cela un agent dispersant, généralement du pyrophosphate de sodium.

4) La granulométrie proprement dite

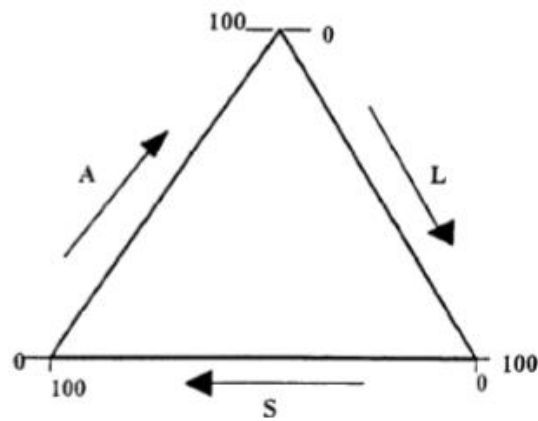
C'est l'étape de la sédimentation dans un milieu liquide, généralement l'eau. Plusieurs méthodes sont utilisées. On peut citer :

- le tamisage: les particules sont mises dans une succession de tamis de diamètres différents.
- la méthode de la pipette de Robinson.
- la méthode de l'hydromètre de Boyoucos (ou densimètre).

On arrive ainsi à déterminer le pourcentage de chaque élément (argile, limons et sables) dans l'échantillon de sol.

6.1.1.2. Expression de la composition granulométrique

Il existe plusieurs méthodes. Nous détaillons ici celle qui consiste à utiliser le triangle textural. La présentation du triangle textural: C'est un triangle équilatéral dont chaque côté porte une graduation de 0 à 100 pour chacune des trois classes Argile (A), Limons (L), Sables (S).



Le triangle permet une comparaison graphique commode de différents types de sol en fonction de leur granulométrie. □

- Utilisation du triangle textural Après avoir déterminé les % A, % L et % S, on repère les points correspondants sur les côtés du triangle. A partir de ces points, on trace une parallèle au côté qu'on vient de quitter suivant le sens indiqué par les flèches. L'intersection des trois droites ainsi tracées donne la nature du sol (Limono-argileux, limoneux, argileux, etc.).

Exemple : Un sol ayant: A: 15 %; L:20 % et S:60 % est un sol limono-sableux. Mais les agronomes préfèrent utiliser un triangle rectangle portant à l'un des côtés droits l'argile et à l'autre côté le limon. Ceci pour la simple raison que l'argile et le limon sont les deux principaux éléments de grande importance agronomique. Ces triangles s'appellent TRIANGLE DES TEXTURES.

6.1.1.3. Texture d'un sol

Définition : c'est la teneur centésimale en sables (grossiers et fins), en limons et en argile. - Importance : la texture est un paramètre très important à connaître, car elle est indicatrice de la tendance du sol à exprimer un certain nombre de propriétés physiques.

Exemples : les sols où domine le sable sont filtrants : S'il y a beaucoup d'éléments fins colmatant le vide laissé par les éléments grossiers, le sol devient confiné ou battant.

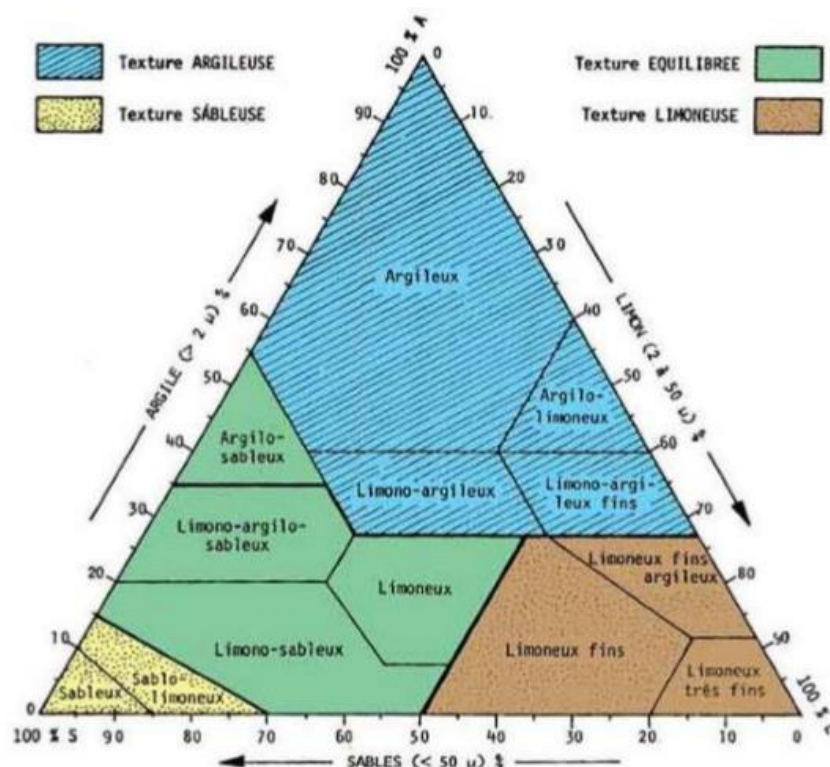


Figure 9b : Triangle des textures (Soltner, 1989)

Quelques propriétés texturales : plasticité, cohésion, stabilité du sol et des agrégats et porosité.

- Appréciation de la texture au champ L'examen du sol en place, du profil par exemple, permet une appréciation directe et suffisante pour un jugement textural. Ceci est possible par une appréciation au toucher. Les sables grattent sous les doigts. Lorsqu'on fait un patton humide, on le roule entre les doigts, quand il s'agit du limon, il s'effrite et laisse une teinture comme du talc (poudre blanche) sur les doigts. S'il ne s'effrite pas, il donne l'impression d'une -forte plasticité a la teneur en argile est certainement élevée. On pourra faire un anneau avec ce sol sans qu'il y ait de cassure.

6.1.1.4. Classes texturales de la granulométrie

Les particules de terre fine définissent la texture du sol ; elle s'exprime sous l'un des vocables du "triangle des textures" qui permet de classer les sols d'après leur composition granulométrique (Figure 8). La figure 11 montre les principales classes de texture en fonction de la taille ou diamètre (ϕ) des particules composant le sol.

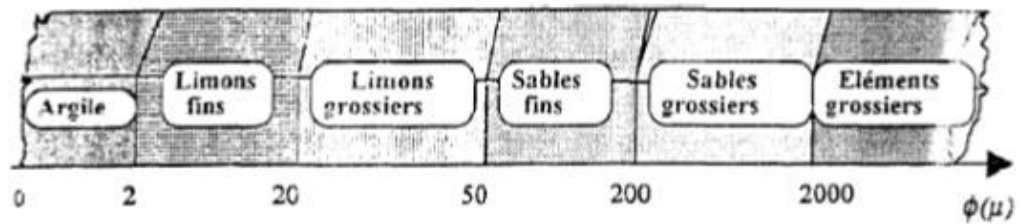


Figure 11 : Les classes texturales de la granulométrie.

Les éléments grossiers s'apprécient selon des normes qui permettent d'évaluer leur impact sur la qualité des sols.

6.1.2. Fraction Organique

Contrairement à la fraction minérale, la fraction organique n'est pas constituée de particules élémentaires, dissociable selon leurs dimensions, mais d'un ensemble de substances, essentiellement caractérisées de manière qualitative par leur nature chimique. D'où le rôle important qu'elle joue sur les propriétés physiques et chimiques du sol

6.1.2.1. Détermination de la teneur en matière organique

Plusieurs méthodes sont utilisées :

Méthodes de perte au feu

Méthodes chimiques

Méthodes de Turin, etc.

6.1.2.2. Types de matière organique (m.o.)

La fraction organique du sol peut être divisée en trois types de matériaux (FigureX):

- La matière organique fraîche ou libre :

Les résidus, sécrétions et excréments de plantes et d'animaux peu décomposés, avec un rapport C / N élevé ≥ 30

- L'humus :

Sous-produit amorphe de la minéralisation primaire de la m.o. fraîche, se caractérise par la couleur noire qu'il donne au sol et par un rapport C/N plus faible de l'ordre de 10 à 15.

- Les produits transitoires :

tous les termes de passage de la m.o. fraîche à l'humus stable. Ce sont essentiellement des molécules organiques dégradables (protéines, sucres, acides, etc.).

6.1.2.3. Evolution de la matière organique dans le sol et conséquences agronomiques

Le schéma de la figure 12 donne l'évolution générale de la matière organique dans le sol. Remarque : L'humus est hydrophile : peut retenir jusqu'à 15 % de son poids (une quantité d'eau). Par conséquent l'humus joue un grand rôle dans l'économie de l'eau.

6.1.2.4. Importance agronomique de la M.O.

(1) effet engrais :

L'humus contient des éléments assimilables (N, P, K, S,...) qu'il met à la disposition de la plante après la minéralisation secondaire. Remarque : Le soufre est sous forme S: 50 % de P est sous forme organique

(2) Cas de l'azote :

Par le processus de minéralisation, le sol peut fournir de l'azote assimilable jusqu'à une quantité de 30 à 150 kg/an/ha (80 % d'azote du sol est sous forme organique) Et tout cela dépend bien sûr des conditions du milieu. Pour avoir une idée de cette fourniture d'azote, on définit un rapport C / N.

(3) Action sur la structure du sol ou les propriétés physiques

Effet sur la structure du sol et sa stabilité structurale : - augmentation de la perméabilité (conductivité hydraulique) -augmentation de la capacité de l'eau par le sol.

(4) Rôle de support nutritif et énergétique des micro-organismes du sol

Remarques : quelques effets défavorables :

- Création d'obstacles au passage des racines : lorsqu'il y a par exemple un mauvais enfouissement ou mauvaise décomposition de la MO. la couche de débris joue un rôle de bouchon s'opposant au passage des racines, Par conséquent, le volume exploité par les racines va diminuer.
- blocage de l'azote du sol, au détriment des plantes, - au cours de la décomposition il peut y avoir libération des substances toxiques,
- développement des certains parasites.

6.2. Organisation de la phase solide

6.2.1. Structure du sol

6.2.1.1. Définition

La structure est le mode d'agencement ou d'assemblage des constituants du sol à un moment donné. Les constituants du sol sont appelés agrégats ou éléments structuraux. Contrairement à la texture, la structure est un paramètre dynamique, donc état évolutif dans le temps.

6.2.1.2. Principaux types de structure

La taille et la forme des éléments structuraux déterminent toute une gamme de structures types.

a) Les multiples formes et le classement

a1) La dimension des éléments structuraux

En fonction de la dimension, on distingue les éléments structuraux :

- *de très petite taille* : $< 10^{-3} \text{ m}$
- *de petite taille* : $\geq 10^{-3} \text{ m}$
- *de taille moyenne* : $\geq 10^{-2} \text{ m}$
- *de grande taille* : $\geq 10^{-1} \text{ m}$.

a2) La forme des éléments structuraux On peut classer les différents types de structure en trois groupes (voir figure 1;) :

- **Les structures PARTICULAIRES** : Les éléments solides sont entassés sans aucune liaison, faute de colloïdes. Cela peut correspondre à l'absence de structure. C'est l'exemple des sables

- **les structures COMPACTES ou CONTINUES** : Les éléments sont noyés dans une masse d'argile dispersée et forment un seul bloc.

- **les structures FRAGMENTAIRES** : Les constituants sont assemblés en agrégats et groupés en éléments structuraux plus ou moins gros, d'aspect allongé, anguleux, ou plus ou moins sphériques, offrant plus ou moins des facilités à la circulation de l'air et de l'eau.

Les angles vifs : sont dus à l'effet de retrait des colloïdes, qui entraîne une rupture des masses compactes.

Les angles arrondis : sont dus à l'effet de granulation résultant des actions d'usure variées alternance dessiccation - humectation (action biologique de la flore et de la faune du sol).

b) L'état de structure influe sur la fertilité du sol

Comme on le verra dans la partie technique de production agricole, la fertilité du sol est la résultante :

- des bonnes propriétés physiques du sol : aération, humidité, facilité de travail, etc.
- de ses propriétés chimiques : bon fonctionnement des mécanismes d'échange et de fixation des substances nutritives entre le sol et la plantes,
- de ses bonnes propriétés biologiques : vie microbienne intense participant activement à la nutrition des plantes.

c) L'état de structure influe directement sur trois groupes de propriétés :

1 Les structures PARTICULAIRES sont défavorables par leur manque de colloïdes :

- éléments grossiers : sol filtrant,
- éléments fins : tendance à la battance, sol peu filtrant et sensible à l'érosion.

2 Les structures COMPACTES sont nuisibles :

- manque de perméabilité à l'air et à l'eau : sol asphyxiant et activité biologique réduite, - grande résistance à la pénétration des racines.
- difficulté de travail tant en période humide qu'en période sèche.

3 Parmi les structures FRAGMENTAIRES, la structure GRUMELEUSE est à rechercher :

- les éléments sableux sont réunis en agrégats par un complexe argilo-humique suffisamment abondant et flocculé,
- lors du travail du sol, ils forment de petites mottes ou grumeaux de taille moyenne et aux bords arrondis.

Ce qui confère à cette structure de nombreux avantages parmi lesquels, on peut citer :



Grande facilité de circulation de l'eau, Bonne aération aux racines, aux microbes aérobies et aux animaux, Facilité de pénétration des instruments de travail du sol et de culture, Bonne germination, Pénétration facile et profonde des racines, et une exploration maximale par celles-ci des ressources nutritives du sol.

6.2.2. Dynamique ou Genèse de la structure

6.2.2.1. Généralités

La formation ou la genèse de la structure est attribuée à deux paramètres :

- la floculation, et
- l'association des matériaux par un ciment

6.2.2.2. Facteurs affectant l'évolution structurale

La structure telle qu'on peut l'observer : à un moment donné, ne se retrouve pas toujours : la structure n'est pas la même avant un semis et, après la récolte. De nombreuses causes, naturelles et provoquées, peuvent entraîner l'évolution de la structure :

- les précipitations : principal agent d'évolution □

- destruction des agrégats suivie de la formation d'une croûte de battance. □
- lessivage du calcium en profondeur.

- les successions d'humidifications et de dessiccations du sol entraînant la division du sol par suite de gonflement – retrait de l'argile.

- les agents biologiques,

- l'effet des racines,

- l'effet de la matière organique,

- l'agriculteur par ses techniques culturales.

La structure du sol évolue. Cependant les mêmes actions, exercées sur des sols différents, peuvent provoquer des variations de structure plus ou moins grandes, d'où la notion de stabilité structurale.

6.2.2.3. Stabilité structurale

a) Définition - généralités :

C'est l'aptitude des terres à résister aux actions destructurantes des agents climatiques. Globalement, la sensibilité d'un sol aux mécanismes de déstructuration constitue un critère d'appréciation important de ses aptitudes sur le plan agricole. L'état structural peut être défini à un instant donné. Il peut subir des modifications par des agents naturels (exemple : variation d'humidité), par des pratiques culturales (exemples : travail du sol, enracinement.. .). La structure peut donc évoluer dans un sens favorable comme dans un sens de dégradation selon l'importance de ces facteurs. La stabilité structurale est une caractéristique mesurable contrairement à la structure qui ne peut qu'être décrite qualitativement.

b) Evaluation de la stabilité structurale

Exemple : La méthode de Hénin basée sur l'indice d'instabilité structurale I_s , Cet indice est défini à partir de l'analyse d'agrégats (figure 14).

$$I_a = \frac{\text{Fraction } \phi < 0,02 \text{ mm}}{\frac{\Sigma \text{ agrégats de } \phi > 0,2 \text{ mm}}{3} - 0,90 S_g} \quad (12)$$

avec S_g = sables grossiers.

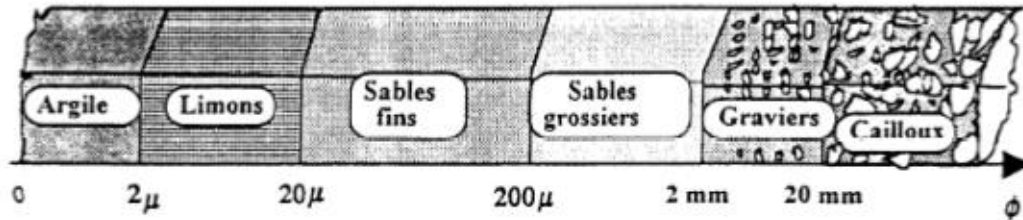


Figure 14 : L'échelle granulométrique d'ATTERBERG et internationale (1926) (d'après SOLTNER, 1989).

I_s , est proportionnel à la sensibilité du sol aux phénomènes : □

- d'éclatement, et □
- de gonflement - dispersion.

I_s , prend des valeurs comprises entre 0,1 et 100; Il est généralement exprimé par la valeur de $\log_{10} (10 \times I_s)$ variant entre 0 et 3. □

- $\log_{10} (10 \times I_s) = 0$: Bonne stabilité structurale □
- $\log_{10} (10 \times I_s) = 3$: très mauvaise stabilité structurale

Ordre de grandeur :

Sols limoneux : 1 à 2

Sols sodiques ($ESP > 15\%$) 2.5 à 3

ESP = Pourcentage de sodium échangeable

$$ESP = \frac{N_s^+}{T - N_s^+} \text{ en } m\acute{e}q / 100g \quad (13)$$

c) Principaux agents de dégradation de la structure

- 1) l'impact des gouttes d'eau sur le sol (phénomène d'éclaboussure)
- 2) l'éclatement des agrégats sous l'effet d'une humectation rapide,
- 3) la dispersion des colloïdes,
- 4) le tassement en période humide,
- 5) l'effet de choc des outils.

d) Stabilisation ou méthodes de stabilisation de la structure

- 1) Protection contre les chocs des gouttes d'eau par le paillage par exemple,
- 2) lutte contre l'excès d'eau par le drainage,
- 3) éviter le travail du sol en période humide,
- 4) amendements organiques et humifères, ex.

TROISIÈME PARTIE :

MILIEU DE CULTURE

CHAPITRE 7 : Circulation de l'Eau dans le Système Sol-Plante- Atmosphère

7.1. Introduction – Généralités

La circulation de l'eau dans le système sol-plante-atmosphère constitue un ensemble de processus complexes dont la compréhension nécessite la prise en compte de phénomènes affectant des disciplines très variées.

Quand les échanges de matière et d'énergie peuvent être assimilés à des courants électriques, on peut écrire :

Flux = différence de potentiel / Résistance.

L'importance de la circulation de l'eau dépendra étroitement des résistances dans les systèmes et l'on observera une série de chutes de potentiel depuis le sol où le potentiel est le plus élevé (le moins négatif) jusqu'à l'atmosphère où le potentiel est le plus faible (le plus négatif).

La résistance, qui est inversement proportionnelle à la conductivité hydraulique du système sol-racine-feuilles, peut être définie comme étant l'ensemble des contraintes que l'eau doit vaincre avant de parvenir à son lieu de stockage ou de diffusion vers l'atmosphère. La façon actuelle de concevoir le cycle de l'eau au champ est basée sur la reconnaissance du fait que le champ et toutes ses composantes - sol, plante et atmosphère, - constituent une entité physique unique et dynamique dans laquelle divers processus de circulation se déroulent d'une manière interdépendante comme les maillons d'une chaîne. Ce système unifié a été appelé "SPAC" (continuum sol-plante-atmosphère).

Dans ce système, si nous admettons que le concept de "potentiel hydrique" est valable et applicable aussi bien au sol, qu'à la plante et à l'atmosphère, le mouvement de l'eau s'établit à partir d'un niveau d'énergie élevé vers un autre moins élevé. L'eau présente dans le sol est absorbée par les racines et acheminée jusqu'aux tiges qui la véhiculent à leur tour jusqu'aux feuilles où elle est rejetée en partie, à l'état vapeur, dans l'atmosphère, à travers les stomates. La notion de "SPAC" est donc basée sur la généralisation de potentiel hydrique.

7.2. Processus de circulation de l'eau à travers le SPAC

Pour caractériser physiquement le SPAC, il faut évaluer l'énergie potentielle de l'eau et sa variation avec la distance et dans le temps, le long du parcours entier du mouvement de l'eau. Le régime d'écoulement est, en tout point, inversement proportionnel à une résistance

On définit ainsi trois résistances correspondant à la trajectoire de l'eau à travers le SPAC

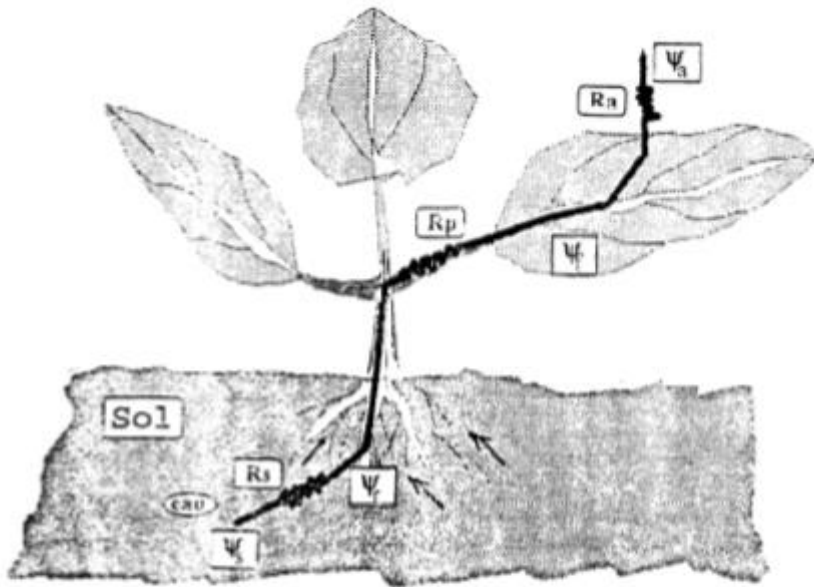


Figure 57 : Schéma présentant la trajectoire de l'eau à travers de SPAC.

- (1) Résistance à l'écoulement de l'eau, du sol vers les racines (R_s),
- (2) Résistance à l'écoulement de l'eau, des racines vers les branches et les feuilles (R_p), et
- (3) Résistance à la diffusion de la vapeur d'eau des feuilles vers l'atmosphère, ou la transpiration (R_a).

Ψ_s , Ψ_r , Ψ_f et Ψ_a constituent le potentiel de l'eau respectivement dans le sol, à l'interface sol-racine, dans la feuille et dans l'atmosphère (air ambiant).

En considérant qu'il y a continuité entre le sol et l'atmosphère, ce qui suppose que la quantité d'eau transférée vers l'atmosphère (eau de végétation) est très grande par rapport à la teneur en eau de la plante (c'est-à-dire le stock ou eau de constitution), le flux q est le même (écoulement permanent) du sol vers l'atmosphère.

7.3. Conséquences de ce processus

Le système racinaire d'une plante peut être étendu et pourrait arriver à une longueur de plusieurs kilomètres. L'eau doit parcourir en moyenne une grande distance dans le sol avant d'atteindre la surface de la racine la plus proche. Cette distance peut atteindre quelques centimètres suivant la densité racinaire et les propriétés du système sol-eau.

7.3.1. Interaction entre la teneur en eau, la succion et la transpiration

Lorsque les feuilles couvrent le sol et que la succion de l'eau du sol est relativement faible (sol proche de la capacité de rétention), le régime de transpiration se rapproche généralement du régime d'évapotranspiration potentielle déterminé par les facteurs météorologiques (cf. Cours de Climat et Besoins en Eau des Plantes). Mais il peut arriver que, même dans les conditions d'humidité favorable du sol, la plante flétrisse parce que les facteurs météorologiques, notamment la demande évaporative de l'air, sont tels que la plante ne peut assurer la continuité de la transmission de l'eau vers l'atmosphère.

Conséquence :

La plante flétrit et meurt. Ce phénomène est appelé phénomène de "débit limite" très connu des irrigants dans les régions arides et chaudes (par exemple au Sahel).

Chapitre 8 : Climat et production Végétale

Introduction

Les plantes se présentent comme des objets vivants, capables de fournir à l'humanité (directement ou indirectement) son alimentation, et d'occuper l'espace minéral dans lequel elles évoluent. Si on les observe avec l'œil du biologiste ou du physicien, elles se présentent aussi comme des machines biologiques, dont la propriété principale est de convertir l'énergie solaire en biomasse. Le mécanisme mis en jeu est la photosynthèse, qui dote les plantes d'un système permettant d'intercepter l'énergie lumineuse, d'investir cette énergie dans la réorganisation du CO₂ de l'air en molécules organiques simples, de les reconfigurer en molécules plus élaborées (assimilats), puis de redistribuer ceux-ci dans les différents organes de la plante (végétatifs, reproductifs et de stockage). L'efficacité de la machine biologique est, au premier abord, faible (de l'ordre de 4 %) ; c'est-à-dire que, si la plante est au mieux de sa forme, seulement 4 % de l'énergie radiative qu'elle intercepte sont effectivement convertis sous forme de biomasse au terme du processus. Les 86 % restants sont dissipés sous forme de rayonnement (réfléchi ou ré-émis dans l'atmosphère), ou de chaleur dissipée dans l'atmosphère ou dans le sol, sous forme sensible (élévation de température) ou latente (évapotranspiration). Cependant, compte tenu de la taille de la surface terrestre qui reçoit le rayonnement solaire, les quantités d'énergie et de biomasse sont très importantes : à titre d'exemple, dans les débats actuels sur les accords de Kyoto dans le cadre de la convention cadre sur les changements climatiques, les seuls Etats-Unis estiment que leurs forêts permettent de piéger annuellement 300 millions de tonnes de CO₂. L'efficacité de la conversion d'énergie radiative en biomasse est encore atténuée par de nombreux facteurs, liés pour une part aux caractéristiques génétiques des plantes considérées, et d'autre part aux facteurs du milieu qui font que la machine biologique fonctionne plus ou moins bien.

1. LE CLIMAT ET LES PRODUCTIONS VÉGÉTALES

1.1. Qu'est-ce que le climat ?

Définition :



"C'est la série des états de l'atmosphère au-dessus d'un lieu".

On le décrit par la mesure et l'analyse de ses différents éléments :

- températures ;
- éléments liés à la lumière : rayonnement, insolation, nébulosité ;
- éléments liés à l'eau : précipitations, évaporation, hygrométrie (= humidité) ;
- le vent et la pression atmosphérique (qui, sans être vraiment un élément du climat, permet d'expliquer la circulation de l'air).

1.2. Pourquoi étudier le climat ?

Le climat agit *indirectement* sur les rendements des végétaux (en quantité et en qualité), en intervenant :

- sur le milieu environnant des cultures (sol, milieu biologique = ennemis des cultures et auxiliaires, etc.)
- et sur les possibilités d'intervention de l'agriculteur.

Il constitue également un facteur de production de par son action *directe* sur la croissance et le développement des cultures, du semis à la récolte (croissance = augmentation en poids et dimensions – développement = apparition de nouveaux organes).

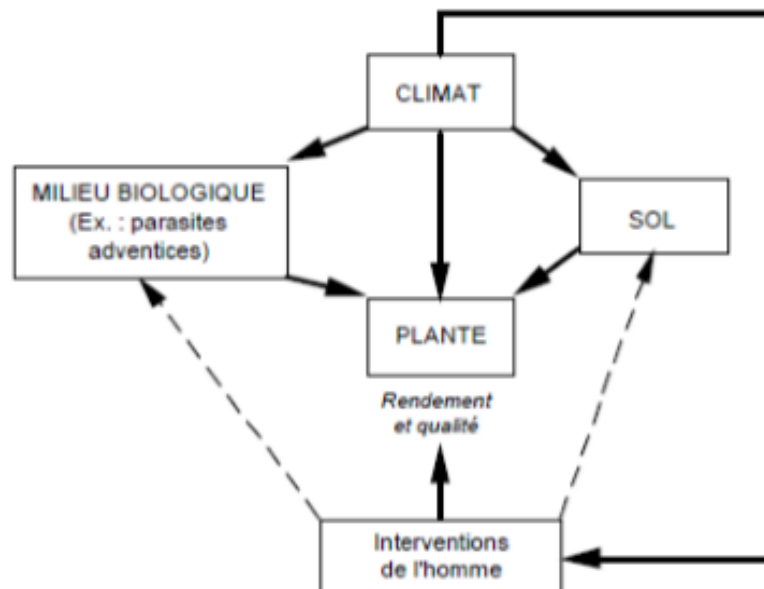


Figure 1-1 : Actions du climat sur les productions.

C'est donc un élément déterminant de la production, en particulier pour l'agriculteur qui "subit" le plus souvent les aléas climatiques ayant relativement peu de moyens économiquement rentables de contrôler tous les éléments climatiques. Cependant, des études approfondies du climat local et la prise en compte des mesures climatiques et prévisions lui permettent de diminuer considérablement les risques d'accidents et de réaliser des choix technico-économiques valables.

1.3. Action des facteurs climatiques sur les cultures

Nous allons étudier, pour chaque facteur climatique, son action sur la croissance et le développement du végétal afin de mieux comprendre l'intérêt de sa mesure et l'utilisation qui peut en être faite (ces éléments seront repris dans votre cours de Biologie Végétale).

1.3.1. La lumière

La lumière est source d'énergie pour la plante.

1.3.1.1. Absorption

Une partie est absorbée par la plante (une autre est "perdue" par réflexion du rayonnement et par la circulation de l'air).

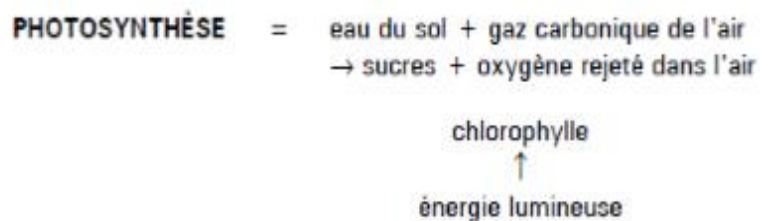
1.3.1.2. Transpiration

La plante "s'oppose" à une trop grande augmentation de sa température en transpirant (application : le rayonnement sera pris en compte dans des formules permettant de calculer le pouvoir évaporant et transpirant de l'air, ou ETP).

1.3.1.3. Action sur la croissance

□ Le végétal transforme cette énergie lumineuse en énergie chimique et synthétise des sucres = PHOTOSYNTHÈSE.

A partir de ces sucres seront élaborés ses autres constituants.



□ L'intensité et la nature des radiations interviennent sur la croissance.

- **Nature** : la lumière solaire est constituée de diverses radiations.

Elle peut être décomposée par un prisme (dans la nature, l'arc-en-ciel résulte de la décomposition de la lumière solaire). Les radiations rouges et bleues sont les plus actives.

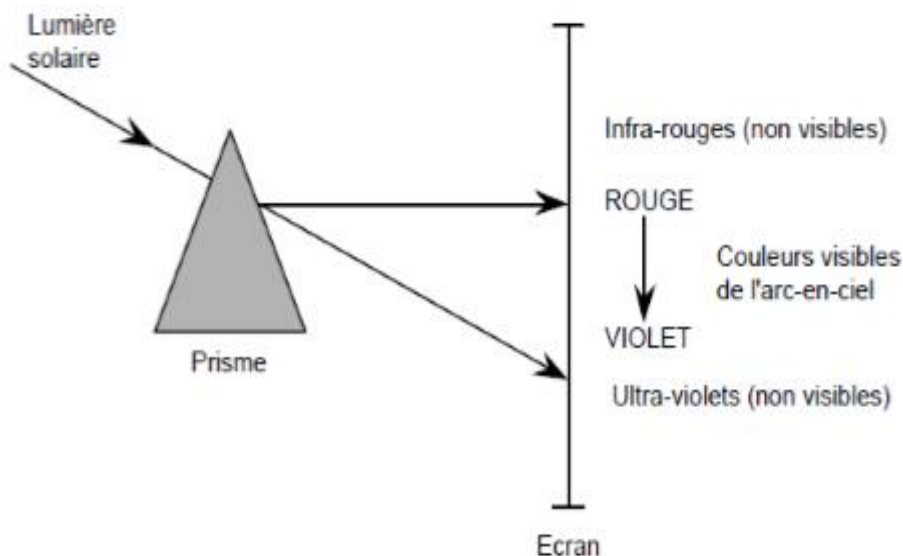


Figure 1-2 : Décomposition de la lumière.

