

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION

PARTICULARITES DE L'AGRICULTURE CONGOLAISE

- 1.1 Historique de l'agriculture en RDC
- 1.2 Production agricole
- 1.3 Potentiel agricole de la RDC
- 1.4 Stratégies agricoles

L'ACTION DES ELEMENTS CLIMATIQUES SUR LA VEGETATION

- 2.1 La température
- 2.2 La lumière
- 2.3 L'eau
- 2.4 Le vent
- 2.5 Les serres

LES AMELIORATIONS APORTEES AU SOL

- 3.1 La maîtrise de l'eau dans le sol
- 3.2 Les amendements
- 3.3 La préparation du sol
- 3.4 L'entretien des capacités nutritives du sol
- 3.5 La conservation des terres cultivées

LA PRODUCTION DE MATERIEL VEGETAL

- 4.1 Germeoirs et pépinières
- 4.2 Multiplication végétative

L'IMPLANTATION DES CULTURES

- 5.1 Choix de la culture
- 5.2 Valeur agricole des semences
- 5.3 La préparation des semences
- 5.4 Techniques de semis et plantations
- 5.5 Transplantation et plantation des plants

LES ASSOCIATIONS DES CULTURES

- 6.1 Introduction
- 6.2 Types d'associations des cultures
- 6.3 Relation et interaction entre plantes associées
- 6.4 Problèmes pratiques posés par le semis des associations
- 6.5 Cultures associées et système de production
- 6.6 Les limites des systèmes de cultures multiples
- 6.7 Comment associer les cultures

L'ENTRETIEN DES CULTURES

- 7.1 Le binage
- 7.2 Le buttage
- 7.3 Le démariage
- 7.4 Utilisation des substances de croissance
- 7.5 Le désherbage
- 7.6 La protection des cultures contre les parasites

PRODUCTION ET RENDEMENT

- 8.1 La production potentielle de Biomasse
- 8.2 La mesure des rendements des productions végétales
- 8.3 L'élaboration des rendements

LA GESTION DE L'ESPACE AGRICOLE

- 9.1 Assolement-rotation
- 9.2 L'association Agriculture-élevage
- 9.3 L'agriculture des plantations
- 9.4 Mécanisation et motorisation des exploitations agricoles
- 9.5 Les Systèmes de cultures

0. INTRODUCTION

Au cours des âges, l'agriculture s'est développée par la mise en œuvre des techniques culturales adaptées aux contraintes naturelles et aux possibilités des hommes. Les agriculteurs se sont efforcés d'imaginer des systèmes de production en mettant à profit les caractères favorables du milieu et du matériel végétal et en cherchant à corriger leurs défauts. Les techniques appliquées, d'abord empiriques, ont été progressivement perfectionnées.

A la fin du 19^{ème} siècle, l'agronomie est normative, elle est considérée comme une science des localités.

En 1965, **Henin, S.** propose une approche globale et théorisée de l'ensemble formé par les peuplements végétaux, le sol, le climat et les techniques culturales. Il dégage deux fonctions de l'agronomie : la première est de comprendre des situations, de faire des diagnostics, des évaluations qui

aident à l'action ; la seconde est de progresser dans l'élaboration d'une théorie agronomique.

En 1967, **S. Henin** donne de l'agronomie la définition suivante: « Une écologie appliquée à la production des peuplements des plantes cultivées et à l'aménagement des terrains agricoles ». Cette définition large de l'agronomie serait à l'origine du développement de deux courants, l'un **analytique**, vers une écophysiologie des espèces végétales utiles à l'homme, c'est-à-dire vers l'étude de leur croissance et de leur développement dans leurs relations avec les conditions et les facteurs du milieu, l'autre, **global**, vers une agronomie comme science des techniques agricoles (**Deffontaines-1991**).

Le premier courant a donné naissance à **l'agronomie** qui est considérée comme la science qui s'efforce de découvrir les lois de la production agricole et d'établir la théorie de l'agriculture. Elle s'intéresse donc à l'étude du fonctionnement du peuplement végétal. Le deuxième a été appelé **Agriculture** (du latin, **ager** : champ et **colere** : cultiver).

L'agriculture est l'art d'extraire du sol par la culture et d'une façon plus ou moins permanente, le maximum de production avec le minimum de dépenses et d'efforts. La plante est alors considérée comme une **usine végétale**.

Mais, pour obtenir un rendement optimal, l'agriculteur doit s'appuyer sur les résultats d'une science appliquée : l'agronomie encore appelée Etude de l'agroécosystème.

Les sciences agronomiques assureraient donc le progrès des techniques agricoles et leur donneraient des bases scientifiques.

Par la suite, les techniques et les sciences ont été obligées de se scinder, de se spécialiser à mesure qu'elles se compliquent. C'est ainsi qu'est apparue la distinction entre **Phytotechnie** et **Zootechne**. A côté de la zootechne, qui vise la production animale, la phytotechnie (du grec phytom : la plante, et teckne : 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 **écologiques**. Cette **phytotechnie** est dite **générale** lorsqu'elle étudie les

bases communes à toute production végétale, elle est “spéciale” lorsqu’elle applique ces bases à la production de différentes “espèces”. Dans le cadre de ce cours, nous appellerons “**Agriculture générale**” ce qui est d’habitude désigné sous le vocable **Phytotechnie générale**.

L’agriculteur tire son revenu de ses récoltes, soit par la vente directe, soit après transformation par les animaux. Il doit donc chercher à obtenir le rendement optimum de la production végétale. Pour améliorer la production végétale, différentes voies sont envisageables. On peut chercher à modifier et à adapter:

- Les conditions d’environnement climatique;
- Les conditions d’installation et de nutrition de la plante;
- Le matériel végétal;
- La protection de la plante contre l’ensemble des ennemis qui peuvent l’attaquer;
- La gestion de l’espace agricole.

Nous avons ainsi donné les grandes lignes de ce cours d’agriculture générale qui se propose de définir les bases **rationnelles de la production végétale**.

Dans ce cours, notre objectif sera **de connaître et expliquer** pour mieux **maîtriser** en agissant sur les composantes de la production végétale à savoir le climat, le sol et la plante. Il s’agit ici d’abord:

- de maîtriser les notions de base communes de la production végétale;
- ensuite d’observer et interpréter les éléments du milieu de vie de végétaux pour leur utilisation en agriculture;
- enfin, le cours d’agriculture générale permettra de conseiller:

** un bon choix du milieu de culture;

**des bonnes techniques d’amélioration du milieu de développement des plantes cultivées;

** un bon choix des plantes de culture;

** un itinéraire technique approprié.

1. PARTICULARITES DE L'AGRICULTURE CONGOLAISE

1.1. HISTORIQUE DE L'AGRICULTURE EN R.D.C.

Lors de l'arrivée des Belges, l'Afrique Centrale était considérée comme une "terre inconnue". Il fallut donc tout organiser en procédant par pénétrations successives et en faisant régner petit à petit la "**Pax Belgica**".

Un des soucis premiers des colonisateurs fut d'assurer le ravitaillement régulier des populations en vue de l'éradication des disettes et des famines, de même que la création d'un courant économique basé sur les produits de cueillette dans les débuts, puis de l'agriculture comme telle par la suite.

En 1891, l'impôt indigène fut exigé en nature, ou bien comporta l'obligation de planter des palmiers ou des lianes à caoutchouc.

D'autre part, le Frère Gillet créa un jardin d'essais à la Mission des Pères Jésuites de Kisantu, où furent acclimatées de nombreuses espèces végétales en provenance de tous les pays tropicaux.

En 1894, au sein du Gouvernement Général à Boma, fut organisée la première Direction de l'Agriculture et de l'Industrie qui sortit les instructions relatives aux grandes cultures.

L'exemple du Frère Gillet entraîna l'Etat Indépendant à fonder un jardin botanique à Eala, en 1900, de même qu'un jardin colonial à Laeken. Ces établissements, tout comme le Jardin Botanique de Bruxelles rendirent de grands services pour l'étude et la propagation des plantes coloniales.

Jusqu'en 1908, l'agriculture Congolaise n'enregistra guère de progrès, les exportations étant surtout basées jusqu'alors sur les produits de cueillette : coton, huile de palme et copal.

Après la reprise de la colonie par la Belgique (en 1908), l'impôt en **nature** fut remplacé par l'impôt en **espèces** en même temps que les cultures vivrières étaient l'objet des soins attentifs en vue du ravitaillement assuré des populations.

De plus, à l'exemple de l'Uganda et du Ghana qui produisaient déjà l'un du coton, l'autre du cacao; les instances officielles voulurent intéresser l'agriculture autochtone aux cultures d'exportation de manière à

créer des revenus stables aux populations, quitte à imposer les dites cultures en titre éducatif. Cela souleva des vives controverses qui durèrent encore quand la guerre de 1914-1918 éclata, et ce furent les circonstances spéciales du moment qui prescrivirent en 1917 l'imposition des travaux agricoles de rapport aux circonscriptions indigènes, au bénéfice exclusif de leurs membres. C'est cette mesure qui détermina l'orientation décisive de l'agriculture indigène, l'imposition se justifiant par le **caractère éducatif de la mesure** et par les résultats qu'elle entraîne.

L'effort porta d'abord sur le coton et le riz, dès 1916-1917 la culture du coton demeura au Maniema et au Sankuru.

Enfin, en 1933, les premières conceptions du **paysannat** indigène virent le jour et s'affirmèrent de plus en plus. Cette évolution ne se fait toutefois pas, sans mal tant par le fait de l'éducation agricole à faire dans le milieu indigène que par le fait du manque des moyens disponibles dont celui du personnel de vulgarisation n'était pas le moindre.

Les résultats furent spectaculaires: au point de vue vivrier, suppression des disettes et des famines, approvisionnement des centres et production de quantités importantes de coton, de café, de riz, d'huile de palme, de caoutchouc etc. Tout cela présentait toutefois un danger latent qui réside dans l'épuisement des sols, d'où nécessité d'adopter les mesures conservatoires et d'en arriver aux procédés les plus progressistes de production.

Concurremment à l'évolution de l'agriculture indigène se manifeste le **développement des compagnies** agricoles Européennes à partir de 1908.

Mais les conditions étaient très défavorables dans les débuts : main-d'œuvre difficile et peu expérimentée, manque d'aide des services officiels, voies d'évacuation déficientes, prix des terres élevées, manque de personnel compétent en matière agricole etc.

En 1909-1911, la mission Claessens, devait mettre au point le programme de CTC d'Ireh (Funtumia), elle abandonna ce projet, et recommanda les exploitations rationnelles de caféiers, cacaoyers, d'hévéa.

Le service de l'agriculture fut réorganisé en 1910 sur le modèle

des services des autres colonies tropicales plus avancées et se consacra à la mise au point des techniques culturales propres aux plantations tropicales dans des stations expérimentales bien équipées. Il organisa également la vulgarisation et la constitution d'exploitations importantes.

Il y eut de **nombreux obstacles à vaincre**, notamment une crise dans les prix du CTC en 1913, compliquée par la suppression de la récolte obligatoire du CTC sauvage qui avait fortement réduit les ressources de la colonie. Puis vint la guerre de 1914 – 1918 qui stoppa toute extension, et il fallut attendre encore une dizaine d'années avant de voir l'agriculture congolaise trouver sa véritable voie dans une action réellement scientifique et constructive.

Deux caractéristiques apparaissent dans cette orientation : Certaines entreprises sont le fait des **sociétés**, d'autres celui d'individus isolés ou **colons**. Dans le premier cas, les moyens mis en œuvre sont importants grâce à la constitution de capitaux réunis par les actionnaires nombreux. Dans le second, les moyens sont limités et le labeur du planteur intervient en ordre principal.

Parmi les sociétés qui se développèrent après la première guerre mondiale, on en trouva surtout qui s'intéressèrent aux palmiers naturels, puis aux cultures rationnelles du caféier, du palmier et de la canna à sucre (1924). En 1925, les affaires marchaient très fort et les produits d'exportations connurent des prix élevés. Aussi, multiplia-t-on les concessions, sans y apporter toujours les soins voulus et les précautions d'usages, de sorte que quelques années plus tard, un bon nombre d'entre elles durent être abandonnées pendant les années de crise.

La crise économique débuta en 1929, alors que le nombre des sociétés zaïroises était passé en dix ans, de 38 à 96. Cette période de dépression fut catastrophique pour les sociétés mal stabilisées et trop récentes, elles disparurent sans rémission. Les autres s'accrochèrent, s'adaptèrent, et, grâce à l'aide gouvernement parvinrent à survivre.

Quant aux colons, ceux-ci rencontrèrent de nombreux obstacles dus au pays et au climat d'une part, la modicité de leurs moyens d'actions, d'autre part, le problème de transport, la rareté relative de la main-d'œuvre

et sa qualification, le régime foncier enfin furent parmi les initiatives gouvernementales et différentes formes d'aide pour inciter la colonisation agricole à démarrer (comité spécial du shaba, comité national du Kivu).

Par ailleurs, l'action gouvernementale se concrétisa par l'instauration à Bruxelles d'un office de colonisation en 1937, dont l'homologue fut créé à Kinshasa, en tant que service de colonisation dépendant au Gouvernement Général. Certaines sociétés facilitèrent également l'installation de leurs anciens agents et participèrent de cette façon à l'aide à la colonisation.

Il nous faut également signaler l'aide substantielle apportée par la recherche scientifique à l'agriculture zaïroise. Cette recherche fut le guide indispensable, dans toute tentative, qui dès le début orienta, avec plus ou moins de bonheur, les travaux agricoles de toutes sortes.

Déjà l'Etat Indépendant (avant 1908) fit entreprendre des études de botanique et de climatologie. Les premiers centres d'études agricoles furent créés au nombre de 18, mais en 1914, on en réduisit le nombre en 9 ; en gardant les meilleurs et les mieux situés : Eala, Yangambi, Ngazi, Ganda, Bundi, Lemba, Lukolela, Nyangwe et Bakusu. Par la suite en 1933, de nouvelles stations se substituèrent aux anciennes et constituèrent l'actuel réseau de recherches de l'INERA.