- **Intensité** : la photosynthèse des plantes de lumière se déclenche et devient plus grande pour des intensités lumineuses plus importantes.

Les plantes d'ombre sont "saturées" en lumière beaucoup plus rapidement (en excès, elle peut provoquer des "nécroses" = brûlures sur les feuilles).

La qualité de l'éclairage intervient dans le choix des éclairages de complément en serre et l'intensité devra être adaptée aux stades de développement de la culture.

□ Utilisation de la lumière par une culture

Les plantes sont en peuplement et l'abondance du feuillage intervient dans l'utilisation du rayonnement (phénomène de concurrence).

Or, un éclairage faible favorise le développement des organes végétatifs (en particulier des tiges = étiolement) aux dépens de la mise en réserve. Un semis dense va donc favoriser les risques de **verse**. Pour chaque culture, une densité optimale existe pour utiliser correctement la lumière.

Remarque : la taille des arbres, la sélection de plantes à port dressé sont des techniques visant à améliorer l'utilisation de la lumière par les cultures.

1.3.1.4. Action sur le développement ou PHOTOPÉRIODISME

Photopériodisme = action de l'alternance jour-nuit sur la plante.

Les plantes sont sensibles à des durées variables de la succession jour-nuit : ces durées peuvent entraîner la dormance ou l'éclosion des bourgeons, la tubérisation, la chute des feuilles et surtout la **mise à fleur**.

On distingue :

- **Les plantes de jours longs** qui doivent subir des jours longs pour pouvoir fleurir (la durée du jour doit être supérieure à une valeur critique ou valeur "seuil").
Exemples : dahlia, épinard, laitue, tomate, blé d'hiver.
- **Les plantes de jours courts** forment leurs ébauches de fleurs quand la durée du jour est inférieure à une valeur seuil.
Ex. : chrysanthème, azalée, maïs, soja.
- **Les plantes indifférentes** (mais elles ont besoin de lumière pour la photosynthèse).
Ex. : rosier, asperge, merisier.

Les besoins sont variables selon les espèces et variétés au sein de l'espèce.

Application :

- On éclairera (ou obscurcira) en serre pour accélérer ou retarder la floraison selon l'époque de l'année (ex. : chrysanthème).
- La culture en plein champ d'espèces à jours courts (comme le maïs, le soja), est difficile à partir d'une certaine latitude. Des variétés doivent être sélectionnées pour introduire la culture dans des zones nordiques.

1.3.2. La température

La plante nécessite une certaine chaleur pour sa croissance et son développement. Une partie de ce développement se déroule dans le sol (germination, croissance des racines). On mesurera donc la température de l'air et du sol (intéressante en particulier pour les semis).

1.3.2.1. Action sur le fonctionnement de la plante

La température agit sur la PHOTOSYNTHESE : celle-ci est faible à nulle aux basses températures comme aux températures élevées.

Elle agit de la même manière sur la RESPIRATION (= brûlage des sucres grâce à l'oxygène et "récupération" d'énergie par le végétal qui rejette du gaz carbonique et de l'eau. Voir cours de Biologie végétale).

1.3.2.2. Température et vitesse de croissance

- La croissance se déclenche et s'accélère à partir d'une température seuil, dite "zéro de végétation" (ex. : 0°C pour le blé, 6°C pour le maïs, 6°C pour la carotte).
- La croissance est d'autant plus grande que la température est élevée.
- Elle s'arrête à partir d'une **température maximale**.
- Trop élevée ou trop basse, la température peut léser la plante = **températures critiques**.

□ Application : les sommes de températures

On démontre que le végétal, pour passer d'un stade à un autre (ex. : levée à apparition des organes floraux), doit avoir reçu une certaine quantité de chaleur, donc de températures (plus la température sera élevée, plus la période entre les 2 stades considérés sera courte = plus la croissance est rapide).

Seules les températures au-dessus du zéro de végétation seront prises en compte.

Calcul : la quantité de chaleur reçue par la plante, pendant une journée, sera représentée par la température moyenne du jour, diminuée du zéro de végétation.

$$\text{température moyenne} = \frac{\text{temp. maximale} + \text{temp. minimale}}{2}$$

Exemple : zéro de végétation : 8°C – temp. max. : 12°C

température minimale : 6°C

la quantité de chaleur reçue = 9° – 8° = 1 degré-jour

Lorsque la température moyenne est inférieure au zéro de végétation, on considère que les températures de la journée ont été inefficaces (soit 0 degré-jour).

Pour une espèce et variété donnée, le passage d'un stade à un autre nécessite une **somme de température** constante (= somme des quantités de chaleur reçues par jour).

❑ Intérêts :

- En connaissant **les besoins** en sommes de températures des espèces et variétés et en comparant avec les possibilités climatiques de la région, on pourra choisir la variété la mieux adaptée pour qu'elle arrive à maturité sans problème. C'est le cas du maïs : les besoins de chaque variété sont bien connus. Des cartes ont été établies, donnant les sommes de températures disponibles par région et pour certaines périodes.
Suivant les dates de semis et de récolte, le choix d'une variété adaptée est facile à réaliser.
- On peut classer les espèces et variétés selon leurs besoins, c'est-à-dire selon leur précocité.
- Les dates d'apparition des stades d'une variété donnée, pour une région déterminée, peuvent être prévues selon les données climatiques moyennes (on pourra éviter le choix d'une variété dont les stades sensibles coïncideraient avec des périodes à risques de gel...).

❑ Action du thermopériodisme journalier

Les températures nocturnes doivent être plus basses que les températures diurnes pour que la croissance s'effectue dans les meilleures conditions.

1.3.2.3. Action sur le développement

Certaines plantes ont besoin de froid, à un certain stade de développement, pour produire des fleurs (donc des graines).

D'autres sont indifférentes : on dit qu'elles sont **alternatives**.

D'autres enfin voient seulement leur floraison accélérée (ex. : seigle).

Cette action du froid est appelée **vernalisation**.

❑ Applications

- Les besoins en froid des variétés de céréales (ou fourrages) influent sur leur date de semis (production d'herbe uniquement ou d'épis selon la date de semis !) Il existe des variétés d'hiver et alternatives avec toute une gamme entre les deux.
- Le forçage des tulipes est basé sur une bonne connaissance des exigences thermiques du bulbe, etc.

Remarque : la température ou l'alternance de température peuvent intervenir également sur des levées de dormance (dormance = l'organe ne croît pas, bien que les conditions soient favorables) et sur la tubérisation.

1.3.2.4. Interaction lumière-froid

Une plante peut avoir besoin de froid, puis de jours longs pour fleurir. Pour certaines espèces, il peut y avoir compensation entre les deux.

1.3.2.5. Action des excès de température

❑ Les gelées

Les basses températures entraînent la formation de glace dans les espaces inter-cellulaires. L'eau sort des cellules pour geler à l'extérieur. Leur activité est alors déséquilibrée et la mort des tissus peut s'ensuivre. Si le gel est très intense, l'eau gèle à l'intérieur des cellules.

Conséquences : pendant la période d'arrêt végétatif, la plante est peu sensible, les tissus étant assez secs. La résistance au froid dépend de l'espèce, de la variété de son **stade de développement**. Il faudra donc choisir la variété en fonction des risques de gelée. On diminuera également les risques en semant à une date qui permette à la culture d'atteindre un stade de développement résistant au froid au moment où les premières gelées apparaissent.

Cependant, si un froid brutal survient, une plante, même résistante gèlera. Le végétal doit s'adapter peu à peu au froid (= phénomène d'endurcissement).

❑ Les hautes températures

Elles provoquent une déshydratation des cellules, entravent la photosynthèse et la circulation de la sève. Les grains se remplissent mal, sont ridés : c'est l'échaudage. Cette action est plus ou moins importante selon le stade de développement de la plante.

Lutte : on choisit des variétés qui, par leur précocité, échappent aux fortes chaleurs.

❑ **De très hautes températures** au moment de la floraison du maïs entravent la fécondation. Ce fut le cas des maïs de semences de la vallée de la Loire en 1990 et ceci malgré une irrigation intensive.

1.3.3. L'eau

1.3.3.1. Action sur la croissance

L'eau, absorbée dans le sol, transite dans la plante en transportant les éléments minéraux aux cellules (= SÈVE BRUTE). Une grande partie est rejetée = TRANSPIRATION.

L'eau intervient dans la PHOTOSYNTHÈSE et en tant que constituant de la matière vivante.

La PHOTOSYNTHÈSE et la TRANSPIRATION sont également liées au niveau des stomates (lieu où se produisent les échanges gazeux entre tissus de la feuille et

l'extérieur). Le transport des substances élaborées par les feuilles vers les autres organes (dont les racines) se fait par la SÈVE ÉLABORÉE.

En conséquence, la **production de matière sèche est liée au taux de transpiration**. Cette dernière dépend en particulier de la "demande climatique" (ou ETP : voir plus loin), et de la disponibilité en eau dans le sol (intervention du type de sol, de son humidité, etc.).

1.3.3.2. Action sur le développement

Certaines espèces voient leur mise à fleur accélérée par une légère sécheresse (ex. : luzerne, arbres fruitiers). Cependant, un manque d'eau au moment de la formation des fleurs, fécondation ou grossissement des fruits-graines peut diminuer considérablement le rendement. Des périodes critiques où le rendement est le plus gravement compromis sont ainsi établies. L'irrigation peut alors être nécessaire.

Les excès d'eau : ils agissent surtout au niveau du sol, le rendant asphyxiant pour les racines, difficile à travailler... En période de floraison, un excès de pluies ou d'humidité entraîne une mauvaise fécondation (= coulure des fleurs).

1.3.3.3. Action sur la qualité

Les pluies ou l'irrigation, selon la période où elles surviennent, peuvent avoir une action sur la qualité du produit (ex. : taux de sucre pour le raisin, conservation des fruits, etc.) Il faudra en tenir compte dans la pratique de l'irrigation.

1.3.4. Le vent

Ce sont surtout ses effets nuisibles qui sont pris en compte lorsqu'il est important :

- Il peut lacérer le feuillage, faire verser les cultures, déformer les arbres mais également éroder et endommager les bâtiments (serres, hangars).
- Il refroidit le sol, les bâtiments...
- Il augmente l'ETP et dessèche l'atmosphère : la plante, en fermant ses stomates, diminue sa transpiration mais encore plus sa photosynthèse (= diminution de la production de matière sèche et de l'efficacité de l'eau consommée).
- Il transporte le pollen mais également les graines de "mauvaises herbes".

Le seul moyen de lutter contre le vent consiste en l'installation ou le maintien de brise vents (artificiels ou haies).

2. ETUDE ET MESURE DES COMPOSANTES CLIMATIQUES

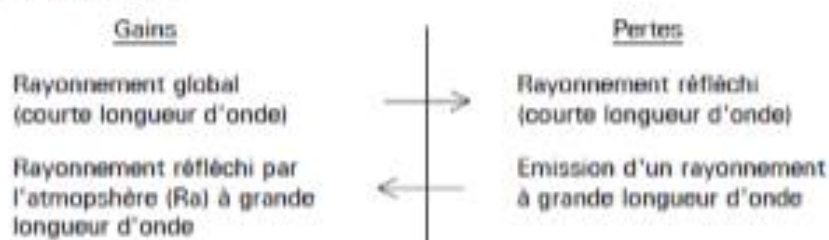
2.1. La lumière

2.1.1. Les rayonnements ou radiations

□ En un lieu donné, le rayonnement (ou "énergie") que reçoit le sol est constitué du rayonnement global à courte longueur d'onde (= rayonnement solaire - pertes diverses).

□ Par contre, le sol en perd une partie en le renvoyant dans l'atmosphère (réflexion). Il émet également des radiations de grande longueur d'onde dont une partie est arrêtée par les nuages et renvoyée vers le sol (soit R_a).

Bilan au niveau du sol :



Ce bilan est négatif la nuit (le rayonnement global est nul et le rayonnement réfléchi aussi puisqu'il n'y a pas de soleil) : le sol se refroidit.

□ Mécanisme des gelées

Les gelées de printemps sont le plus souvent dues à un bilan très négatif la nuit (= gelées blanches par formation de cristaux de glace sur le sol et les végétaux). Ce phénomène se produit en particulier les nuits claires et sèches (R_a est alors très faible).

□ Les mesures de rayonnements sont pratiquées surtout par les stations de recherches.

2.1.2. La durée d'insolation

C'est la durée pendant laquelle le soleil brille.

Elle est mesurée par un héliographe.

Principe : la sphère de verre joue le rôle de loupe. La bande de carton est brûlée sur une longueur correspondant à la durée d'insolation.

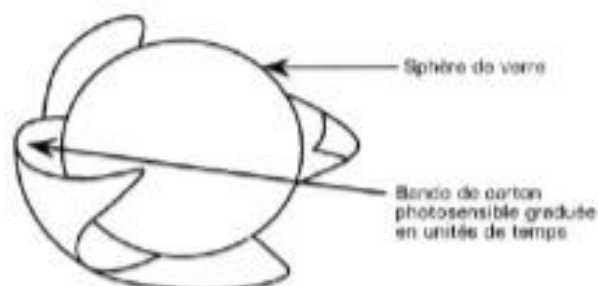


Figure 1-3 : Héliographe de Campbell-Stokes

Intérêt : elle permet d'estimer le rayonnement global.

2.2. La température

On mesure la température de l'air, mais également celle du sol.

2.2.1. Appareils de mesures

Ce sont des thermomètres (mètre = mesurer).

Principe : on mesure les variations de longueur de solide ou liquide sous l'effet de la chaleur (= dilatation).

□ Thermomètre à maxima : Figure 1-4

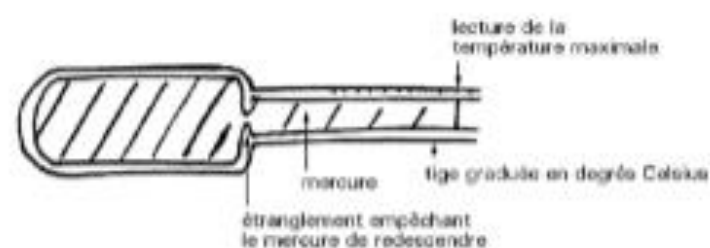


Figure 1-4 : Thermomètre à maxima.

Ce thermomètre donne la température maximale qui s'est produite dans la journée. Il faut le réamorcer (en le secouant) après chaque lecture quotidienne.

□ Thermomètre à minima : Figure 1-5

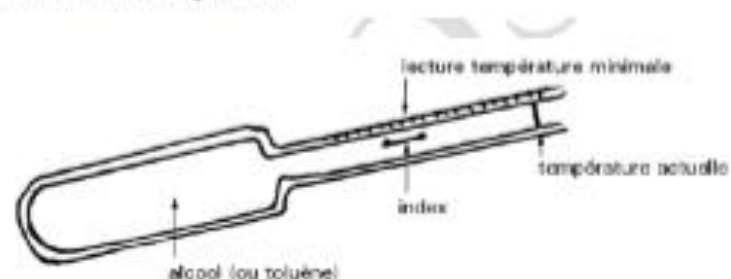


Figure 1-5 : Thermomètre incliné.

La température diminuant, le liquide se rétracte, entraînant sous sa surface l'index. L'index indiquera donc la température minimale qui a eu lieu dans la journée (en général vers l'aube).

Le réamorçage se fait en inclinant le thermomètre pour ramener l'index à la surface du liquide.

□ Thermomètre à maxima-minima : Figure 1-6

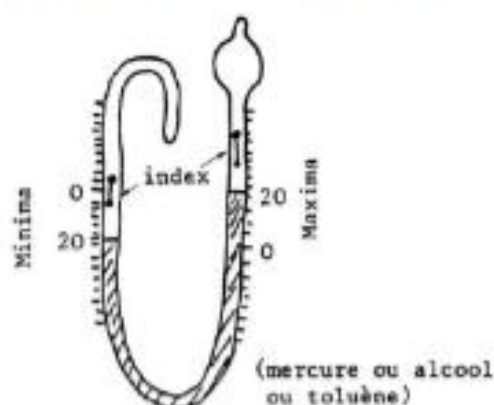


Figure 1-6

Le réamorçage s'effectue à l'aide d'un aimant ramenant les index à la surface du liquide.

Il existe d'autres modèles de thermomètres permettant en particulier d'enregistrer constamment la température sur un diagramme = thermographe (graphe = écrire). Ceux-ci sont surtout employés par les stations mais permettent de repérer à tout instant la température, ses variations dans la journée, la durée d'apparition de températures-seuils, etc.

2.2.2. Mesures obtenues (réalisées une fois par jour)

Mais, en général, la température maximale (TM) et minimale (T_m) suffisent.

On calcule la température moyenne = $\frac{TM + T_m}{2}$.

Remarque : la température moyenne **décadaire** est obtenue en réalisant la moyenne des moyennes journalières sur dix jours. Même principe pour la moyenne **mensuelle**...

2.2.3. Techniques de mesures

□ Température de l'air

La température en général diminue avec l'altitude (sauf l'air en contact avec le sol qui peut être plus chaud).

Un thermomètre placé en plein soleil absorbe de la chaleur selon ses propres caractéristiques, en renvoie une partie... Il n'indique pas la température de l'air mais sa propre température !

Donc, pour avoir une température représentative du lieu (et que l'on pourra comparer à d'autres lieux), on place les thermomètres dans un abri, en augmentant les échanges avec l'air (= provoquer des remous).

Les caractéristiques de l'abri, la hauteur (1,50 à 2 m), l'emplacement (à distance d'au moins 3 fois la hauteur d'un obstacle, sur sol enherbé, portes orientées vers le Nord...) sont standardisées.

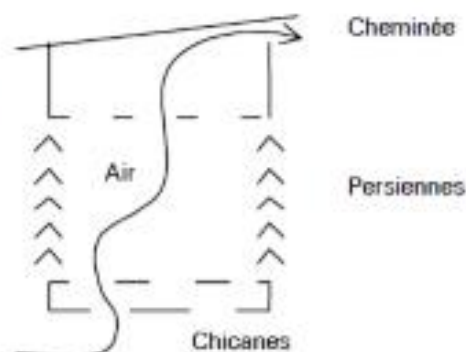


Figure 1-7 : Coupe transversale de l'abri.

☐ Température du sol

Ses variations en surface sont importantes (il reçoit la chaleur du soleil le jour et se refroidit la nuit). Ces variations en profondeur sont déphasées par rapport à la surface (le temps que la chaleur soit conduite). On mesure donc la température à plusieurs profondeurs (10 cm – 50 cm – 1 m), en plaçant les thermomètres dans des galeries. Ces températures sont intéressantes en particulier pour les semis.

☐ Température des végétaux = indices actinothermiques

Des thermomètres placés à 10 ou 50 cm au-dessus du sol donnent la température des organes végétaux à cette hauteur, **seulement la nuit** (de jour, ils indiquent leur propre température). On utilise des thermomètres à minima, indiquant ainsi les **risques de gelée**. Ces températures sont appelées indices actinothermiques.

2.2.4. Intérêts agricoles – Exemples

Ces mesures interviennent pour :

- Le choix des cultures et variétés : somme des températures disponibles, fréquence des accidents climatiques selon le développement des plantes, etc.
- Le choix d'investissement en matériel (ex. : lutte contre les gelées).
- Décider de l'opportunité de certaines interventions : soit semis, soit application de produits de traitements actifs à certaines températures, soit parce que le développement des parasites dépend également des températures.
- Ce facteur intervient dans la détermination des **jours disponibles** pour l'exécution des différents travaux avec les autres composantes climatiques.

2.3. L'eau

L'eau se présente sous différentes formes.

2.3.1. Différentes formes

☐ L'humidité atmosphérique ou degré hygrométrique

L'eau se trouve sous forme de vapeur (gaz). L'air est plus ou moins humide, c'est-à-dire plus ou moins saturé.

Intérêt : pour la conduite d'une ventilation séchante, pour suivre le développement des parasites, pour la prévision des gelées (une humidité faible est favorable).

□ Cette vapeur peut se condenser (= eau liquide) par refroidissement, donnant des brouillards ou des nuages (la nébulosité est estimée 3 fois par jour dans les stations météo). Les gouttelettes de petite dimension restent en suspension.

Elles peuvent grossir et tomber sous l'effet de leur poids sous forme de pluie, grêle, neige (et rosée) = précipitations. Il faut des "impuretés" pour que ce phénomène se produise (ex. : sel). C'est pourquoi on essaie d'ensemencer les nuages avec divers produits pour provoquer des pluies ou lutter contre la grêle en déclenchant la descente de petits grêlons sans attendre leur grossissement. Mais la technique n'est pas au point !

2.3.2. Echanges d'eau plante/air/sol

L'air n'est en général pas saturé en eau : il exerce un "appel" de vapeur d'eau ou pouvoir évaporant sur le sol et les plantes (transpiration).

On définit ainsi l'**Évapotranspiration potentielle (ETP)** qui représente la demande climatique en eau vis-à-vis du sol et des cultures. Ceux-ci peuvent ou non combler cette demande (voir séquence "maîtrise de l'eau"), mais la connaissance de l'ETP permettra de calculer les **départs d'eau** au niveau de la parcelle. Connaissant les apports (pluies + réserve du sol), on pourra calculer à tout moment la quantité restant disponible pour la plante et déclencher éventuellement des irrigations.

Toutes les mesures sont effectuées en millimètres (mm) d'eau.

$$1 \text{ mm} = 10 \text{ m}^3 \text{ d'eau par ha} = 1 \text{ litre d'eau par m}^2$$

2.3.3. Mesures

□ **Hygrométrie** : mesure de l'humidité relative de l'air

Elle est réalisée par le psychromètre : l'association de deux thermomètres, l'un étant sec et l'autre dont le réservoir est maintenu humide par une mousseline, permet de déterminer l'humidité relative. Le premier donne la température de l'air. Le second donne une température plus basse : l'eau s'évapore et provoque un refroidissement. L'évaporation est d'autant plus importante que l'air est sec. L'écart entre les deux thermomètres sera d'autant plus grand que l'humidité relative est faible. Des tables donnent l'humidité relative.

Cet appareil est placé sous abri ou utilisé en fronde dans le cas de mesures de risque de gelée.

Autres appareils : hygromètres à cheveux ou hygrographes à cheveux (= enregistrement en continu).

La longueur du cheveu (ou de fibres synthétiques) varie avec l'humidité.

❑ Précipitations

La quantité d'eau est mesurée par un pluviomètre en plastique répondant à des normes strictes (ainsi que son emplacement : loin des obstacles, bord supérieur de la bague de l'entonnoir horizontal et à 1 m au-dessus du sol...).

Les relevés sont quotidiens.

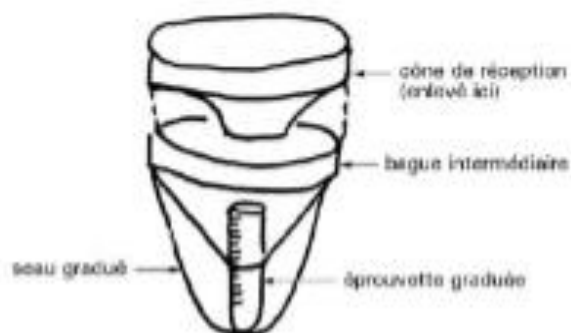


Figure 1-8 : Pluviomètre.

Le pluviomètre à augets basculants : enregistre directement les quantités d'eau recueillies.

Quand un auget est plein, il bascule et se vide. Un stylet inscrit chaque mouvement et la hauteur correspondante d'eau.

On obtient ainsi la hauteur d'eau et son intensité (mm/h).

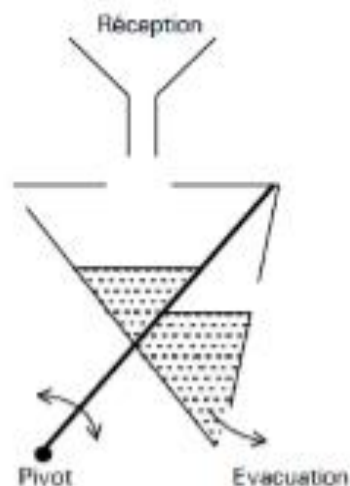


Figure 1-9

□ ETP

Elle peut être calculée à partir de plusieurs paramètres climatiques (dont le rayonnement global).

Ces informations sont disponibles dans les stations départementales de la Météorologie Nationale.

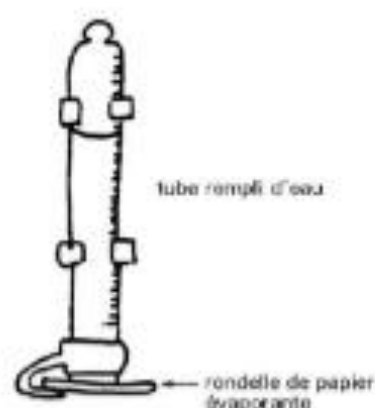


Figure 1-10 : Évaporimètre PICHE.

2.3.4. Mesures obtenues

Les relevés sont quotidiens et donnent lieu aux calculs de moyenne.

- Pluies en mm : quotidiennes, décadaires, mensuelles, annuelles... avec leur fréquence (nombre de jours de pluies par mois, par an), leur intensité en mm/h : les pluies violentes sont en partie perdues par ruissellement et provoquent une érosion importante.
- Humidité : en %.

2.3.5. Intérêts agricoles – Exemples

- L'hygrométrie est mesurée dans les serres et peut donner lieu à l'utilisation de systèmes d'humidification. Elle est utilisée également lors de la mise en œuvre de la ventilation. Elle intervient sur le développement des parasites.
- La pluviométrie, l'ETP permettent, sur plusieurs années, de calculer les performances que doit assurer l'équipement comparativement aux besoins en irrigation (ou pour le drainage).
 - Le suivi de ces paramètres, pour l'année en cours, permettra de raisonner les apports d'eau aux cultures.
 - La détermination des jours disponibles nécessite ces données. L'assolement, le choix du matériel en dépendent.

L'opportunité de certaines interventions est liée à ces mesures : décision de traitements phytosanitaires, en fonction des prévisions mais aussi du temps passé récent, une pluie pouvant favoriser la propagation d'une maladie, etc.

2.4. Le vent – la pression atmosphérique

2.4.1. Le vent

Sa direction est mesurée par des girouettes ; sa vitesse par des **anémomètres** à hélices ou à moulinets directement reliés à la station.

2.4.2. La pression atmosphérique

Poids de l'air au-dessus de la surface d'un liquide (niveau de mesure). Elle s'exprime en **millibars**. L'appareil de mesure est un **baromètre**.

Ces deux mesures servent, en particulier, à prévoir le temps.

2.5. Sources d'informations météorologiques

Toutes ces mesures sont réalisées par :

- des stations de la Météorologie Nationale qui diffusent des prévisions, des documents décrivant le temps passé, récent, ou le climat sur plusieurs années ;
- des stations d'avertissements agricoles du Service de la Protection des Végétaux qui, à partir de leurs observations météorologiques et biologiques, diffusent des avertissements de traitement (il existe également des avertissements pour l'irrigation) ;
- des stations INRA.

2.6. Mesures au niveau de l'agriculteur

Les mesures effectuées ne sont **représentatives** que du lieu où elles sont mesurées. L'extrapolation est toujours délicate : certains paramètres varient peu sur une région (ex. : ETP) alors que d'autres ont une très grande variation (ex. : les pluies !)

L'agriculteur n'a pas non plus intérêt à effectuer toutes les mesures climatiques.

Le poste météorologique agricole peut ainsi se limiter à :

- un pluviomètre,
- un thermomètre maxima-minima sous abri réduit.

Leur installation devra répondre aux normes évoquées plus haut.

Dans certains cas, des thermomètres à minimum ou des thermomètres d'alerte peuvent permettre de déclencher les dispositifs de lutte contre le gel.

3. UTILISATION DES MESURES CLIMATIQUES

Echelle des données : pour l'agriculteur ou l'horticulteur, le climat devrait être étudié au niveau de chaque parcelle (= microclimat). En fait, le producteur doit se référer au poste météo le plus représentatif. C'est le **climat local**, défini au niveau de plusieurs communes ou cantons qui est le plus intéressant.

Le **climat régional**, quant à lui, donne les grandes tendances et devient plus difficile à utiliser au niveau de l'exploitation.

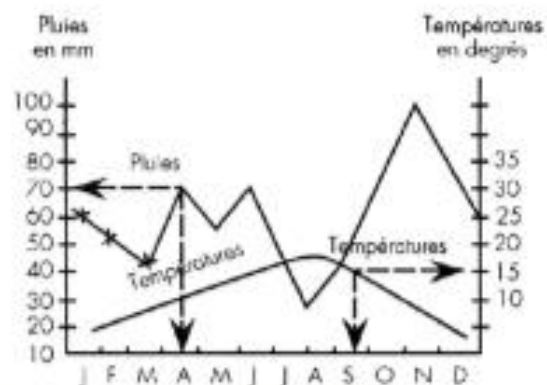
3.1. Utilisation des données obtenues sur plusieurs années

Elles permettent de caractériser le climat par l'analyse du temps passé, évaluer ses potentialités vis-à-vis des cultures, les risques dus à ses fluctuations et ainsi opérer des choix importants sur l'organisation, l'équipement et les productions de l'exploitation.

3.1.1. Représentation du climat

- À partir de moyennes établies sur plusieurs années, on peut représenter graphiquement les données climatiques (un exercice d'application vous est proposé dans le test autocorrectif).
- Objectifs : analyser plus commodément un climat donné.

3.1.1.1. 1^{er} exemple : diagramme ombrothermique de GAUSSEN



On porte les mois sur la ligne horizontale.

- à droite : échelle des températures
- à gauche : échelle des pluies

(à 2 mm de pluie correspondent 1°)

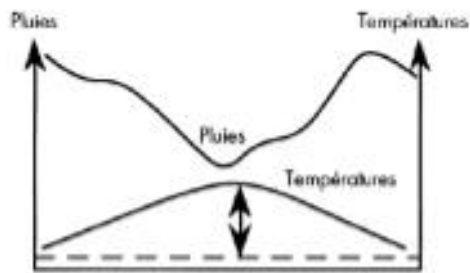
On trace les points correspondant au mois et à la pluviométrie mensuelle correspondante (exemple : avril : 70 mm de pluie).

Idem pour les températures.

GAUSSEN estime que les mois secs sont ceux pour lesquels la courbe pluviométrique passe au-dessous de la courbe thermique.

Ces courbes permettent également de caractériser le type de climat.

Ci-dessus, **climat méditerranéen**, avec deux maxima de pluviométrie (en automne et au printemps) et un maximum de température en été.

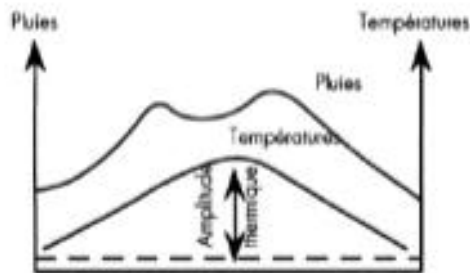


Climat océanique tempéré :

Un minimum pluviométrique en été.

Un seul maximum : automne-hiver.

Régime thermique fortement amorti avec un maximum en été.



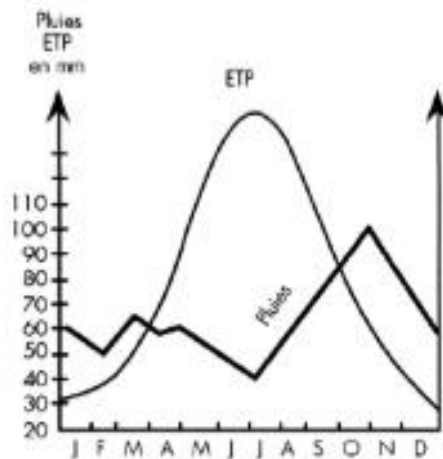
Climat continental tempéré :

Pluviométrie et température présentent leur maximum en été.

Amplitude thermique importante.

3.1.1.2. 2^{ème} exemple : diagramme des bilans hydriques mensuels de THORNTHWAITE

Même principe que précédemment.



On porte pour chaque mois la pluviométrie correspondante en mm.

Puis on porte l'ETP correspondant à chaque mois, en mm.

Les mois secs sont ceux pour lesquels la courbe de l'ETP (en tirets) passe au-dessus de la courbe des pluies.

Le graphique permet de déterminer graphiquement la période de sécheresse, donc d'irrigation, et de donner le déficit théorique :

$$\text{Déficit en mm} = \text{ETP}_{\text{mm}} - \text{Pluies (mm)}$$

3.1.1.3. 3^{ème} exemple

On peut représenter également, pour un paramètre donné, son évolution sur l'année et la comparer à ses valeurs moyennes établies sur plusieurs années.

On peut également caractériser le climat par des indices (= rapports entre différents paramètres).

Certains paramètres climatiques sont également reportés sur des cartes (voir "Somme des températures" - Atlas climatique).

3.1.2. Variabilité climatique

Nous avons travaillé jusqu'ici sur des moyennes. Celles-ci masquent les grandes variations qui existent d'une année sur l'autre.

Une analyse complète du climat étudie la fréquence d'apparition de certaines valeurs des paramètres.

Exemple : 8 années sur 10, le déficit hydrique atteint 40 mm au mois de juillet.

Ce critère de fréquence est évidemment pris en compte dans les choix technico-économiques (on ne choisit pas une installation d'irrigation d'après la valeur d'un déficit hydrique qui n'a lieu qu'une fois sur quatre !).

3.1.3. Exemples

- Comparaison des sommes de températures disponibles 4 années sur 5, dans une région, selon la date de semis et de récolte du maïs, et des besoins des variétés de maïs. Choix d'une variété adaptée.
- Détermination des dates de réalisation des stades des cultures sur une région.
- Evaluation des risques d'accidents climatiques en fonction du développement des cultures (et choix des espèces ou variétés).
- Choix d'assolement, d'équipement, d'organisation du travail grâce à la détermination des jours disponibles 8 années sur 10 pour tel ou tel type de travail (ils sont déterminés par l'observation sur le terrain sur plusieurs années).
- Choix d'équipement pour lutter contre le gel, pour irriguer, etc.

3.2. Analyse du temps passé récent

Elle permet le suivi des cultures et la décision d'interventions culturales adaptées au climat de l'année.

Exemples :

- Le suivi de la pluviométrie et de l'ETP permettent de déclencher les irrigations.
- Température du sol et possibilités de semis, etc.

3.3. Les prévisions

Elles sont basées sur l'analyse des mesures de nombreux facteurs climatiques et de leur évolution.

Les stations diffusent des prévisions :

- *à brève échéance* (pour les 3 à 36 heures à venir), diffusées par téléphone, la presse, par abonnement au bulletin de la météo, par la télévision, par Minitel ;
- *à moyenne échéance* (3 à 6 jours à venir) déjà beaucoup moins fiables.

Intérêt : elles permettent de décider d'interventions :

- nécessitant des conditions climatiques favorables (ex. : traitements : température suffisante – absence de pluie et de vent, etc.) ;
- ou dues à des conditions climatiques défavorables récentes qui se maintiennent (absence de pluie et irrigation – facteurs favorables au développement de maladies et traitements...)

4. MOYENS D'ACTION SUR LE CLIMAT (EXEMPLES)

Il ne faut pas oublier que les facteurs climatiques sont liés et que la modification de l'un d'eux peut entraîner la variation d'un autre (exemples : température et humidité – rayonnement et température...)

Les agriculteurs agissent le plus souvent **préventivement** en adaptant cultures, variétés et techniques culturales au climat local.

Les horticulteurs, par contre, possèdent de plus nombreuses possibilités d'action (dans la mesure où elles sont rentables **économiquement**).

4.1. Facteur lumière

4.1.1. Actions sur l'intensité de la lumière et sa durée

- Soit on la diminue, par **ombrage** (cloies, blanchiment...), ce qui permet de limiter l'élévation de température ou de protéger les plantes d'une lumière trop vive ou par **occultation** (diminution de la photopériode)
- Soit on l'augmente par **éclairage artificiel** (renforcement de l'éclairage hivernal, modification de la durée d'éclairement pour accélérer ou retarder les floraisons...).

4.1.2. Actions sur sa qualité, sa répartition

- Par le choix des types de lampes.
- Par le choix des matériaux de recouvrement des serres, de la charpente.

4.2. Facteur température

4.2.1. L'"effet serre"

Les rayonnements du sol et de l'atmosphère sont "récupérés" par la paroi de la serre. Une partie est réémise dans la serre au lieu d'être perdue, ce qui entraîne un réchauffement de l'air intérieur par rapport à l'extérieur (= gains d'énergie supérieurs dans la serre).

Utilisations :

- emploi d'abris, de serres ;
- le paillage plastique utilise également cet effet (utilisé pour les semis de maïs, par exemple).

4.2.2. Actions sur la température

- On augmente donc la température en utilisant l'effet serre. On peut également chauffer les serres (chauffage de l'atmosphère, du sol).
- On diminue la température par aération, ventilation ou en agissant sur l'hygrométrie, la lumière (ombrage)...

4.3. Facteur eau

4.3.1. L'hygrométrie

- Elle est augmentée par divers systèmes sous abri : bassinages, mist-system (vaporisation d'eau) ou cooling system (= l'air de la serre s'humidifie en passant à travers un matelas humide).
- Elle est diminuée par aération ou ventilation.

4.3.2. Les précipitations

Le producteur peut agir surtout par des apports d'eau (irrigation).

Mais il devra également faire face aux manques d'eau en diminuant les pertes ! (action sur l'ETP par l'emploi de brise-vents, amélioration de l'infiltration de l'eau, etc. Voir séquence "Maîtrise de l'eau").

4.4. Facteur vent

Nous avons vu les effets néfastes du vent.

L'implantation de brise-vents (haies, filets...) permet de diminuer ces inconvénients.

4.5. Le cas des accidents climatiques

Excès de température, grêle...

4.5.1. Les gelées

Ce sont surtout les gelées de printemps qui sont à craindre, le végétal étant plus fragile.

☐ Leur action sur les végétaux

Elle a été étudiée dans la première partie de cette séquence.

☐ Le mécanisme d'apparition des gelées

Il dépend du bilan du rayonnement au niveau de la végétation (le bilan est négatif – voir 2.1. : la lumière).

☐ L'apparition des gelées dépend de certaines conditions

- *Facteurs météorologiques* favorisant les gelées :

La température maximale du jour précédent est peu élevée. La nuit est claire et sans vent. L'air est sec (l'eau, en gelant, libère de la chaleur, retardant le refroidissement de l'air).

- *Conditions locales* d'aggravation des gelées :

Le sol est sec (il se refroidit plus vite), travaillé (la chaleur venant des profondeurs a plus de mal à parvenir à la surface) ou couvert par de la végétation ou paillass (qui joue le rôle d'écran thermique en renvoyant la chaleur vers le sol et non plus, vers les cultures).

Topographie-relief : sur une pente l'air froid s'écoule et peut s'accumuler contre un obstacle ou dans une cuvette ou bas-fond.

☐ La lutte peut être :

- Passive :

- en choisissant des espèces et variétés résistantes au froid, dont les stades sensibles ne coïncident pas avec les périodes d'apparition des gelées (étude climatique fréquentielle) ;
- en évitant les cultures sensibles dans les bas-fonds ;
- en maintenant un sol propre et assez tassé ;
- en supprimant les obstacles à l'aval de la parcelle...

- Active :

- en empêchant les pertes par rayonnement grâce à des écrans de fumée – ce système est peu efficace ;

- en compensant les pertes par emploi de chaufferettes, générateurs d'air chaud avec brassage de l'air... Ces méthodes sont coûteuses et utilisées pour des cultures à haut rapport.

L'aspersion peut être employée (l'eau en se solidifiant libère de la chaleur).

4.5.2. La grêle

La lutte n'est pas encore au point et fait l'objet de nombreuses recherches.

La détection des nuages à grêle peut se faire par les radars. On essaie d'inséminer les nuages avec des particules (iodure d'argent) pour multiplier la formation du nombre de grêlons. Ceux-ci seront donc plus petits et donc "moins dangereux".

La lutte passive consiste en la pose de filets mais leur coût est très élevée.

Le meilleur moyen de se prémunir contre cet accident climatique reste l'assurance "Grêle".

Retenons :

Climat et Production végétale (Notions et rappel notions Agroclimatiques)

- Connaissance des paramètres climatiques
- Influences des facteurs climatiques
- Utilisation des données climatiques
- Moyens d'action sur les facteurs climatiques

Chapitre 9 : Sol et Production Végétale

9.1. Définition des sols et production végétale

Couche de terre en général meuble et peu épaisse (quelques centimètres à quelques mètres), le sol recouvre une grande partie des continents : on parle de couverture pédologique. Le sol est un milieu dynamique, en perpétuelle évolution. Ceci lui confère sa quatrième dimension, qui est temporelle. Il y a en permanence évolution, transformations, cycliques ou non, des constituants et des structures. Et il y a, au sein des sols, de manière permanente ou intermittente, des transferts verticaux et latéraux de matières, sur des distances qui peuvent être très grandes : transferts solides, liquides, gazeux, biologiques, à l'échelle du micro-vide comme à l'échelle du bassin versant. Ainsi, au gré des saisons, le sol change d'aspect et de fonctionnement et, d'année en année, les sols naissent, puis mûrissent, c'est-à-dire s'enrichissent, puis vieillissent, c'est-à-dire s'appauvrissent. De par leurs activités, les sociétés humaines influencent fortement ces dynamiques : interventions directes, par exemple, de l'agriculteur qui défriche et cultive ; mais aussi, interventions indirectes par le canal des modifications climatiques, des modifications de la composition de l'atmosphère et de leurs conséquences sur les activités biologiques.

9.2. Fonction du sol

La couverture pédologique assume par rapport aux besoins et à la santé des hommes quatre groupes de fonctions essentielles :

9.2.1. Des fonctions biologiques

Le sol abrite partiellement ou complètement de nombreuses espèces animales et végétales ; de nombreux cycles biologiques incluent le sol. Par ailleurs, l'activité biologique du sol est essentielle à sa construction, à son fonctionnement, à sa fertilité : agrégation, porosité, disponibilité des éléments nutritifs, etc. Le sol n'existe pas sans activités biologiques abondantes et diversifiées.

9.2.2. Des fonctions alimentaires

Le sol produit et contient tous les éléments nécessaires à la vie ; il accumule puis met à la disposition des plantes et des animaux la majeure partie de ces éléments. Il joue le rôle d'un garde-manger, plus ou moins grand et plus ou moins rempli. Une grande partie de ce que les

plantes mangent, boivent, respirent, vient du sol et les plantes utilisent, directement ou indirectement, la totalité de l'épaisseur du sol, jusqu'à plusieurs mètres de profondeur.

9.2.3. Des fonctions d'échange et de filtre

Le sol est un milieu poreux traversé en permanence par des flux hydriques et gazeux. L'eau des puits et des sources a préalablement traversé le sol ; la porosité du sol en influence l'alimentation. Par ailleurs, le sol est un filtre : l'eau, en le traversant, se transforme ; la qualité chimique et biologique des eaux dépend des propriétés des sols. Le sol est également en échange constant avec l'atmosphère.

9.2.4. Des fonctions de matériau et de support

Le sol est souvent matériau de construction : sable, argile, cuirasse ferrugineuse, croûte calcaire. Il est à la fois support et matériau de bâtiments, de routes, de barrages, de canaux ou de poteries. Beaucoup de minerais viennent du sol et non des roches : bauxite (aluminium), fer, or ; ces minerais sont présents, en faible quantité, dans les roches ; l'altération les concentre dans les sols. Au total, pour les sociétés humaines, le sol est source de vie. Par l'intermédiaire des plantes, des animaux, de l'eau, des minerais, le sol nourrit les hommes, leur santé et leurs activités en dépendent. Il est donc essentiel, pour tous, de savoir le connaître et de savoir l'utiliser.

9.3. Sols, paysages, milieu

9.3.1. Regarder le sol dans le contexte du paysage

Nul besoin d'être spécialiste pour remarquer que le sol change d'un paysage à l'autre et qu'il change d'un endroit à l'autre d'un même paysage : les couleurs, les morphologies superficielles, les épaisseurs, les morphologies internes visibles sur les coupes, les humidités, tout cela se modifie ; ces variations se font en fonction des autres composantes du milieu : le climat, le relief, la végétation, la roche, etc.

9.3.2. Le sol, transition entre le monde inanimé (les roches) et le monde vivant

Le sol, ressource renouvelable, se fait à partir de la roche sous-jacente, la roche-mère, qui s'altère, se transforme sous l'effet des actions conjuguées de la vie, de l'eau, de l'air. Les sols sont donc différents selon les roches, les climats, les végétations, les reliefs, et les sociétés humaines qui en vivent. En particulier, la potentialité du sol par rapport à la vie résulte de la richesse des roches, de l'agressivité du climat qui appauvrit plus ou moins vite le sol, des

érosions naturelles qui rajeunissent en permanence les sols appauvris par la vieillesse, de l'histoire des activités humaines.

9.4. Les bases d'une démarche pour étudier les sols

La couverture pédologique est un milieu naturel continu : ce milieu a trois dimensions spatiales et une dimension temporelle.

Les principales caractéristiques de la couverture pédologique sont de trois types.

> ses constituants sont minéraux et organiques, solides, liquides, ou gazeux.

> comme tout corps naturel, le sol a une morphologie. Au même titre qu'une plante ou qu'un animal ont des organes reconnaissables que chacun sait décrire et dont les fonctions sont connues de tous, le sol a des horizons, des couleurs, des agrégats, des vides, des nodules et chacun de ces traits peut être décrit, a une fonction, peut être interprété en terme de fertilité et en terme de comportement face aux utilisations du sol.

Les constituants du sol sont donc organisés entre eux, verticalement et latéralement, formant des structures qui sont spécifiques du milieu sol : c'est la morphologie de la couverture pédologique. Ces structures sont le résultat de l'histoire de la formation des sols, mais aussi de leurs propriétés et dynamiques actuelles : ainsi, l'étude des structures permet de découvrir les propriétés physiques, chimiques, biologiques des sols et leurs relations avec les autres éléments du milieu ; elle permet de comprendre le passé et le présent du sol et d'élaborer des prévisions concernant le futur du sol et du milieu qui lui est associé.

L'observation de la morphologie des sols devrait donc être un préalable à toute intervention humaine, la fertilité et les conditions d'utilisation d'un sol étant très largement fonction de ses caractères morphologiques : de même qu'un médecin examine l'aspect général d'un malade avant de lui prescrire éventuellement des analyses, l'agriculteur et l'agronome doivent savoir examiner la morphologie d'un sol avant de prescrire, si nécessaire, la réalisation d'analyses chimiques et avant d'agir en matière de techniques culturales.

9.5. Organisations élémentaires du sol

Pour découvrir le sol, il faut d'abord le regarder puis l'analyser. La découverte et l'étude de la couverture pédologique passent obligatoirement par l'ouverture de fosses. L'observation d'une fosse donne le profil vertical du sol à cet endroit. Chaque fosse est donc une unité d'observation, que l'on appelle le profil.

9.5.1. Fosses pédologiques

9.5.1.1. Localisation

Avant de se poser la question de la localisation des fosses, la région d'étude doit avoir été analysée en termes de paysages : on ne choisira qu'ensuite une unité de modelé élémentaire sur laquelle on décidera de faire l'étude de la couverture pédologique. Une fois l'organisation de la couverture pédologique comprise, on pourra extrapoler les résultats acquis. On suppose ici que l'étude porte sur un bassin versant de quelques hectares. La première étape consiste à choisir un premier axe, le long duquel seront faites les premières observations. Cet axe, pour recouper au mieux la diversité existante, sera perpendiculaire aux courbes de niveau. Le long de cet axe, on ouvre pour commencer au moins trois fosses.

Ouverture

Les dimensions d'une fosse doivent permettre à un observateur d'y travailler confortablement : un carré d'un mètre de côté est un minimum. Sa profondeur dépend de l'épaisseur du sol : une fosse est assez profonde lorsque la roche à partir de laquelle le sol s'est formé (roche-mère) est visible au fond. Quand les sols sont très épais, on ne peut creuser toutes les fosses jusqu'à la roche : on s'arrête alors vers deux mètres de profondeur. L'utilisation de la tarière complète le travail fait à partir des fosses. On l'utilise lors d'une reconnaissance rapide, préalable à l'ouverture des fosses ; on l'utilise également après l'étude des fosses, pour rechercher les extensions latérales des observations faites dans les fosses. Cependant la tarière ne doit jamais être utilisée seule : les informations morphologiques que l'on peut en retirer sont toujours très incomplètes et modifiées par rapport à la réalité du sol en place.

Description

L'étude d'une fosse commence par une reconnaissance rapide des principales variations morphologiques, structurales, en terme de couleurs, agrégats, textures, porosités, traits pédologiques, enracinements, humidités. Cette reconnaissance permet une première délimitation des principaux horizons. Chaque horizon est un volume de la couverture pédologique, plus ou moins parallèle à la surface du terrain. Il ne faut cependant pas oublier que la fosse ne représente qu'une fenêtre d'observation limitée, ouverte ponctuellement dans la couverture pédologique : l'horizon que l'on y voit est un volume dont les limites latérales, non visibles dans la fosse, sont à rechercher.

La deuxième étape du travail est alors d'entreprendre la description détaillée des organisations élémentaires et des assemblages de chaque horizon, ainsi que de décrire comment on passe,

verticalement, d'un horizon à l'autre, par modification de ces organisations élémentaires et assemblages.

9.5.2. Interprétation des couleurs

La couverture pédologique est un milieu très coloré : presque tous les sols présentent des variations verticales et latérales de couleur, progressives ou rapides. Au sein d'un horizon, la couleur peut être homogène ou hétérogène : présence de volumes de couleur différente : nodules, pellicules, réseaux.

9.5.2.1. La description des couleurs

La couleur d'un volume de sol est déterminée par référence à un code international de couleur : le code Munsell. Chaque couleur est notée par trois valeurs : la teinte (hue), la clarté (value), la pureté (chroma). La couleur change en fonction de l'humidité du sol : il faut donc la mesurer aux états sec et humide. Chaque horizon du sol se définit par une ou plusieurs couleurs. S'il y a plusieurs couleurs, il faut décrire, pour chaque type de volume de couleur, son abondance, son extension, ses formes, ses limites, son contraste par rapport aux autres volumes de couleur, ses relations avec les autres caractères d'organisation élémentaire de l'horizon : agrégats, vides, nodules, revêtements...

9.5.2.2. La signification des couleurs

Les couleurs du sol s'interprètent en termes de constituants et de mécanismes.

Les principaux constituants qui colorent le sol

- > la matière organique colore en sombre : noir, marron, gris foncé... ;
- > le calcaire et les sels solubles, tels les chlorures et les carbonates, colorent en blanc ;
- > le fer colore différemment selon son état ;
 - le fer ferreux, dont la présence est due à un excès d'eau, colore en gris et en bleu ;
 - la goethite (oxyhydroxyde, FeO(OH)), conséquence d'un régime hydrique assez peu contrasté colore en brun et en jaune ;
 - l'hématite (oxyde, Fe_2O_3), conséquence d'un régime hydrique très contrasté, avec alternance fréquente d'une humidité forte mais aérée et d'une sécheresse accentuée, colore en rouge.

9.5.2.3. Les mécanismes en jeu

Les mécanismes qui colorient sont ceux qui agissent sur la présence et l'état des constituants :

> les activités biologiques, animales et végétales, accumulent de la matière organique : les couleurs s'assombrissent ;

> les migrations et accumulations de l'argile, du calcaire, des sels : les horizons appauvris en argile et en fer s'éclaircissent ; ceux enrichis en argile et en fer jaunissent, brunissent ou rougissent ; ceux où le calcaire ou les sels s'accumulent, blanchissent ;

> les régimes hydriques : les horizons très bien drainés, recevant beaucoup d'eau mais s'asséchant vite et souvent, sont facilement rouges ; les horizons drainant moyennement bien, sont bruns ou jaunes ; les horizons drainant mal, sont gris ou tachetés de gris, de rouille, de jaune ou de noir.

L'observation et la mesure des couleurs permettent donc de commencer à découvrir la constitution et le fonctionnement du sol. À partir de là, des déductions sont possibles quant à la fertilité du sol. Les données de fertilité que l'on peut déduire sont celles qui sont liées à la présence de certains constituants, à l'état du complexe adsorbant et à la dynamique de l'eau.

9.5.3. Interprétation des agrégats

Le deuxième caractère morphologique qui permet sur le terrain de poursuivre la description des horizons d'un sol concerne la façon dont les différents constituants du sol sont agrégés : lorsque l'on dégage à la pointe du couteau un volume du matériau sol observé, la plupart du temps ce volume se fragmente naturellement en agrégats de formes et de tailles diverses. Les agrégats résultent de l'assemblage des particules entre elles et de la fissuration des ensembles agrégés. Comme pour les couleurs, la présence et la morphologie des agrégats varient verticalement et latéralement ; au sein d'un même horizon, des agrégats de morphologies différentes peuvent coexister, chaque type ayant sa signification propre en termes d'histoire, de fonctionnement et de fertilité du sol. En fonction de la présence ou non d'agrégats au sein d'un horizon, on distingue, au niveau de chaque horizon, deux types principaux de structures :

- > les structures fragmentaires : il y a des agrégats ;
- > les structures continues : il n'y a pas d'agrégats.

9.5.4. Interprétation des vides

Le troisième caractère morphologique qui permet, sur le terrain, de poursuivre la description des horizons d'un sol, concerne les volumes occupés par l'air, par l'eau, par la matière vivante : ce sont les vides, autrement dit la porosité de l'horizon. On appelle porosité d'un matériau pédologique le volume non occupé par les constituants solides. C'est le volume occupé par les constituants liquides et gazeux ; ce sont aussi les voies des transferts solides, liquides et gazeux, ainsi que de l'activité biologique. La porosité totale d'un volume de sol varie, selon les horizons, de 20 % (horizon très peu poreux, très compact) à 70 % (horizon très poreux, très léger). Une grande partie de la porosité est invisible à l'œil nu, voire à la loupe : les microscopes optiques et électroniques sont nécessaires pour tout voir et comprendre. On peut cependant, à l'aide de l'œil, de la loupe et de quelques mesures, voir, déduire, mesurer et comprendre l'essentiel.

9.5.4.1. Porosité et la fertilité des sols

La porosité de la couverture pédologique détermine ses relations avec l'air, l'eau, la vie. C'est, en effet, de la porosité de la couverture pédologique que dépendent :

- > la dynamique des échanges gazeux (eau, CO₂, CH₄, NO_x, ...) entre le sol et l'atmosphère : les sols influencent la composition de l'atmosphère mondiale, donc les climats ;
- > le fonctionnement, quantitatif et qualitatif, des rivières et des nappes phréatiques : les eaux de pluie et d'irrigation traversent plus ou moins facilement et plus ou moins rapidement les divers horizons de la couverture pédologique ; la porosité des sols conditionne les importances relatives des circulations verticales et latérales et c'est donc d'elle que dépendent la recharge des nappes phréatiques et le régime des crues des rivières ; c'est également d'elle que dépend la composition chimique des eaux de ces nappes et rivières, puisque c'est au cours de leur passage dans la porosité des sols que les eaux acquièrent au contact des parois des vides une partie de leur composition chimique ;
- > le déclenchement des érosions, superficielles et internes : l'érosion hydrique est toujours provoquée par une eau, qui n'ayant pas trouvé la porosité dont elle a besoin pour s'infiltrer verticalement dans le sol, ruisselle, donc érode. La fertilité d'un sol est d'autant meilleure : > que la macroporosité est suffisante pour éviter les excès d'eau, les engorgements qui noient les racines ;
- > que la microporosité est suffisante pour que de l'eau soit retenue et puisse être mise à disposition des racines au fur et mesure des besoins ;

> qu'il n'y a pas, dans le volume de sol exploré par les racines, de variation brutale de porosités : entre deux horizons, entre les porosités inter et intra-agrégats ;

> qu'il n'y a pas, dans le temps, de variation trop importante de porosité en fonction de l'humidité : les horizons argileux gonflants et les agrégations fragiles sont défavorables au développement des systèmes racinaires.

Enfin, dans la mesure où l'on veut faire jouer aux sols un rôle de filtre (épuration des eaux usées), la porosité doit être suffisante pour faciliter l'accès aux sites d'échanges.

9.5.5. Interprétation des traits pédologiques

Le quatrième caractère morphologique qui permet, sur le terrain, de poursuivre la description des horizons d'un sol et d'en interpréter la genèse et le fonctionnement, concerne des organisations qui résultent de mouvements et de transferts au sein des sols : mouvements et dépôts de particules, argileuses, limoneuses, sableuses ; mouvements et précipitations d'éléments en solution : calcaire, sels, matières organiques ; mouvements des animaux et des racines ; gonflement des argiles. Ces mouvements et transferts aboutissent à la création de traits pédologiques : revêtements, nodules, bandes, pédotubules. Ce sont, pour la plupart, des figures d'accumulation de matière (argiles, carbonates, sables...), accumulation absolue après migration, ou accumulation résiduelle après départ des autres éléments. L'ensemble de ces organisations se décrit successivement sur le terrain, à l'œil nu et à la loupe, puis au laboratoire à l'aide de microscopes.

9.5.5. Interprétation de la solidité des agrégats

Les associations entre elles des particules constitutives des sols sont plus ou moins fragiles, plus ou moins stables. En particulier, la solidité des structures en agrégats et, corrélativement, la stabilité des vides liés à l'agrégation et aux activités biologiques, sont très variables. Or la solidité des agrégats et la stabilité de certains types de porosité sont des critères importants de la fertilité des sols.

Afin de définir la solidité d'un agrégat, on utilise deux notions importantes : la consistance et la stabilité structurale, la plus importante étant la stabilité structurale.

La consistance est la résistance d'un agrégat, ou d'un éclat, à sa destruction par pression. Sur le terrain, en décrivant un sol, on estime cette consistance par la résistance, de l'agrégat ou de l'éclat, à sa destruction par pression entre les doigts. La stabilité structurale est une estimation ou une mesure de la résistance des agrégats, donc des porosités structurales, face aux agents qui peuvent les détruire, et en particulier face à l'eau.

9.6. Principaux types de sol

Les couvertures pédologiques sont faites d'horizons qui se superposent verticalement et se relaient latéralement. Pour décrire une couverture pédologique, il faut en reconnaître les horizons ainsi que leurs relations verticales et latérales.

9.6.1. Formation des horizons

Les dynamiques qui conduisent à la formation des horizons pédologiques sont le résultat de quatre types de mécanismes, que nous décrirons dans ce chapitre : > des mécanismes d'altération des roches et de leurs constituants ; > des mécanismes biologiques et d'accumulation de matières organiques ; > des mécanismes de libération, de migration puis d'accumulation des constituants résultant des mécanismes d'altération et d'évolution des matières organiques ; > des mécanismes d'arrangement et d'agrégation des constituants issus de l'altération puis mis en place par les migrations.

9.6.2. Types d'horizons et leurs superpositions

Nous présentons ici, depuis la surface jusqu'à la roche-mère, la morphologie des neuf grands types d'horizons que l'on pourra être amené à reconnaître sur le terrain. Les combinaisons évolutives, verticales et latérales, de ces neuf horizons sont à la base de toute la diversité existante.

9.6.2.1. Morphologie des types d'horizons □

- **Horizons organiques : O**

Les horizons organiques (ou litière), que l'on ne trouve en général que sous végétation arborée, résultent du dépôt à la surface du sol de matières végétales aériennes mortes : feuilles, brindilles, etc., auxquelles peuvent s'ajouter des débris d'origine animale. Ces apports sont plus ou moins rapidement transformés en matière organique, par diverses actions biologiques végétales et animales (bactéries, champignons, insectes), puis incorporées dans l'horizon A sous-jacent. Les horizons O sont posés sur le sol ; on mesure leur épaisseur du bas de l'horizon vers le haut. Sur les sols saturés en eau pendant de longues périodes annuelles, les horizons O peuvent devenir très épais : plusieurs dizaines de centimètres, voire plus, avec des compositions végétales originales, liées à l'excès d'eau ; des tourbes dénommées horizons H, prennent ainsi naissance.

- **Horizons organo-minéraux : A**

Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

- > ce sont des horizons de surface (éventuellement sous un horizon O) ; ils sont éventuellement modifiés par l'action de l'homme (dans ce cas on les nomme Ap) ; leur épaisseur est en général de l'ordre de quelques dizaines de centimètres ;
- > ils sont plus riches en matière organique que les horizons sous-jacents ; leur teneur en matière organique est très variable : de 1 à 20 %, selon les régions climatiques, les couverts végétaux, les roches, les situations topographiques, les influences anthropiques ;
- > ils sont de couleur plus sombre que les horizons sous-jacents ;
- > ils ont une structure fragmentaire arrondie, largement influencée par la matière organique et par l'activité biologique ; en surface, la structure peut être lamellaire sur quelques millimètres d'épaisseur ;
- > on note la présence abondante de pédotubules, dus à l'activité biologique ;
- > ils sont généralement appauvris en constituants minéraux : argiles, carbonates, hydroxydes ;
- > ils sont souvent enrichis en sels solubles et, sur le complexe adsorbant, en cations et en anions.

- **Horizons éluviaux : E**

Les horizons éluviaux E sont des horizons nettement appauvris en particules de dimension argileuse (< 2 m) et en minéraux argileux : cet appauvrissement est suffisant pour qu'il soit morphologiquement visible sur le terrain. Leurs principales caractéristiques sont les suivantes :

- > ils sont, en général, proches de la surface du sol, sous un horizon A. On peut aussi les trouver en profondeur, juste au-dessus, voire même à l'intérieur, de l'horizon C. Leur épaisseur varie de quelques centimètres à plusieurs dizaines de centimètres ;
- ils sont appauvris, non seulement en particules et en minéraux argileux, mais aussi en sels, en carbonates, en hydroxydes ; en général, l'appauvrissement en sels et en carbonates a précédé l'appauvrissement en éléments argileux, l'appauvrissement en hydroxydes étant le plus souvent conjoint à celui en éléments argileux.