A la fin de la guerre 14-18, les plantations des stations existantes étaient d'un rapport intéressant et elles nécessitèrent un régime différent de l'habituelle gestion administrative; ce fut l'origine de la **Régie des Plantations de Colonie**, laquelle subvenait à ses charges par le produit de ses plantations. Le régime plus souple permit de réaliser les programmes plus facilement surtout d'intéresser le personnel de valeur et de le stabiliser dans certaines spécialités. Toute - fois, l'aspect commercial des travaux prenait souvent le pas sur la recherche, sur la sélection, sur les expériences. En cela, on reprochait à la Régie de ne pas faire comme aux Indes Néerlandaises où seuls les études et les essais comptaient.

En 1933; le prince Léopold visita le zaïre et s'intéressa aux questions de recherche agronomique. Il proposa des réformes, et la transformation de la Régie des plantations de la colonie qui devint alors

l'Institut National pour **l'Etude et de Recherche Agronomique du Congo -Belge** (INEAC), lequel conserva la liberté d'action de la Régie et se consacra entièrement à des programmes de recherche scientifique grâce à un budget propre alloué par la colonie.

Son siège était à Yangambi où se trouvaient la Direction Général et le Centre de Recherche avec toutes les divisions spécialisées, puis viennent les secteurs et les stations réparties à travers tout le pays. Ces secteurs sont repris ci-après:

- Secteur de l'Equateur, avec siège à **Yangambi**.
- Secteur du Bas-Zaïres, avec siège à **Mwuazi**.
- Secteur du Nord, avec siège à **Bambesa**.
- Secteur du Shaba, avec siège à Kayberg ou **Kipopo**.
- Secteur du Kivu, avec siège à **Mulungu**.
- Secteur de l'Ituri, avec siège à **Kioka**.

En dehors de l'INEAC (aujourd'hui INERA), une évolution se manifesta également dans le sens de l'organisation des services administratifs de l'agriculture chargés d'appliquer et de traduire dans la pratique les acquisitions des stations de recherche. On a ainsi créé des groupes d'expérimentation et de vulgarisation comme par exemple CAPSA, SNV, SNASEM, SNAFIC, PRONAM etc.

Aussi, on se préoccupait de l'enseignement agricole et, en 1932, le CADULAC (Centre Agronomique de l'Université de Louvain du Congo) fut créé à **Kisantu**. Il y organisa l'année suivante en 1936 deux autres écoles moyennes d'agriculture à **Kamponde** (Kasaï), Bunda (Ituri), et deux fermes-école ; à kyanita et Dembo. Aujourd'hui la RDC dispose d'une infrastructure suffisante pour la formation des cadres agricoles à tous les niveaux:

- Facultés d'Agronomie et de Médecine Vétérinaires;
- Instituts Supérieurs d'Etudes Agronomiques et Vétérinaires;
- Instituts secondaires Agricoles et Vétérinaires.

Tous ses moyens concourent à un même but: faire progresser l'agriculture congolaise dans la voie des améliorations constantes, que ce soit par la technique, la vulgarisation ou par l'action sociale.

1.2. PRODUCTION AGRICOLE

1.2.1. Production Vivrière

En dépit des multiples difficultés et contraintes (d'ordre technique, institutionnel, humain) la tendance générale est à l'accroissement de la production des principales cultures vivrières (maïs, riz, manioc). Le taux d'accroissement de cette production varie d'une année ou d'une période à une autre. Cependant, cette augmentation vivrière est due principalement à l'expansion des superficies cultivées et non à l'amélioration de la productivité. Les rendements de la plupart des cultures vivrières sont restés inférieurs à leur potentiel, généralement par suite de la dégénérescence du matériel végétal.

Malgré ces résultats appréciables, la production vivrière est loin de satisfaire la demande interne ; ce qui implique la poursuite des efforts visant l'auto-suffisance alimentaire à travers les différents programme/ projets agricoles.

Dans les centres urbains, la **consommation de blé** s'accroît rapidement. Cette consommation pourrait augmenter la dépendance progressive du Congo vis-à-vis des importations du fait de la modification des habitudes alimentaires urbaines.

Concernant le maïs, la RDC en produisait suffisamment pour le marché intérieur et en exportait un peu. Cependant, après 1960, bien que les superficies cultivées aient augmenté, la RDC a dû procéder à des importations afin de faire face à la forte croissance de la demande résultant de sa rapide urbanisation.

Les principales contraintes à la production du maïs sont :

- L'insuffisance de l'encadrement/vulgarisation ;
- La dégénérescence des semences ;
- L'insuffisance des crédits de Campagne ;
- Le mauvais état des routes de desserte agricole.

Pour le riz, la production est loin de satisfaire les besoins locaux. La RDC continue à importer encore des quantités importantes de riz pour les grands centres de consommation. Les principales contraintes à la production du riz sont :

- La dégénérescence des semences ;
- La dégradation du réseau routier ;
- L'insuffisance de crédit de campagne ;
- La faiblesse du système de vulgarisation.

Pour le manioc, la RDC est autosuffisante. Cependant les problèmes se posent au niveau de l'approvisionnement des grands centres de consommation ; de la recherche des clones résistants et plus performants et de la transformation pour alléger le travail des femmes.

Pour le soja, bien que les prévisions soient difficiles à établir, la demande en semences est toujours croissante et la croissance de la production animale (6 à 7%/an) implique une demande importante pour ce produit dans le futur.

La RDC fut pays exportateur de manioc et de maïs avant l'indépendance. Ces exportations étaient destinées particulièrement à la Belgique et à l'Allemagne de l'Ouest. Les plantations de la plupart des produits agricoles destinés aux grands centres urbains ont eu tendance à augmenter ces dernières années. L'aide alimentaire, principalement en provenance des USA et du Canada, représente plus au moins 50% des importations.

*Tableau 1: Production de principaux produits vivriers
(en milliers de tonnes)*

CULTURES	1985	1987	1990	1992	1994
Manioc	15 700	16 820	19 500	19 780	19101,6
Maïs	760	850	1 030	1053,3	1184,4
Riz	312	330	418	403,3	426,2
Haricot	178	187	205	547,6	598,3
Arachide	395	423	550	209,5	219,7
Plantains	1865	1880	2160	2116,9	2262

Tableau 2: Superficies cultivées de principales cultures vivrières (en Ha)

CULTURES	1990	1991	1992	1993	1994
Manioc	2320052	2420716	2471933	2420075	2473469
Maïs	1234 449	1262 465	1297123	1368786	1432502
Riz	487 190	489 991	556254	595 130	587332
Haricot	633 334	663 953	684506	751 669	758043
Arachide	337 344	343592	349083	360 387	372229
Plantains	430326	428271	435073	358244	474590

*Tableau 3 : Rendement moyen de principales cultures vivrières
(en Tonne/ Ha)*

CULTURES	1990	1991	1992	1993	1994
Manioc	8,067	8,000	8,000	7,806	7,723
Maïs	0,817	0,810	0,812	0,826	0,827
Riz	0,805	0,804	0,725	0,722	0,726
Haricot	0,834	0,800	0,800	0,790	0,789
Arachide	0,590	0,600	0,600	0,596	0,590
Plantains	4,87	4,88	4,87	4,77	4,77

Tableau 4: Disponibilité par personne en produits vivriers et viande (en kg).

PRODUITS	1990	1991	1992	1993	1994
Manioc	462,7	463,5	458,30	423,50	414,37
Maïs	22,9	21,85	21,99	22,22	22,26
Riz	12,9	12,12	11,93	10,13	9,34
Haricot	9,6	9,4	9,3	9,80	9,55

Arachide	4,6	4,53	4,45	4,41	4,37
Viande	2,3	2,23	2,27	2,05	2,02

1.2.2. Cultures industrielles d'exportation et de substitution

La production des cultures de rente est en stagnation ou en baisse et celle-ci a surtout été sensible pour l'huile de palme et le caoutchouc. Les superficies plantées ont connu une diminution de plus de 40% depuis 1960, due à l'abandon des plantations après les mesures zaïrianisation/radicalisation de 1973-1974 et l'insuffisance de la main-d'œuvre.

En principe, la qualité et le rendement de toutes les cultures industrielles et d'exportation sont aussi en baisse. La production de sucre industriel a augmenté légèrement ces dernières années et seul le café a vu ses superficies s'accroître. Toutefois, ces résultats sont décevants si l'on tient compte des potentiels de la RDC dans ces spéculations (palmier à huile, café, thé, caoutchouc, cacaoyer et coton).

Le café occupe une grande place dans les exportations. Cependant, la production est surtout villageoise et la qualité est moins bonne.

Le café arabica est principalement cultivé par les collectivités locales tandis que le robusta provient surtout de groupes agro-industriels comprenant 300, 400, 500 Ha, voire plusieurs milliers d'hectares de plantation. La production de robusta des collectivités a tendance à se développer; en moyenne chaque famille de la collectivité s'occupe de 4 ares de plantation.

La production congolaise de café est essentiellement destinée à l'exportation, la consommation intérieure ne dépassant pas 5000t/an.

Les contraintes à la production du café sont les suivantes:

- L'insuffisance des investissements;
- Le vieillissement et le non renouvellement des plantations;
- La trachéomycose;
- L'absence d'encadrement et de recherche agricole.

La production et les exportations de café sont restées presque stables avec légère augmentation dans les années 80.

Le palmier à huile est une culture importante pour la RDC puisqu'elle figurait avant 1960 parmi les grands producteurs de l'huile de palme.

Il n'y a pas eu d'exportation d'huile de palme en 1979, la production nationale répondant en peine aux besoins du marché local.

Les principaux producteurs d'huile de palme de la RDC sont:

- Agriumbe (5000 ha);
- Busira-Lomami (3725 ha);
- C.C.P. (4400 ha);
- Compagnie du Kasai et de l'Equateur;
- Comuelle (3285 ha);
- Cultures congolaises (6400 ha);
- P.L.Z. (37128 ha);
- Sociétés des cultures (14332 ha);

Pour l'hévéa, le thé et surtout le cacao, la production et les exportations en volume ont baissé depuis 1960. La production et les exportations de quinquina ont progressé légèrement. La situation de ces cultures continue à se dégrader et la RDC pourrait perdre ses avantages comparatifs s'il n'y a pas d'investissements dans ces produits. Les causes principales de la baisse de production sont multiples:

- Le vieillissement et la diminution des superficies des plantations;
- La faible productivité du matériel végétal;
- L'insuffisance de main-d'œuvre et d'encadrement;
- La limitation de crédits et taxation;
- L'insuffisance d'investissements.

La production des produits de substitution (coton, sucre) a connu aussi une stagnation et/ou une diminution. La production du coton ne représente plus que 25% des besoins des industries textiles locales. Les importations en provenance des USA et d'autres pays suppléent la production nationale.

En dépit de cette situation, les perspectives pour les cultures

industrielles d'exportation et de substitution de la RDC apparaissent prometteuses. Des études très récentes ont montré que malgré la baisse des prix mondiaux, la RDC a des avantages comparatifs dans la production du thé, de café, de cacao, de caoutchouc, de l'huile de palme et de coton pour le marché local. Seul le sucre fait exception, son coût de production est très élevé.

Les causes du déclin de ces produits sont connues:

- diminution des superficies;
- absence d'encadrement;
- mauvaise gestion;
- insuffisance ou absentéisme de la main-d'œuvre.

Tableau 5 : Production des cultures industrielles et de substitution (en tonnes).

PRODUITS	1985	1987	1990	1992	1994
Café	102 300	117 399	139 195	92 401	88 346
Cacao	4 530	5 500	7 183	7 361	7 547
Huile de palme	213 839	196 769	225 590	35 503	20 066
Thé	4841	2 029	3 200	3 120	3 405
Coton	22327	17 400	10 160	9 190	9 150
Quinquina	8 147	4999	6 530	-	-
Sucre	62,7	68,2	-	-	-

Tableau 6 : Exportations des produits agricoles (en tonnes).

PRODUITS	1985	1986	1987	1988	1990
Café	90 240	147 492	133 320	63 708	104 268
Cacao	4 595	6 327	5 430	5 103	5 385
Huile de palme	2 479	3 000	1 784	2 163	2 613

Thé	57 889	28 634	18 685	16 297	6 137
Coton	4 144	5 515	2 999	2 280	2 321
Quinquina	147 223	142 585	147 921	164 190	120 159
Sucre	11 028	14 166	11 149	10 656	10 566

Tableau 7: Crédits octroyés par les institutions spécialisées de crédit en secteur agricole. (en millions de zaïre)

INSTITUTION ET PRODUITS	1990	1991	1992	1993	1994 (1)
Crédit à court terme	24	352	10 981	217 704	30 080
Bancaires à décaisser	11	214	6 037	43 477	3 770
Bancaires de signature	4	97	9 237	28 308	1 206
Institution spécialisées	7	21	9	2 280	1
Octroyées par SOFIDE	1 053	4 733	628 500	27 873 600	35 500
Sylvi et Exp for	2	8	12	1	-
Elevage	1	9	20	98	-

Légende :

- En millions de Nouveaux zaïres
- * En millions de zaïres.

Tableau 8 : Budget de l'Agriculture.

ANNEES	1975	1980	1981	1982	1984	1985	1986
% Budget Total	2,5	2,8	3,7	2,9	0,7	0,8	0,9

1.3. LE POTENTIEL AGRICOLE DE LA RDC

Les possibilités de l'agriculture congolaise sont déterminées par

l'interaction d'une série de facteurs physiques et humains, les uns agissant dans un sens favorable à son développement, les autres constituant à l'origine un handicap certain.