En conséquence des appauvrissements, ils connaissent une concentration corrélatrice en constituants migrant moins facilement : limons, sables, minéraux peu altérables ; > leur couleur est toujours plus claire que celle de l'horizon sous-jacent (qui est, le plus souvent, un horizon B) ; > la structure est soit continue (massive ou particulaire), soit fragmentaire peu développée et fragile ; > il y a présence éventuelle de revêtements sableux résiduels du départ des particules argileuses : l'argile étant partie, le sable résiduel se dépose sur les surfaces horizontales, en particulier sur les parties supérieures des graviers et cailloux, formant comme des coiffes. Le

complexe adsorbant des horizons E est, normalement, partiellement ou totalement désaturé en cations basiques (Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+) ; leur pH est donc acide.

- **Horizons anthropiques : Ap**

Les horizons Ap sont des horizons superficiels dont la morphologie est partiellement le résultat du travail des agriculteurs : travail du sol, fertilisation, irrigation, successions culturales. Ils proviennent de la modification d'horizons A, E, parfois aussi B ou S. Ces modifications portent principalement sur les couleurs, les agrégations, les porosités, les traits pédologiques, les solidités des agrégats, mais aussi sur les constituants, organiques et minéraux, les propriétés et les comportements physico-chimiques et biologiques. Souvent, la différenciation morphologique, conséquence de l'action de l'agriculteur, est telle que ce sont plusieurs horizons Ap qui prennent naissance : Ap1, Ap2, etc. que l'on distingue facilement par les couleurs, agrégats, porosités. À signaler enfin les sols complètement construits par les hommes ; c'est le cas, par exemple, des terrasses, des sols reconstitués après exploitation d'une carrière, etc. □

- **Horizons illuviaux : B**

Les horizons B sont des horizons enrichis en constituants, minéraux ou organiques, une partie ou la totalité de l'enrichissement étant la conséquence d'une migration verticale ou latérale de matière. On ne parle d'horizon B que si l'on a des preuves morphologiques qu'une partie de l'accumulation est le résultat d'une migration, la preuve la plus sûre étant la présence de traits pédologiques d'accumulation : revêtements, nodules, bandes. Les horizons B sont en général situés dans la partie moyenne du sol. Leur couleur est fonction de l'élément accumulé ; il y a souvent des taches de couleur. L'agrégation y est généralement fragmentaire.

- **Horizons d'altération à structures pédologiques : S**

Il s'agit d'horizons :

- > à structure pédologique fragmentaire ;
- > appauvris, par rapport à la roche-mère, en constituants solubles : sels, carbonates;
- > enrichis, par rapport à la roche-mère, en constituants issus de l'altération : sables, limons, argiles, hydroxydes ;
- > sans traits pédologiques d'accumulation ;
- > éventuellement très riches en argiles d'altération. Ils sont en contact direct soit avec la roche-mère, soit plus souvent avec un horizon d'altération C.

Les horizons Sk des sols ferrallitiques sont fortement appauvris en silice, avec néoformation de kaolinite ; ils peuvent être très épais.

- **Horizons d'altération à structures lithologiques : C**

L'horizon C se situe à la base du sol, en continuité avec la roche-mère qui lui donne naissance. L'altération, par rapport à la roche-mère, se reconnaît principalement par une porosité plus forte, donc par une densité plus faible, et par les transformations minéralogiques. Cependant, ces transformations ne modifient pas l'essentiel de la structure lithologique qui reste bien visible et dominante. À l'intérieur des horizons C, il peut y avoir présence : > soit de traits pédologiques d'accumulation : d'argile, d'hydroxydes, de matière organique, de silice, de calcaire, de gypse, de sels solubles ; on parle alors de Ct, Co, Ch, Csi, Cca, Ccs, Csa ; > soit de traits pédologiques d'éluviation de particules argileuses : cela peut aller jusqu'à la formation d'un horizon E au sein de l'horizon C.

- **Les horizons hydromorphes : G et g**

On distingue deux types principaux d'horizons hydromorphes :

- > ceux dont la morphologie résulte d'un excès d'eau presque permanent : on les appelle des gley et on les dénomme G ; leur couleur est dominée par le gris, le vert, le bleu ;
- > ceux dont la morphologie résulte d'un excès d'eau temporaire : on parle de pseudogley et on attribue la lettre g à l'horizon concerné.

L'hydromorphie est un processus secondaire qui peut se surimposer sur n'importe quelle morphologie pédologique pré-existante. Si cette hydromorphie est forte et permanente, elle efface la morphologie pré-existante : d'où l'horizon G ; si elle n'est pas dominante, la morphologie est simplement marquée par des traits d'hydromorphie tout en conservant tout ou partie des traits pré-existants : on parle alors de Ag, Eg, Btg, Sg, Cg, etc.

Retenons :

Étude morpho pédologique des sols

- Connaissance des différents indicateurs de qualités de sols
- Moyens d'action sur les différentes propriétés des sols

Chapitre 10 : Fonctionnement d'un Peuplement Végétal cultivé

10.1. Définition- Généralités

Le peuplement végétal est constitué d'une population de plantes (mono spécifique ou plurispécifique) soumise à des conditions de milieu identiques et concourant à un objectif de production. Quelle que soit la nature de cet objectif, l'agriculteur crée un groupe d'individus qui, du fait de leur proximité, ont chacun un comportement différent de celui qu'ils auraient isolément. Par exemple, lorsque la densité de peuplement s'accroît au-delà d'un certain seuil, la biomasse de chaque plante diminue alors que celle du peuplement se maintient à un niveau dépendant des potentialités du milieu. Cette compétition se manifeste aussi bien pour la lumière, que l'eau ou les éléments minéraux. En outre, elle évolue en nature et en intensité tout au long du cycle.

Le peuplement végétal est une entité présentant à la fois des caractéristiques physiques et des propriétés biologiques. En effet, les plantes évoluent au cours du temps selon un programme morphogénétique pré-établi et elles sont capables de réguler leurs échanges avec l'environnement. Grâce à la photosynthèse, le peuplement végétal convertit, avec l'aide de flux d'eau et de minéraux, de l'énergie lumineuse sous forme d'énergie chimique contenue dans la biomasse végétale. Le rendement de cette conversion est en général inférieur à 1 % sur un cycle de culture, parce que l'interception de la lumière par le peuplement n'est pas toujours maximale, parce que la photosynthèse peut être limitée par de nombreux facteurs (CO_2 , température...) et les maladies ou parasites engendrent des pertes supplémentaires.

10.2. Composantes du peuplement

L'examen détaillé du système « peuplement végétal » permet d'en identifier les composantes, de comprendre les flux d'énergie et de matière. Les feuilles, capteurs aériens, assurent la fixation du carbone atmosphérique et l'élaboration des assimilats. En tant que surfaces d'échange avec l'atmosphère (transpiration), elles interviennent sur les flux d'eau dans le système.

Les tiges, issues de l'élongation des entre-nœuds, conditionnent la disposition spatiale des capteurs aériens et organes reproducteurs et contiennent les vaisseaux pour le transport de la sève brute et de la sève élaborée.

Les racines, capteurs souterrains, permettent, au-delà de leur rôle d'ancrage, la capture des éléments minéraux et de l'eau indispensables au fonctionnement et à la croissance des organes. Les organes reproducteurs ou de réserve constituent des organes d'accumulation, issus soit de la tubérisation de certains organes végétatifs, soit des inflorescences après fécondation.

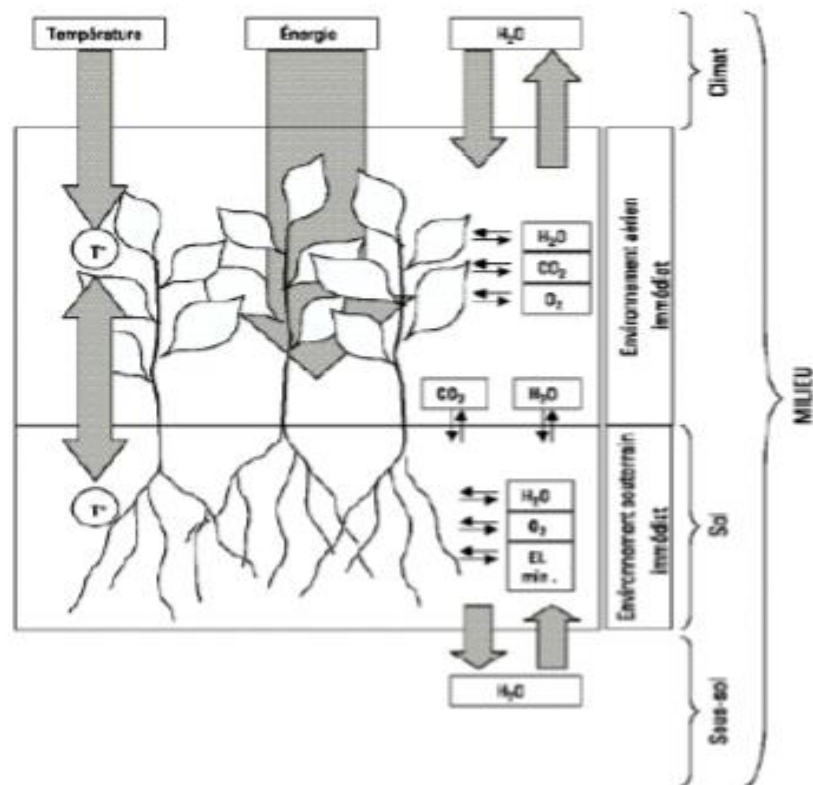


Figure 26 : Le système peuplement végétal (d'après Leterme, 1871)

10.3. Mise en place des différents organes

Le développement est l'ensemble des modifications qualitatives de la plante conduisant à l'apparition de nouveaux organes. Chaque organe est issu de trois phases successives : l'induction (capacité de la plante à reproduire), l'initiation (différenciation et multiplication cellulaire) puis la croissance (élongation cellulaire). La germination est la première étape du développement de la plante. Par la suite, l'apparition des nouveaux organes résulte du fonctionnement des deux méristèmes radiculaire et caulinaire de l'axe séminal. Le méristème caulinaire élabore une succession d'unités fonctionnelles appelées phytomères et comprenant une feuille, un (ou plusieurs) bourgeon(s) axillaire(s) et l'entre-noeud sous-jacent. Après l'émission d'un certain nombre de phytomères végétatifs, ceux-ci acquièrent le caractère

reproducteur sous l'action combinée des conditions photo thermiques et des états internes du peuplement.

Le temps qui s'écoule entre l'initiation de deux organes de même nature définit le plastochrone. Le phyllochrone correspond au temps entre l'apparition de deux organes. Chez la plupart des espèces, phyllochrone et plastochrone sont gouvernés par la température. C'est pourquoi le développement est généralement repéré en sommes de températures. Ces sommes sont exprimées par rapport à des bases correspondant aux seuils minimaux d'activité biologique ; par exemple 12° C pour le coton, 6° C pour le maïs. Pour le développement reproducteur (ou la tubérisation), la variation de la durée du jour et de la nuit (photopériode) joue un rôle important chez certaines espèces. Les plantes de jours longs, comme le blé ou le colza, ne fleurissent qu'après un certain nombre de jours d'une durée supérieure à un seuil ; celles de jours courts, souvent d'origine tropicale, comme le maïs ou le sorgho, après un certain nombre de jours d'une durée inférieure à un seuil. Photopériode et température ont des effets combinés chez de nombreuses espèces, comme le blé. Ces besoins peuvent être plus ou moins stricts et les deux types se rencontrent chez une même espèce comme le soja.

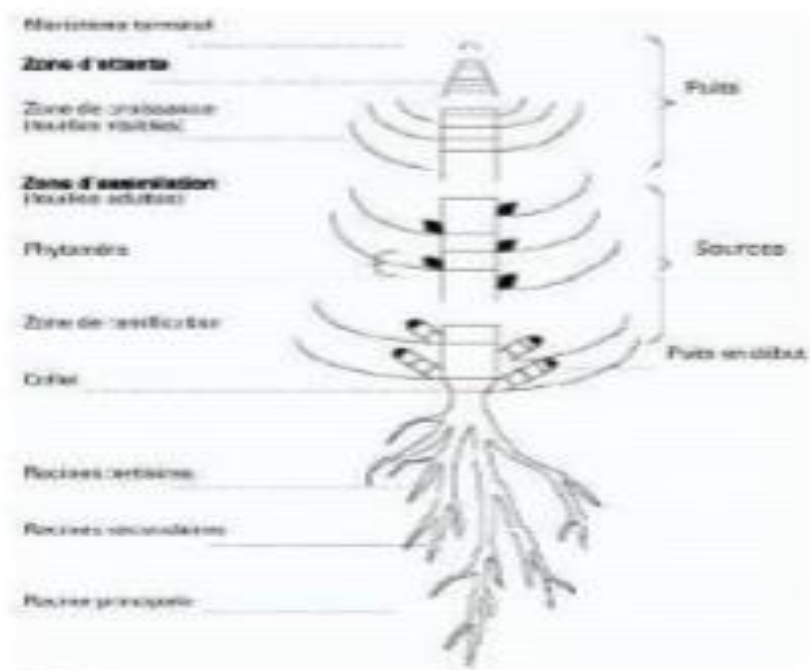


Figure 27 : Organisation des axes de la plante : schéma des phytomères aériens et de la racine principale (d'après Fleury, 1884)

Le repérage des périodes au cours desquelles les organes de même nature rentrent en croissance permet d'analyser l'offre (nombre et activité des capteurs) et la demande (nombre et âge des puits) en assimilats sur des périodes successives du cycle cultural.

10.3. Croissance et le fonctionnement des organes

La croissance est une variable quantitative : c'est l'augmentation de la biomasse. Elle dépend des facteurs et conditions de croissance du milieu.

10.3.1. Capteurs aériens et la photosynthèse □

- **À l'échelle de la feuille**

La photosynthèse est le processus par lequel les plantes utilisent le gaz carbonique de l'atmosphère. La photosynthèse d'une feuille est tributaire des conditions de milieu et de leur incidence sur l'état de la plante.

La réponse de la photosynthèse nette à l'éclairement est la résultante de la photosynthèse brute et de la respiration. Chez les plantes en C3, vient s'ajouter une respiration photosensible correspondant à la fixation de l'oxygène par une enzyme de carboxylation. L'intensité lumineuse pour laquelle il y a équilibre entre fixation et respiration est appelée point de compensation. Une saturation de la photosynthèse nette apparaît pour des éclaircements élevés (P_{max}).

Chez les plantes en C4, la saturation s'observe pour des éclaircements plus élevés que pour celles en C3, et le P_{max} est supérieur. Cette relation définit, pour chaque niveau d'éclairement, une activité photosynthétique potentielle qui sera elle-même affectée par les conditions de milieu : température, alimentation hydrique, nutrition minérale. La température qui gouverne les vitesses des réactions enzymatiques a un effet très marqué sur la photosynthèse. La température optimale varie d'une espèce à l'autre avec une différence marquée entre plantes en C3 et en C4.

- **À l'échelle du peuplement**

L'indice foliaire (IF), architecture du peuplement et photosynthèse

L'indice foliaire est le rapport de la surface de feuilles à la surface de sol correspondante. L'indice foliaire conditionne la capacité du peuplement à intercepter le rayonnement utile à la photosynthèse. Il détermine aussi le pouvoir évapotranspirant du peuplement. L'absorption de rayonnement augmente au-delà de $IF = 1$, car l'absorption de la lumière visible par chaque couche de feuille est incomplète (environ 80 %).

Selon la disposition spatiale des feuilles, l'absorption du rayonnement se répartit différemment sur la hauteur du peuplement végétal. Les couverts à feuilles dressées (graminées) mettent plus à contribution les étages inférieurs dans l'interception du rayonnement lumineux. Mais l'essentiel de l'activité photosynthétique reste cependant assuré par les étages foliaires supérieurs. L'obtention d'un indice foliaire trop élevé conduit à une respiration et une transpiration excessives, donc à un gaspillage des ressources.

Ainsi, l'IF optimal diffère selon les espèces et leur port : environ 6 pour les plantes à port dressé comme le riz, et pour les plantes à port étalé comme la pomme de terre.

L'efficacité d'utilisation du rayonnement

C'est l'efficacité de conversion du rayonnement absorbé en biomasse : g de matière sèche/MJ d'énergie absorbée. Deux usages en sont faits. D'une part, les valeurs mesurées pour différentes espèces cultivées déterminent leurs potentiels de production en fonction du type de photosynthèse et de l'insolation du lieu. D'autre part, la comparaison du RUE observé au RUE théorique permet de déceler la présence éventuelle de facteurs ayant limité l'expression de ce potentiel.

La durée de vie d'un couvert

À indice foliaire donné, la durée pendant laquelle les feuilles conservent leur activité photosynthétique détermine la production de biomasse, d'où l'intérêt d'augmenter cette durée par sélection variétale : variétés tardives, gènes d'anti-sénescence. Mais les contraintes climatiques limitent les possibilités d'allongement du cycle : baisse des températures en climat tempéré, contrainte hydrique en climat chaud.

L'efficacité de l'eau

C'est le rapport entre la quantité de matière sèche élaborée et la quantité d'eau consommée (g/l). Elle varie au cours du cycle cultural. Les espèces en C4 ont une efficacité globale plus forte en raison de leur taux de photosynthèse plus élevé, tandis que les légumineuses ont des efficacités faibles en raison du coût métabolique de la symbiose. Les besoins (ETM) varient fortement au cours du cycle cultural en fonction du développement et de la croissance du peuplement. La satisfaction des besoins est exprimée au travers du ratio ETR/ETM. Selon les espèces, il apparaît ainsi que l'efficacité de l'eau est plus ou moins forte.

Le statut azoté

L'azote est considéré comme le facteur limitant le plus important avec l'eau, les besoins des plantes étant maximaux lors de la phase de croissance active. À l'échelle du peuplement,

pendant la phase végétative, la concentration en azote des plantes, qui décroît avec la biomasse accumulée, est d'autant plus faible que la fertilisation est limitante.

On définit alors à chaque instant la concentration critique comme la concentration minimale permettant la croissance optimale¹⁷, puis l'indice de nutrition azotée (Nitrogen Nutrition Index) comme le rapport de la concentration observée à la concentration critique. Cet indice permet de porter un diagnostic sur le niveau de satisfaction des besoins.

Les capteurs souterrains

La croissance des capteurs souterrains est sous la dépendance du niveau de croissance des parties aériennes. Au cours du cycle, le rapport biomasse racinaire/biomasse aérienne diminue, traduisant une allocation croissante des assimilats vers les parties aériennes. La biomasse racinaire est en général maximale au début de la phase reproductive. Ces capteurs souterrains prélèvent l'eau et les éléments minéraux dans leur environnement.

- **Les éléments minéraux**

Au champ, l'absorption par les racines dépend des besoins créés par la croissance des parties aériennes, de la concentration en éléments minéraux du sol en contact avec la racine et des différentes conditions du milieu : pH, température, aération. Le facteur limitant la nutrition minérale est rarement l'absorption racinaire, mais plutôt la vitesse de réapprovisionnement de la rhizosphère. Ce réapprovisionnement s'appuie sur deux mécanismes : la diffusion des solutés dans l'eau du sol¹⁷ et leur transport avec l'eau du sol sous l'action de l'évapotranspiration. □

- **L'eau**

L'eau peut être prélevée dans le sol par les racines, si leur force de succion est supérieure à celle du sol. La force de succion est directement liée à la demande climatique, elle-même relayée par les feuilles (transpiration), les vaisseaux des tiges, puis les racines. La force de rétention par le sol dépend essentiellement de son humidité et de sa texture. La distribution spatiale (verticale et horizontale) du système racinaire détermine la possibilité et l'importance des prélèvements.

- **L'interaction eau/éléments minéraux**

L'alimentation hydrique et la nutrition minérale interagissent fortement sur la croissance du fait de l'absorption parallèle de ces deux facteurs de croissance. Ainsi, le niveau de fumure azotée conditionne l'efficacité de l'eau d'une culture de maïs irriguée ou non irriguée.

10.4. Relations croissance - développement

Le rendement est une caractéristique importante mais pas unique de l'état final du système. Résultat de l'interaction permanente entre la croissance et le développement, le rendement se

construit sur l'ensemble du cycle. Il découle d'une succession de structures du peuplement et d'un enchaînement entre période végétative et reproductive qui diffère suivant les espèces.

10.4.1. Relations source-puits

L'interception de facteurs de croissance (rayonnement, CO₂, eau, éléments minéraux) par les organes capteurs (feuilles, racines) constitue une source d'assimilats qui, à chaque instant, forme «l'offre disponible». Coexiste avec cette fonction d'offre, une fonction de demande issue de l'initiation de nouveaux organes qui, soit temporairement¹⁸, soit durablement²⁰, nécessitent un transfert d'assimilats à partir des organes sources pour assurer leur croissance et leur maintien. Durant la phase végétative, ces flux sont dirigés vers les organes en croissance à savoir les apex des racines, tiges et feuilles. Durant la phase reproductive, les flux sont réorientés vers les organes reproducteurs. Chez de nombreuses espèces, des transports d'assimilats (dits de remobilisation) apparaissent en fin de cycle cultural entre les parties végétatives et les organes de stockage. Ces transports, qui accroissent sensiblement la biomasse des organes de stockage, se déroulent alors que la croissance nette du peuplement est devenue nulle. L'analyse quantitative de l'offre et de la demande conditionne l'utilisation des assimilats et détermine la vitesse de croissance de la plante entière. À la germination, les besoins nécessaires à la mise en place des premiers capteurs proviennent des réserves de la graine²¹. Pendant la phase d'installation du couvert, les demandes individuelles des organes sont d'abord faibles par rapport à l'offre. Progressivement, la situation s'inverse car la multiplication du nombre de phytomères accroît fortement la demande. L'offre du milieu, par définition limitée, ne peut pas satisfaire cette demande et l'offre devient alors limitante. Lorsque l'offre est supérieure à la demande, tous les organes initiés maintiennent leur taille maximale et les assimilats non utilisés sont stockés, sous forme de réserves transitoires dans le système vasculaire lui-même. Lorsque la capacité de stockage arrive à saturation, l'offre est réduite par une diminution de l'efficacité photosynthétique.

Lorsque la demande est supérieure à l'offre, les réserves transitoires complètent dans un premier temps l'offre photosynthétique. Cela permet de maintenir la taille des organes formés mais ceux en cours d'initiation voient leur taille potentielle diminuer et leur nombre baisser. Dans un deuxième temps, une remobilisation peut s'opérer à partir d'autres tissus qui perdent alors leur fonctionnalité. Nombre et taille des organes puits sont réduits.

Notion de stade critique

Certains organes jouent un rôle primordial dans la formation des composantes du rendement. C'est en particulier le cas des organes reproducteurs des espèces à floraison groupée car une éventuelle réduction de leur nombre ou de leur taille ne peut être compensée à un moment ultérieur du cycle. Lorsque ces organes, en plus des problèmes d'adéquation entre l'offre et la demande en assimilats, présentent une forte sensibilité aux conditions climatiques, leur période d'initiation et/ou de formation définit une phase critique. Chez le maïs par exemple, des conditions hydriques ou thermiques sans conséquence en début de végétation peuvent entraîner une réduction importante du rendement si elles apparaissent pendant la floraison et la fécondation. Plusieurs phénomènes en sont la cause : une réduction du nombre de fleurs initiées, une pollinisation incomplète ou un avortement des graines pendant leur phase de division cellulaire.

Structure du peuplement et l'élaboration du rendement

Deux phases constituent la vie d'une plante. En début de cycle cultural, la plante se ramifie et multiplie ses organes végétatifs. C'est la période végétative. Ensuite, elle fabrique les organes reproducteurs dans lesquels la matière sèche s'accumulera. C'est la période reproductrice. L'analyse de la formation du rendement dépend du mode d'enchaînement de ces deux phases.

Comprendre les déterminants de la production

En étudiant le fonctionnement du peuplement végétal, l'agronome cherche à comprendre les déterminants de la production végétale. Pour chaque espèce cultivée, les règles régissant l'élaboration du rendement sont fixées génétiquement, mais leur expression en termes d'états successifs du peuplement dépend des conditions de milieu rencontrées par la culture au cours de son cycle. Ces conditions de milieu s'exercent au travers du climat, du sol et des pratiques culturales adoptées.

L'étude du fonctionnement du peuplement végétal permet d'appréhender cette interaction entre sol, plante, climat et pratiques ainsi que ses variations dans le temps. Elle reconstruit le lien non univoque entre une production déficiente, le dysfonctionnement physiologique qui l'a provoqué et l'origine du dysfonctionnement. Ce diagnostic permet d'adapter les pratiques aux problèmes rencontrés : suppression d'une carence par un apport de matière fertilisante, correction d'une hydromorphie par drainage, choix d'une espèce mieux adaptée à un type de sol.

Chapitre 11 : Raisonnement d'un Itinéraire Technique

11.1. Définition et caractéristiques

La définition de l'itinéraire technique est simple : c'est la suite logique et ordonnée de techniques appliquées à une culture. Autrement dit, c'est l'ensemble des techniques combinées pour conduire une culture, y compris le choix de la variété, en vue d'atteindre des objectifs divers, accompagné des raisons qui justifient ces choix.

11.1.1. Cohérence de l'itinéraire technique

L'itinéraire technique est une conduite cohérente de la culture, tout au long de son cycle de végétation, dans un milieu naturel et social donné. Ceci signifie, en particulier, que : > toutes les opérations sont interdépendantes. La réalisation d'une opération dépend de ce qui s'est passé auparavant. Elle va elle-même influencer le choix et la réalisation des opérations suivantes. La conduite de la culture n'est donc pas une juxtaposition d'opérations regroupées dans différentes rubriques sans lien entre elles : travail du sol, semis, fertilisation, protection... Il faut gérer un ensemble d'interactions entre techniques culturales, milieu et peuplement végétal et prendre simultanément en considération un ensemble de risques ; > les opérations sont décidées par un agriculteur. Celui-ci effectue des choix selon des critères et des contraintes techniques, économiques et sociales. «La pratique d'un itinéraire technique correspond à la mobilisation de moyens (matériels, intrants), à la fourniture de travail humain (manuel, intellectuel) et à la poursuite d'un objectif de production donné (qualité et quantité) ».

11.1.2. Adapter les itinéraires au fonctionnement de l'exploitation

Les itinéraires techniques sont indissociables du fonctionnement de l'exploitation agricole. Ils entrent dans la constitution des systèmes de culture et ils sont mis en œuvre dans le cadre d'exploitations agricoles, dans un contexte socio-économique donné. Tout d'abord, il existe des interactions entre les conduites techniques des cultures et les successions culturales, elles-mêmes liées à des types de parcelles : il ne faut pas oublier qu'une même culture peut être conduite de différentes façons dans une même exploitation agricole.

Les itinéraires techniques pratiqués par les agriculteurs dépendent de leurs objectifs de production et de leurs connaissances techniques, qui influent sur la répartition de leurs moyens de production entre les différentes activités de l'exploitation. Les itinéraires techniques sont ainsi indissociables du fonctionnement de l'exploitation agricole.

Enfin, les itinéraires techniques peuvent être dépendants de niveaux plus englobant. C'est le cas, par exemple, lorsqu'un moyen de production est géré collectivement (eau dans les périmètres irrigués), ou lorsqu'un cahier des charges est fourni par une entreprise qui passe contrat avec l'agriculteur.

11.2. Élaboration des itinéraires techniques

L'agronome doit prendre en compte le contexte agricole et l'intégrer au raisonnement des techniques. Il y a peu, les sociétés de développement demandaient à l'agronome de proposer des solutions permettant d'atteindre un rendement maximal. Pour cela, on supposait qu'il n'existait qu'une seule combinaison de techniques.

Aujourd'hui, différents éléments ont modifié cette demande. Le progrès technologique met à la disposition des agriculteurs de nombreux équipements, produits phytosanitaires, variétés. Cela permet d'envisager, pour arriver au même résultat, de nombreuses combinaisons. Les conditions sociales et économiques de la production ont évolué et les intérêts des producteurs également. De ce fait, l'agronome oriente de plus en plus son conseil vers plusieurs gammes d'itinéraires techniques, liés à différents niveaux de production. En outre, ces recommandations ne doivent pas viser le rendement comme seul critère de choix. En effet, l'agriculteur s'intéresse à d'autres facteurs de décision comme le revenu moyen à l'hectare, la marge brute, la productivité du travail, voire l'impact sur l'environnement. Les références fournies par l'agronome doivent donc concerner l'ensemble de la conduite de la culture et être cohérentes avec l'ensemble du système technique de production.

11.3. Quatre exemples de terrain

Les quatre cas de terrain suivants permettent de comprendre comment les agriculteurs pratiquent l'itinéraire technique et comment l'agronome peut intervenir. > Le premier exemple illustre la cohérence de l'itinéraire technique : il montre que l'introduction d'une opération, comme l'emploi d'un herbicide, influe sur toute la suite de l'itinéraire technique. > Le deuxième exemple, qui relate la manière de cultiver du riz irrigué le long du fleuve Sénégal, montre que des choix différents faits par les agriculteurs répondent à des logiques fortes, liées à la structure de leurs exploitations et à leurs objectifs de production. > Les troisième et quatrième exemples illustrent le passage de la réflexion sur la modification des itinéraires techniques d'une culture à la réflexion sur la modification des systèmes de culture dans leur ensemble. Le troisième exemple, sur les techniques de travail du sol simplifiées au nord du Cameroun, explique comment une innovation technique, qui modifie la conduite d'une culture, a des conséquences

qui vont au-delà de l'exploitation, jusqu'à la gestion collective des ressources naturelles régionales. Dans le quatrième exemple, en Côte d'Ivoire, agriculteurs et agronomes cherchent à s'adapter à une contrainte climatique : les propositions sont très diverses. Certaines aboutissent au changement des systèmes de culture et concourent à modifier totalement la gestion des moyens de l'exploitation.

11.3.1 Comprendre la diversité des itinéraires techniques

Le cas proposé a été étudié par des agronomes dans les années quatre-vingt. Il reste d'actualité et permet de comprendre jusqu'où peut aller la réflexion sur l'itinéraire technique et son intégration au sein de l'exploitation agricole. Dans un périmètre irrigué du fleuve Sénégal, cultivé en monoculture de riz, les agriculteurs pratiquent deux types d'itinéraires techniques fondés sur deux modes d'implantation de la culture :

> dans le premier cas (pépinière puis repiquage), le début de campagne se caractérise par une grande mobilisation de main-d'oeuvre pour l'opération de repiquage des plants. Cette technique permet une installation du peuplement rapide et régulière, qui limite les risques d'enherbement. Les apports d'engrais peuvent dans ces conditions être prévus en fonction des stades de développement du riz, donc selon les besoins. Avec peu de mauvaises herbes et un apport fractionné des engrais aux périodes adaptées, on observe le plus souvent des productions élevées;

> dans le deuxième cas, le semis à la volée de graines prégermées implique peu de travail. En revanche, la structure du peuplement est irrégulière et la levée peu homogène. Les mauvaises herbes se développent en même temps que le riz : le risque d'infestation est important. Le désherbage manuel nécessite donc beaucoup de temps et de travail : il est impossible de désherber la parcelle correctement et rapidement.

Les apports d'engrais sont retardés tant que la parcelle n'est pas propre, voire réduits. Finalement, c'est l'incapacité à lutter efficacement contre les mauvaises herbes qui compromet la suite des opérations culturales. On observe des productions en général bien inférieures à celles obtenues avec le premier itinéraire technique.

11.3.2. Interpréter la variabilité et l'évolution des itinéraires techniques

Au nord du Cameroun, certains agriculteurs pratiquent le semis direct sans préparation du sol pour le cotonnier, contrairement aux préconisations techniques régionales. Des agronomes ont cherché à comprendre leurs motivations et ont affiné les propositions techniques dans ce sens. Les paysans disposent d'un nombre limité de jours de travail aux mois de mai et juin pour

mettre en place les cultures (cotonnier, maïs, sorgho, arachide) et pour commencer les premiers sarclages : il y a chevauchement entre le premier sarclage de l'arachide et du sorgho et les préparations du sol et semis du cotonnier et du maïs. De ce fait, la surface labourée et semée par type de culture varie avec la distribution des pluies en début de saison agricole et selon les objectifs et les moyens de production : disponibilité en attelages, en charrues et en main d'œuvre. La culture cotonnière revêt dans cette région une importance toute particulière puisque c'est une culture de rente, dont la production est gérée et traitée par la SODECOTON, société nationale de développement. Cultiver le cotonnier assure un revenu et permet d'accéder à la fourniture d'intrants à crédit.

11.3.3. Les critères de choix d'une option technique

La décision dépend de l'installation de la saison des pluies et du niveau d'équipement. Lorsque les premières pluies sont faibles, les travaux, quel que soit le niveau d'équipement, prennent du retard. Les resemis de sorgho et d'arachide sont fréquents jusqu'au début du mois de juin, ce qui reporte les semis de maïs et de cotonnier : ceux-ci s'achèvent alors au cours du mois de juillet. Si ces retards ont des effets minimes pour le maïs, ils sont très pénalisants pour la production cotonnière. Ce retard est d'ailleurs chronique dans les exploitations peu équipées, quelles que soient les conditions climatiques. En culture manuelle, comme en culture attelée, le semis direct du cotonnier, ou le travail à la dent sur la ligne de semis, sont particulièrement appropriés et auront des effets positifs sur l'ensemble de la campagne agricole. Si la saison des pluies s'installe normalement, dès le mois d'avril, la préparation classique des parcelles est réalisable à temps pour les exploitations correctement équipées. La décision dépend de fait du niveau d'équipement. L'agriculteur travaillant à la main aura intérêt à opter pour le semis direct pour deux raisons : la location d'un attelage revient plus chère que l'herbicide et elle ne bénéficie pas d'un crédit ; le houage manuel, long et pénible, va inmanquablement entraîner des retards. Pour les exploitations en culture attelée, le choix concerne tout ou partie de la sole cotonnière et il dépend de l'organisation du calendrier cultural en fonction de l'assolement prévu. Pour un début des pluies précoce, les exploitations en culture attelée préféreront labourer, pour deux raisons : les opérations d'installation des cultures peuvent commencer plus tôt et le semis direct devient onéreux car il implique au moins deux traitements herbicides préalables pour éliminer une végétation adventice exubérante. Les exploitations en culture manuelle ont en revanche tout intérêt à pratiquer le semis direct pour faire face ensuite au surcroît de travail au moment des premiers sarclages.

Chapitre 12 : Association et Successions de Culture

Introduction

Les systèmes de culture mis en œuvre par les agriculteurs des régions tropicales sont souvent complexes : successions de plusieurs cultures dans l'année, associations de plantes dont l'architecture, le cycle et l'utilisation sont très diversifiés... Ce chapitre donne les définitions essentielles et des indications permettant de réfléchir au choix des plantes et des techniques dans le cadre de ces systèmes complexes.

12.1. Définitions

- ☐ **Culture pure**

On parle de culture pure lorsqu'une seule espèce végétale est cultivée sur une parcelle. Cette définition est sujette à discussion : selon les auteurs, on considère l'espèce ou la variété. Certains auteurs se fondent sur la variété : ainsi, une culture de maïs traditionnelle en Afrique serait une culture associée, parce qu'il s'agit bien souvent d'une population ou d'un mélange d'écotypes parfois très variés, voire de variétés. Nombre d'agronomes s'appuient plutôt sur l'espèce, d'autres parlent de production ou de culture, ce qui demeure ambiguë. Nous en resterons à l'espèce, critère de détermination assez pertinent pour les systèmes de culture traditionnels en régions tropicales.

- **Association culturale**

Plusieurs espèces occupent la même parcelle, leurs cycles culturaux se chevauchent, sans pour autant être forcément plantées ou récoltées en même temps. Il y a cependant simultanéité globale dans le temps et dans l'espace. Les agriculteurs associent fréquemment des espèces à cycles de développement variés : plantes pérennes, semipérennes (bananier, canne à sucre, manioc, igname...) et annuelles. Elles peuvent être disposées en étages, avec des plantes hautes et basses : arborescentes, dressées, rampantes... Les associations culturales peuvent être arrangées de façons diverses dans l'espace : > de manière intercalée : les différentes espèces sont organisées en lignes ou en bandes alternées, parfois dans le but de protéger les plantes contre le vent ou le sol contre le ruissellement et l'érosion hydrique ; > en mélange : dans ce cas-là il n'y a pas d'arrangement géométrique nettement observable.

- **Cultures en relais et culture dérobée**

Une première culture est d'abord mise en place, puis une deuxième, alors que la première culture a atteint le stade reproductif mais n'est pas encore récoltée, puis parfois une troisième.

Cela est possible lorsque la saison de culture est plus longue que le cycle de la production principale. La culture dérobée est le terme utilisé pour désigner la deuxième culture mise en place lorsque deux cultures sont implantées en relais : elle ne constitue pas la production principale.

- **Culture séquentielle**

Plusieurs espèces sont plantées les unes après les autres pendant une année, sans que leurs cycles culturels se chevauchent. Il peut y avoir ainsi de deux à quatre cultures dans l'année.

- ☐ **Culture multiple**

Le terme culture multiple est générique et désigne tout système de culture dans lequel on cultive plusieurs espèces sur une même parcelle au cours de la même saison de culture ou de la même année : il englobe ainsi les cultures associées, les cultures en relais et les cultures séquentielles.

- ☐ **Monoculture**

La monoculture est la répétition, pendant plusieurs cycles successifs, de la même culture sur la même parcelle. Le terme monoculture est parfois employé à des échelles différentes : une exploitation ou une région peut être décrite comme pratiquant la monoculture de maïs ; cela signifie dans ce cas que la seule production végétale pratiquée dans l'exploitation ou la région est la production de maïs.

- **Succession et rotation culturale**

La rotation est la répétition sur une même parcelle d'une succession ordonnée pluriannuelle de cultures. A contrario, si l'ordre et la nature des cultures ne sont pas conservés, on parle d'une succession de cultures. ☐

- **Jachère**

La jachère est l'état d'une parcelle de terre entre la récolte d'une culture et le moment de la mise en place de la culture suivante. Elle se caractérise, entre autres, par sa durée, par les techniques culturales qui sont appliquées à la terre, par les rôles qu'elle remplit. La jachère est un élément de la succession des cultures dans le temps et donc un élément du système de culture. Elle peut durer de quelques mois à plusieurs années.

12.2. Successions de cultures

12.2.1. Effet précédent et sensibilité du suivant □

- **L'effet précédent**

L'effet précédent d'une culture est défini comme la variation d'état du milieu¹ entre le début et la fin d'une culture ou d'une période de jachère, sous l'influence combinée de la plante et des techniques culturales, l'ensemble étant soumis à l'action du climat.

Comprendre un effet précédent, ce n'est pas établir une relation de type statistique entre le rendement d'une culture et le rendement de la culture qui l'a précédée. C'est analyser la modification des paramètres physiques, chimiques et biologiques de la parcelle sous l'effet d'une culture.

On ne peut en conséquence définir l'effet précédent d'une espèce végétale : les modifications du milieu induites par une culture de manioc sont autant sinon plus liées à la façon dont on a cultivé ce manioc qu'au fait qu'il s'agisse de l'espèce manioc. Par sa définition, l'effet précédent est indépendant de la culture qui suit. Ceci ne veut pas dire que toutes les cultures vont réagir de la même manière aux états du milieu liés à la culture précédente, mais qu'il faut pour comprendre les relations précédent/ suivant introduire un deuxième concept, celui de sensibilité du suivant.

- **La sensibilité du suivant**

On la définit comme la réaction de la culture, avec les techniques qui lui sont appliquées et sous un climat donné, à l'état initial de la parcelle laissé par le précédent. Cet effet s'exprime en variation de rendement de la culture à ces états initiaux, variations strictement dépendantes du climat, des techniques utilisées et de leurs interactions. Comme pour l'effet précédent, la sensibilité du suivant ne caractérise par une espèce végétale mais une culture, c'est-à-dire une espèce ou association d'espèces cultivées d'une certaine manière. Les techniques utilisées vont en effet modifier en interaction avec le climat les états du milieu résultant de la culture précédente et donc limiter de manière plus ou moins importante l'impact de l'effet précédent sur la culture en place. Comme pour l'effet précédent, l'expression de la sensibilité du suivant dépend en partie du climat. Selon les années, l'effet précédent et la sensibilité du suivant peuvent donc varier pour une même succession de culture. Les effets des cultures sur le milieu peuvent être cumulatifs, dans le temps et dans l'espace. Il est donc souvent important de s'intéresser aux effets à moyen et long terme des successions de culture et aux effets de ces successions sur un ensemble de parcelles concernées. L'analyse des fonctions des jachères en milieu tropical est l'occasion d'illustrer l'intérêt de ces deux concepts.

12.2.2. Jachères et fertilité

La jachère peut remplir de multiples fonctions dans les régions tropicales. Certaines n'ont pas de lien direct avec la fertilité du milieu : des parcelles peuvent être laissées en jachère pour alimenter des troupeaux ou parce qu'elles sont trop fréquemment visitées par les voleurs pour qu'on continue de les cultiver. Nous présenterons successivement les différentes fonctions de la jachère en lien avec l'évolution des états du milieu cultivé. Le plus important à retenir est que dans une situation précise, la jachère ne remplit pas toutes ces fonctions mais uniquement certaines d'entre elles. Dans chaque situation particulière, il convient donc de mettre en évidence l'effet précédent de la jachère et la sensibilité des cultures pratiquées après jachère par rapport aux transformations du milieu provoquées par l'absence de mise en culture pendant une certaine durée et les pratiques qui y sont liées : pâturage, feu de brousse, etc. L'analyse approfondie d'une situation est, en effet, le seul moyen d'aller au-delà des discours généraux et simplificateurs qui ne permettent pas d'aider les agriculteurs à transformer leurs systèmes de culture.

- **Les matières organiques dans le sol**

La mise en culture d'un sol préalablement non cultivé entraîne en milieu tropical une chute rapide du taux de matière organique et une dégradation de l'état structural du sol. Les jachères courtes (quelques années) ne permettent pas de remonter le taux de matière organique de manière significative. Seule une jachère de très longue durée le permet à travers la constitution et la transformation biologique d'une végétation importante. Par ailleurs, d'autres voies sont fréquemment plus efficaces que la jachère pour stabiliser ou augmenter le taux de matière organique du sol : fertilisation organique, choix de cultures produisant une biomasse importante dont une faible partie seulement sera prélevée, etc. Le taux de matière organique du sol n'est pas le seul indicateur. Il faut aussi envisager les rôles de la matière organique dans le fonctionnement de l'écosystème cultivé et apprécier la contribution des jachères au maintien et à l'amélioration de ces fonctions. La dynamique des matières organiques dans le sol et le rôle que joue la macrofaune du sol (termites et vers de terre) dans cette dynamique sont encore mal connus.

- **Les éléments minéraux**

En milieu humide et sub-humide, la végétation de la jachère va se développer rapidement et fixer sous forme organique des éléments minéraux puisés dans le sol ou dans l'air. La mise à disposition de ces éléments pour les cultures qui suivent les jachères nécessite leur retour sous une forme minérale. Celle-ci peut se faire directement par brûlis de la végétation de la jachère ou indirectement par minéralisation de la matière organique provenant de la décomposition de la

végétation. Les pratiques de destruction de la végétation de la jachère et de préparation du terrain pour la culture qui va suivre vont donc fortement influencer sur la disponibilité des éléments minéraux dans le sol après la jachère.

- **L'enherbement des cultures**

La jachère peut être ou peut ne pas être un moyen de lutte contre l'enherbement : une jachère longue, pendant laquelle un couvert arboré s'installe, peut réduire très fortement la pression d'adventices héliophiles. En revanche, une jachère courteherbacée où dominent les adventices peut n'avoir aucun effet ou peut même rendre plus importants les problèmes de gestion des adventices dans la culture suivante.

Des recherches dans le sud-ouest de la Côte d'Ivoire ont permis de mieux comprendre l'effet des jachères forestières sur l'infestation par les adventices. Plusieurs éléments contribuent à l'efficacité de la jachère sur le développement des adventices : > l'ombrage empêche la germination des graines d'adventices photo-sensibles pendant la période de jachère ; > le stock de graines viables d'adventices diminue au cours des années de la jachère ; > le brûlis qui précède la mise en culture détruit la moitié du stock de graines d'adventices encore présent dans le sol ; > le port des variétés locales de riz (hauteur importante, nombre élevé de feuilles) et la rapidité de leur croissance sur défriche de forêt les rendent particulièrement compétitives par rapport aux adventices, qui se développent peu et mal en première année de culture.

- **Parasites et ravageurs des cultures**

Il s'agit là d'un domaine encore relativement peu exploré. Il est là aussi impossible de dire d'une manière générale que la pratique de la jachère limite le développement des parasites et des ravageurs. Chaque système de culture doit être raisonné individuellement. La compréhension des fonctions agronomiques de la jachère dans un système de culture nécessite de prendre en compte des paramètres écologiques, les interventions humaines pendant la jachère (feux de brousse), le mode de défriche, le type de culture et les itinéraires techniques pratiqués par les agriculteurs.

12.3. Associations culturales

La figure 31 présente quelques exemples d'arrangement spatial des cultures, avec des associations d'espèces annuelles. Mais on rencontre également fréquemment des associations d'espèces pérennes et d'espèces annuelles. Voici quelques éléments permettant de mieux

comprendre le fonctionnement des cultures associées et de raisonner les possibilités d'amélioration.

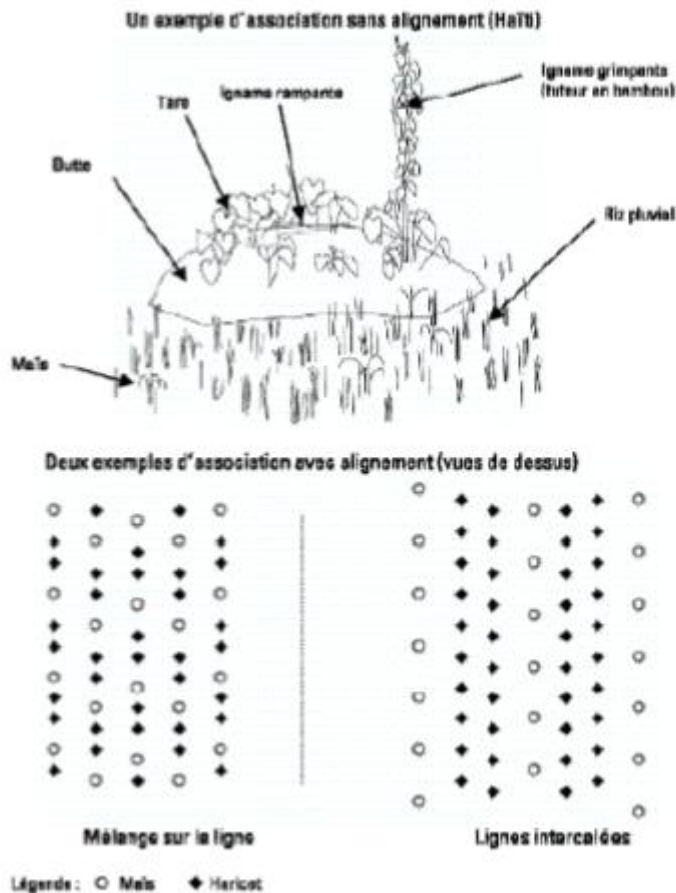


Figure 31 : Quelques arrangements de culture dans l'espace

12.3.1. Occupation de l'espace aérien et souterrain

Lorsque plusieurs espèces sont cultivées simultanément sur la même parcelle, elles entretiennent fréquemment des relations de concurrence ou de complémentarité pour l'accès aux facteurs du milieu : eau, lumière, éléments minéraux. Les associations les plus intéressantes sur le plan agronomique sont celles qui, au niveau de l'espace aérien et de l'espace souterrain, valorisent des complémentarités et limitent les concurrences entre les espèces cultivées. □

- **Plantes d'ombre ou de lumière**

Il est courant de dire que certaines plantes, comme le sorgho, sont des plantes de lumière et que d'autres, comme le poivrier et le macabo, préfèrent l'ombre. Quelle est l'explication physiologique de ces préférences ?

Toutes autres conditions étant égales par ailleurs, les plantes cultivées se développent toutes mieux à la lumière qu'à l'ombre.

L'agriculture est basée sur la capacité des plantes autotrophes à utiliser le rayonnement solaire pour synthétiser des glucides à partir d'éléments minéraux et d'eau. Le rayonnement solaire est intercepté par le feuillage et fournit l'énergie nécessaire à cette synthèse. En conditions non limitantes d'alimentation en eau et en éléments minéraux, la quantité d'énergie disponible va avoir une influence déterminante sur la quantité de biomasse photosynthétisée. Or cette quantité d'énergie diminue très fortement avec l'ombrage. La figure 4 illustre ce phénomène dans une association entre arbres d'ombrages, cacaoyers et plants de taro : même sous des arbres à feuillage peu dense comme les légumineuses, 70 % du rayonnement photosynthétiquement utile (PAR) est capté par les arbres d'ombrage. Les cacaoyers reçoivent seulement 20 % du PAR et les plants de taro disposent seulement de 5 % du PAR. Taro et cacaoyers sont donc en situation où le rayonnement disponible est limitant pour la photosynthèse.

Occupation du sol, absorption de l'eau et des éléments minéraux

Plusieurs facteurs interviennent dans l'établissement de relations de concurrence ou de complémentarité entre les systèmes racinaires de plusieurs espèces végétales cultivées en association.

- ☐ **Répartition dans le sol des systèmes racinaires des différentes espèces**

Elle est elle-même liée à plusieurs facteurs : > le choix des espèces associées : il est fréquent d'expliquer l'effet bénéfique d'une association par le choix d'espèces dont les systèmes racinaires explorent des volumes de sols différents. Les herbacées à enracinement fasciculé (céréales, bananiers) explorent les couches les plus superficielles du sol, les herbacées à enracinement pivotant (haricot, niébé, cotonnier) utilisent un volume situé un peu plus bas, et les espèces ligneuses pérennes explorent les couches profondes du sol ; > le mode de semis : le semis en poquets peut provoquer des phénomènes de concurrence entre plants d'une même espèce ou entre plants d'espèces différentes lorsqu'ils sont semés en poquets mélangés ; > les caractéristiques du sol cultivé : les caractéristiques du sol, modifiées éventuellement par les opérations culturales et les précédents, vont limiter les possibilités de développement des systèmes racinaires des espèces cultivées.

- **Répartition dans le temps des besoins des différentes espèces**

La concurrence entre espèces cultivées associées risque d'être d'autant plus forte que leurs périodes de besoin maximal coïncident. C'est un des éléments à prendre en compte dans le raisonnement des dates d'implantation des espèces associées. Mais il existe également des phénomènes de régulation dans certaines associations.

- **Les modifications du milieu**

On observe parfois des phénomènes de toxicité (eucalyptus sur herbacées), avec de fortes variations liées aux variétés. Ils sont liés à l'allélopathie, phénomène encore relativement peu étudié dans les agricultures tropicales. À l'inverse, l'association d'une légumineuse et d'une céréale permet à cette dernière de bénéficier d'une partie de l'azote fixé par la légumineuse.

- **Les conséquences sur la gestion des associations culturales**

Plusieurs types de techniques vont permettre de modifier les relations de concurrence ou de complémentarité au sein d'une association.

- **Le choix des espèces associées et des cultivars**

Le choix des espèces cultivées est très dépendant des conditions socio-économiques. Les considérations agronomiques ne sont jamais suffisantes pour justifier la culture d'une espèce donnée. En revanche, il est très important de bien choisir les cultivars : certaines variétés se prêtent mieux que d'autres à la culture en association¹⁴, et certaines variétés ont des effets dépressifs très importants sur les cultures qui leur sont associées. Un haricot grimpant peut par exemple étouffer un maïs en recouvrant toutes ses feuilles ; un maïs dont les feuilles gardent un port dressé gêne moins une légumineuse associée qu'un maïs dont les feuilles se mettent à l'horizontale. Les sélectionneurs ont commencé, notamment pour les légumineuses, à sélectionner des variétés se comportant bien dans les associations.

- **Le choix des densités et de l'orientation des lignes de plantation**

Le meilleur moyen d'obtenir avec une association culturale une production inférieure à celle obtenue en culture pure est d'utiliser les mêmes densités qu'en culture pure. Les niveaux de production intéressants sont généralement obtenus avec des densités inférieures à celles des cultures pures. Il est important de noter que l'action sur les densités peut inverser les rôles de culture dominante et de culture dominée : si en général le maïs est dominant dans une

association maïs/haricot, la pratique de densités très élevées de haricot (300 000 plants/ha) combinée à des densités médiocres de maïs (40 000 plants/ha) peut transformer le haricot en culture dominante. L'orientation des lignes est importante pour les cultures associées semées en ligne alternées lorsqu'une espèce est plus haute qu'une autre. En effet, en milieu tropical, l'orientation est/ouest des lignes peut limiter fortement la concurrence pour l'énergie lumineuse exercée par la culture la plus haute. C'est un facteur important à prendre en compte lorsqu'on réalise des essais.

- **Le choix des dates d'implantation**

Le choix des dates d'implantation des différentes cultures de l'association permet également de modifier les relations de concurrence entre les espèces. D'une manière générale, on obtient des productions plus élevées en décalant, si le climat le permet, les cycles des différentes cultures.

- **Les autres éléments de l'itinéraire technique**

La taille, le tuteurage sur un autre support que la culture associée permet de limiter la concurrence pour le rayonnement solaire. La fertilisation peut déstabiliser une association en accentuant le caractère dominant d'une espèce au détriment de l'autre. Des observations de ce type ont été réalisées en Haïti sur l'association maïs/haricot dans une situation où le haricot est dominant : la fertilisation de l'association renforce cette dominance et nécessite pour être compensée une modification des densités des deux espèces associées. □

- **Les effets des associations sur les pestes**

D'une manière générale, l'effet des cultures associées est différent selon le ravageur ou la maladie. Dans certains cas, la présence d'une autre culture constitue un obstacle ; dans d'autres, l'espèce associée peut constituer un hôte appréciable. Toutefois, on observe d'une manière générale que les attaques généralisées du champ sont plus rares dans les cultures associées, sauf pour les insectes non spécialisés comme les criquets. En lutte chimique, il est souvent difficile de trouver un herbicide qui soit compatible avec toutes les plantes d'une association.

L'association courante maïs/niébé est une manière de lutter contre deux ravageurs. La céréale fait obstacle à la progression des charançons du niébé. D'un autre côté, le niébé diminue les attaques de borers sur le maïs, et ce de façon d'autant plus efficace que la disposition des plants est en quinconce (alternance d'un pied sur deux sur la ligne et entre deux lignes). Les végétaux du genre *Striga*, parasites du mil, du sorgho ou du maïs, sont nettement perturbés par la présence d'une culture associée à la céréale : arachide, autres légumineuses, plante rampante,

plante de couverture. Cette action se situerait à trois niveaux complémentaires, combinant les effets du paillage, de la fertilisation et des plantes pièges : > l'abaissement de la température du sol, causé par l'ombrage, limite la germination des *Striga* ; > l'apport d'azote par les légumineuses est défavorable à leur développement ;

> de nombreuses légumineuses sont des plantes pièges, c'est-à-dire qu'elles induisent la germination des *Striga* sans permettre leur fixation sur les racines. Certaines cultures de la rotation, comme le cotonnier, jouent aussi le rôle de plante piège. Mais une association peut également avoir les effets inverses : le poids d'Angole attire les thrips et peut accroître les dégâts provoqués sur le niébé par ces insectes lorsque les deux légumineuses sont associées.

- **Les rendements d'une association culturale**

Comment comparer la production physique d'une culture associée à celle des espèces qui la composent, cultivées en pur ? La méthode des surfaces équivalentes relatives (SER en français et LER en anglais) est la plus employée pour répondre à cette question. Elle consiste à déterminer pour chaque culture de l'association la surface qui serait nécessaire pour obtenir la même production en culture pure¹⁵ et à calculer le rapport : surface nécessaire pour obtenir la production en culture associée/surface nécessaire pour obtenir la même production en culture pure. Ce rapport est aussi égal au rapport des rendements : rendement en culture associée/rendement en culture pure. La SER est égale à la somme des rapports pour les différentes cultures de l'association. Cela signifie que pour obtenir avec des cultures pures la même production totale que celle obtenue en culture associée, il faudrait 25 % de surface en plus. Le calcul de la SER est donc un moyen de mesurer l'avantage relatif d'une culture associée par rapport à la culture de ses composants en culture pure.

Chapitre 13 : Amélioration des Plantes et Production de matériel végétal

13.1. Objectifs de l'amélioration des plantes

L'amélioration des plantes, à la fois art et science, vise à créer des variétés répondant aux besoins de l'agriculteur, mais aussi à ceux de tous les utilisateurs du produit récolté : consommateur, industriel, intermédiaires de la commercialisation, du stockage, de la transformation, etc.

Du point de vue génétique, elle peut être définie comme l'ensemble des processus qui, à partir d'un groupe d'individus n'ayant pas certains caractères au niveau recherché, permet d'obtenir un autre groupe d'individus, plus ou moins reproductible – la variété – apportant un progrès.

L'amélioration des plantes est du domaine de l'ingénierie génétique. Mais c'est aussi une activité économique qui a pour objectif d'améliorer la production des plantes aux plans quantitatif et qualitatif. Elle doit donc être conçue pour obtenir les progrès génétiques les plus importants de la manière la plus durable possible avec la meilleure utilisation des moyens disponibles.

En pratique, toute sélection est nécessairement multi-variable car il s'agit de progresser sur un ou plusieurs caractères sans perdre ceux déjà acquis. Or de nombreux caractères sont complexes et résultent de l'expression d'un grand nombre de gènes. Pour accumuler le maximum de gènes ou de combinaisons de gènes favorables dans un individu, il faut donc provoquer le maximum de recombinaisons. L'amélioration des plantes comporte deux phases fondamentales :

- la recherche et la création de variabilité (par prospection, hybridation, etc.) ;
- la sélection et la fixation de cette variabilité (suivi des recombinaisons, homogénéisation).

Un programme d'amélioration performant et efficace nécessite de bien identifier les objectifs à atteindre pour répondre aux besoins des différents utilisateurs. L'évolution permanente des conditions climatiques, écologiques, sociales et économiques conduit à un ajustement continu des objectifs, de la manière la plus prospective possible en raison du temps et du coût élevé des opérations de production et de diffusion de nouvelles variétés. La sélection participative, c'est-à-dire associant directement à des degrés variables les paysans, mais aussi les futurs

consommateurs ou utilisateurs des variétés, diminue le risque de parvenir à de nouvelles variétés mal adaptées.

13.2. Bases biologiques de la reproduction des plantes

Les méthodes de sélection doivent être adaptées aux caractéristiques spécifiques de l'espèce à améliorer, la structure génétique étant modelée par le régime de reproduction. On distingue ainsi deux régimes principaux de reproduction sexuée : l'autogamie et l'allogamie. L'apomixie et la multiplication végétative sont d'autres modes de reproduction moins courants.

L'autogamie est caractéristique des espèces qui s'autofécondent habituellement et dont les individus sont globalement homozygotes. Chaque gène se retrouve sous une forme (allèle) identique sur les deux chromosomes que compte habituellement un individu.

Ce régime est dominant chez les espèces comme l'arachide, le riz, le sorgho, la tomate. L'allogamie, au contraire, est le régime de reproduction où sont favorisées les fécondations croisées avec pour conséquence une hétérozygotie élevée des individus. Le maïs, la canne à sucre, l'ananas, le palmier à huile ou le cacaoyer sont des espèces allogames. Ces espèces présentent naturellement une forte hétérozygotie, et corrélativement, supportent mal la diminution par autofécondation. C'est la dépression de consanguinité ou inbreeding. La multiplication végétative (asexuée) permet la multiplication conforme des plantes et aboutit à des ensembles homogènes appelés clones. C'est le cas de très nombreuses plantes importantes comme le bananier, la canne à sucre, l'hévéa ou les plantes à tubercules. Il existe des situations intermédiaires ou qui combinent plusieurs régimes de reproduction. Cela a des conséquences déterminantes sur la structure génétique des cultivars et donc sur les stratégies d'amélioration.

Les espèces autogames ont développé divers mécanismes favorisant l'autofécondation dont le plus extrême est celui des fleurs cléistogames qui ne s'épanouissent pas. À l'opposé, les espèces allogames ont mis au point des mécanismes favorisant la fécondation croisée :

- mécanismes génétiques, comme l'auto-incompatibilité ou la stérilité mâle ;
- mécanismes physiques, comme le décalage des floraisons mâle et femelle dans l'espace ou dans le temps, la pollinisation par le vent (anémogamie), les insectes (entomogamie) ou même des mammifères (chauve-souris pour le baobab) ou des oiseaux (colibri pour les balisiers).

La connaissance du régime de reproduction est indispensable pour définir les stratégies de prospection et de conservation des ressources génétiques ainsi que les méthodes d'amélioration génétique.

13.3. Multiplication de matériel végétal

13.3.1. Production de semences

La production vise à fournir à l'agriculteur un produit conforme au modèle mis au point par le sélectionneur et respectant les normes de qualité techniques en vigueur. On ne parlera que des principaux types de variétés déjà cités.

- Les variétés lignées

On distingue cinq catégories de semences :

- le matériel de départ ou G0 ou breeder seed : il est l'étalon de la variété, qui doit être à l'origine de chaque processus de multiplication. Sa conformité au type original – la maintenance – est assurée par l'obteneur, ou un mainteneur désigné si ce dernier fait défaut ;
 - les semences de pré-base (G1, G2, G3) : issues du matériel de départ, elles conduisent aux semences de base à travers deux ou trois générations maximum ;
 - les semences de base (G4) : ce sont les semences mères des semences commerciales ;
 - les semences commerciales (certifiées) de première génération (R1) ;
 - éventuellement les semences commerciales de deuxième génération (R2). On voit qu'il y a au maximum cinq générations (six pour les R2) du sélectionneur à l'agriculteur, afin de limiter tout risque de dérive ou de pollution – improprement nommée dégénérescence – de la variété. Ce nombre de générations peut être réduit à deux ou trois pour les espèces à fort taux de multiplication.
- Les variétés hybrides

La production compte deux étapes : la multiplication des lignées parentales en une ou deux générations à partir du matériel de départ selon le taux de multiplication de l'espèce ; la production des semences commerciales par culture simultanée des deux parents.