Parmi les facteurs propices au développement harmonieux de l'agriculture figure la **diversité des climats**. Du fait de son étendue, la RDC jouit de toute une gamme de climat qui, en raison de la latitude, de l'altitude et de diverses autres causes locales, varient depuis le type équatorial jusqu'au type tempéré. Si l'on exclut les régions de très grande altitude qui du point de vue agricole, son intérêt, cet immense pays offre encore à l'agriculture la possibilité d'y développer des activités dont les exigences climatiques sont fort dissemblables. Elle se trouve ainsi à même de produire par exemple, non seulement du cacao, du caoutchouc, de l'huile de palme, du café, mais aussi du pyrèthre, des pommes de terre et du blé. En raison de l'alternance des saisons, déterminée, par la situation de la RDC de part et d'autre de l'Equateur, l'agriculture peut, pour de nombreuses cultures, fournir une production pratiquement continue au cours de l'année.

Il en résulte pour le pays dont le régime pluvial de l'hémisphère Sud est, dans le temps, l'inverse de celui de l'hémisphère Nord, l'avantage de disposer alternativement de la production de l'une ou l'autre de ces régions Ex: Cotonnier.

Si l'on considère enfin les disponibilités en terres cultivables, on constate que, malgré l'existence de vastes territoires peu propices à l'agriculture en raison de la valeur médiocre du sol ou de la présence de marais, la RDC dispose d'étendues importantes (20% du territoire) pour assurer à l'agriculture la possibilité d'extensions suffisantes. Au point de vue des transports, un réseau très développé de voies navigables permet l'évacuation facile des produits agricoles. La longueur des transports est cependant un facteur défavorable au développement de l'agriculture.

De plus, la rupture de charge et le transport par chemin de fer, imposés par les cataractes du fleuve augmentent l'incidence des frais d'évacuation sur le prix des produits agricoles d'exportation.

Les grandes zones agricoles sont connues depuis la colonisation (Cfr carte des sols établis par l'INERA) mais certaines d'entre elles sont

aujourd'hui handicapées par les difficultés de transport: Maniema, Nord-Katanga, les Uélés, le fond de la cuvette équatoriale. La mise en valeur de terres à haut potentiel productif au Bas-Congo, dans la plaine de la Ruzizi pourra reprendre lorsque la situation du Congo permettra d'envisager une intensification de l'agriculture.

La RDC possède aussi suffisamment des ressources (Fer méthane, etc...) pour développer l'industrie des engrais et la fabrication des machines agricoles.

Ces avantages réalisés, la RDC pourra figurer parmi les pays disposant des réserves alimentaires complètes (sûres et économiquement obtenues). Les efforts doivent être considérables parce que la situation actuelle est encore difficile. Nous n'insisterons pas sur les graves conséquences des troubles internes et sur la conjoncture internationale difficile (globalisation de l'économie).

Quelques problèmes agricoles sont à résoudre :

- La superficie agricole est réduite à 7 – 10 millions d'hectares. Une augmentation de 50% assurerait à notre avis une alimentation équilibrée et les disponibilités d'export.
- Les rendements moyens (à l'ha) sont très faibles. Pourtant conformément aux essais effectués par l'INERA et aux productions obtenues dans quelques entreprises agricoles, il est possible d'obtenir de bons résultats :

Tableau 7: Crédits octroyés par les institutions spécialisées de crédit en secteur agricole. (en millions de zaïre)

CULTURES	CUVETTE CENTRALE	SAVANE	ZONE D'ALTITUDE
Maïs	3 905	4 250	6 000
Riz	4 000	2600 Sans irrigation	
		4 500 Avec irrigation	-
Blé	-	-	3 000
Arachide	2 000	3 800	2 300

Coton	1 200	1 200 à 1800	
-------	-------	--------------	--

Pourquoi ces productions ne sont pas réalisées ?

- Le mépris du métier d'agriculteur.
- Les sols : fragiles, pauvres et érodés.
- Le climat variable- aléatoire ; manque des données climatiques pour établir un meilleur calendrier cultural pour chaque zone écologique.
- Les facteurs prioritaires de la production agricole (engrais, semences, pesticides, techniques culturales améliorées, mécanisation...) sont encore en carence.

A cause de cette situation (transitoire déterminée par des facteurs historiques, politiques, économiques, etc) la RDC importe encore (1998) :

- Maïs ;
- Riz ;
- Viande ;
- Farine de blé ;
- Tracteurs et machines agricoles ;
- Engrais et pesticides ;
- Semences.

Dans ce contexte, l'état congolais a toujours déclaré l'agriculture comme priorité des priorités. Il faut insister sur le support scientifique, économique et social de cette décision.

- **Premièrement** parce que celle –ci montre une analyse approfondie en ce qui concerne **les réelles vocations agricoles du pays.**
- **Deuxièmement,** parce que tous spécialistes en économie apprécient que l'année 2000 appartient aux pays qui auront résolu le problème de l'agriculture.

En assurant une alimentation rationnelle de la population en base de la production interne, la RDC pourra économiser les fonds destinés actuellement à l'importation des produits agricoles et développer un système économique équilibré (les ressources existent)

1.4. STRATEGIES AGRICOLES.

1.4.1. Les Politiques agricoles de la RDC

a) Les Politiques d'avant l'Indépendance.

L'agriculture coloniale mit l'accent principalement sur les **produits industriels** et d'exportation dont les exploitations étaient presque entièrement entre les mains des colons. Le développement de la production vivrière était essentiellement l'apanage des agriculteurs autochtones.

Une politique des **cultures imposées** pour certains produits fut ainsi adoptée parallèlement à des mesures de réforme agraire basées sur le regroupement des villageois en paysannats.

Durant cette époque, le secteur agricole considéré comme prospère, fournissait une part significative des produits d'exportation et offrait un bon cadre d'expansion.

Cependant, aucun congolais de l'époque n'était pratiquement chargé de la gestion des entreprises agricoles publiques ou privées ni formé dans ce domaine.

b) Les politiques d'après l'Indépendance

Les troubles qui ont suivi l'indépendance ont entraîné la baisse de la production agricole : les plantations et entreprises agro-industrielles avaient subi des dégâts importants et cette tendance a continué jusqu'en 1965. A partir de 1966, la paix et la sécurité retrouvées ont permis de stimuler de nouveaux investissements dans le secteur des entreprises modernes.

En vue de relancer le développement de l'agriculture, le conseil exécutif initia le **premier plan** de développement agricole à l'issue de la création, en 1970, de la **commission de planification**. Les objectifs poursuivis étaient d'atteindre en 1980, **l'auto-suffisance alimentaire** en produits vivriers de première nécessité et d'augmenter la production agricole pour le traitement industriel et l'exportation.

En 1975-1976, un second effort de planification fut déclenché. Comme la situation économique continuait à se détériorer, que la baisse du prix du cuivre se poursuivait et que la production agricole était en stagnation, le Conseil Exécutif, proclama encore l'agriculture : “ **Priorité des priorités**”.

Le 11 Juin 1976, l'insuffisance de la production agricole avait conduit le Conseil Exécutif à initier un programme ambitieux de production agricole visant à l'auto-suffisance alimentaire.

En 1981, le **plan de relance agricole** était mis sur pied faisant suite au discours du Chef de l'Etat sur la redéfinition de la politique agricole. Il s'agissait de définir un certain nombre d'objectifs compatibles aux ressources existantes tout en s'appuyant au maximum sur le **secteur privé** pour les réaliser.

C'est aussi dans le cadre de ce plan qu'a été préparé le programme intérimaire de réhabilitation économique (print) qui avait permis de mettre en chantier le P.I.P. (Programme d'Investissement Public Prioritaire) pour **1983-1985**. Ce programme était une continuation du programme 1981-1983 dont l'exécution comme celle du programme 1979-1981 avait pris beaucoup de retard et n'avait été que partielle.

Le programme intérimaire de réhabilitation économique, le **print** et le programme monétaire et financier conclu dans le cadre du **plan Mobutu**, ont répondu favorablement à ces exigences. Toutefois, les résultats restaient précaires aussi longtemps qu'une solution plus globale par une **démarche intégrée** n'était envisagée.

En 1986 ; le Conseil Exécutif a élaboré le **premier plan quinquennal** (1986-1990) qui constitue donc le cadre de **consolidation** et **d'ajustement structurel** permettant de renforcer ces résultats et de mettre définitivement l'économie sur la voie de la croissance et du développement.

Enfin, compte tenu que les projets agricoles ne touchent qu'environ 10% de la population rurale, le Conseil Exécutif mit sur pied en 1986 un programme d'appui à l'autosuffisance alimentaire (PRAAL). Ce programme vise à atteindre l'autosuffisance alimentaire en encadrant les régions à haute productivité vivrière non couvertes par les projets agricoles et en assurant des ressources financières supplémentaires aux différents projets qui existent (au PIP).

Depuis 1990, la RDC sombre dans une sorte de stagnation sur le plan agricole. Aucune initiative notable n'est enregistrée pour la relance de l'agriculture. Cependant, les organisations non gouvernementales (ONG) et le

Service National (SNV) se débattent pour éviter l'effondrement de l'économie agricole.

1.4.2. Mesures techniques

* **Diversification de l'agriculture** appuyée sur les climats et sur les sols qui à la fois, permettent et supposent cette diversification.

* Production nationale d'engrais spécifiques pour les sols et les climats du pays.

* Production nationale des **pesticides** et des **machines agricoles**.

* Constructions pour **l'emmagasinage** et la **conservation** des produits agricoles.

* Intensification de la **recherche scientifique** : diversification des systèmes culturaux et d'élevage.

* Développement de l'enseignement technique agricole, moyen et supérieur adapté aux problèmes posés par l'agriculture de notre pays.

* **Priorité accordée à quelques cultures.**

** Maïs, Riz, Manioc, Haricot et Vigne ; plantain.

** Canne à sucre ; palmier à huile ; caféier, cotonnier, théier, cacaoyer

1.4.3. Mesures supplémentaires déterminées par le contexte socio-économique de la R.D.C

* Solution aux ONG et aux coopératives.

* Amélioration de l'infrastructure de transport.

* Augmentation du budget destiné à l'agriculture.

* Taxes douanières diminuées ou supprimées pour les produits agricoles importés.

* Crédits pour les investissements en agriculture.

- Prix stables aux producteurs.

2. L'ACTION DES ELEMENTS CLIMATIQUES SUR LA VEGETATION

2.1. LA TEMPERATURE

La température de l'air, qui résulte du bilan d'énergie à la surface de la terre est très importante pour les raisons suivantes :

- Elle conditionne le niveau des réactions physico-chimiques de la plante et, en conséquence son activité biologique et sa production de biomasse.
- Elle conditionne la quantité d'eau présente, à l'état de vapeur, dans l'atmosphère, et les phénomènes évaporatoires.
- Elle a également une grande influence sur la température des couches superficielles du sol et sur le taux de décomposition de la matière organique à la surface et dans les couches superficielles du sol.

2.1.1. Températures caractéristiques

* **Zéro de végétation.** On appelle zéro de végétation d'une plante, la température au-dessous de laquelle la croissance de celle-ci cesse. La germination n'a lieu qu'au-dessus de zéro de végétation.

Ex : zéro de végétation de quelques plantes.

Pois.....0°	Maïs.....9°
Blé.....0°	Soja.....10°
Sorgho.....8°	Pomme de terre.....10°
Coton.....14°	

L'existence du zéro de végétation a pour conséquence pratique essentielle la détermination de la date de semis.

« Température minimum » certaines phases du développement ne peuvent se déclencher qu'au-dessus d'une température minimum (Floraison).

« Température optimum » La vitesse de croissance des végétaux dépend de la température déterminée, variable selon les plantes.

La température optimum de croissance peut être différente en phase diurne et nocturne. Certaines plantes sont particulièrement sensibles à cette alternance, pour d'autres, au contraire, elle constitue une nécessité physiologique (pomme de terre) qui conditionne la transformation du sucre en amidon.

« Somme des température » Pour accomplir son cycle de développement, la plante a besoin d'une certaine quantité de chaleur.

La somme des températures représente, par définition, la somme des

températures journalières moyennes pendant la durée de végétation de la plante : seules les températures au-dessus d'un seuil minimal souvent voisin du zéro de végétation sont totalisées.

« **Action de la température sur les fonctions physiologiques** »

La mise en évidence d'un optimum de croissance n'est que la résultante des multiples effets qu'exercent les variations de température sur les fonctions de la plante : respiration, transpiration, photosynthèse. **L'intensité respiratoire** s'accroît quand la température augmente. L'action de la température sur l'intensité respiratoire se manifeste surtout lors du stockage des denrées agricoles. Toute élévation de température entraîne :

- Une consommation exagérée de glucides, d'où perte de matière.
- Une production plus intense de CO₂ susceptible de s'accumuler dans un local clos.

Tout accroissement de température entraîne également une **accélération de la température** par suite de l'augmentation du déficit de saturation de l'atmosphère. L'assimilation du CO₂ est également sous la dépendance de la chaleur.

2.1.2. Température critiques

On appelle températures critiques, les températures minima et maxima au-dessous et au-dessus des quelles le végétal est tué. Elles sont très variables suivant les plantes et selon le stade de végétation. La graine supporte les températures très basses ou relativement élevées. Mais la plante en plein développement présente des limites de résistance beaucoup plus étroites.

**** Pour lutter contre le froid**, l'agriculteur a recours à des méthodes physiques et biologiques.

a) Méthodes physiques.

En cultures maraîchères, on procède à l'aménagement artificiel du sol pour créer un microclimat plus favorable, par ex : En faisant des billons, on protège les semis hâtifs et les cultures des primeurs par des châssis, par des paillasons pourvus que le prix de revient de ces moyens par rapport à la valeur des cultures justifie de telles dépenses.

Par ailleurs, une couche d'eau (submersion), des nuages de

fumée permettent de s'opposer au refroidissement excessif de la surface du sol. On retiendra aussi que pour éviter le froid, il est recommandé de ne pas cultiver dans le bas-fond.

Des méthodes utilisant une source de chaleur sont pratiquées en floriculture et en culture fruitière de luxe. Elles consistent à :

- Cultiver les plantes sur un support dégageant de la chaleur naturelle.
Ex : Fumier ;
- Chauffer le sol en faisant circuler de l'eau chaude dans des tuyaux enterrés ;
- Réchauffer l'air avec des brûleurs à mazout lorsque la température descend à un niveau dangereux.

b) Méthode biologiques

Le problème de la lutte contre les basses températures, plus spécialement contre les gelées, serait résolu si l'on pouvait cultiver des variétés à floraison retardée alors que la fructification et la maturation se ferait à une époque normale. Ces recherches sont du domaine du génie génétique.

**** Protection des cultures contre l'excès de chaleur.**

Les températures maximales tolérées par les plantes tropicales varient comme suit :

Caféier arabica	35°C
Cotonnier	15°C
Riz	37°C
Sorgho, millet	45 à 50°C
Patate douce	45°C
Maïs	40 à 44°C
Manioc	45°C

Les fortes températures activent la transpiration des végétaux et augmentent leur besoin en eau. Elles ont pour conséquence néfastes : **l'échaudage** des céréales, les **brulures**, etc.

La lutte contre l'excès de chaleur concerne les cultures maraîchères et certaines grandes cultures (rentables) aux heures chaudes de la journée.

En cultures maraîchères, on interpose des écrans constitués de claies de bois ou de roseaux.

En grandes cultures, c'est surtout en pépinière et lors de leur transplantation que les plants sont vulnérables aux brûlures. Aussi, convient-il d'ombrager les pépinières, mais à un degré progressivement moindre à mesure que les plantes se développent. Les plants les plus fréquemment atteints de brûlures sont ceux qui se trouvent en bordure des plates-bandes latérales de la pépinière.

Les plants, une fois transplantés doivent être ombragés pendant 10 à 12 jours. Certaines plantes thermophiles, no-ombragées en permanence.

Faute d'être ainsi protégé, le cacaoyer croît vite, fournit des récoltes de qualité inférieure et meurt prématurément.

Cependant, l'apport systématique d'engrais minéraux augmente le rendement de cet arbre et en rend l'ombrage superflu.

Pour lutter contre les températures trop élevées on peut aussi choisir **l'exposition la plus favorable**.

2.1.3. Thermopériodisme

Si la température agit sur la croissance des plantes, elle agit également sur leur développement. La dormance de certaines graines et des bourgeons des arbres des régions tempérées est levée par des périodes de froid. De même, certaines plantes doivent, pour accomplir complètement leur cycle de développement, subir l'action de températures suffisamment basses en début de période végétative.

2.2. LA LUMIERE.

Certaines plantes se développent mieux à la lumière alors que d'autres préfèrent l'ombre. L'intensité lumineuse agit différemment selon le stade de la plante, la plante a besoin de plus en plus de lumière au fur et à mesure qu'elle vieillit. Les éclaircissements faibles sont favorables au développement végétatif alors que les éclaircissements intenses favorisent les

organes de réserves (racines, tubercules) et les fruits dont ils améliorent la qualité.

La lumière a une influence sur les phénomènes physiologiques tels que : **la photosynthèse**, la **transpiration**, la **respiration**. Une forte intensité lumineuse accroît la vitesse de transpiration et entraîne le raccourcissement du cycle végétatif. L'excès de lumière favorise la floraison, la maturation des fruits et augmente les réserves et amidon de sucre dans les graines.

L'action de la lumière sur la morphologie de la plante se manifeste par **l'étiollement** en cas de faible intensité lumineuse et le **rabougrissement** en cas de forte intensité lumineuse.

Les réactions des végétaux vis-à-vis de la direction de la lumière sont de deux ordres :

** **Le phototropisme** : mouvement de la tige ou des organes vers la lumière. Dans ce cas, la réponse à la lumière peut être positive, pour les organes photophiles ou négative pour les organes scotophiles ou photophobes.

** **La phototaxie** : déplacement des organes ou des composants cellulaires sous l'action de la lumière.

Le cycle de développement des plantes est influencé par la durée du jour.

Selon les revêtions des plantes, on distingue :

- Les plantes de jours longs dont la floraison est avancée si la durée du jour est allongée.

Ex : Blé.

- Les plantes de jours courts dont la mise à fleurs est accélérée quand la durée du jour est raccourcie

Ex : Haricot, Soja.

- Les plantes indifférentes.

L'agriculteur peut, grâce à certaines pratiques culturales ; intervenir sur l'éclairement des plantes cultivées.

Lorsqu'il veut augmenter cet éclairement, il espace les lignes de semis ou de plantation.

Dans le cas contraire, il peut les resserrer. Certaines cultures, telles que le

caféier, le cacaoyer, le poivrier exigent fréquemment la plantation d'arbres d'ombrage. Un des buts de la taille des arbres fruitiers est de permettre à la lumière de pénétrer convenablement dans toutes les parties de la charpente. L'insolation excessive peut provoquer des accidents : coup de soleil sur les jeunes troncs et sur les branches charpentières mal protégés par le feuillage. On évite ces accidents, soit en conduisant les arbres à basse tige de façon à ce que la masse du feuillage les protège plus efficacement.

2.3. L'EAU

L'eau est l'un des constituants essentiels de la plante. La teneur de celle-ci en eau est cependant très variable : 90% dans les organes jeunes, moins de 10% dans certaines graines (oléagineux par ex.), chez les plantes annuelles, la teneur en eau a tendance à diminuer lorsque la plante vieillit. Néanmoins la quantité d'eau fixée par la plante est faible à côté de celle absorbée : en moyenne, la plante absorbe 300g d'eau lorsqu'elle élabore 1g de matière sèche.

L'eau est donc l'un des facteurs de fluctuation des rendements. Cependant, l'alimentation de la plante en eau dépend de la **pluviométrie** mais aussi des autres facteurs du climat, du sol et de la plante elle-même.

Les cultures réagissent plus ou moins à une déficience dans l'alimentation en eau suivant leur stade végétatif. En particulier pendant les périodes de faible croissance, les végétaux paraissent moins exigeants ; par contre il existe des phases végétatives pendant lesquelles une insuffisance de l'alimentation en eau entraîne une baisse de rendement spectaculaire et irréversible. Pendant ces phases critiques, les besoins en eau ne sont pas accrus, mais la sensibilité de la plante à la sécheresse est à son maximum.

L'influence de l'air conditionne l'évaporation au niveau du sol et des feuilles (ETP). Un degré hygrométrique élevé favorise le développement des maladies. L'humidité est également très importante au moment de la récolte.

Pour lutter contre le manque d'eau on peut utiliser les techniques suivantes :

1°) *Irrigation* : Les principales techniques d'irrigation seront décrites dans le paragraphe (3,2) qui traite de la maîtrise de l'eau.

2°) *La pluie provoquée* : La production de pluie provoquée a fait l'objet de nombreuses recherches. Un des moyens utilisés pour provoquer artificiellement la condensation de la vapeur d'eau des nuages et la précipitation de la pluie consiste à les "ensemencer" avec des produits tels que la neige carbonique et le chlorure de sodium anhydre.

3°) *Le dry-farming ou culture sèche.*

Cette technique est utilisée dans certains pays (USA) où la précipitation annuelle est inférieure à 500mm. Elle a pour but d'emmagasiner profondément dans le sol les pluies de plusieurs années afin que les cultures, pratiquées un an sur deux ou trois, puissent en tirer le meilleur profit. Pendant les années de jachère ou de repos, le sol est maintenu très propre complément débarrassé des mauvaises herbes, les façons superficielles sont multipliées pour empêcher ou freiner au maximum l'évaporation.

4°) *La fumure* : une plante qui a à sa disposition une alimentation minérale suffisante évapore moins relativement à son poids. Ses besoins en eau sont relativement moins importants ;

Les chutes de grêle sont parfois de véritables calamités, elles peuvent anéantir en quelques minutes la totalité des récoltes et causer de gros dégâts aux cultures. C'est un fait d'expérience que certaines régions sont régulièrement frappées par la grêle alors que des régions voisines échappent à ce fléau. L'état actuel de nos connaissances ne permet pas d'expliquer scientifiquement ce phénomène.

Dans la lutte contre la grêle on cherche à détruire les **tourbillons** qui se forment à l'intérieur des cumulo-nimbus. On utilise à cet effet des fusées **grêliguges**, des **canons antigrêle** ou paragrêle qui envoient dans le nuage dangereux des projectiles (iodure d'argent) dont l'explosion modifie les conditions mécaniques et thermiques favorables à la formation de la grêle. On peut aussi s'assurer contre la grêle.

2.4. LE VENT.

Le vent est comme le degré hygrométrique, un agent d'évaporation. En particulier, il risque d'augmenter les dégâts causés par l'échaudage, inversement, il favorise l'assèchement du feuillage et peut

limiter le développement des maladies. Il peut également favoriser la verse des céréales ou l'égrenage sur pied des variétés sensibles.

Le transport du pollen (pollinisation) est souvent assuré par le vent.

Le vent assure également le transport des semences des mauvaises herbes, en particulier les akènes munis d'aigrettes. A côté de ces actions directes sur les végétaux le vent modifie l'ensemble du microclimat, et peut favoriser l'érosion éolienne. L'ensemble de ces éléments amène à poser le problème des **brise-vent**.

Les brise-vent, rideaux d'arbres plantés perpendiculairement aux vents dominants, assurent une protection efficace sur une distance égale à **15 à 20 fois** leur hauteur. Une brise-vent perméable à l'air est plus efficace qu'un rideau dense qui risque de provoquer des phénomènes de **turbulence**.

Convenablement réalisées, les brise-vent assurent assez rapidement une protection suffisante : ils régularisent la température et augmentent dans une certaine mesure la précocité des cultures. Les arbres utilisés comme brise-vent poussent en même temps que les cultures et les concurrencent notamment pour l'eau ce qui amène le cultivateur à les remplacer parfois par des haies mortes en roseaux ou en bambous.

Pour les cultures maraîchères ainsi que pour les cultures basses on peut utiliser comme brise-vent des plantes annuelles ou plantes à végétation rapide : crotolaria, sesbania, tephrosia, etc.

2.5. Les serres

Une serre est un espace fermé présentant son propre climat. Tous les facteurs du climat naturel sont modifiés : rayonnement, température de l'air et du sol, teneur en CO₂, humidité de l'air. Elle est constituée d'une enveloppe, généralement du verre, qui entraîne un "**effet de serre**".

Le sol et les végétaux dans la serre recevant de l'énergie émettent un rayonnement propre dans un domaine de longueurs d'ordre proche de 10000nm qui est arrêté par le verre. L'énergie renfermée n'est pas dissipée hors de la serre : c'est l'effet de serre. La serre se comporte comme un "piège

à chaleur”.

Durant le jour, la température à l'intérieur d'une serre est supérieure à celle de l'atmosphère environnante, durant la nuit les températures sont identiques s'il n'y a pas d'autres apports calorifiques (serre dite froide). L'effet de serre est lié aux caractéristiques spectrales du verre. Celles des matériaux plus légers et moins coûteux qui sont parfois utilisés pour le remplacer, le polyéthylène ou le P.V.C. sont différentes : une fraction du rayonnement terrestre les traverse.

Dans une serre l'éclairement est atténué, un éclairage artificiel est nécessaire pour des cultures particulières à certains stades. A l'intérieur d'une serre, l'élévation de la température de l'air abaisse le degré hygrométrique compte tenu du niveau des autres facteurs agissant sur la photosynthèse, la teneur en CO₂ peut devenir limitante. On y remédie par un apport de CO₂ ou en assurant un renouvellement d'air suffisant.

La faible inertie de la serre oblige à réguler la température. Un apport calorifique est nécessaire à certain moment. La température nocturne doit rester inférieure à celle du jour. Le brassage de l'air permet l'homogénéité thermique. En climat chaud le refroidissement des serres est indispensable. Il est obtenu de plusieurs façons :

- par le blanchissement des parois en verre pour accroître la réflexion du rayonnement solaire incident ;
- par une ventilation forcée ;
- en faisant ruisseler de l'eau sur les parois latérales.

3. LES AMELIORATIONS APPORTEES AU SOL

3.1. LA MAITRISE DE L'EAU DANS LE SOL.

3.1.1. Les besoins et les disponibilités en eau.

La production potentielle maximale d'une culture nécessite qu'elle fonctionne en régime d'ETM. Le besoin hydrique maximal évalué pour une courte période est proportionnel à la demande climatique ; il est donné par la relation :

$$ETM = Kc. ETP.$$

Le besoin maximal pour l'ensemble du cycle cultural s'obtient en cumulant les besoins successifs. Durant les mois de l'année où l'ETM est supérieur à la pluviométrie, un déficit pluviométrique existe (ETM-P). La culture utilise l'eau du sol pour combler sur l'ensemble de la période sèche (ou ETM>P). Le déficit pluviométrique théorique (Dth) est égal à la somme des déficits, soit $\sum(\text{ETM}-\text{P})$. Comme il est souvent supérieur à la réserve en eau (RU) ; il n'est donc comblé que durant les premiers temps. La culture par crainte de réduire sa transpiration fonctionne en régime d'ETR. Le déficit s'établit donc à une valeur inférieure.

$D_r = \sum (\text{ETR}-\text{P})$ égale au maximum à la réserve en eau du sol (RU).

Le déficit d'alimentation hydrique (D) égal à la différence entre le déficit pluviométrique théorique réel.

$$D = \sum(\text{ETM}-\text{P}) - \sum(\text{ETM}-\text{P}).$$

$$D = \sum(\text{ETM}-\text{P}) - \text{RU}.$$

$$D = \sum(\text{ETM}) - (\sum\text{P} + \text{RU}).$$

La somme des pluies reçues durant la période sèche augmentée de la réserve du sol représente la disponibilité en eau offerte par le milieu. On peut donc écrire la relation suivante :

Déficit d'alimentation = Besoins - Disponibilités

Pour connaître le déficit d'alimentation hydrique d'une culture, il faut établir les bilans hydriques de courtes périodes successives et faire ensuite la somme.