- Les variétés synthétiques

Elles sont obtenues en multipliant en pollinisation libre, pour un nombre de générations défini et selon des dispositifs spécifiques à chaque formule un ensemble de génotypes choisis pour leur qualité propre et leur aptitude à se combiner entre eux. À chaque espèce, type variétal et génération de multiplication correspondent des normes et un cahier des charges qui doivent être respectés par les établissements semenciers et les agriculteurs multiplicateurs, sous contrôle direct ou indirect d'un service officiel. De la formule génétique mise au point par le sélectionneur à la semence disponible à l'agriculteur, il y a donc un long processus, faisant appel à des métiers et des connaissances très diverses, dont chaque étape exige rigueur et professionnalisme. Le transfert du progrès génétique est à ce prix.

13.3.2. Production de plants

- Les méthodes classiques de production de plants

La production de plants par la voie asexuée se fait classiquement soit à partir d'organes qui assurent naturellement la propagation de l'espèce (drageons, rejets, tubercules, rhizomes, bulbilles, cayeux), soit artificiellement à partir de fractions d'organes capables de régénérer une plante entière (bouturage et marcottage) ou par association forcée de deux plantes (greffage). L'utilisation d'organes assurant naturellement la propagation des espèces ne sera pas traitée dans ce chapitre. Nous renvoyons pour ces aspects le lecteur aux fiches de la partie (Agriculture spéciale) qui décrivent pour chaque espèce le mode de multiplication couramment utilisé ainsi que les techniques permettant d'en augmenter le rendement pour multiplier rapidement des cultivars intéressants. Dans ce chapitre, nous examinerons seulement les techniques de bouturage, de marcottage et de greffage.

1) Le bouturage

Il consiste à reproduire une plante identique au pied-mère à partir d'un fragment de celui-ci. Il concerne des espèces variées : caféier, poivrier, théier etc. S'il existe des boutures de racines et de feuilles, les plus fréquentes sont les boutures de rameaux plus ou moins lignifiés, préparées à partir de rameaux d'un an. Certains ligneux peuvent également être multipliés par macro-boutures (tiges d'un mètre de longueur environ et de plusieurs centimètres de diamètre), ce qui est particulièrement intéressant pour constituer des haies par exemple. La préparation des boutures comporte les opérations suivantes :

- > le prélèvement : la position des rameaux est importante, et selon les espèces, on prélève des rameaux orthotropes (kapokier, poivrier, caféier) ou plagiotropes (cacaoyer) ; le rameau est sectionné à proximité d'un noeud et de longueur variable (un entrenoeud vert avec sa feuille dans le cas du théier par exemple) ;
- > l'habillage, qui consiste à supprimer ou réduire la surface évaporante (feuilles) ;
- > les soins sanitaires éventuels (trempage des plaies) ;
- > un hormonage éventuel du noeud où doivent se développer les racines. Il est important de travailler avec des outils propres (serpette, sécateur) et bien aiguisés pour produire des coupes franches.

Les boutures devront après installation être protégées contre les maladies et ravageurs et les pertes en eau limitées jusqu'au développement d'un chevelu racinaire fonctionnel :

ombrage, couverture anti-transpirante etc. Des arrosages fréquents sont parfois nécessaires. Le bouturage permet de reproduire une plante à l'identique. C'est une technique relativement lourde à mettre en oeuvre¹³, onéreuse, et permettant un taux de multiplication dépendant du type de bouture utilisé.

2) Le marcottage

Il consiste à faire raciner de jeunes rameaux avant qu'ils ne soient séparés de leur pied d'origine. C'est une technique utilisée pour des espèces dont le taux de reprise des boutures est faible ou nul. Selon les espèces, on procède par couchage, par buttage ou par marcottage aérien.

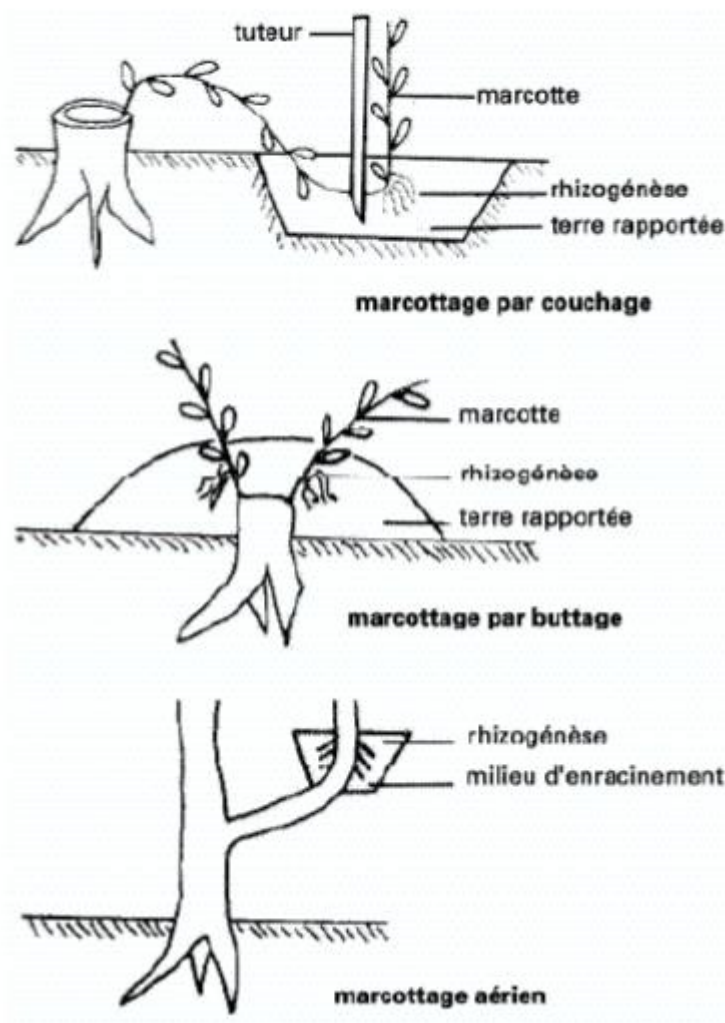


Figure 33 : Différentes techniques du marcottage

3) Le greffage

C'est l'insertion d'une portion de rameau (greffon), issue de la plante à multiplier, sur un jeune plant (sujet) qui est le porte-greffe. Après reprise, l'individu possède des qualités liées au greffon et au porte-greffe : la partie greffée possède les qualités de la variété qui a fourni le greffon et la partie souterraine possède les qualités de vigueur et de fixation au sol déterminées par le choix du porte-greffe. La technique réclame :

- > une exécution minutieuse avec des outils adaptés (greffoir) ;
- > un état végétatif convenable : on greffe en général en période de repos végétatif ;
- > des soins particuliers pour assurer la vie du greffon avant soudure ;
- > une bonne compatibilité entre sujet et greffon.

Elle consiste à faire affleurer le cambium du sujet et celui du porte-greffe puis à les rapprocher pour assurer le plus grand contact possible entre les deux. Tant que la soudure n'est pas assurée, ce contact est opéré artificiellement par exemple par ligaturage avec du raphia ou une bande adhésive. L'âge du porte-greffe est indifférent dans le cas des espèces ligneuses. Le greffon doit par contre être prélevé sur du bois de l'année ou du bois d'un an.

❖ Les méthodes de greffage les plus courantes :

- > les greffes par rameau détaché : terminales en fente, en couronne, en incrustation, anglaise simple ou compliquée (manguier, litchi, ramboutan) ; latérales (de côté sous écorce) : manguier, anacardier ;
- > les greffes par oeil (bourgeon végétatif) : greffes en écusson (hévéa, anacardier, agrumes) et chip-budding (agrumes) ;
- > les greffes par approche (en placage ou en arc-boutant), qui soudent entre elles deux parties de végétaux non détachées de leur pied d'origine.

Les plaies de greffage doivent être désinfectées, pansées pour les isoler de l'extérieur (protection sanitaire) et protégées contre le dessèchement avec des mastics à greffer. Le greffage permet d'exploiter divers types de sol en utilisant différents porte-greffe, de moduler la vigueur du greffon par l'intermédiaire du sujet et de multiplier facilement des clones d'une variété hétérozygote ou d'un individu mutant.

Les plants greffés produisent en général plus rapidement que les plants issus de semis. Les plants greffés ont cependant une moindre longévité que les plants issus de semis. La

compatibilité sujet-greffon doit être bien vérifiée au préalable. Le greffage est une technique délicate à maîtriser, dont il faut bien vérifier l'intérêt avant de vouloir la généraliser.

4) La vitroculture

La culture de tissus in vitro permet de propager rapidement des géotypes intéressants. Elle est également un outil précieux pour l'assainissement, la conservation et l'échange de ressources génétiques en limitant les risques phytosanitaires. Les méthodes les plus utilisées sont la culture de bourgeon, d'apex ou de méristème, mais parfois d'autres organes sont employés (feuilles, tiges, racines). La propagation rapide est généralement obtenue par l'induction de la prolifération des tissus grâce à des substances de croissance apparentées aux auxines et aux cytokinines.

L'embryogenèse somatique met à profit ce phénomène pour aboutir à une amplification considérable des taux de multiplication de certaines espèces. Les techniques de culture in vitro sont des outils puissants pour la production en masse de plants mais nécessitent de contrôler les risques de contamination des cultures et d'instabilité inhérents à la méthode. Elles sont largement utilisées aujourd'hui dans certains domaines comme l'horticulture (où elles sont parfois le seul mode de multiplication commercial comme chez les Orchidées ou les Anthurium hybrides) mais aussi pour des cultures industrielles comme la canne à sucre ou le bananier.

Chapitre 14 : Lutte contre les Mauvaises Herbes et Protection contre les Maladies et les Ravageurs

14.1 Mauvaises herbes

La lutte contre les mauvaises herbes, ou plutôt la gestion à long terme de l'enherbement d'une parcelle dans un contexte agroécologique donné, représente l'un des principaux enjeux permettant la durabilité des systèmes de production. La mise en place de cette gestion nécessite une connaissance approfondie de ces enherbements, notamment de leur composition floristique, de leur diversité spécifique, et de l'écologie et la biologie des espèces qui les composent. Cette démarche permet de connaître de façon précise les organismes contre lesquels il faut lutter et les facteurs écologiques et agronomiques qui vont influencer leur développement. Ainsi, il devient possible d'agir sur ces facteurs pour maintenir les communautés de mauvaises herbes en dessous d'un seuil de nuisibilité globale.

14.2. Une définition délicate

Mauvaises herbes et adventices en français, weeds en anglais et unkraut en allemand sont peut-être les termes les plus importants de la malherbologie. Cependant leur définition pose des difficultés insurmontables. Si le terme adventice a un sens écologique (plante introduite accidentellement dans des milieux modifiés par l'homme), le terme mauvaise herbe a un sens malherbologique (plante indésirable là où elle se trouve). Les termes anglais et allemand, eux, véhiculent les deux notions.

Même en français, le terme de mauvaise herbe n'est pas toujours satisfaisant. En effet, la définition de l'AFNOR peut susciter des ambiguïtés dans sa compréhension. Aussi, il est nécessaire de préciser que le statut de mauvaise herbe ne devrait être attribué qu'à une plante installée postérieurement à une activité humaine et ayant un effet nuisible direct ou indirect.

Cette notion de mauvaise n'a pas une valeur absolue et certains auteurs, de façon plus objective, qualifient les mauvaises herbes d'éléments commensaux du cultivar, sans préjuger d'un effet positif ou négatif. Pour d'autres, il s'agit de plantes plus nuisibles qu'utiles, même si un effet bénéfique leur est reconnu : diminution de l'érosion du sol, fertilisation, intérêt médicinal ou alimentaire, etc.

D'ailleurs, dans les agrosystèmes traditionnels, au Mexique par exemple, les agriculteurs maintiennent en association avec la culture certaines espèces qu'ils appellent buen

monte (bonnes plantes) et n'éliminent que les mal monte (mauvaises plantes). En effet, dans de nombreux systèmes traditionnels en région tropicale, différentes mauvaises herbes sont maintenues dans les champs et utilisées à des fins diverses : nourriture, médecine, cérémonies religieuses, amélioration du sol, limitation de l'érosion, apport de matière organique...

Aussi le terme général de mauvaise herbe, utilisé en français pour nommer les espèces végétales croissant dans les parcelles cultivées sans y avoir été intentionnellement plantées est assurément peu adéquat, mais la langue française n'en possède pas encore d'autre. D'une façon générale, le terme de mauvaise herbe peut être utilisé pour désigner l'ensemble des espèces appartenant à la flore des parcelles cultivées, sans préjuger de leur action sur la culture, même si certains définissent les mauvaises herbes comme des plantes dont on n'a pas encore trouvé d'utilité.

14.3. Biologie et écologie des mauvaises herbes

Toute plante n'est pas mauvaise herbe. La capacité d'une espèce à devenir une mauvaise herbe ou une plante envahissante, dépend d'un certain nombre de caractères adaptatifs de l'espèce par rapport au contexte agricole.

- > ressemblance morphologique ou physiologique avec les plantes cultivées : – plantes mimantes : pas ou peu distinguables de la culture, surtout au stade jeune (les riz adventices en riziculture irriguée) ; – plantes tolérantes ou résistantes aux herbicides (*Euphorbia heterophylla* ou *Commelina benghalensis* en culture cotonnière) ;
- > maturité des grains synchrone de la récolte (riz adventices ou *Rottboellia cochinchinensis* en riziculture) ; > dormance des graines et longévité dans le sol (les graines de *Striga hermonthica* peuvent rester viables vingt ans dans le sol) ;
- > polymorphisme des graines et des besoins germinatifs (*Commelina benghalensis* produit quatre types de graines ayant des niveaux de dormance différents) ;
- > germination discontinue pendant de longues périodes (la germination des graines d'*Ipomoea eriocarpa* est possible tout au long de la saison des pluies) ;
- > dormance induite/innée (en région soudano-sahélienne, les graines de *Cucumis melone* germent que de mai à juillet quelles que soient les conditions expérimentales) ;
- > adaptation aux travaux cultureux :

- multiplication à partir de rhizomes ou autres propagules végétatives, favorisée par le travail du sol, notamment le labour aux disques (*Cyperus rotundus*, *Imperata cylindrica*) ;
- redémarrage par bouturage à partir des andains de sarclage.

14.3.2. Caractères d'adaptation liés à la phase reproductive

- > système de fécondation généralement auto-compatible (*Commelina benghalensis* possède des fleurs aériennes auto ou allogames et des fleurs souterraines cleistogames);
- > pollinisation par le vent ou des insectes généralistes (*Poaceae*, *Asteraceae*...)
- > production de graines importante en conditions favorables, mais également possible en condition de stress (de façon limitée) (cf. tableau 1) ;
- > cumul de plusieurs types de reproduction.

14.3.3. Adaptations liées à la physiologie, la croissance et la compétition

- > croissance rapide au stade plantule (*Rottboellia cochinchinensis*) ;
- > taux de photosynthèse élevé ;
- > développement rapide du système racinaire ;
- > allocation rapide des photosynthétats vers de nouvelles surfaces foliaires ;
- > arrivée précoce en phase de reproduction (*Euphorbia heterophylla* peut produire des graines quatre semaines après germination) ;
- > armes spéciales pour la compétition : nitrophilie (*Amaranthus spinosus*, *Eleusine indica*); port couvrant (*Commelina benghalensis*) ; allélopathie (*Cucumis melo*, *Tithonia diversifolia*) ;
- > indépendance vis-à-vis des contraintes environnementales : forte capacité d'acclimatation à des conditions variables (plasticité phénotypique et génotypique).

14.3.4. Biologie des mauvaises herbes, enherbement et désherbage

Seules les espèces possédant des types bionomiques, compatibles avec les contraintes du milieu cultural particulier, seront susceptibles d'acquérir le statut de mauvaise herbe. C'est pourquoi l'étude d'une mauvaise herbe particulièrement envahissante doit porter sur l'analyse de sa stratégie biologique. Il s'agit de comprendre l'ensemble des caractères qui lui confèrent cette capacité d'adaptation et d'envahissement dans un contexte agroécologique donné.

La gestion raisonnée de l'enherbement à long terme passe par la compréhension des processus de développement de la flore des parcelles et d'évolution de cette flore en fonction des facteurs agroécologiques. Cette compréhension peut être acquise à travers une analyse phyto-écologique en milieu réel, précisant l'effet des facteurs écologiques et agronomiques sur la distribution, le développement et l'abondance des espèces. Cette analyse globale doit être complétée par une étude analytique des espèces ayant un rôle agronomique majeur, décrivant la stratégie biologique de ces espèces en fonction des itinéraires culturaux utilisés. La synthèse de ces approches permet ensuite d'intervenir sur le ou les éléments du système de production favorisant le développement de telle ou telle espèce particulièrement indésirable. Des études phyto-écologiques réalisées sur les enherbements en zone tropicale, il ressort que la présence des espèces est principalement liée à la nature physico-chimique du sol et à son humidité. Seules les plantes parasites sont strictement inféodées à un hôte. Au cours des années suivant la mise en culture de la parcelle, la composition de la flore évolue. Les toutes premières années, la flore est composée d'espèces issues du milieu naturel, peu compétitives, nécessitant peu d'action de désherbage, mais également peu adaptées biologiquement aux perturbations répétées du milieu agricole.

Rapidement cette flore est remplacée par des espèces biologiquement mieux adaptées au contexte agricole et qui, au cours du temps, deviennent de plus en plus abondantes. Ces nouvelles espèces sont apportées dans les parcelles par les semences contaminées, les outils, les animaux, l'eau d'irrigation, le vent... Les pratiques culturales, en fonction de leur degré d'intensification, influent sur la rapidité d'évolution de la flore et de sélection des espèces les plus adaptées au contexte. En quelques années apparaissent des enherbements quasiment monospécifiques, contre lesquels les agriculteurs n'ont plus aucun moyen de lutte dans le cadre des itinéraires classiques.

Au cours d'une saison culturale, on peut également observer une évolution de la composition floristique de la parcelle ou de l'abondance des espèces. Les espèces de début de cycle ne sont pas les mêmes que celles de fin de cycle ou ont une abondance différente. Aussi l'étude de l'enherbement doit-elle prendre en compte à la fois les espèces de début de cycle et celles de fin de cycle.

Les premières sont responsables de l'essentiel de la compétition vis-à-vis de la culture, tandis que les secondes agissent sur la pénibilité du travail de récolte, la dépréciation qualitative de la récolte et l'augmentation du stock semencier du sol. C'est pourquoi l'élaboration d'une

démarche de gestion raisonnée de l'enherbement doit tenir compte de différents seuils de nuisibilité :

- > nuisibilité biologique directe : compétition avec la culture et baisse de rendement ;
- > nuisibilité indirecte : dépréciation de la récolte ou augmentation de la pénibilité du travail ;
- > nuisibilité écologique locale : gestion du flux du stock semencier du sol de la parcelle ;
- > nuisibilité écologique régionale : diffusion possible d'une espèce nouvellement introduite à l'ensemble de la région.

La mise en œuvre d'une action de désherbage doit être décidée en comparant le coût du désherbage avec le gain apporté par cette action sur le rendement, la qualité de la production, la culture subséquente, le maintien du potentiel de la parcelle et la préservation de l'environnement.

14.4. Mauvaises herbes et leur identification

L'étude du fonctionnement des communautés végétales dans les agrosystèmes nécessite en premier lieu d'identifier de façon précise les espèces concernées. L'identification des mauvaises herbes par les agronomes se heurte à quatre contraintes majeures :

- > les plantes doivent être identifiées dès le stade végétatif, or les flores classiques utilisent le principe de classification linéenne basé sur la structure florale ;
- > l'utilisation des clés dichotomiques oblige à répondre à un grand nombre de questions selon un cheminement imposé par l'organisation de la clé. Lorsqu'une question porte sur un caractère absent de l'échantillon, il n'est pas possible de poursuivre l'identification ;
- > une erreur de réponse à une question n'est pas tolérée lors de l'utilisation de ces clés. L'utilisateur ne s'en rend compte qu'au moment où il parvient à une question ne correspondant pas à l'échantillon. Pour autant, il ne sait pas à quel moment l'erreur a eu lieu. Il doit donc reprendre la démarche depuis la première question de la clé ;
- > les questions des clés d'identification utilisent un grand nombre de termes techniques, pas toujours connus des non-botanistes. Cela rend leur utilisation difficile, notamment lorsqu'il faut manipuler ces termes dans différentes langues.

Certains ouvrages portent spécifiquement sur les mauvaises herbes d'une région ou d'une culture. Ainsi on peut trouver :

- > des plaquettes portant sur vingt à cinquante espèces comportant une photographie ou un dessin et une description sommaire des plantes. Les illustrations de ces plaquettes et les descriptions sont parfois insuffisamment précises pour permettre une bonne identification ;
- > des manuels plus complets, portant sur un plus grand nombre d'espèces. Dans ce type d'ouvrage, les descriptions sont souvent précises et bien illustrées (photographies ou planches botaniques), mais il n'y a pas de système d'identification. Il est donc nécessaire d'avoir une idée de la plante recherchée.

Certains manuels comportent un système d'identification par clé dichotomique ou par clé graphique. Ces clés graphiques portent principalement sur des caractères végétatifs et permettent d'identifier des plantes sans fleur. Elles sont compréhensibles par des nonspécialistes car elles utilisent des dessins sans terminologie technique. La mise au point récente de cédéroms d'aide à l'identification et de description des mauvaises herbes tropicales permet de pallier la plupart des contraintes des flores classiques pour la majorité des utilisateurs. Ces outils permettent une identification des plantes à partir d'un portrait-robot. Cette méthode présente plusieurs avantages : > elle n'utilise que des dessins, sans terminologie technique ; > elle laisse à l'utilisateur le choix des caractères à décrire ; elle tolère le manque d'information, donc permet l'identification d'échantillons incomplets ; > elle tolère les erreurs d'observations.

À chaque étape de l'identification, une probabilité de vraisemblance est calculée pour chaque espèce. Les espèces sont alors triées par ordre décroissant de vraisemblance. À tout moment, il est possible d'accéder à la fiche de l'espèce qui comporte des photographies, une planche botanique et des textes descriptifs botaniques et écologiques. Tous les termes techniques utilisés dans les textes sont gérés en hypertexte, qui fait appel aux définitions illustrées du glossaire.

Ces cédéroms sont couplés à des manuels de terrain et constituent des outils de travail, mais aussi d'enseignement et de formation, très intéressants et faciles d'utilisation pour les étudiants, les techniciens, les agents de développement, les agronomes et les malherbologues. Tous ces outils sont complémentaires et le choix de l'un ou l'autre dépendra de leur disponibilité pour une zone d'étude donnée et de l'utilisateur concerné.

14.5. Contraintes dues à l'enherbement

Les mauvaises herbes constituent l'une des principales contraintes biologiques qui affectent la production alimentaire mondiale et plus particulièrement celle des pays en voie de

développement. C'est en effet en zone tropicale que l'estimation des pertes de production est la plus élevée, avec 25 % contre 5 % dans les pays développés. Déjà, en 1867, la première analyse sur les pertes mondiales de production dues aux mauvaises herbes montrait qu'en Afrique ces pertes étaient de l'ordre de 10 à 56 %.

14.5.1. Pertes de production

En premier lieu, les mauvaises herbes peuvent avoir un effet négatif direct par compétition avec la culture vis-à-vis des éléments nécessaires à la croissance : eau, nutriments, lumière, espace de développement. Cette compétition est d'autant plus importante en début de cycle qu'aux premiers stades de développement les mauvaises herbes absorbent plus vite les nutriments que la culture. De nombreuses estimations de perte de production ont été recensées pour les cultures tropicales.

Toutes ces valeurs ne sont qu'indicatives. En effet, une même culture peut réagir différemment à la compétition des mauvaises herbes en fonction des conditions écologiques du site et des conditions climatologiques de l'année. De même, l'importance de la compétition varie en fonction des espèces dominantes de la flore adventice et de la culture considérée. Cette compétition sera d'autant plus importante et préjudiciable à la culture, que les conditions de milieu sont limitantes : faible disponibilité en eau en période sèche ou en nutriments dans les sols dégradés.

Les phénomènes d'allélopathie entre les mauvaises herbes et les cultures interviennent également dans les pertes de rendement. Cependant, ils sont rarement différenciés des phénomènes de compétition car au champ il est impossible de dissocier les deux mécanismes. Différentes espèces sont reconnues pour avoir un effet allélopathique sur les cultures. Par exemple, *Cyperus esculentus* a un effet dépressif sur le maïs et le soja, par émission de substances allélopathiques.

Les mauvaises herbes peuvent également jouer un rôle négatif indirect sur la production agricole. La présence de semences ou de débris végétaux peut réduire la qualité de la récolte et en diminuer la valeur commerciale. La présence de graines de *Rottboellia cochinchinensis* dans une récolte de maïs ou de riz en réduit le prix de vente ou peut empêcher son utilisation pour la semence. D'autre part, les mauvaises herbes peuvent servir d'hôtes secondaires pour différents ravageurs des cultures, insectes ou maladies. Au Soudan, une cinquantaine de mauvaises herbes donnent refuge à *Bemisia tabaci*, ravageur du cotonnier.

14.6. MAÎTRISE DE L'ENHERBEMENT DES CULTURES

La lutte contre les mauvaises herbes ne pose pas de problème tant qu'on a la capacité de travail suffisante pour désherber manuellement par arrachage, sarclage ou rabattage à la machette. Cependant deux facteurs conduisent à des situations où l'enherbement n'est plus maîtrisé : l'augmentation des surfaces mises en culture et l'allongement de l'âge des parcelles avec l'abandon des jachères nettoyantes.

À la période de mise en place des cultures, au début de la saison des pluies, les activités de semis des cultures tardives et de désherbage des cultures précoces ne peuvent souvent être conduites simultanément, d'où l'apparition de goulets d'étranglement dans le calendrier cultural. Ce désherbage est d'autant plus pénible qu'il est effectué tardivement sur des populations de mauvaises herbes très développées.

L'augmentation de la production et la diminution de la pénibilité du travail sont liées à la limitation de l'enherbement précoce. La maîtrise de l'enherbement est un élément de l'itinéraire technique, raisonné par l'agriculteur en fonction de ses objectifs de production. Il est nécessaire de développer la notion de gestion de l'enherbement dans le système de culture en diversifiant les méthodes de lutte, par exemple, par l'utilisation du sarclage mécanique, avec l'emploi d'herbicides à diverses périodes du cycle cultural, ou encore par l'introduction de plantes de couverture dans la rotation.

14.6.1. Méthodes indirectes de maîtrise

- **Le travail de préparation du sol**

Le labour, qui enfouit les mauvaises herbes et leurs semences, a un rôle nettoyant si la couche travaillée est suffisamment profonde, ce qui est rarement le cas en culture manuelle ou même en culture attelée. Par ailleurs, le type de matériel joue un rôle déterminant : par exemple, les outils à disques favorisent la multiplication des espèces vivaces, comme *Imperata cylindrica*, *Cyperus rotundus*, *Cynodon dactylon*, etc. en culture pluviale ou *Oryza longistaminata* en riz irrigué. Chaque fragment de rhizome ou de stolon, multiplié par sectionnement, donne une nouvelle plante, de même que chaque tubercule isolé de ses voisins.

- **L'implantation de la culture**

La fourniture de semences indemnes de graines de mauvaises herbes évite leur installation dans les parcelles. C'est le cas de la production semencière de riz, qui suit des règles précises pour

les seuils de présence de graines de riz adventices en riz irrigué ou de *Rottboellia cochinchinensis* en riz pluvial. Dans les pays, où a été mis en place un contrôle strict des semences, la riziculture est indemne de riz adventices ; au contraire, là où le contrôle des semences est moins strict, les parcelles nouvellement mises en culture sont très rapidement infestées. Si la gamme variétale est suffisamment large, il y a également toujours avantage à semer une variété vigoureuse à port élevé, au feuillage recouvrant et à croissance rapide ; une telle variété aura des avantages dans la compétition avec les riz adventices.

L'augmentation de la densité de semis est souvent préconisée pour réduire l'enherbement, sous réserve que la fertilité du sol soit suffisante ou qu'une fertilisation minérale soit apportée en complément. Cet avantage dans la compétition entre la culture et la mauvaise herbe se retrouve également dans les systèmes de culture où le riz est repiqué ; si, au moment du repiquage, la parcelle vient d'être mise en eau ou bien si le sol vient d'être travaillé, les riz adventices commenceront seulement à germer, alors que la culture sera déjà bien développée. A contrario, les riz adventices prolifèrent dans les zones où l'on passe du repiquage au semis direct ; c'est le cas actuellement en Asie où, faute de main-d'œuvre, le repiquage manuel est abandonné au profit du semis direct.

- **La gestion de l'eau en riziculture irriguée**

En riziculture irriguée, la gestion de l'eau et la qualité du planage participent à la maîtrise de l'enherbement. Une pré-irrigation suivie d'un assèchement provoque la germination des mauvaises herbes et leur élimination ; ce cycle peut être répété si l'eau est disponible. La submersion des casiers donne de bons résultats sur *Echinochloa colona* et *Ischaemum rugosum*, si le planage est parfait et si la lame d'eau atteint 10 à 14 cm. Par ailleurs, l'entretien des canaux améliore la propreté des eaux d'irrigation et réduit les sources d'infestation, par exemple avec *Scirpus maritimus* ou *Typha domingensis*.

- **Le paillage du sol**

Utilisé parfois en culture de manioc, d'igname ou de canne à sucre, le paillis (ou mulch) maîtrise bien l'enherbement, sauf par certaines espèces telles que *Rottboellia cochinchinensis* ou *Cyperus rotundus*. Hormis en canne à sucre où le paillis est constitué par l'effeuillage à la récolte, la contrainte majeure de cette technique est l'approvisionnement en paille : il est nécessaire de prévoir au moins sept tonnes de paille pour couvrir une parcelle d'un hectare. Le paillage du sol au moyen de bâches plastiques est surtout employé en culture maraîchère ; il agit par ombrage et solarisation.

- **Les plantes de couverture**

L'utilisation des plantes de couverture répond à deux priorités : la lutte contre l'érosion et la maîtrise de l'enherbement. L'utilisation de couvertures de graminées ou de légumineuses modifie assez profondément l'ensemble des composantes physiques, chimiques et biologiques de l'écosystème cultivé. On peut citer notamment la modification du bilan hydrique, des flux minéraux et de l'activité biologique, ainsi que la libération de substances chimiques par les plantes. Un couvert fermé et permanent protège en effet le sol de l'action mécanique des gouttes de pluie, phénomène important en milieu tropical, car les pluies sont fréquemment intenses. Ainsi, par la préservation de la structure du sol et leur rôle d'absorption, les couvertures favorisent l'infiltration de l'eau au détriment du ruissellement. Par ailleurs, une couverture permanente du sol réduit la prolifération des mauvaises herbes par effet d'ombrage, par la compétition pour les ressources du milieu et, aussi, par des effets allélopathiques fréquemment suggérés par l'expérience.

Quelques plantes de couverture, actuellement testées dans différentes situations en zone tropicale, se sont montrées particulièrement intéressantes pour leur comportement agronomique ; il s'agit notamment de légumineuses comme *Arachis pintoï*, *Calopogonium mucunoides*, *Canavalia ensiformis*, *Cassia rotundifolia*, *Centrosema pubescens*, *Mucuna pruriens* var. *utilis*, *Pueraria phaseoloides* ou de graminées, telles que *Paspalum notatum*, *Pennisetum clandestinum*, le mil, *Pennisetum glaucum* ou le sorgho, *Sorghum bicolor*. Ces espèces sont connues pour leur bon comportement et des semences sont facilement disponibles. Cependant, il serait également bon de s'intéresser aux espèces que l'on peut trouver localement.

- **La rotation des cultures**

La pratique de successions culturales sur une même parcelle permet de rompre les infestations des espèces difficiles à maîtriser, en diversifiant à la fois les conditions culturales et les moyens de lutte propres à chaque culture. Par exemple, en riziculture irriguée, la prolifération des riz adventices est stoppée par une rotation avec une culture pluviale.

14.6.2. Lutte mécanique

- **Le sarclage manuel**

En zone tropicale, le sarclage manuel reste la méthode la plus répandue de lutte contre les mauvaises herbes. Cette opération, techniquement la plus simple à réaliser, se heurte néanmoins à de nombreuses contraintes :

- > le sarclage manuel est très souvent réalisé trop tard, alors que les mauvaises herbes ont déjà exercé une forte concurrence sur la culture ;
- > si le sol est humide au moment du sarclage, de nombreuses espèces, telles que *Commelina benghalensis*, ne se dessèchent pas et parviennent à repousser après le sarclage ;
- > les repousses des plantes mal enfouies par le labour, comme *Digitaria horizontalis*, nécessitent un premier sarclage dès la première semaine après le semis, alors que le délai normal est de trois semaines ;
- > le désherbage manuel est parfois délicat contre certaines espèces, quand l'espèce se confond avec la culture, comme le riz adventice annuel, *Oryza barthii* en riz irrigué ; le sarclage manuel demande entre dix et vingt jours de travail par hectare, d'après les normes obtenues en zone de savanes pour des cultures semées en rangs. C'est une activité très pénible et la main-d'œuvre, qu'elle soit familiale ou salariée, n'est souvent pas disponible. À la fin de la période d'installation des cultures, qui s'étale sur plus d'un mois, il y a concurrence dans l'organisation du calendrier de travail entre les derniers semis et les premiers sarclages.

La période critique de nuisibilité se situe généralement entre quinze et soixante jours après le semis pour les cultures annuelles à cycle court (cotonnier, maïs, sorgho, etc.) et entre trente et quatre-vingt-dix jours après la plantation pour les cultures à cycle long (igname, manioc, canne à sucre, etc.). Les sarclages précoces évitent à la culture de subir la nuisibilité des mauvaises herbes qui exercent leur concurrence même à des stades jeunes : on estime que la nuisibilité de cet enherbement précoce cause environ 30 % de pertes, aussi bien en culture cotonnière qu'en culture vivrière.

Si les interventions sont précoces, la végétation est moins développée ; le travail est donc moins pénible et son efficacité est meilleure, car on évite le bouturage de certaines espèces, comme *Commelina benghalensis*, ou bien le repiquage des souches de graminées. De plus, on empêche les espèces à cycle court, comme *Digitaria horizontalis* ou *Dactyloctenium aegyptium*, d'arriver à graines et d'accroître le stock semencier.

- **Le sarclage mécanique**

Pour les cultures à grands écartements (cotonnier, maïs, sorgho, mil, manioc, canne à sucre, etc.), le sarclage mécanique apporte les avantages suivants :

> gain de temps : même s'il faut faire un sarclage complémentaire sur la ligne en début de cycle, l'opération mécanique sur l'inter-rang prend cinq à dix fois moins de temps que le travail manuel ;

> **réduction de la pénibilité du travail** : en culture attelée, le guidage d'une houe tractée est un travail moins pénible que le sarclage manuel ;

> **absence d'intrants** : hormis le coût de l'investissement, la mise en œuvre du sarclage mécanique n'induit pas de mouvement de trésorerie, puisque le travail est généralement fait par des membres de l'exploitation ;

> **la combinaison des interventions** : l'enfouissement de l'engrais peut être effectué par un buttage, qui réalise simultanément un sarclage mécanique. Toutefois, la pratique du sarclage mécanique impose certaines contraintes :

> **la diffusion du matériel** : en culture attelée, hormis la nécessité évidente de pratiquer l'élevage, les exploitations ne sont souvent pas équipées avec du matériel de sarclage mécanique. Il est donc nécessaire d'augmenter la diffusion des houes utilisables en culture attelée et de former les agriculteurs au dressage des animaux pour les sarclages ;

> **la précocité des interventions** : encore plus que pour le sarclage manuel, il est indispensable d'insister sur l'intérêt de la précocité des interventions, afin d'empêcher la concurrence des mauvaises herbes sur la culture, mais surtout de faciliter le travail en évitant les bourrages des plantes trop développées dans les corps sarcleurs ; la modification des systèmes de cultures : le sarclage mécanique n'est pas possible si le défrichement a laissé de nombreuses souches et résidus sur la parcelle, si le semis n'est pas fait en ligne ou si l'inter-rang est planté de cultures associées qui empêchent le passage des outils.

- **Le gyrobroyage**

Pour les exploitations motorisées, le gyrobroyage est une technique courante d'entretien des parcelles en arboriculture (manguier, agrumes...) pour limiter le développement de l'enherbement naturel des inter-rangs, ou dans les pâturages pour rabattre les espèces nuisibles.

14.6.3. Emploi d'herbicides

Par rapport aux entretiens mécaniques, l'emploi des herbicides offre l'avantage de réduire la charge de travail consacrée à la maîtrise des mauvaises herbes en facilitant l'organisation du calendrier cultural, puisqu'une application d'herbicide demande moins d'une

journée par hectare. En outre, utilisés à temps, les herbicides suppriment la concurrence de l'enherbement, notamment pendant la phase d'installation de la culture.

14.6.3.1. Types de produits herbicides

Plusieurs critères sont utilisés pour distinguer les différents types d'herbicides.

- **Les spécificités**

- > **herbicide sélectif** : herbicide qui, utilisé dans des conditions normales d'emploi, respecte certaines cultures et permet de lutter contre certaines mauvaises herbes de ces cultures ;

- > **herbicide total** : herbicide qui, utilisé aux doses conseillées pour cet usage, est susceptible de détruire ou d'empêcher le développement de toute la végétation avec des persistances d'action variables.

- **Les modes d'action**

- > **herbicide à pénétration racinaire** : appliqué sur le sol, il pénètre par les organes souterrains des végétaux (racines, graines, plantules) ;

- > **herbicide à pénétration foliaire** : appliqué sur le feuillage, il pénètre par les organes aériens des végétaux (feuilles, pétioles, tiges) ;

- > **herbicide de contact** : herbicide qui agit après pénétration plus ou moins profonde dans les tissus, sans aucune migration d'un organe à un autre de la plante traitée ;

- > **herbicide systémique** : substance ou préparation herbicide capable d'agir après pénétration et migration d'un organe à un autre de la plante traitée.

- **Les époques d'application par rapport à la végétation**

- > **traitement herbicide de pré-semis** : l'herbicide est appliqué après la préparation du sol et avant le semis de la culture ; cela permet notamment l'incorporation des produits volatiles ou photodégradables ;

- > **traitement herbicide de post-semis** : effectué aussitôt après le semis ;

- > **traitement herbicide de pré-levée** : effectué avant la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe) ;

- > **traitement herbicide de post-levée** : effectué après la levée de la plante considérée (culture ou mauvaise herbe) ;

> **traitement herbicide de post-levée précoce** : effectué avant la levée de la culture, mais après celle des mauvaises herbes, associant un herbicide de pré-levée et un herbicide de post-levée.

- **Les types d'application**

> **traitement herbicide en plein** : effectué sur toute la surface de la parcelle ;

> **traitement herbicide localisé** : effectué sur une partie du sol, de la culture ou des mauvaises herbes ;

> **traitement herbicide dirigé** : effectué avec un herbicide non sélectif en protégeant la plante cultivée lors de l'application.

14.6.4. Place des herbicides dans l'itinéraire technique

14.6.4.1. Les herbicides de pré-levée

Ils ont fait l'objet des premières diffusions en zone tropicale, notamment sur les cultures des rotations cotonnières. Ces produits sont faciles à vulgariser, car leur spectre d'efficacité est souvent assez large et ils s'appliquent à une période bien définie, juste après le semis. Toutefois, ils sont très dépendants de l'état physique du sol : ils ne peuvent pas être appliqués sur un sol trop motteux ou couvert par un paillis épais. Leur disponibilité dans la solution du sol dépend de la texture : le produit est adsorbé par les feuillets d'argile ou les colloïdes de la matière organique. Dans ce cas, la dose d'emploi doit être augmentée.

Inversement, en sol sableux, les risques de phytotoxicité sont accrus. La pluie, avant ou après l'application, favorise généralement la diffusion à la surface du sol de ces herbicides à pénétration racinaire. Une pluie érosive qui survient après l'application risque cependant d'entraîner le produit par ruissellement.

- **Les produits de post-levée**

Ils sont fréquemment employés en culture de riz ou de canne à sucre et peuvent être choisis en fonction des mauvaises herbes présentes. Ces produits sont souvent spécifiques : action anti-dicotylédone en culture de maïs, de riz ou de canne à sucre ou graminicide en culture de cotonnier ou de légumineuses. Ils sont indépendants du type de sol et de son état. En revanche, la pluie diminue, par entraînement du dépôt, l'efficacité de ces herbicides à pénétration foliaire épandus sur le feuillage. Le délai nécessaire entre la pulvérisation et la pluie dépend du produit et de l'intensité de la pluie. D'autre part, la détermination de la date d'application est parfois difficile.

- **Les herbicides totaux**

Ce sont les plus répandus des produits de post-levée des mauvaises herbes. Ils peuvent être employés à diverses périodes du cycle cultural, soit en traitement en plein ou en localisé si la culture n'est pas installée, soit en traitement dirigé en cours de culture. Le choix des produits dépend des espèces à détruire : > en cas d'infestation par des espèces vivaces comme *Cynodon dactylon*, *Imperata cylindrica*, *Cyperus esculentus*, *Cyperus rotundus* ou *Launaea* sp., des produits systémiques comme le glyphosate ou le sulfosate sont recommandés ; > si la flore n'est constituée que d'espèces annuelles (*Digitaria horizontalis*, *Tridax procumbens*, etc.), les produits de contact, comme le paraquat ou le glufosinate ammonium seront suffisants.

Quelle que soit la période d'emploi, l'efficacité sera meilleure si l'épandage est effectué sur des mauvaises herbes au stade plantule, sensibles au produit total à des doses assez faibles. Par exemple, lorsque les premières pluies arrivent très tôt, il est préférable de faire deux applications de paraquat à 200 g/ha à deux ou trois semaines d'intervalle sur des plantules de *Digitaria horizontalis*, plutôt que d'attendre la veille du semis, car alors une dose de 600 g/ha sera nécessaire sur des plantes adultes, sans garantie d'efficacité totale. Lors des applications de produits de post-levée, la pulvérisation atteint difficilement les parties basses des végétaux trop développés à cause d'un effet parapluie.

Il n'y a pas de risque de phytotoxicité en appliquant au moment du semis des herbicides totaux à pénétration foliaire, comme le paraquat et le glyphosate. Ces produits sont immobilisés et donc inactivés au contact du sol, par adsorption ou formation de complexe avec les argiles ou la matière organique. Tant que la culture n'est pas levée, elle ne peut être touchée. Ce n'est que dans les sols dégradés très sableux, sans matière organique ni argile qu'il pourrait y avoir un risque de phytotoxicité.

Tant en culture manuelle qu'en culture mécanisée, plusieurs cas de figures conditionnent l'emploi des herbicides totaux avant la levée de la culture.

- **En début de saison des pluies**

Les précipitations sont trop réduites et trop irrégulières pour commencer les travaux du sol ; cependant, l'humidité est suffisante pour que se développent les mauvaises herbes à cycle court. Dans ce cas, le labour tardif, qui ne travaille souvent que sur une faible épaisseur de sol sans le retourner, ne permet pas d'enfouir complètement la végétation. Un nettoyage de la parcelle avec un herbicide avant le labour est alors souvent une bonne solution. □

- **En cas de grosse charge de travail**

Dans de nombreuses situations, la charge de travail ne permet pas à l'agriculteur de pratiquer la préparation de la parcelle et l'implantation de la culture assez rapidement pour empêcher le développement de l'enherbement sur les parcelles. En outre, l'irrégularité des pluies impose l'étalement des opérations culturales sur de longues périodes mises à profit par les mauvaises herbes pour s'installer. Les plantules apparues après le travail du sol peuvent être éliminées avec un herbicide total. Cette technique dite du faux semis est particulièrement efficace contre les espèces comme *Commelina benghalensis* dont la germination est favorisée par le travail du sol. En culture irriguée, une pré-irrigation, suivie de la destruction de l'enherbement par un herbicide total, joue le même rôle, par exemple pour lutter contre les riz adventices.

- **Le semis direct**

La pratique du semis direct, avec suppression du travail du sol, permet une installation rapide des cultures et réduit la contrainte du respect des dates optimales de semis ; mais cette technique impose l'emploi d'herbicides totaux juste avant le semis, mais aussi dans les semaines qui précèdent, si des pluies ont fait germer des mauvaises herbes. Les producteurs en culture manuelle constituent une cible prioritaire pour la diffusion de cette technique. Attention toutefois à l'emploi de l'expression semis direct car elle concerne à la fois les cultures pluviales et le riz irrigué, mais avec des significations différentes dans les deux cas : en cultures pluviales, le semis direct correspond à la suppression du travail du sol avant l'implantation de la culture ; en riziculture irriguée, on parle de semis direct quand le riz est semé au lieu d'être repiqué, quelle que soit la préparation du terrain qui a précédé.

- **Des traitements dirigés**

Le sarclage mécanique, en culture attelée ou motorisée, utilisable pour les cultures semées à grand écartement (cotonnier, maïs, sorgho, mil, manioc, canne à sucre, arboriculture, etc.), ne peut être mis en œuvre que dans les premiers stades de la culture, afin de ne pas endommager la plante cultivée. Pour les stades ultérieurs, l'entretien de l'inter-rang peut être réalisé par des traitements dirigés avec des herbicides non sélectifs de la culture. Cette technique de désherbage nécessite l'emploi d'un appareil de pulvérisation à pression entretenue équipé d'un cache de protection. Elle a l'avantage d'être rapide et moins pénible que les sarclages manuels.

- **La rotation d'herbicides**

L'emploi continu des mêmes produits herbicides conduit inévitablement à des sélections de flore, c'est-à-dire des peuplements souvent monospécifiques, constitués des espèces sur lesquelles ces matières actives ne sont pas efficaces. Ces nouvelles populations ne peuvent être maîtrisées que si l'on modifie les techniques de désherbage ou du moins si l'on diversifie les produits utilisés en choisissant d'autres familles chimiques qui auront d'autres sites d'action. Dans les sélections de flores, il faut distinguer deux types de comportement :

> soit l'espèce ne fait pas partie du spectre d'efficacité du produit employé et sa sélection par le traitement herbicide est tout à fait prévisible. Il y a alors simplement inefficacité de l'herbicide sur cette espèce, dite tolérante ;

> soit il s'agit d'une population sur laquelle le produit est normalement actif, mais il peut arriver que certains individus ne soient pas affectés par le produit. Ces plantes non détruites vont se développer et se multiplier, créant ainsi une nouvelle population, que l'on qualifie alors de résistante

- **Les conditions d'application**

La réussite d'une application d'herbicide est conditionnée par les règles suivantes :

> choisir le produit employé en fonction de la flore des mauvaises herbes à maîtriser et de l'itinéraire technique de la culture ;

> respecter les doses d'application. On constate souvent que les agriculteurs ont tendance à réduire les doses de produits, pour diminuer les coûts et éviter les risques de phytotoxicité, et que les traitements ne sont pas réalisés régulièrement en ligne: ces épandages de mauvaise qualité ne permettent pas une bonne répartition du produit sur la parcelle et créent des zones où le produit est sous-dosé, donc inefficace, et des zones où le produit est surdosé, donc phytotoxique ;

> appliquer le produit à l'époque d'intervention préconisée. Par exemple, les produits de prélevée ne doivent pas être appliqués sur des plantes déjà levées. Les herbicides de post-levée sont épandus en fonction du stade de développement des mauvaises herbes, en particulier s'ils ont une action de contact ; ils seront d'autant plus efficaces que les cibles visées sont jeunes. Par exemple, en riziculture, une application de propanil trop tardive se traduit par une mauvaise efficacité sur Poaceae : le propanil qui agit par contact, doit être appliqué sur des plantes très jeunes (stade 3-4 feuilles) pour être efficace ;

- > utiliser des appareils adaptés aux pulvérisations d'herbicides équipés de buses à jet plat, obtenu avec des buses pinceau ou miroir et non, comme le font fréquemment des agriculteurs, des appareils prévus pour les pulvérisations d'insecticides. Un soin particulier est demandé aux opérateurs pour leur réglage et pour leur entretien après usage : rinçage, nettoyage, etc. vérifier régulièrement l'étalonnage des appareils afin de corriger leurs défauts (usure des buses) ou les défaillances des opérateurs. La quantité de bouillie épandue par hectare doit être déterminée, pour faire les calculs de dilution ;
- > préparer soigneusement la bouillie est également un élément important de la pulvérisation : afin d'éviter le bouchage des buses, il est indispensable d'employer une eau de bonne qualité, d'utiliser un filtre et de s'assurer de l'homogénéité du mélange ;
- > maîtriser la technique d'application. Il est indispensable que la répartition sur la surface traitée soit parfaitement homogène, ce qui impose la régularité du débit de l'appareil et de la vitesse d'avancement ;
- > tenir compte des précautions d'emploi et des risques de toxicité ; l'emploi d'herbicides de pré-levée a des conséquences sur la suite de l'itinéraire technique : impossibilité par exemple de travailler le sol après l'épandage.

Dans le cas de cultures associées, le facteur essentiel est la sélectivité des herbicides employés par rapport à toutes les cultures en présence dans l'association. Il faudra donc, parmi les herbicides utilisables sur l'une ou l'autre des cultures, vérifier qu'il en existe au moins un qui soit bien sélectif de chacune des cultures à la dose employée, en fonction des époques d'application et des stades de développement des plantes cultivées.

- **Les variétés génétiquement modifiées résistantes à un herbicide**

La sélection de variétés résistantes ou l'introduction de gènes de résistance à un herbicide dans des variétés cultivées ouvre une nouvelle voie dans la maîtrise de l'enherbement.

C'est le cas par exemple de la lutte contre les riz adventices. Le produit, généralement un herbicide total mais parfaitement sélectif de la variété génétiquement modifiée, pourrait être appliqué avec une grande efficacité sur les mauvaises herbes et sans risque pour la culture. Toutefois, se pose le problème de la fuite du gène de résistance à un herbicide dans le cas d'espèces de mauvaises herbes très proches de la culture, comme les riz adventices. Une pollinisation croisée serait possible entre riz adventice et riz cultivé. Il pourrait alors y avoir invasion par des riz adventices résistants, d'autant plus rapide qu'une forte pression herbicide

serait appliquée sur plusieurs cycles successifs. Ainsi, il existe un risque de pollution génétique si des variétés de riz dérivées de transformations génétiques se développent.

14.7. LES RAVAGEURS DES PLANTES

14.7.1. Relation plante – animal

Un ravageur est un organisme nuisible qui vit directement aux dépens de plantes ou de denrées en provoquant des dommages. Ce terme s'applique surtout aux animaux. On utilise aussi le terme de prédateur moins pratique à l'oral quand on parlera de prédateurs des prédateurs.

On appelle organisme nuisible un organisme vivant appartenant au règne animal ou végétal, ainsi que les virus, bactéries ou autres agents pathogènes, dont la présence n'est pas souhaitée:

- ❖ nuisible soit parce qu'il est considéré comme un ennemi des végétaux ou des produits végétaux,
- ❖ nuisible soit parce qu'il produit un effet néfaste pour l'homme, les animaux ou l'environnement.

Un auxiliaire est un animal prédateur ou parasitoïde qui, par son mode de vie, apporte son concours à la destruction de ravageurs nuisibles aux cultures. C'est notre auxiliaire pour protéger la plante.

Un prédateur est un organisme animal qui poursuit et capture des proies vivantes pour s'en nourrir, ou pour alimenter sa progéniture. Certains insectes paralysent les proies qu'ils destinent à leurs larves.

Un parasitoïde est un organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un hôte dont il entraîne obligatoirement la mort. On distingue l'endoparasitoïde qui se développe à l'intérieur de l'hôte, et l'ectoparasitoïde qui évolue à l'extérieur de l'hôte.

Le parasitoïde se distingue du parasite qui est un organisme animal ou végétal qui se développe aux dépens d'un hôte, pendant tout ou partie de son cycle vital en lui portant préjudice sans entraîner obligatoirement sa mort (ex : puces, tique, gui, orobanche).

14.7.1.1 Dégâts

Les dommages ou dégâts causés aux plantes ou aux denrées sont de types et d'importance variés. Ils peuvent être quantitatifs en affectant le rendement, ou qualitatif.

Ils peuvent aussi affecter la qualité :

- ❖ esthétique en modifiant l'aspect (image de légume déformé)
- ❖ gustative en modifiant le goût
- ❖ alimentaire en modifiant les composants de la plante
- ❖ sanitaire par la présence de substances toxiques ou allergènes

Ils peuvent rendre une plante impropre à son utilisation non alimentaire : comme le chauffage, la construction, l'artisanat ou autre. Par exemple, une thendrede, hyménoptère qui induit une galle dans les tiges de saule, rend ces tiges impropres à la vannerie

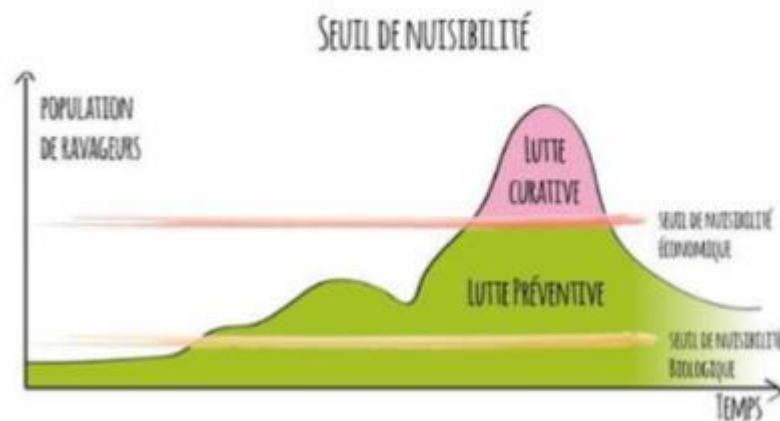
Ils peuvent être dangereux pour la sécurité, par le risque de chute de branche par exemple.

14.7.1.1.1 Les dommages peuvent être directs ou indirects.

Les dommages directs sont la conséquence directe de la présence du ravageur, le plus souvent de son alimentation. Ils peuvent toucher toutes les parties de la plante. Les dommages indirects sont liés aux conséquences de la présence d'un ravageur. On voit le symptôme, mais pas le ravageur qui en est la cause. C'est le cas des maladies virales transmises aux plantes par des insectes piqueurs. C'est le aussi cas de la fumagine : les traces noires à la surface des feuilles ou des fruits correspondent au développement de champignons noirs sur le miellat qui correspond lui-même aux déjections d'insectes se nourrissant de sève comme des pucerons ou des cochenilles. Dans ce cas les insectes peuvent même se trouver sur une autre plante que celle où l'on voit la fumagine, comme c'est le cas sous des érables par exemple.

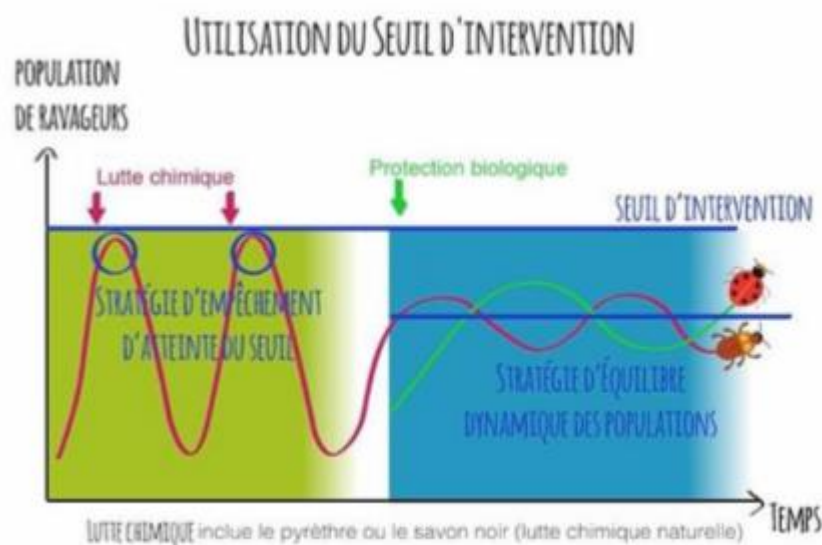
14.7.1.2. Nuisibilité

La nuisibilité est l'effet négatif sur la croissance et le développement d'une plante cultivée induit par la présence d'ennemis des cultures. La notion de nuisibilité dépend de ce que nous attendons des plantes en termes quantitatifs et qualitatifs. Le seuil au-delà duquel nous n'acceptons plus les dommages. Le seuil biologique de nuisibilité est le niveau d'infestation à partir duquel une diminution de rendement ou de qualité est statistiquement décelable. Le seuil économique de nuisibilité est le niveau d'infestation à partir duquel l'effet sur la diminution de rendement ou de qualité est supérieur au coût des moyens mis en oeuvre pour lutter contre l'ennemi de la culture. L'intervention est alors rentable.



Le seuil de nuisibilité varie pour un même ravageur avec :

- ❖ la culture (techniques, variétés, ...),
- ❖ le stade de la plante,
- ❖ les conditions climatiques,
- ❖ les conditions économiques.



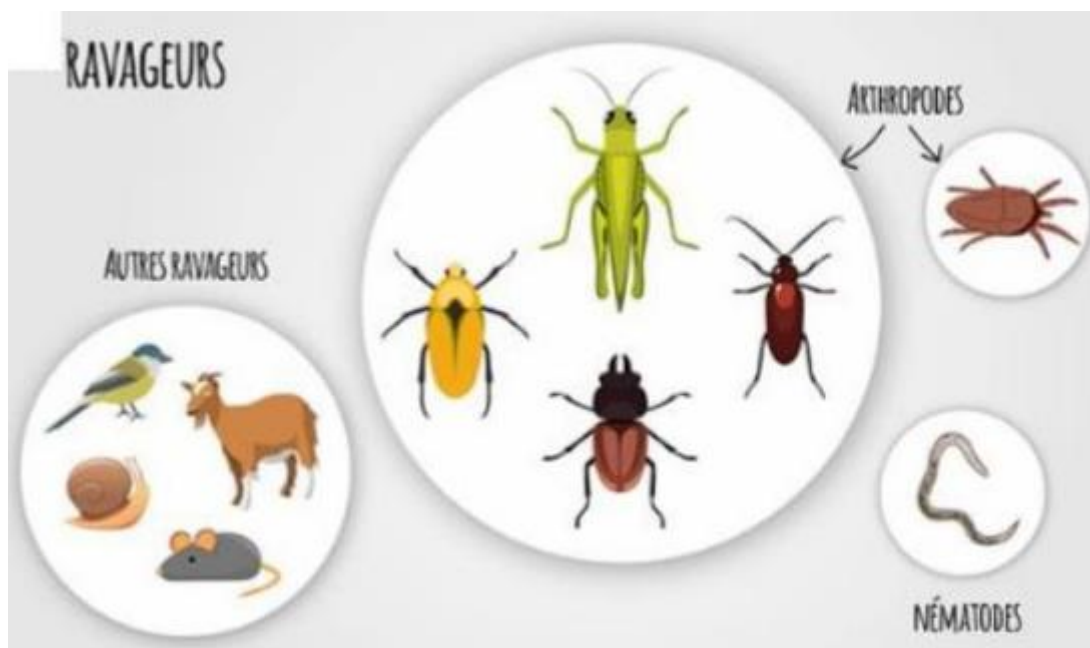
Ce schéma permet de comprendre l'utilisation du seuil d'intervention. On représente le niveau de population du ravageur en fonction du temps.

- ❖ Le ravageur voit sa population augmenter jusqu'à un certain niveau à partir duquel la population diminue formant ainsi des successions d'augmentation et de diminution de population.

- ❖ Les auxiliaires modulent l'évolution des ravageurs. Lorsque la population de ravageurs augmente, elle est freinée par les populations d'auxiliaires. Quand les populations d'auxiliaires diminuent, les populations de ravageurs augmentent à nouveau, et ainsi de suite. On positionne le seuil économique en fonction du coût estimé des traitements par rapport à la perte de rendement ou de qualité. L'intervention chimique se fait au moment où la population de ravageur va atteindre ce seuil. Ce schéma s'applique aussi pour des traitements à base de pyrèthre par exemple. La protection biologique consiste au contraire à empêcher la population de ravageur d'atteindre le seuil en obtenant un équilibre dynamique entre les populations de ravageurs et d'auxiliaires.

14.7.2. Les insectes

Les animaux qui s'attaquent aux plantes cultivées appartiennent à plusieurs groupes, depuis les vers microscopiques comme les nématodes, jusqu'aux vertébrés, avec le lapin, le pigeon ou même l'éléphant. Parmi ces animaux, que l'on appelle des ravageurs, les arthropodes, dotés des pattes articulées et d'un squelette externe, sont surreprésentés. Et parmi les arthropodes, nous nous intéresserons au groupe le plus important : celui des insectes.



Cette importance des insectes parmi les ravageurs est liée à l'interaction très forte qu'ils entretiennent avec leurs plantes hôtes depuis des temps très anciens, il y a plus de 300 millions d'années, bien avant que l'homme commence à cultiver les plantes il y a environ 10000 ans. Cette longue relation entre les insectes et les plantes a permis l'évolution de systèmes et d'outils

très perfectionnés pour exploiter au mieux le végétal. Et par conséquent, certains groupes d'insectes se sont spécialisés pour certaines familles botaniques. Par exemple, le groupe des sitones, des petits charançons, s'est spécialisé dans la destruction des nodosités des légumineuses.

D'autres insectes se sont spécialisés pour un mode d'exploitation particulier.

Par exemple, les pucerons se sont spécialisés dans la ponction de la sève élaborée des plantes, à travers un appareil buccal piqueur-suceur.

Un autre exemple que l'on peut citer : les capricornes sont des xylophages dont les larves creusent des galeries dans le bois. Leurs larves ont pris la forme de tunnelier, se sont musclées, leur donnant une force herculéenne. Et leur appareil digestif s'est adapté pour digérer la cellulose du bois.

Chacune de ces espèces est au fil du temps devenue extrêmement performante dans l'exploitation des ressources végétales.

- ❖ Des ravageurs généralistes s'attaquent à une large gamme d'hôtes, avec des performances moyennes.
- ❖ Alors que des spécialistes ne s'attaquent qu'à une gamme d'hôtes réduites, et sont devenus très performants pour les localiser et provoquer des dégâts supérieurs.

Par exemple, le puceron vert du pêcher est un généraliste. Il s'attaque d'abord au pêcher, puis s'étend sur des plantes maraichères. Les dégâts sont faibles mais sa propagation favorise la transmission de virus entre les différentes espèces de plantes.

Alors que le puceron noir de l'artichaut est spécialisé et développe des colonies qui recouvrent entièrement la plante.