3.1.2. Etablissement des bilans hydriques.

A) Introduction

Les végétaux sont traversés par un courant d'eau qui prend naissance au niveau des racines (**absorption**) et se termine au niveau des feuilles (**évaporation et transpiration**).

Ce courant est susceptible d'être modifié par deux facteurs :

- à l'entrée : fourniture d'eau par le sol ;
- à la sortie : régulation stomatique de la plante.

a) La fourniture d'eau par le sol

Une partie seulement de l'eau retenue dans les couches superficielles du sol, peut être absorbée par la plante. Cette réserve utile est en grande partie constituée par **l'eau capillaire**, formant le film aqueux qui recouvre les particules solides de sol.

Toutes les pratiques culturales qui ont pour but l'aération et la structuration du sol favorisent indirectement l'absorption hydrique par l'augmentation du volume prospecté par les racines.

b) La régulation stomatique

L'eau absorbée par la plante est rejetée en quasi-totalité dans l'atmosphère au niveau des **feuilles**, sous le contrôle des **stomates**.

Dès que l'alimentation hydrique (par l'intermédiaire des racines) ne peut plus compenser les pertes (dus au pouvoir évaporant de l'air), les stomates se ferment et annihilent ainsi les échanges entre l'atmosphère interne de la plante et l'air ambiant.

Cependant, lorsque les stomates se forment au-delà d'un certain seuil critique, les échanges gazeux chlorophylliens s'amenuisent et la production de matière sèche diminue. Sur le plan pratique, il en résulte que :

- Si la quantité d'eau traversant la plante est égale ou supérieure à celle que l'air est susceptible " d'évapotranspirer" (ETP), les stomates restent ouverts et la photosynthèse peut être maximale.
- Si le pouvoir évaporant de l'air excède la quantité d'eau que la plante peut puiser dans le sol, les stomates se ferment, ralentissent par conséquent la photosynthèse. La quantité de matière sèche formée décroît, diminuant ainsi les potentialités des rendements de la plante.

En conclusion, pour obtenir le rendement maximum d'une culture, il faut satisfaire ses besoins hydriques, afin de limiter tout arrêt de la photosynthèse.

B) Evaluation des réserves d'eau du sol.

L'eau disponible pour le végétal provient des **pluies** et des **arrosages**.

- Lorsqu'une grande quantité d'eau arrive au sol, une partie en excès s'écoule par gravité à travers les couches supérieures du sol

(= **eau gravitique**).

- Une autre partie est retenue par des formes d'adhésion ou de capillarité autour des particules du sol (= **capacité de rétention ; ou capacité au champ**).
- Les forces de succion, développées par les racines ne sont capables d'aspirer qu'une partie seulement de cette eau (notion de réserve utile ou RU).
- La quantité d'eau trop puissamment retenue par les forces de rétention du sol pour être absorbée par la plante constitue l'eau liée. Le point de flétrissement permanent (= P.F.P.) indique la limite inférieure de l'humidité du sol au dessous de laquelle les végétaux ne peuvent vivre. Au P.F.P., la force de succion limite, développée par les racines, atteint 16 bars.

La réserve utile du sol (RU) apparaît donc comme comprise entre deux limites :

- La capacité de rétention, CR.
- Le point de flétrissement permanent, P.F.P.

$$RU = CR - PFP$$

Il s'agit de la quantité d'eau disponible pour le végétal. Elle dépend de l'épaisseur de la couche du sol explorée par les racines et de la nature du sol. En fait, la plante commence à souffrir de la sécheresse avant que le P.F.P. ne soit atteint ; elle n'utilise dans de bonnes conditions que la partie mobile de l'eau stockée. Cette quantité d'eau, appelée Réserve Facilement Utilisable (R.F.U) est très difficilement mesurable. On l'estime généralement au tiers ou aux deux tiers de la réserve utile. Comme la RU, la RFU dépend du volume de sol exploré par les racines.

$$RFU = 1/3 \text{ à } 2/3 \cdot RU$$

* On peut exprimer l'humidité d'un sol de la manière suivante :

Si l'on appelle :

V (cm^3) un volume de terre.

P_1 (g) le poids de ce volume de terre en place.

P_2 (g) le poids de ce même volume après dessiccation.

d (g/cm³) la densité apparente du sol ($C = \frac{P_2}{V}$) encore appelée poids spécifique du sol en place.

Il existe plusieurs possibilités d'expression de l'humidité d'un sol :

a) *Humidité pondérale H_p*

C'est la masse d'eau contenue dans 100g de sol.

H_p en g pour 100g.

b) *Humidité volumique H_v*

C'est la masse d'eau contenue dans 100 cm³ de sol.

$$\text{Or } V = \frac{P_2}{d} \text{ donc}$$

c) *Humidité exprimée en hauteur d'eau (h) pour une profondeur donnée (H).*

$$H_v = \frac{d \times H_p \times H}{100}$$

$$h = \frac{H_v \times H}{100} \text{ (h et H en Cm).}$$

$$\text{Ou } h = \frac{d \times H_p \times H}{100}$$

* L'estimation de la RFU réelle d'un sol se fait de la manière suivante :

1°) Mesure de la C.R et P.F.P théoriques

Les mesures pour l'évaluation de la capacité de rétention et point de flétrissement permanent s'effectuent au laboratoire sur des échantillons de terre fine tamisée (<2 mm), préalablement réhumectée et soumis à des pressions différentes :

- pour le P.F.P. : pression de 16 bars (en adoptant la notation $pF = \log_{10} h$, h exprimée en hauteur d'eau, $pF = 4,2$).

- Pour la C.R. la pression appliquée varie en fonction du type de sol :

Sol argileux : pF3
 Sol limoneux : pF2,5
 Sol sableux : pF2,2
 Sable : pF2.

La pesée des échantillons de terre, respectivement après application de la pression puis après passage à l'étuve, détermine la quantité d'eau retenue CR et P.F.P. s'expriment généralement en humidité pondérale soit en grammes d'eau pour 100g de terre fine séchée.

La nécessité de rapporter ces valeurs du sol en place, conduit à faire intervenir la densité apparente du sol, **le pourcentage de terre fine** des horizons de sol concernés (T.F.) ainsi qu'un **coefficient de correction K** qui n'intervient qu'au-delà de 30% de cailloux, selon la formule suivante :

CR volume théorique en cm/cm de sol=

$$CR \text{ volume théorique} = \frac{CR}{K} \left(\frac{100}{\% \text{ TF}} \right)$$

Les valeurs de K en fonction du % de terre fine et du type de sol sont données dans ce tableau :

% TF	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10
Sols légers	1	1,1	1,15	1,2	1,3	1,5	1,7	2	3	5
Sols lourds	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,35	1,5	2	3

2°) calcul de la RU volumique théorique= $RU = CR - PFP$

L'application des formules précédentes permet le calcul de la RU volumique théorique.

3°) Calcul de RFU volumique théorique

La RFU ne représente qu'une fraction de la RU.

RFU Volumique théorique= K RU vol.th

Pour le coefficient l'on peut retenir les valeurs suivantes données à titre indicatif :

$$K = 2/3 \text{ (sols lourds)}$$

$$K = 1/3 \text{ (sols légers)}$$

4°) Calcul de la RFU volumique réelle.

La quantité d'eau réellement utilisable par la plante dépend de la profondeur exploitée par les racines. Il faut également tenir compte de la remontée par capillarité de l'eau profonde. Cette remontée est estimée :

- 10 Cm en zone aride ;
- 20 Cm en zone humide ;

On obtient donc :

Avec E = prof. d'enracinement et

r.C = remontée capillaire.

5°) Exemple de calcul.

Humidité d'un sol

Un échantillon de sol de 250Cm³ de volume et de densité 1,45 pèse au moment du prélèvement 436,5g après dessiccation à l'étuve 362,5g.

$$v = 250 \text{ Cm}^3 \quad P_1 = 436,5\text{g}$$

$$d = 1,45\text{g/ Cm}^3 \quad P_2 = 362,5\text{g}$$

Humidité pondérale

$$H_p = \frac{436,5 - 362,5}{362,5} \times 100 = 20,4\text{g d'eau pour } 100\text{g de sol}$$

Humidité volumique

$$H_v = \frac{436,5 - 362,5}{250} \times 100 = 29,6\text{g d'eau pour } 100\text{Cm}^3 \text{ de sol.}$$

Humidité exprimée en hauteur d'eau pour une profondeur d'un mètre de sol ;

$$h = \frac{1452,4}{100} \times 100 = 29,58\text{Cm}$$

* Calcul de la RFU

Ce même sol analysé en laboratoire a présenté les caractéristiques suivantes :

Pourcentage de terre fine = 92 %

Capacité de rétention pF2,5 = 17 %

Point de flétrissement permanent $pF_{4,2} = 5,7 \%$

RU volumique théorique

$RU = (0,17 - 0,057) \times 1,45 \times 0,92 \times 1 = 0,1507 \text{ Cm d'eau/Cm de sol.}$

RFU volumique théorique.

$RFU = 0,1507 \times 2/3 = 0,1005 \text{ Cm d'eau/ Cm de sol ;}$

RFU volumique réelle pour une profondeur d'enracinement de 80 Cm.

$RFU = RFU \text{ vol. Théorique} \times (E + r.C)$

$= 0,1005 \times (80 + 20) = 10,05 \text{ Cm}$

$= 100,0 \text{ mm.}$

C. Bilans hydriques.

Le Bilan hydrique est simplement un énoncé détaillé de la loi de la conservation de la matière qui stipule que la matière ne peut être ni créée ni détruite mais qu'elle passe seulement d'un état ou d'un endroit à un autre.

Ainsi la teneur en eau d'un volume de sol donné ne peut augmenter sans apport venant de l'extérieur (par infiltration ou montée capillaire par exemple...) et ne peut diminuer à moins que l'eau ne soit transportée vers l'atmosphère par évapotranspiration ou en profondeur par drainage.

Comme tous ces processus nécessitent de l'énergie, le bilan hydrique au champ est intimement lié au "bilan énergétique". Ce dernier est une expression de la loi classique de conservation de l'énergie qui stipule que, dans un système donné, de l'énergie peut être absorbée de, ou relâchée vers l'extérieur et qu'elle peut changer de forme en cours de route, mais ne peut être créée ni perdue.

L'agronome peut suivre l'évolution de l'humidité grâce à des **prélèvements** de sols effectués à diverses profondeurs et répétés dans le temps. La comparaison des données ainsi recueillies aux valeurs de la **capacité de rétention** et du point de flétrissement permanent renseigne sur la nécessité d'une irrigation.

- Certains périmètres irrigués sont équipés de sondes à neutrons ces appareils, très coûteux, fournissent directement, par simple lecture, l'humidité du sol autour de la sonde.

- Enfin, la méthode du bilan hydrique permet une évaluation **indirecte de l'humidité** à partir d'un examen par périodes successives (jours, semaines ou décades) de la demande en eau maximale d'une culture, définie par son ETM. Cette demande en eau est comparée aux apports dus à la pluie et à l'irrigation ainsi qu'aux réserves du sol (RFU).

Le bilan cumulé de la différence (ETM-P) permet de prévoir de la période en cours de laquelle le déficit hydrique va atteindre la valeur de la réserve en eau du sol.

Il convient de commencer les irrigations, en apportant une quantité d'eau égale à la valeur du déficit cumulé.

Au champ le bilan hydrique peut s'exprimer de la manière suivante :

On exprime le bilan en termes de la lame d'eau pour un temps donné, c'est-à-dire en flux. La quantité d'eau ajoutée

Lin est représentée par la précipitation atmosphérique P et/ou l'irrigation Ir:

$$Lin = P + Ir.$$

La lame d'eau perdue par le sol est constituée de :

$$L_{out} = R + D + (E+T).$$

Où

R est le ruissellement

D la percolation en profondeur ou le drainage de la zone racinaire

E, l'évaporation à partir de la surface du sol

T, la transpiration végétale et (E + T) représente l'évapotranspiration.

Le bilan hydrique total s'écrit donc :

$$\Delta\theta_w \times Pr = P + Ir - R - D - (E+T).$$


$$\Delta\theta_w \times Pr = Lin - L_{out}.$$

$\Delta\theta_w$ = variation de la quantité d'eau du sol.

Pr = Profondeur du sol pour laquelle le bilan hydrique est déterminé.

Réalisation pratique : exemple

Cas d'une culture de maïs à Kitsuku ; les réserves en eau sont supposées complètes au début du mois de Juin. Le calcul est effectué par décades.

Périodes	RFU	ETM mm	P mm	ETM-P		Remarques
Juin	45	18	33,1	-15,1 ou 0	0	(1)
	-	21,9	2,4	19,5	19,5	
	-	19,5	4,1	15,3	34,8	
Juillet	-	33,3	1,1	32,2	67-(I ₁) = 22	(2)
	-	39,1	6,2	32,9	54,9-(I ₂)= 9,9	(3)
	-	32,3	38,4	-6,1	3,8	(4)
Août	-	40,6	8,8	31,8	35,8	
	-	37,4	4,8	32,6	68,2-(I ₃)= 23,2	(5)
	-	35,2	35,3	-0,1	32,1	(6)
Septembre	-	20,7	20,2	0,5	23,6	
	-	14,3	10,8	3,5	27,1	
	-	17,2	0,0	17,2	44,3	(7)

Explications des remarques

(1) Les réserves sont complètes : l'eau de pluie est donc excédentaire et est considérée comme perdue par drainage.

(2), (3), (5); A la fin de la décade, le déficit serait supérieur à la RFU.

Il est donc nécessaire d'effectuer un arrosage avant la fin de la période, de façon à "refaire le plein" des réserves en eau du sol avant que la plante ne souffre de la sécheresse. La quantité d'eau à apporter est égale à la RFU, soit 45 mm.

(4),(6); L'eau de pluie, tombée en quantité supérieure à la fraction évapotranspirée, permet de combler une partie de la RFU, entamée par les précédents déficits hydriques.

(7); A la fin du mois de septembre, la plupart des cultures ont dépassé le stade de sensibilité à la sécheresse et une nouvelle irrigation ne se justifie plus à cette période de l'année.

3.2.3. L'irrigation

L'irrigation consiste à apporter de l'eau aux plantes pendant les périodes où les réserves emmagasinées dans le sol sont insuffisantes. On distingue :

- L'irrigation obligatoire, en zone aride : la croissance des plantes n'est possible que sévit pendant la plus grande partie de l'année.
- L'irrigation de complément, en zone humide : la plante croit sans irrigation, mais les rendements sont très fluctuants en fonction de la pluviométrie de l'année ; il y a déficit en eau pendant plusieurs mois. L'irrigation est destinée à combler ce déficit, d'où son nom d'irrigation de complément.

L'agriculteur qui aborde les problèmes d'irrigation doit se poser quatre questions au départ :

- est-il nécessaire d'irriguer ?
- est-il possible d'irriguer ?
- comment faudra-t-il conduire l'arrosage ?
- L'opération sera-t-elle économiquement rentable ?

1) *Le calcul d'une installation d'arrosage par aspersion.*

Toute méthode d'arrosage nécessite en vue de son installation, un calcul correct des doses, du rythme et de la fréquence des arrosages. Nous n'aborderons ce calcul que pour l'aspersion ; pour les autres méthodes d'irrigation ; nous renvoyons aux ouvrages spécialisés et au cours d'aménagement hydro-agricoles.

a) Introduction

Le calcul d'une installation d'irrigation comprend deux phases :

- *des calculs à caractère agronomique* : des surfaces à arroser, des périodicités d'arrosage, des débits horaires compatibles avec les besoins en eau des plantes et les caractéristiques physiques du sol ;
- *des calculs à caractère technologique* : le diamètre des canalisations, la puissance de la pompe et du moteur.

Seuls les premiers seront abordés ici, car ils sont susceptibles d'être calculés par l'agronome.

Les éléments de calcul d'une installation sont propres à chaque

exploitation, parfois à chaque parcelle. Ce sont :

- Des éléments non modifiables :
- Les besoins des plantes, exprimés en mm de hauteur d'eau pour le mois le plus déficitaire ;
- La capacité utile de rétention en eau du sol (RU et RFU) qui fixera la dose d'arrosage à chaque rotation ;
- La vitesse d'infiltration, qui déterminera la pluviométrie maximale à ne pas dépasser.
- Des éléments laissant une certaine marge de choix :
- La surface à irriguer ;
- Le nombre de jours d'arrosage par mois ;
- Le nombre de positions par jour ;
- L'implantation des arroseurs.
- Des disponibilités à respecter.
- Disponibilités en eau (quantité, débit) ;
- Disponibilités en main-d'œuvre ;
- Disponibilités en puissance électrique.

b) Exemple

- Parcelle à irriguer : 14ha.
- Besoins en eau : 100mm/mois.
- RFU : 40mm = 400 m³/ha.
- Vitesse d'infiltration : 8mm/heure.
- Pente :
- Débit disponible : 45m³/heure.

b.1. La détermination de l'unité d'arrosage.

* Périodicité – pour apporter 100mm en 1 mois, par dose de 40mm, la périodicité entre deux arrosages devra être.

$$\text{Périodicité} = \frac{D(\text{mm}) \times 30}{\text{Apport}(\text{mm})}$$
$$= \frac{40\text{mm} \times 30}{100\text{mm}} = 12 \text{ jours.}$$

- **Tour d'eau** = si nous estimons à 25 jours/mois le nombre de jours d'arrosage, le tour d'eau, temps nécessaire pour que les 14 ha

reçoivent 40mm sera :

$$\text{Tour d'eau} = \frac{\text{Dose d'arrosage}}{\text{Apports en mm}}$$

$$= \frac{40 \text{ mm}}{100 \text{ mm}} = 10 \text{ jours}$$

- Unité d'arrosage durant ces 10 jours, il faut arroser 14ha ; 1,4ha/jour. Si l'on adopte deux positions/J, la journée et la nuit, les arroseurs devront couvrir 0,70ha à la fois. Cette surface, ou unité d'arrosage, est obtenue par le rapport :

$$\text{Unité d'arrosage (ha)} = \frac{\text{surface arrosée}}{\text{nombre de positions}} \times \frac{100}{\text{dose}}$$

$$= \frac{14 \times 100}{40 \times 25 \times 2} = 0,7 \text{ ha}$$

b.2. Détermination du débit horaire nécessaire et de la pluviométrie.

Le débit horaire nécessaire, en m³/ha et en mm dépend

- De la surface arrosée à chaque position ;
- De la dose ;
- De la durée de chaque position.
- Dose par position en m³ :
1 mm = 10m³/ha ; 40mm = 400m³/ha ; dose en m³ sur 0,70 ;
400m³ x 0,70ha = 280m³ d'eau.
- Dose par jour en m³ : 280 m³ x 2 positions = 560 m³.
- Débit horaire en m³/heure (module de distribution).

Si on choisit un temps d'arrosage de 16 heures (2 positions de 8 heures) le débit nécessaire est de :

$$\text{Débit en m}^3/\text{h} = \frac{\text{surface arrosée}}{\text{durée d'arrosage}}$$

$$= \frac{141000 \text{ litre}}{2516} = 35 \text{ m}^3/\text{h}$$

- Pluviométrie en mm/heure :

$$\text{Pluviométrie} = \frac{\text{débit}}{\text{surface}}$$

$$= \frac{35 \text{ m}^3/\text{h}}{0,70 \text{ ha} \times 10} = 5 \text{ mm/h}$$

b.3. Le choix de l'appareillage est la suite logique des calculs précédents :
il s'agit de :

- des arroseurs : leur implantation (nombre espacement) leur débit, leur pression de fonctionnement ;
- Le diamètre de la ou des rampes portant les arroseurs ;
- Les caractéristiques de la pompe (débit, hauteur manométrique, rendement) ;
- Des caractéristiques du moteur.

Le calcul de cet appareillage dépasse le cadre de notre étude (consulter les spécialistes en génie rural).

2) Les techniques d'irrigation

Selon le mode de distribution de l'eau à la parcelle, on distingue essentiellement 4 techniques : l'irrigation de surface, l'irrigation par contrôle de nappe, l'irrigation par aspersion et la micro-irrigation.

a) Irrigation de surface

Dans l'irrigation de surface, l'eau distribuée sur la parcelle circule à l'air libre à la surface du sol. L'irrigation de surface est la technique la plus ancienne suivant la pente du terrain, la perméabilité du sol et la nature des cultures, elle peut prendre différents aspects (irrigation par submersion, par ruissellement et à la raie).

- **Irrigation par submersion** se pratique en terrain plat dans de bassins entourés de diguettes, que l'on remplit sur une hauteur correspondant à la dose d'arrosage. (Ex : riz irrigué).

Dans **l'irrigation par ruissellement**, l'eau n'est plus statique, mais elle s'infiltré progressivement par ruissellement en nappe sur une surface en pente. Le sol ne peut être convenablement arrosé par ruissellement que si sa pente et sa surface présente une grande régularité. Les pentes extrêmes convenant au ruissellement sont au maximum de 10 % pour les prairies et de 2% pour les cultures. Une pente trop forte donne à la lame ruisselante une vitesse trop grande, qui entraîne le ravinement de la surface du sol.

L'irrigation à la raie (cultures maraîchères) et **l'irrigation à la cuvette** (cultures fruitières) présentent l'intérêt de n'exiger qu'un module d'arrosage relativement faible, mais les pertes d'eau sont importantes.

b) Irrigation par contrôle de nappe

Cette technique d'irrigation consiste essentiellement à maintenir la nappe phréatique à un certain niveau, suffisant pour permettre l'alimentation en eau des cultures par simple remontée capillaire. Elle exige des conditions particulières (sol plat et imperméable en profondeur) que l'on ne rencontre qu'à de rares exceptions.

c) Irrigation par aspersion

C'est de loin la technique la plus utilisée. Le système d'arrosage utilise de l'eau sous pression, qui est distribuée sous forme de pluie. Cette technique nécessite un appareil de pompage (ou une alimentation gravitaire du réseau) qui fournit l'eau à la pression alimentant des appareils qui projettent et repartissent l'eau sur le sol.

Les installations utilisées sont fixes lorsque la station de pompage et le réseau de canalisations sont placés de façon permanente ; elles permettent de supprimer une grande partie de la main-d'œuvre, mais les frais d'établissement sont élevés.

Les installations sont mobiles quand l'ensemble peut se déplacer ; dans ce cas ; le matériel peut être utilisé à plein rendement ; il est donc mieux amorti ; mais les installations mobiles nécessitent plus de main-d'œuvre.

On utilise, les rampes d'arrosage, les tourniquets, les sprinklers, canon d'arrosage, etc.

d) Micro-irrigation

Irrigation localisée au voisinage du pied des plantes, cette technique a pour objet de maintenir humide une partie du volume du sol utilisable par les racines. Les apports d'eau, à basse pression, sont faibles, continus ou fréquents.

Les avantages de cette technique sont nombreux. La localisation des arrosages réalise une économie appréciable d'eau et respecte la structure du sol. Pendant l'arrosage, le sol reste sec et ferme, ce qui rend possible les façons culturales.

La micro-irrigation exige une plus grande compétence de la part de l'irrigant dans la conduite des arrosages, une surveillance attentive en raison des risques d'obstruction et, à l'exception des arbres fruitiers un investissement plus élevé.

Ex. : Le goutte-à-goutte, les rampes perforées et les mini diffuseurs.

e) Irrigation fertilisante

Souvent, afin d'éviter une intervention supplémentaire, on additionne les engrais (surtout l'N) à l'eau d'arrosage. Le limon, matière fertilisante solide, est parfois ajouté à l'eau et permet l'amélioration ou la création des sols fertiles.

3.2.4. Contrôle de la circulation de l'eau-Drainage.

Chaque fois que l'humidité du sol demeure, pendant plusieurs jours ou semaines, supérieure à la capacité au champ, on peut dire qu'il y a **excès d'eau**.

1) Les effets et les conséquences de l'excès d'humidité des sols.

a) Les effets.

* Les sols trop humides ont des propriétés physiques défavorables. L'eau en excès favorise la dégradation de la structure et la rend moins stable. L'eau en excès diminue l'aération des sols et les rend plus froid ;

* l'excès d'eau **nuît** aussi aux **propriétés chimiques**. Il accélère la décalcification et l'acidification et rend le sol "réducteur".

* L'excès d'eau **nuît aux propriétés biologiques**. Il ralentit la décomposition des matières organiques et leur humification. Il limite le développement et la nutrition des racines, et provoque leur asphyxie. Enfin, il favorise la

prolifération d'une flore et d'une faune défavorable aux cultures et aux élevages.

b) Les conséquences

* Le coût du travail est plus élevé en cause des difficultés de propulsion et de travail du sol :

* Le rendement des récoltes est diminué par la réduction de la durée de végétation et par l'entrave aux travaux d'entretien et de traitement en cours de culture.

* L'élevage souffre aussi de l'excès d'humidité des sols.

Le parasitisme interne y trouve un milieu favorable. Les périodes de pâturage sont écourtées.

2) Les moyens d'assainissement

a) L'assainissement du sol par les travaux de surface

L'eau est évacuée par un réseau de rigoles ou de fossés à très faible pente vers un fossé collecteur puis vers un émissaire.

- Les billons ou les planches étroites (moins de 10m) permettent un assainissement en surface en augmentant l'épaisseur de terre au-dessus du plan d'eau, dans un sol peu profond.
- Les planches larges (30 à 40m) modifient le modelé du terrain et permettent de creuser de chaque côté un fossé d'évacuation plus efficace. Les fossés sont en général creusés de 20cm au-dessous de la couche imperméable.
- Les fossés permettent d'évacuer un grand débit sur une faible pente. La distance entre fossés dépend de la pente naturelle et de la nature du sol. On préfère des fossés en V assez largement ouverts qui permettent un entretien plus facile.

b) Le travail du sol ne doit pas contrarier, mais au contraire favoriser l'assainissement.

Même lorsque l'on ne profile pas les champs, un labour à plat peut favoriser l'écoulement,

- S'il est fait dans le sens de la pente ;
- S'il est moulé et dressé ;
- Si les sillons débutent directement sur les flancs du fossé.

c) L'assainissement du sol par le drainage

Le drainage d'un sol exige la collaboration entre :

- L'agriculteur, qui connaît son terrain, avec ses zones sensibles à l'asphyxie. C'est lui qui, une fois les travaux terminés, aura une action sur la pérennité de l'ouvrage.
- Le bureau d'Etudes hydrauliques qui définit les caractéristiques du réseau. Les références locales sont pour lui utiles ;
- L'entrepreneur de drainage dont dépend la qualité de la réalisation du projet.

c.1. Le plan de drainage.

* Le relevé topographique qu'effectue tout d'abord le bureau d'études consiste à relever avec précision :

- des cotes de niveau de nombreux points (20 à 25/ha).
- le tracé exact des parcelles, des fossés, chemins, plans d'eau.
- l'indication des zones particulièrement humides
- la constitution du profil du sol : par une série de sondages, on détermine la profondeur de la couche imperméable.

Un plan au $\frac{1}{1000}$ ou $\frac{1}{2000}$ est alors dressé, et fait apparaître les courbes de niveaux pour des écarts de 25 ou 50 cm de dénivellation suivant que la pente est inférieure ou supérieure à 5%.

* Le calcul et le tracé du réseau de drainage

Deux éléments importants :

La profondeur et l'écartement des drains.