D'autre part, beaucoup d'insectes se sont adaptés à nos façons de produire ou de cultiver les plantes dans les champs ou les jardins : ils développent des résistances aux insecticides les plus utilisés ou s'adaptent aux nouvelles variétés prisées des jardiniers. Le doryphore en est un bel exemple : initialement il ne s'attaquait qu'à des Solanacées sauvages du Mexique. A la fin du 18ème siècle, il s'est adapté à la culture de pomme de terre aux EtatsUnis. Les moyens de lutte contre ces insectes, qu'ils s'agissent de produits chimiques, d'auxiliaires ou de moyens physiques s'appuient sur la connaissance de la biologie de ces insectes. Et notamment de la façon dont ils consomment les plantes. Ces connaissances sont rendues d'autant plus nécessaires pour l'utilisation de méthodes alternatives, plus spécifiques que les produits

phytosanitaires, et qui nécessitent des conditions d'application plus précises. Plus on souhaite s'affranchir de l'utilisation des produits phytosanitaires au jardin, mieux on doit connaître ces insectes.

Les ravageurs peuvent être regroupés en fonction des types de dégâts qu'ils causent.

14.7.2.1. Les rhizophages

Les insectes qui s'attaquent aux racines, les rhizophages, vont provoquer des dégâts directs sur les légumes racines.

L'asticot de la mouche du chou, ravageur spécifique des brassicacées légumières, creuse des galeries dans les racines charnues. Ce qui affecte la qualité de la production mais crée également des portes d'entrée pour des moisissures. Ce type de ravageur peut aussi altérer la capacité de la plante à s'approvisionner en eau et éléments minéraux. Ce qui va réduire sa croissance et la rendre plus sensible aux épisodes de sécheresse.

Par exemple les larves d'otiorhynque détruisent les racines de nombreuses plantes en pot. Ces plantes ont une croissance réduite mais semblent en bonne santé, ce n'est qu'en cas d'oubli d'un arrosage qu'elles dépérissent très rapidement. Les larves de sitones, un autre charançon, détruisent les nodosités des légumineuses qui sont les organes de fixation de l'azote atmosphérique. Cette destruction anéantit l'intérêt principal des légumineuses à fournir de l'azote pour les cultures suivantes. Les ravageurs des parties aériennes sont les plus nombreux et peuvent se répartir en fonction de la façon dont ils consomment le végétal.

14.7.2.2. Les défoliateurs

Les défoliateurs grignotent les feuilles grâce à leurs pièces buccales de type broyeur. Les mandibules développées leur permettent de découper le végétal. On reconnaît ce type de pièce buccale à la présence de deux paires de palpes, petites antennes situées de part et d'autre des mandibules. Ils vont réduire la photosynthèse et entraîner la destruction des jeunes plants. Les altises qui sont des petits coléoptères vont détruire les jeunes plants de choux et radis par exemple. Sur des légumes feuilles, ils affectent directement la production. Les chenilles noctuelles sur choux ou laitues vont consommer et souiller les parties comestibles. Sur les plantes ornementales cultivées pour leur feuillage les dégâts seront d'ordre esthétique. L'adulte de l'otiorhynque ou poinçonneur des lilas découpe des encoches la nuit sur le pourtour des feuilles de nombreux arbustes.

14.7.2.3. Les suceurs de sève

Les suceurs de sève sont exclusivement des hémiptères. Ils sont équipés d'un rostre refermant des stylets qui leur permettent de piquer la plante et sucer la sève. La sève est un aliment très déséquilibré au niveau nutritionnel : avec beaucoup d'eau et de sucre et peu d'éléments azotés ou minéraux. Ces insectes vont donc devoir en filtrer de grande quantité pour acquérir ces nutriments et rejeter de l'eau et du sucre.

Certains sont spécialisés pour s'alimenter de sève brute, et sécrètent un liquide peu sucré qui va goûter de la plante. Par exemple le cercope sanguin s'alimente sur des plantes en pleine croissance au printemps et les larves produisent une mousse qui les recouvre et les protège, les fameux crachats de coucou. Pour tous ces suceurs de sève brute les dégâts directs sont assez faibles, puisqu'à cette période de l'année les plantes produisent de grandes quantités de sève. D'autres sont spécialisés pour l'alimentation en sève élaborée et sécrètent un miellat visqueux et collant. Ce miellat recouvre la plante, peut entraîner des brûlures, mais va principalement être un substrat pour un cocktail de champignons que l'on appelle la fumagine. Elle va bloquer la photosynthèse de la partie recouverte. Le miellat peut déprécier la qualité esthétique du végétal. Cela peut devenir gênant pour les personnes passant sous ces végétaux, et même devenir dangereux lorsqu'il recouvre les panneaux de signalisation ou les parebrises des voitures. Le miellat constitue également une ressource alimentaire pour de nombreux insectes dont les fourmis, qui élèvent les pucerons, les protègent et les exploitent comme un troupeau. Les auxiliaires naturels auront des difficultés à accéder aux proies lorsque les fourmis sont là. Le prélèvement de sève affaiblit la plante et les substances injectées lors de la pique vont entraîner des déformations du végétal lors de sa croissance, ou encore transmettre des virus aux plantes. Les principaux représentants de cette catégorie sont bien sûr les pucerons. Mais on peut également trouver les aleurodes, les psylles ou encore les cochenilles.

14.7.2.4. Les videurs de cellule

Les videurs de cellule sont des hémiptères, thrips ou des acariens. Ils ont des pièces buccales de type piqueur ou piqueur-suceur, moins perfectionnées que les suceurs de sève. Les principaux dégâts sont des décolorations : les cellules vidées meurent et se décolorent. Ces insectes peuvent transmettre des virus ou affecter la photosynthèse et donc la croissance de la plante. Les plantes aromatiques comme le thym, le romarin ou la menthe sont attaquées par des cicadelles qui décolorent les feuilles et bloquent la croissance de la plante. La bordure de la feuille se recourbe et sèche c'est ce que l'on appelle les grillures. Chez les thrips, l'aspiration

du contenu de la cellule s'accompagne de l'injection d'une salive toxique qui va entraîner la formation d'une plage décolorée et brillante autour de la cellule, ce que l'on appelle une argenture. Dans la rue, les feuilles de platanes sont décolorées par le tigre du platane. Il sécrète un miellat très visqueux semblable à la mélasse qui recouvre les terrasses de café et les parebrises des voitures.

14.7.2.5. Les endophytes

Les endophytes sont des insectes qui effectuent une partie de leur cycle à l'intérieur des différents organes de la plante. Certains se développent dans l'épaisseur de la feuille et créent des galeries que l'on nomme des mines. Et qui sont généralement sans conséquence. Certains sont plus préoccupants comme la mineuse du marronnier, dont l'abondance affecte la qualité esthétique des arbres. D'autres se développent dans les tiges creuses des graminées ou de certains arbustes comme le sureau. Ce sont des foreurs de tiges. En agriculture, la pyrale du maïs se développe à l'intérieur de la tige ou de la rafle et entraîne des risques de casses ou de moisissures. Les larves des xylophages se développent à l'intérieur du tronc ou des branches des arbres ou arbustes. Lorsque le bois est déjà mort cela ne pose pas de soucis. Mais lorsqu'il s'agit des charpentières ou du tronc de fruitier cela est plus gênant. Leur détection est souvent difficile et trop tardive. Ils entraînent des chutes de branches, créent des portes d'entrée pour les maladies comme les chancres, affectent la qualité du bois et la production de l'arbre.

On peut les reconnaître assez facilement en fonction de la forme de la larve ou de la galerie. Les capricornes creusent des galeries dont l'entrée est en forme de tic-tac, les entrées de bupreste sont plus rondes. Les carpophages s'attaquent aux fruits, qu'ils soient murs ou en cours de développement et sont très préjudiciables à la qualité de la récolte. Le fruit est un organe sucré, la porte d'entrée aux moisissures par leurs galeries est d'autant plus néfaste. Leur vie se déroule principalement sous forme larvaire dans les fruits. La vie au stade adulte est généralement très courte ce qui entraîne des difficultés pour les contrôler. Le carpocapse est une chenille qui se développe à l'intérieur de la pomme et en consomme les pépins. Sa galerie est souvent le point de départ d'une moniliose. Le trou d'entrée est large et rempli de sciure. Un halo rougeâtre peut être visible sur les variétés de couleur claire. *Drosophila suzuki*, est une petite mouche d'origine asiatique qui envahit le territoire et s'attaque aux fruits rouges pas encore murs. Contrairement aux autres drosophiles qui ne peuvent pondre que dans des fruits en décomposition, *drosophila suzuki* possède un ovipositeur dentelé qui lui permet d'entailler les fruits verts et d'y pondre à l'intérieur. Elle se distingue de la mouche de la cerise, *drosophila suzuki* pond plusieurs oeufs par fruit. Le balanin est un charançon dont la femelle pond les

oeufs sur la noisette verte. La larve se développe à l'intérieur de la noisette en la consommant. A l'automne, l'adulte creuse un trou circulaire et s'enfouit dans le sol pour y passer l'hiver.

16.7.2.6. Les galligènes

Les insectes qui ont la relation la plus étroite avec leur plante hôte sont les galligènes. Lors de la ponte, la femelle produit une substance analogue à une hormone de croissance végétale qui va prendre le contrôle localement du développement de la plante. La plante produit une structure qui héberge, protège et nourrit les larves en développement. A l'automne, les adultes sortent de ces galls. La plupart des plantes ce sont adaptées à ces galligènes et ne souffrent pas de ces interactions. Seuls quelques-uns sont des ravageurs. Plusieurs groupes ont adopté indépendamment ce mode de vie très bénéfique : des pucerons, des cécidomyies et des guêpes de la famille des cynips. Chacune de ces espèces produit une galle de forme très différente, qui ne correspond pas à une structure végétale « normale ». On peut citer la galle pomme de pin du chêne. Le cynips du châtaignier, d'origine asiatique, est un organisme qui par son abondance et l'absence d'auxiliaire en Europe met en danger les châtaigneraies de Corse ou d'Ardèche. C'est aujourd'hui le seul galligène vraiment problématique. La multitude des modes de vies et des interactions entre les plantes et les insectes que l'on vient de voir, explique la diversité des stratégies de protection à mettre en œuvre pour les contrôler.

14.7.3. Les acariens

Il y a des acariens partout : dans les maisons, les matelas, les coussins, les tapis, ... et même au jardin. Les tiques, le sarcopte responsable de la gale, le varroa parasite des abeilles, les acariens des poussières susceptibles de provoquer des allergies chez certaines personnes ... sont des acariens. Sur les plantes, on trouve trois types d'acarien :

- ❖ les acariens phytophages, c'est-à-dire qu'ils s'attaquent aux végétaux,
- ❖ les acariens carnivores, c'est-à-dire que ce sont des prédateurs de ravageurs de plantes,
- ❖ les acariens indifférents, ni consommateurs de plantes, ni consommateurs de ravageurs des plantes mais qui peuvent être confondus avec l'un ou l'autre des précédents.

Les acariens sont des arthropodes comme les insectes. Ils représentent environ 5 % de la diversité des Arthropodes (55 000 espèces d'acariens environ sur 1 172 000 et quelques espèces d'Arthropodes recensés jusqu'à présent, tout ça étant estimé sérieusement mais pas décompté précisément). Contrairement aux insectes, ils possèdent 7 pattes. Leur corps est non-divisé, sans segment ou anneau visible, avec des soies ou poils très nombreux et des pièces buccales visibles.

14.7.3.1. Les acariens phytophages

Il existe trois types d'acariens phytophages :

- ❖ Ceux qui tissent des toiles comme nid pour y vivre et entre autres, se protéger de l'environnement extérieur, notamment des prédateurs,
- ❖ Ceux qui causent des galles qui constituent des nids dans lesquels ils vivent et se cachent,
- ❖ Ceux qui vivent librement sur les feuilles et provoquent différents types de symptômes.

14.7.3.1.1. Ceux qui tissent (en général) des toiles

On les appelle les acariens tétranyques tisserands. Ils sont parmi les espèces les plus nuisibles aux plantes. Il en existe essentiellement deux formes: des rouges et des jaunes. Les adultes ne mesurent pas plus de 0,5 mm de long, il est donc difficiles de les observer à l'oeil nu.

Ces acariens se développent très rapidement. Ils peuvent donc pulluler très rapidement et se disséminer sur de nombreuses plantes. Au-delà de 20 °C, plus la température augmente plus le temps nécessaire à effectuer un cycle complet est court : Il faudra ainsi 10 jours à 25°C contre seulement 6 jours à 35°C. Au-delà de 35 °C, il fait trop chaud et le développement se ralentit. Un acarien femelle vit généralement entre 14 et 30 jours. Elle pond environ une centaine d'oeufs au cours de sa vie. La reproduction peut se faire par parthénogenèse arrhénotoque :

- ❖ la plupart des œufs (75 %) sont fécondés par les mâles, et donnent des individus à 2n chromosomes qui sont des femelles. Certains œufs, en revanche, en début de ponte mais aussi à différents moments de la phase de ponte ne sont pas fécondés mais se développent malgré tout et donne des individus à n chromosomes qui sont des mâles.

➤ **Les galles fermées**

Les galles sont des excroissances se formant sur les tiges, les feuilles, les fruits, les fleurs ou les racines des plantes. Il en existe de très nombreuses formes, certaines sont à peine visibles et d'autres sont spectaculaires.

➤ **Phytopte du fuchsia**

Aculops fuchsiae est un acarien minuscule, qui n'est pas observable à l'oeil nu. Le ravageur vit et se reproduit dans les tissus déformés prenant la forme de galles, qu'il provoque par ses piqûres. Il migre en suivant la croissance de la plante, quittant les galles pour s'attaquer à de nouvelles feuilles ou pousses. Chacune des femelles pond une cinquantaine d'oeufs qui éclosent, en moyenne, au bout de sept jours. L'acarien est disséminé par le vent, les insectes. Cependant le transport de plantes et les échanges de boutures infestées constituent le mode de propagation le plus répandu.

❖ **Ceux qui ne font ni toile, ni galle**

Ils peuvent être de deux sortes :

- soit il s'agit d'ériophyides mais qui ne font ni érinose, ni galle fermée. Ils provoquent d'autres types de symptômes très variables (déformation des feuilles, gaufrage, argenture, plombage, changement de couleur, etc. ...),
- soit il s'agit de ténuipalpides ou acarien plat (ou flat mite en anglais), plus gros (mais plus petits que les tétranyques). Ces acariens provoquent des mouchetures sur les feuilles, comme les tétranyques vu précédemment mais tout comme les ériophyides, certaines espèces sont capables de transmettre des virus aux plantes.

14.7.3.2. Les acariens carnivores ou prédateurs

Ils appartiennent essentiellement à la famille des Phytoseiidae. Ils vivent uniquement sur les plantes où ils mangent des tétranyques, des ténuipalpides et des ériophyides, de petits insectes, du pollen, des exsudats végétaux, des champignons... Certaines espèces sont naturellement présentes dans les jardins, d'autres peuvent être achetées et introduites pour réaliser de la lutte biologique.

14.7.3.3. Les acariens indifférents

Les plus fréquents sur les plantes sont des tydéides, petits acariens qui ne causent pas de dommages aux plantes mais ne sont pas non plus des auxiliaires du jardinier, prédateur ou ayant d'autres effets bénéfiques. D'où le qualificatif d'indifférents.

14.7.4. Les nématodes

Les nématodes sont des vers, ronds non-segmentés. Ils sont très différents des vers de terre ou lombrics qui eux sont des vers segmentés, avec des anneaux caractéristiques.

Du point de vue anatomique, les nématodes sont les plus simples des animaux organisés. Schématiquement, ils sont constitués de 3 enveloppes : une cuticule externe enveloppant 2 tubes internes superposés : le tube digestif et le tractus génital. Les nématodes ont colonisé tous les milieux. Ils vivent dans les sols, l'eau, les sédiments. Ils représentent une grande part de la diversité biologique sur terre et en termes de nombre, ils constituent les 4/5 du règne animal. Si la plupart des nématodes sont de très petites tailles, certains d'entre-eux comme les parasites intestinaux de baleine peuvent atteindre jusqu'à 7 m de long. En effet de nombreuses espèces de nématodes ont une vie parasitaire au sein d'organismes aussi variés que les champignons, les végétaux ou encore les animaux. Les nématodes parasites de plantes mesurent tous moins de 1mm de long et sont invisibles à l'œil nu. La particularité la plus intéressante et la plus caractéristique de ces nématodes est celle de la partie antérieure du tube digestif composé d'un stylet perforant. C'est une aiguille creuse connectée à un système glandulaire hypertrophié, qui agit comme une véritable pompe foulante en injectant des sécrétions nécessaires au parasitisme et absorbant les nutriments de la plante. Les symptômes de maladie induits par les nématodes sont peu spécifiques, ils sont donc difficilement détectables. On peut observer des dépérissements des parties aériennes avec souvent déformations ou nécroses. Il existe des nématodes qui réalisent tout leur cycle de vie dans le sol et ne s'attaquent qu'aux racines : ce sont les plus nombreux, et d'autres beaucoup moins nombreux qui ne s'attaquent qu'aux parties aériennes des plantes bulbes, tiges et parfois feuilles. Parmi les nématodes parasites de plante, les nématodes endoparasites sédentaires des racines sont les plus dommageables pour les cultures. C'est-à-dire des nématodes qui vivent à l'intérieur de la racine et qui vont se sédentariser au cours de leur cycle de vie en formant un site nourricier. Avec deux principaux groupes : les nématodes à kystes et les nématodes à galles.

14.7.4.1. Nématodes à kystes

Ce sont des vers ronds d'un millimètre de long du genre *Globodera* et *Heterodera*. Dans ce groupe la femelle blanche et renflée en sphère ou en citron fait saillie à la surface des jeunes racines. Le corps de la femelle durcit se transforme en kyste (brun) qui reste dans le sol : c'est un organe de résistance qui peut rester plusieurs années dans le sol (avec oeufs à l'intérieur et desquels des larves éclosent). Ils n'attaquent qu'un petit nombre d'espèces de plantes : en particulier les plantes de la famille des *Solanaceae*. Les racines sécrètent une substance particulière qui fait éclore les oeufs de nématodes. Les larves envahissent ensuite l'extrémité des racines. Ceci entraîne un affaiblissement de la plante, un retard de croissance.

14.7.4.2. Nématodes à galles

Ce sont quant à eux des nématodes très polyphages (cultures maraîchères, arbres fruitiers, grandes cultures) du genre *Meloïdogyne* spp. Les larves se déplacent dans les films d'eau recouvrant le sol, puis s'insinuent dans les racines puis pique les faisceaux vasculaires de la plante et perturbent l'assimilation des nutriments. Cela provoque les renflements de la racine et aboutit à formation de galles. Les femelles ne conservent pas les oeufs à l'intérieur du corps. Des masses d'oeufs produits par la femelle font saillie à la surface de la racine dans une gangue mucilagineuse. Les principales espèces nuisibles pour les cultures sont *M. incognita*, *M. arenaria*, *M. javanica*, pour les climats tempérés, ayant des températures relativement élevées (>25°C) et *M. hapla*, *chitwoodii* dans les climats plus tempérés et froids. Actuellement une espèce *M. enterolobi* est préoccupante car elle est retrouvée de plus en plus fréquemment dans les cultures. Ces nématodes peuvent descendre profondément dans le sol (>50cm). Et le système racinaire est envahi de galles, réduisant parfois la récolte à néant. Il existe aussi un groupe de nématodes endoparasites migrants. Ces nématodes vont être mobiles dans la racine tout au long de leur cycle de vie. Ces nématodes du genre *Pratylenchus* vont provoquer des dégâts importants avec une symptomatologie de systèmes racinaires très nécrosés avec des lésions importantes.

14.7.4.3. Nématodes des parties aériennes

Ce sont des nématodes qui s'attaquent aux tiges et aux bulbes, voire aux feuilles. Avec deux principaux genres *Ditylenchus* et *Aphelenchoides*. Ces nématodes pénètrent à la base des tiges et des bulbes, provoquant des lésions rougeâtres voire brunes. Ces nématodes peuvent se trouver sous forme d'organe de conservation en absence d'eau. Ils sont disséminés par les semences, et provoquent un raccourcissement des entre-nœuds, des tiges, des feuilles et des

fruits. *Ditylenchus dipsaci* est l'espèce la plus dangereuse et la plus répandue en zone tempérée. *Ditylenchus destructor* (ou nématode de la pomme de terre) provoque des nécroses sur tubercules de pommes de terre. Les nématodes du genre *Aphelenchoides* migrent jusqu'aux feuilles, pénètrent les stomates et provoquent un rabougrissement des plants et des nécroses sur feuilles aisément reconnaissables.

14.7.4.4. Nématodes vecteurs de virose

Ce groupe de nématode pose des problèmes car ils transmettent des maladies à virus. Ces nématodes ne rentrent pas à l'intérieur de racines pour se nourrir. Ils hébergent le virus et l'inoculent à la plante par leur stylet lorsqu'ils se nourrissent sur les racines, lors des piqûres. C'est un problème très important dans les vignobles avec la maladie de la « dégénérescence infectieuse » provoquée par les nématodes du genre *Xiphinema*, qui sont vecteurs du virus du « court noué » de la vigne. Ils sont difficiles à combattre car ils vivent très profondément dans le sol (plusieurs m = au niveau des racines de la vigne). De plus à l'inverse du premier groupe qui provoque des dégâts sur cultures par eux-mêmes, il ne s'agit pas dans ce cas de descendre les populations de nématodes au-dessous d'un seuil de nuisibilité mais d'éliminer complètement le nématode : en théorie un seul individu pouvant théoriquement ré-inoculer la maladie.

14.7.5. Les ravageurs autres

14.7.5.1. Les limaces

Parmi les autres ravageurs on trouve ceux de la famille des gastéropodes comme les limaces ou les escargots. Prenons l'exemple de la limace des jardins (*Arion hortensis*) qui attaque de très nombreuses cultures potagères, ornementales et fruitières. La limace provoque des trous dans les feuilles et des encoches sur leur bord, en respectant les nervures. Elle consomme de jeunes plantules mais également des racines, des fruits et des tubercules. L'adulte est long de 30 à 40 mm, noirâtre et visqueux. Préférant la nuit pour sortir, sa présence est décelable sous les abris naturels (mottes de terre, cailloux...) et aussi à ses traces brillantes et visqueuses de mucus sur les plantes attaquées ou de mucus séché sur le sol à leur proximité. L'oeuf, de couleur claire, a 2 mm de diamètre. Il est pondu par groupe de 10 à 50 sous quelques centimètres de terre, à proximité d'un système racinaire. L'adulte pond environ 400 oeufs. Le temps d'incubation des oeufs dépend de la température et l'éclosion a lieu au bout de 2 à 4 semaines. L'hivernation a lieu généralement à l'état d'oeuf ou sinon d'adulte, sous la surface du sol. La durée de vie de la limace peut atteindre un an. Lorsque ce ravageur est en présence à la fois d'un sol motteux ou

pierreux qui lui sert de refuge et d'une jeune culture avec des organes tendres pour le nourrir, il se développe très rapidement. Il est particulièrement nuisible quand la température est supérieure à 10 °C. Des conditions climatiques humides prolongent sa durée d'activité. A contrario, des périodes de gel en-deçà de -3°C ou de longues périodes de sécheresse lui sont néfastes. Moins visibles, la petite limace grise (*Deroceras reticulatum*) est particulièrement vorace et prolifique. Deux générations peuvent se succéder lorsque les conditions d'humidité sont optimales. Cette limace apprécie tout particulièrement les jeunes semis, qu'elle dévore entièrement.

14.7.5.2. Les petits mammifères

Au jardin on peut également observer de nombreux petits mammifères. Certaines espèces peuvent abîmer vos récoltes, il est souhaitable de les chasser de votre terrain sans attendre. D'autres espèces peuvent être vos auxiliaires même s'il faudra faire quelques aménagements. Les campagnols, lapins, rats et surmulots sont des espèces très prolifiques qui risquent causer des dégâts s'ils ne rencontrent pas de prédateurs dans les jardins. Se nourrissant de racines, graines, fruits, bulbes de fleurs ou écorces, ils endommagent les arbres et les légumes racines ou tubercules conservés dans le sol. Certains mammifères causent peu de dégâts aux cultures, c'est le cas des taupes. Elles vont consommer les vers du sol, et vous protégeront contre les larves de tipules, les vers blancs... En revanche, les monticules de terre qu'elles sortent pour la création de leur terrier abîment votre pelouse. Vous pourrez étaler la terre remontée au niveau des taupinières ou l'utiliser pour vos besoins de terre fine. Cet animal fouisseur est bénéfique au jardin, il aère le sol et remonte en surface les éléments profonds. Le lérot est un rongeur omnivore à tendance carnassier. Au jardin, il se nourrit de beaucoup d'insectes, d'autres petits rongeurs et de mollusques. C'est un auxiliaire contre les limaces, les escargots et les larves du sol. Malheureusement, comme tous les rongeurs, il raffole des graines et des fruits. Il chaparde à l'occasion les fruits sur les arbres et grignote ceux qui sont en réserve. Il lui arrive aussi de manger des oeufs d'oiseau tels que ceux des mésanges. Les loirs et les lérots hibernent, dès que la température passe plusieurs jours sous les 12-13°C. Ils se blottissent alors dans un nichoir ou un ancien nid, parfois dans les greniers. Pendant cette période, ils sont totalement inactifs et vulnérables (chez le lérot le coeur passe de 300 à 2,5 battements par minute et leur température chute à environ 5°C). Leur jeûne prolongé explique leur boulimie le reste de l'année, ils devront doubler de poids entre leur réveil en mars et leur endormissement à l'automne. Il n'y a que très rarement de pullulation chez ces animaux car ils sont territoriaux. Pour vivre en bonne

intelligence avec eux, nous vous conseillons de boucher les trous par lesquels ils pourraient entrer dans votre cave ou grenier et de protéger votre récolte de fruits dans un fruitier grillagé.

14.7.5.3. Les oiseaux

Aucun oiseau n'est considéré comme organisme nuisible pour les cultures du jardin. Ce sont de grands alliés dans la lutte contre de nombreux insectes, même s'ils peuvent pour certains être friands des fruits, des légumes, et des jeunes plants. On peut citer par exemple le sansonnet. Cet oiseau noir apprécie particulièrement les cerises et le raisin. Mais il va également s'alimenter de petits invertébrés du sol comme certaines chenilles de lépidoptère, d'escargots ... Il va en effet creuser des trous dans le sol à l'aide de son bec pointu. On peut également citer la mésange, oiseau auxiliaire le plus connu des jardiniers. Son régime alimentaire est principalement composé d'insectes et tout particulièrement des chenilles de lépidoptères. Il peut cependant arriver qu'elle consomme les graines ou fruits au verger.

14.7. LES MALADIES DES PLANTES

Introduction

Les maladies de plantes affectent plus ou moins toutes les plantes partout dans le monde. Elles sont classées dans deux grandes catégories, ceci en fonction de la nature de leurs causes :

- ❖ les maladies parasitaires ou biotiques, elles sont les plus connues et induites par divers agents pathogènes (champignons, bactéries et phytoplasmes, virus, etc.) ;
- ❖ les maladies non parasitaires ou abiotiques ou physiologiques, on parle parfois de désordres. Plus méconnues et difficiles à identifier ; leur origine est notamment à rechercher auprès des facteurs qui influencent la vie et le développement des cultures et des plantes : excès ou manque de lumière, de température, d'eau, d'humidité ; interventions anthropiques (ce qu'est amené un jardinier à faire au jardin), phytotoxicités, carences et toxicités au moment de la nutrition des plantes, stress climatiques (dans les serres par exemple), anomalies génétiques.

Quelles soient parasitaires ou non, elles peuvent entraîner une grande diversité de symptômes, des dégâts importants se traduisant par une altération des produits récoltés et du potentiel de production, mais aussi des pertes économiques considérables.

Les champignons

Agents pathogènes les plus fréquents et parfois visibles à l'oeil nu (sclérote et carpophore), ils se développent activement sur et dans les tissus des plantes, parfois dans leurs vaisseaux les obstruant à terme (on parle de bioagresseurs vasculaires). Ils sont responsables de maladies bien connues des jardiniers amateurs comme les mildious, les oïdiums, les rouilles, les cloques, les tavelures, etc. Les champignons apprécient l'humidité (dans l'environnement de la plante et dans les tissus très turgescents), se conservent souvent dans le sol ou les débris végétaux. Leurs spores sont dispersées par le vent et les éclaboussures d'eau.

Les bactéries et phytoplasmes

Les bactéries sont de taille microscopique, donc difficilement observable à l'oeil nu. Les bactéries prolifèrent à la surface des plantes et les pénètrent via les ouvertures naturelles (stomates, etc.), mais aussi diverses blessures de taille, d'effeuillage, etc. Une fois envahies, les plantes expriment des pourritures, chancres, lésions humides puis nécrotiques, galles, etc. Leur développement est conditionné par la présence d'eau et d'humidité sur les plantes et dans l'environnement de la plante. Maintenant classés avec les bactéries, les phytoplasmes ne se développent que dans les plantes, notamment dans leurs vaisseaux. Leur dissémination s'effectue grâce à divers insectes vecteurs plus ou moins connus. Les plantes infestées sont fréquemment chlorotiques, parfois violacées, peu poussantes à naines, montrant des balais de sorcières.

Les virus

Infiniment petits, les virus ne se développent que dans les cellules des plantes, on parle de parasitisme obligatoire. Perturbant la photosynthèse et le développement des tissus, ils induisent des mosaïques, jaunissements, déformations, lésions nécrotiques diverses ... ceci sur pratiquement tous les organes végétaux. Plus ou moins spécifiques aux plantes, ils peuvent être transmis de plusieurs façons par :

- ❖ des insectes (pucerons, aleurodes, thrips, etc.),
- ❖ des nématodes,
- ❖ contact au cours des opérations culturales, etc.
- ❖ de nombreuses plantes cultivées ou non, hôtes alternatifs, les hébergent aussi.

Le contrôle des maladies parasitaires est difficile et nécessite souvent de mettre en oeuvre diverses méthodes de protection, en particulier l'utilisation de pesticides qu'il convient de limiter au maximum. Leur utilisation intense peut conduire à des pollutions des nappes phréatiques, induire des phénomènes de résistance chez ces micro-organismes, etc. Cela représente un challenge difficile, mais qui est rendu possible notamment grâce à :

- ❖ une parfaite connaissance des interactions entre les plantes, leurs agents pathogènes et leurs environnements ;
- ❖ une mobilisation et une optimisation des autres méthodes de protection, dites alternatives.

Malgré cela, le changement climatique et les échanges commerciaux en particulier sont à l'origine de l'introduction ou de la résurgence d'agents pathogènes qui viennent complexifier la situation des maladies sur le terrain, et souvent remettre en cause les stratégies de protection difficilement élaborées.

Retenons :

Notions sur les caractéristiques du milieu de culture

- ✓ Fonctionnement d'un peuplement végétal : Développement- Croissance ; Compétitions inter ou intraspécifiques pour les facteurs du milieu
- ✓ Raisonnement d'un itinéraire technique : Adapter les opérations culturales aux types d'exploitation, aux techniques culturales et aux climats
- ✓ Association et succession culturale : Culture pure- association culturale- succession culturale et Rotation- cultures en relais et cultures dérobées- cultures multiples- monoculture- Jachère.
- ✓ Amélioration des plantes et production de matériel végétal : Semences- matériel végétal- systèmes de reproduction des plantes (Autogamie, Allogamie, etc.)
- ✓ Ennemis des cultures : techniques de défense des cultures :