* La profondeur des drains, le plus souvent imposée par la présence d'une couche imperméable sur laquelle ils doivent reposer, dépend aussi de la culture envisagée, de la profondeur du collecteur et de l'émissaire, et de la perméabilité du sol.

Tableau 10. La profondeur dépendra de la culture et du sol (en cm).

Cultures	Sols sableux	Alluvions argilo-limoneuses	Sols argileux
-Fourrages verts annuels	40-50	45-60	50-55
-Fourrages verts vivaces	50-70	70-90	80-85

- Céréales	50-65	60-80	70-75
-Pomme de terre	55-80	70-100	80-90
- Arbres fruitiers	80-95	90-120	100-110

****L'écartement** découle de la profondeur et peut, en théorie être calculée par des formules tenant compte :

- de la perméabilité du sol, qu'il faut alors mesurer ;
- de la hauteur de la nappe, par rapport au niveau des drains ;
- du débit à drainer à l'hectare (en général 1l/seconde/ha)

Tableau 11. Formule permettant de calculer l'écartement entre drains.

FORMULE	COEFFICIENTS DE PERMEABILITE		
	Sols	K en m/s	Perméabilité en Cm/h
$E = 2h \sqrt{\frac{ks}{qc}}$			
	Imperméables	$10^{-7}m$	0,04 cm
	Peu perméables	10^{-6}	0,4
	Assez perméables	10^{-5}	4
	Perméables	10^{-4}	40
	Très perméables	10^{-3}	400

Légende :

- qc = Débit caractéristique $1l/s/ha = 10^{-7}m^3/s/m^2$.
- Ks = Coefficient de perméabilité en $m^3/m^2/s$.
- H = hauteur de la nappe au dessus des drains.

Ex: - prof. Des drains: 0,90m

- niveau de la nappe = $qc = 10^{-7} m^3/s/m^2$
- rabattement désiré : 0,40m
- $h = 0,9 - 0,4 = 0,50m$
- $ks = 10^{-5}$, sol assez perméable

$$E = 2 \times 0,50 \sqrt{\frac{10^{-5}}{10^{-7}}} = 2 \times 0,50 \times 10 = 10m$$

On retiendra que l'écartement devra être d'autant plus réduit, donc le drainage d'autant plus coûteux,

- que les drains sont placés moins profonds,
- que la perméabilité du sol est plus faible ;
- que le débit à évacuer est plus élevé ;
- que l'on désire obtenir un rabattement plus énergique de la nappe.

Tableau 12. Ecartements courants.

Sols	Pour une profondeur de	
	0,8 à 0,9m	1,00 à 1,10m
- Argile compacte	7 à 9 m	9 à 10 m
- Terre argileuse	8 à 10	10 à 11
- Terre franche compacte	10 à 11	11 à 12
- Terre franche ordinaire	11 à 13	12 à 14
- Terre sableuse	13 à 15	14 à 16
- Terre tourbeuse	20 à 40	30 à 50

Le tracé du réseau de drainage peut alors être porté sur le relevé topographique. A partir d'un émissaire, fossé ouvert, dont éventuellement on fixe de nouvelles cotes en vue d'un recreusement, on trace le réseau du ou des collecteurs, où aboutissent les files de **petits drains**. Cet ensemble constitue un "**système**".

Ce tracé donne lieu à de nouveaux choix, qui concernent :

**** la pente** des petits drains et des collecteurs, donc leur direction par rapport aux courbes de niveaux. Pour éviter le dépôt d'éléments terreux dans les drains, on recherche une pente croissante donc supérieure dans les collecteurs à celle des petits drains. Pour cette raison, on préfère au système "**longitudinal**", le système "transversal" dans lequel les collecteurs sont placés dans le sens de la plus grande pente, faisant donc un angle très

ouvert avec les courbes de niveau.

**** La longueur des files** de drains et des collecteurs ;

**** Le diamètre des canalisations.** Si celui des petits drains est généralement fixe (5 à 6 cm), celui des collecteurs varie selon le débit qu'il doit transporter. Celui-ci résulte de la pente et de la surface drainée par les drains qu'il reçoit.

3) les matériaux de drainage

Les drains en poterie et le tube de chlorure de polyvinyle (PVC) annelé et perforé sont actuellement les plus utilisées. Le second a l'avantage de la légèreté, de la continuité (rouleaux de 200m) et de la pose rapide. Il a en outre l'avantage sur les tubes fendus et lisses de se boucher moins facilement du fait de la disposition des trous au fond des gorges. Mais un même chantier utilise souvent les poteries et les tubes annelés, les premières pour les collecteurs, le second pour les petits drains.

Dans les sols très perméables et pour des drainages localisés on peut remplacer les drains par des tranchées drainantes, très espacées, à moitié remplies de graviers et recouvertes de terre.

3.2. LES AMENDEMENTS

Il s'agit des substances incorporées au sol pour améliorer, en bloc ses propriétés physiques, chimiques et biologiques.

Deux grandes familles groupent les amendements :

- **Les amendements calcaires**, dont le rôle est de régulariser l'état ionique de la solution du sol et du complexe argilo-humique, créant ainsi un milieu favorable à l'activité biologique et à la nutrition des plantes. Les amendements magnésiens s'y rattachent, calcium et n'y ayant des rôles voisins, et se trouvant liés dans certains amendements.
- **Les amendements humiques**, qui servent de support et d'aliment aux micro-organismes, et sont la source de **l'humus**,

D'autres substances pourraient mériter le nom d'amendement :

- Le sable, dont l'apport allège la texture des sols trop argileux ;
- **L'argile** apporte aux sols trop sableux un peu de colloïdes qui leur manquent.

3.2.1. Les amendements calcaires

1) Le rôle complexe du calcium

a) Le Ca est un aliment pour les plantes et les animaux

Les plantes ont besoin de Ca pour la neutralisation de leur acide organique. Sa présence dans leurs tissus accroît leur résistance, permet un développement normal du système racinaire, et améliore la maturation.

Pour les animaux, le Ca en association avec le P et vit.D contribue à l'ossification ; il entre dans la constitution des liquides internes, le sang et la lymphe, et des sécrétions : les diastases, les hormones, le lait.

b) Le calcium est un amendement pour le sol

Présent en quantité suffisante sur le complexe argilo-humique et dans la solution du sol, il influe sur les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol.

b.1. Rôle "Physique"

Le Ca rend la structure plus meuble et plus stable, et favorise ainsi la perméabilité à l'eau et à l'air, le travail du sol et la pénétration des racines.

- Les ions Ca^{++} en se fixant sur les charges négatives des colloïdes argilo-humiques, provoquent leur **floculation**.
- Le calcium agit aussi sur la structure et la stabilité du sol en favorisant l'humification et la formation du complexe argilo-humique.

b.2. Rôle "Chimique"

Le Ca régularise le pH et favorise les échanges d'ions, nécessaires à la nutrition des plantes.

- Le calcium permet de maintenir le pH du sol entre des limites favorables à l'activité biologique, et à l'assimilation des éléments nutritifs. Une marge de pH convient à l'assimilation de chaque élément nutritif, élément majeur ou oligo-élément. En dehors de cette marge, l'assimilation n'est plus optimale. C'est donc entre 6 et 7 qu'il est souhaitable de maintenir le pH. On voit qu'il n'est nullement nécessaire de rechercher une neutralisation complète : une légère acidité est préférable à un pH trop élevé.

- Le Ca permet la fixation réversible du phosphore = pont calcique.
- Le calcium combat la toxicité de certains éléments : Al^{+++} ; Na^+ ; etc.

b.3. Rôle "Biologique"

Le calcium crée un milieu favorable aux microbes utiles du sol.

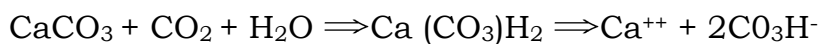
2) L'état calcique du sol

a) L'évolution de l'état calcique

Il existe trois processus d'évolution :

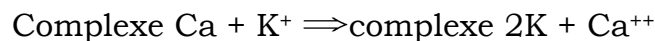
- la décarbonatation ;
- la décalcification ;
- l'acidification.

1° La décarbonatation désigne le processus d'altération du carbonate en bicarbonate. Il se produit constamment dans le sol selon la réaction suivante :



Le carbonate présent ou apporté disparaît progressivement.

2° La décalcification correspond à la désorption des ions calcium échangés contre d'autres ions. Elle a lieu par exemple à la suite d'un apport de potassium ou de magnésium dont elle facilite la rétention.



Le taux de saturation du complexe en Ca diminue ; il augmente lors de la recalcification.

3° L'acidification commence lorsque les ions Ca^{++} sont remplacés par des protons H_3O^+ . La décalcification n'est pas l'acidification mais la prépare.

Les causes d'évolution sont le lessivage et les exportations :

-**Le lessivage** correspond à l'entraînement du calcium : ions Ca^{++} et bicarbonate de **Ca** présents dans la solution du sol. La quantité lexiviée dépend de l'importance du drainage ($D = P - ET$) et de la concentration de la solution.

Deux phénomènes déterminent la concentration calcique de la solution du sol :

La **décarbonation** et la **décalcification**.

- **Les exportations** de calcium varient selon les espèces cultivées et le niveau de rendement. Il est d'usage de les exprimer en CaO.

Les engrais interviennent dans le bilan calcique des sols :

- en accroissant les exportations du fait de l'augmentation des rendements ;
- en libérant dans la solution du sol des ions ayant un comportement neutre ; acide, ou basique.

b) Correction de l'état calcique

La principale question est de déterminer la quantité nécessaire pour corriger l'état calcique.

1° Détermination analytique du besoin

Les méthodes sont nombreuses, leur principe consiste à suivre **l'évolution** du **pH** d'un échantillon de terre auquel des quantités croissantes de base sont apportées. On détermine ainsi directement la quantité de **base nécessaire** pour amener le **pH** à une **valeur souhaitée**. La dose à épandre à l'Ha s'obtient ensuite en extrapolant et en appliquant un coefficient multiplicateur dénommé "**facteur de chaulage**" introduit pour tenir compte :

- des caractéristiques déterminant la vitesse d'action de l'amendement ; sa solubilité et sa finesse de broyage ;
- des techniques d'apport et d'incorporation dans le sol ;

La valeur du facteur de chaulage retenue est généralement comprise entre **2 et 3,5**.

2° Détermination indirecte

Les méthodes analytiques précédentes sont souvent abandonnées au profit d'une détermination indirecte. **La dose "Q" nécessaire** pour modifier le taux de saturation du complexe absorbant d'un sol est proportionnelle à la capacité d'échange cationique et à la différence entre le taux de saturation **souhaité** et celui **existant**.

Où $V_{Ca,s}$ et $V_{Ca,a}$ désignent respectivement les taux souhaité et actuel.

En première approximation, la capacité d'échange (C.E.C) est proportionnelle à la teneur en **argile** et en **matière organique**. A poids égal, la capacité d'échange de la matière organique est **cinq fois** plus importante que celle de l'argile. L'expression précédente prend donc la forme suivante où K' est une nouvelle constante :

Remy et **Martin laflèche** ont suggéré de remplacer le taux de saturation par le pH avec lequel il est en relation. Après calibration, ils ont proposé l'expression suivante qui donne la quantité à apporter à l'Ha.

Où Q est exprimé en tonnes de carbonate pur :

Ex. : % A = 20; M.O = 1,5

pHeau,a = 6,5; pHeau,s = 7,2

$Q = 0,2 \times 27,5 \times 0,7 = \underline{3,85T}$.

Dans les sols riches en aluminium, où celui-ci est responsable de l'acidité, l'objectif est d'abord de le rendre inactif. Une détermination de la teneur en aluminium échangeable est indispensable pour fixer le besoin en chaux.

c) Entretien de l'état calcique.

A la suite d'un contrôle, lorsque le pH s'avère satisfaisant, deux questions relatives à la réserve calcaire se posent éventuellement :

- si une réserve existe, durant combien d'années est-elle susceptible de maintenir un état calcique satisfaisant ?
- si elle est proche du minimum, quel apport effectuer pour assurer un état calcique satisfaisant pour les cultures à venir ?

Un sol doit toujours renfermer au moins 2 à 3 % de carbonates. La perte annuelle est en moyenne de 1000kg/ha de carbonate de Ca, soit 0,3% de la teneur.

Le nombre d'années "n" durant l'entretien est assuré par la formule :

Lorsque le niveau des réserves est proche de la teneur minimale, un apport d'entretien est à effectuer. Les effets défavorables d'une remontée temporaire du pH au-delà de la valeur souhaitée sont à éviter ; l'apport doit cependant permettre de satisfaire les besoins durant plusieurs années et ne poser aucun problème de répartition lors de l'épandage.

Le temps souhaitable entre deux apports d'entretien est

d'environ 5 à 6 ans. Dans ces conditions, la dose sera de 8 à 10 tonnes par un amendement calcaire moyennement actif dosant 40 à 45 % de Cao.

3) Chaulage et surchaulage

Pour être un amendement un électrolyte doit renfermer :

- **un cation** possédant un pouvoir de remplacement et un pouvoir de floculation élevée ;
- **un anion** susceptible de neutraliser l'activité des protons ;
- être abondant dans la nature pour être peu onéreux.

Certains sels de calcium et de Mg répondent aux caractéristiques précédentes. Pour obtenir la neutralisation des protons libérés, il faut utiliser **un sel d'acide faible**. Les seuls composés utilisables comme amendements calcique et magnésien sont donc les carbonates, les hydroxydes ou les silicates et les phosphates.

Le chaulage désigne tout apport d'amendements calciques quelle qu'en soit la forme. Pour améliorer le comportement structural, la quantité d'ions calcium libres doit demeurer élevée. De ce fait, le taux de saturation en Ca du complexe sera un peu plus élevé qu'il n'est nécessaire pour assurer la neutralité. On dit que **l'on surchaule**.

La pratique de la recalification dépend de 3 facteurs :

- **du pH initial, mais**, même si le pH est bas (< 6) il ne faut pas supporter une dose risquant de le remonter trop brutalement, car il peut y avoir **blocage** de certains éléments. Il ne faut pas remonter le pH de plus de 0,8 à 1 lors d'un seul apport.
- **Du pH recherché** : le pH optimum varie entre **6,5 à 7,2**. il n'est pas nécessaire de remonter un sol acide jusqu'à la neutralité.
- **Du pouvoir – tampon du sol**, en sols argileux ou en sol humifère, il ne faut apporter des doses plus fortes qu'en sol sableux pour une même remontée du pH.

On peut distinguer les doses de **redressement et d'entretien**.

* les apports de **redressement** permettent de remonter le pH. On conseille pour remonter le pH d'une unité les quantités suivantes en tonnes/ha.

	Chaux vive	Calcaire broyé
--	------------	----------------

Terres sableuses, légères	1,5 à 2	3 à 4
Limon	2 à 3	4 à 6
Terres fortes ou humifères	3 à 4	6 à 8

* Les apports d'entretien permettent de maintenir le pH au niveau souhaité.

- en sols sableux, 1 tonne de CaO tous les 3 ans ;
- en sols argileux, 45 tonnes tous les 5 ans.

3.2.2. Les amendements humifères

1) Rôles des matières organiques

a) Action sur les propriétés chimiques du sol

Les matières organiques sur la fourniture et la disponibilité d'éléments minéraux à l'égard des plantes ainsi que sur la capacité d'échange du sol. **Le rythme de libération des éléments minéraux** varie selon l'activité microbienne. Les conditions pédoclimatiques exercent sur elle un rôle déterminant.

b) Effets sur les propriétés physiques du sol

- action sur la stabilité structurale ;
- action sur la circulation, la rétention et l'économie de l'eau ;
- action sur l'aération.

c) Action sur les propriétés biologiques du sol.

L'humus est le support de nombreux microorganismes du sol, il sert d'aliment aux bactéries du sol. Il permet l'élaboration des matières organiques nouvelles et l'accomplissement du cycle des **principaux éléments : N, S, P.** selon certains auteurs, des vitamines des facteurs de croissance libérés au cours de la transformation des matières organiques seraient susceptibles d'influencer les processus de croissance et le métabolisme des végétaux. La libération des substances toxiques ou leur dégradation trop lente par le microorganisme est souvent considérée comme une cause possible de la **fatigue des sols.**

d) Action sur les rendements et la fertilité.

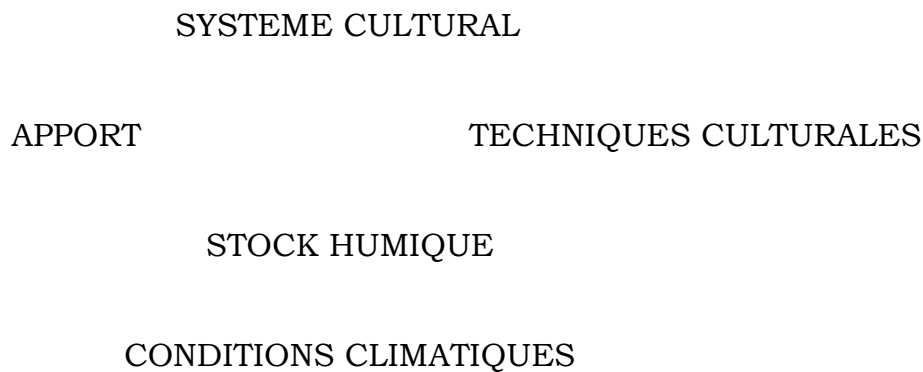
L'humus exerce une action stimulante sur la croissance des végétaux. L'humus augmente la capacité de production du sol.

2) L'équilibre humique d'un sol

a) L'ensemble "matières organiques - milieu"

Le taux de matière organiques d'un sol est la résultante de l'effet des conditions pédoclimatiques (humidité, température, aération, pH, etc.), du système cultural qui détermine la nature et l'importance des restitutions et des techniques culturales utilisées.

Figure 1. Facteurs déterminant le taux de matières organiques



Si durant une période suffisamment longue les facteurs précédents restent sensiblement constant, le taux de matière organique d'un sol se stabilise, un équilibre dynamique s'établit : **les apports et les restitutions** compensent les pertes par minéralisation.

Si par contre, l'un des facteurs cités précédemment est modifié de manière sensible et durable (rotation, apports) un autre équilibre dynamique tend à s'instaurer, après un laps de temps variable, une nouvelle teneur s'établit :

b) Modélisation de l'évolution

L'élaboration d'un modèle des matières organiques dans le sol permet de prévoir le taux à moyen et à long terme. Le modèle le plus simple est celui proposé par **Henin et Dupuis**. La masse d'humus formé est proportionnelle aux apports "m" et les pertes à la masse d'humus "M" existant.

Figure 2. Modèle d'évolution de la matière organique du sol.

Minéralisation primaire

“K₁”

Une fraction des matières organiques apportées est rapidement minéralisée ; le coefficient en rend compte. La fraction restante donne de l’humus. Le coefficient isohumique “K₁” mesure le rendement en humus ; “K₂” est le coefficient de minéralisation de l’humus. Toutes les masses sont exprimées en matière sèche.

1° Equation du bilan humique

Un sol renfermant une masse “M” de matières organiques, perd par minéralisation durant un temps donné une quantité **d’humus égale à K₂M** ; durant le même temps, recevant un apport “m”, son stock d’humus s’accroît d’une quantité **K₁m**. La variation de stock humique est égale :

$$\Delta M = K_1 m - K_2 M$$

La teneur du sol en matière organique restera constante si l’apport est tel que **m = K₂/K₁M**

L’expression précédente montre que les apports nécessaires pour maintenir le stock d’humus du sol sensiblement constant sont fonction :

- du taux de m.o. qui détermine M ; ils devront être d’autant plus importants que la teneur est élevée ;
- des conditions pédoclimatiques et des **pratiques culturales** qui influent sur K₂ ;
- de la nature des produits organiques apportés caractérisés par K₁, le coefficient isohumique.

Le modèle permet une simulation pour une rotation culturale si les valeurs des différents termes sont connues.

2° Valeur humique des produits organiques.

La valeur humique des produits organiques dépend de leur constitution et de leur nature ; elle est pratiquement indépendante des techniques culturales et des conditions pédoclimatiques. Les substances riches en cellules ou renfermant des substances énergétiques et azotées très fermentescibles laissant peu d'humus ; au contraire les produits **lignifiées** en fournissent davantage présence d'une source d'azote disponible. Les valeurs de K_1 qui rendent compte du "**rendement humique**" ne sont pas connues avec une très grande précision.

Tableau 13. Valeurs humiques de différents produits organiques

Produits	K_1	Quantité apportée (t/ha)	Humus stable (kg/ha)
- fumier bien décomposé	0,3 à 0,5	30	3 000
- fumier pailleux	0,1 à 0,4	30	2 000
- pailles de céréales (659x)	0,08 à 0,15	5	340
-Composts urbains	0,25	20	1 250
-Boues de station d'épuration	0,20	10	400
-Humus industriel	variable	2	600

Le coefficient K_1 ou coefficient isohumique, ou rendement en humus des matières organiques fraîches. C'est la quantité d'humus stable restante après 3 ans d'enfouissement d'une quantité donnée de matière organique fraîche.

3° Les pertes annuelles d'humus

L'activité microbienne est tributaire des conditions pédoclimatiques qui varient tout au long de l'année. On peut cependant attribuer pour chaque type de sols une valeur moyenne ou **coefficient K_2** (coefficient de minéralisation).

Tableau 14. Valeur moyenne du coefficient de minéralisation

Type de sol	Coefficient de minéralisation K_2

- sols calcaires (3,5 à 4% de m.o)	0,5 à 0,8 %
- sols très argileux (% A>30%)	0,8 à 1,3%
- limons argileux (15 à 30 A)	1,3 à 1,8%
-limons légers (% A <15%)	1,8 à 2,5%
- sols sableux	2,5 à 3%

Les techniques culturales modernes accélèrent le rythme de destruction. Un **travail intensif** du sol accroît les pertes alors que le travail minimum réduit la minéralisation. Toutes les techniques qui augmentent **l'activité biologique** (chaulage, drainage, fertilisation) accroissent indirectement la minéralisation.

4°) *Etablissement des bilans humiques*

a) *Estimation de la quantité d'humus de couche arable.*

* *Poids de la terre sèche*

Il faut connaître la profondeur de labour 16 à 30 cm selon le type de sol, la nature du sous-sol et la puissance de traction. Il faut ensuite déterminer la densité apparente.

$$P = d \times v$$

En t/ha t/m³ m³

v = volume de la terre arable.

$d = \frac{P_2}{v}$ = densité apparente en t/m³

v = volume de terre prélevée à la sonde.

P₂ = poids de terre sèche (à l'étuve).

P₁ = poids de terre fraîche (ou prélèvement).

Remarque : La masse de la couche arable est en moyenne de 3000 à 4000 t/ha.

* Quantité d'humus détenue par la couche arable.

$$h = \text{teneur en humus en \%}$$

La quantité d'humus détenue par la couche arable se situe

généralement entre 60 et 80 t/ha.

b) Dégradation de l'humus stable.

* coefficient de destruction annuel de l'humus (K_2) de taux de destruction annuel de l'humus stable (K_2) varie beaucoup en fonction de la nature du sol, du climat et des techniques culturales comme le montre le tableau.

* estimation des pertes annuelles en humus.

P'= pertes d'humus en t/ha

Les pertes annuelles en humus des sols cultivés atteignent 0,6 à 1,2 t par ha et par an.

c) Reconstitution de l'humus stable

* sources d'humus et **coefficient isohumique** K_1

Le taux annuel de transformation de la matière organique végétale fraîche en humus stable s'exprime par **le coefficient K_1** . Ce coefficient dépend de la nature du matériel végétal (teneur en lignine) et des conditions dans lesquelles se réalise l'humification. Cfr. Tableau...

Le coefficient K_1 s'applique toujours à la **matière sèche** des résidus végétaux transformables en humus.

d) Estimation des quantités résiduelles laissées par les cultures.

* Evaluation des restitutions humiques à partir des rendements réellement observés.

** calcul exact des restitutions humiques.

On calcule d'abord, le rendement en matière sèche du végétal ou de la portion de végétal en cause.

Ou R= rendement sec en t/MS/ha,

L= rendement vert en t/ M. verte/ha

r= teneur en MS en %

La transformation de cette matière sèche en humus stable étant évaluée par le coefficient isohumique K_1 , la quantité formée, exprimée en t/Ha/an sera de :

** Estimation des restitutions humiques

Pour une culture donnée, il est possible d'établir le rapport

existant entre la production utile (grains, racines, tubercules...) et le rendement total de la plante entière, chacun des termes de ce rapport **utile** (C) étant exprimé en matière sèche.

Connaissant le **rendement utile** R de la culture, renseignement le plus accessible dans la pratique, on peut alors évaluer rapidement **la quantité de matières sèche restituée** :

$$C = \frac{R}{R + r} \text{ soit } r = \frac{R}{C} - R \quad (\text{R et r en t de M.S./Ha}).$$

Dans cette expression, r désigne les **restitutions organiques totales**. Le rapport utile C proposé pour chaque culture doit être considéré comme une **valeur moyenne** susceptible de réajustement.

Tableau 15. Restitutions humiques moyennes

Cultures	Racines			Partie aérienne		
	K ₁	MSt/ha	Kg humus	K ₁	MS t/ha	Kg humus
- Betterave	0,15	1,0	150	0,05	5	250
- Pomme de terre	0,15	1,0	150	-	0	0
- Maïs grains	0,15	3,0	450	0,12	6	720
- Petit pois	0,15	2,0	300	0,08	3,5	280
- Blé	0,15	2,5	375	0,08	5	400

e) Calcul des bilans humiques

La comparaison des pertes et des gains d'humus conduit à l'établissement d'un bilan humique. Ce bilan est calculé sur la **durée de la rotation** pour l'ensemble de l'exploitation ou parfois pour une parcelle déterminée.

Le bilan humique d'une parcelle permet de mettre en évidence les conséquences possibles à long terme de certaines pratiques culturales : restitutions insuffisantes, etc. Le bilan humique complété par la mesure

périodique du taux de matières organiques du sol, est un élément de décision utile pour la gestion de matières organiques.

5°) *La gestion des matières organiques.*

1° *Les teneurs souhaitables en m.o*

La fixation d'une teneur optimale est un problème à examiner pour chaque contexte cultural. Les améliorations liées à la présence des m.o augmentent avec la teneur. Elles sont cependant plus évidentes lorsque le taux d'argile est faible. Ainsi selon Monnier les matières organiques n'influencent de manière notable la stabilité structurale qu'au-delà d'un seuil correspondant au rapport suivant :

$$\%MO/\%Argile * 100 > 7$$

Un sol renfermant **20 % d'argile** devrait renfermer au moins une teneur en matières organiques de 1,4% pour que leurs effets soient perceptibles ; un sol à 30% d'argile une teneur de 2,1%. En ne retenant que ce seul aspect, il paraît normal de faire dépendre le taux de matières organiques souhaitable de la teneur en argile puisque leurs actions se complètent lorsqu'ils sont associés. Cependant une attitude différente est parfois adoptée. En présence d'une faible quantité d'argile, on peut espérer compenser l'insuffisance grâce aux effets de matières organiques. On est alors logiquement conduit à rechercher une teneur en m.o élevée. Toutefois, l'entretien d'un **taux élève suppose des apports** réguliers en m.o.

Tableau 16. Taux de m.o souhaitables

Type de sol	%
Sol sableux	18
Limon moyen	17
Limon lourd	15

Limon calcaire	25
----------------	----

Lorsqu'on recherche l'additivité et la complémentarité des effets de l'argile et des m.o, on propose l'application de la formule suivante :

2° Les moyens utilisables

Le rôle de m.o vis-à-vis de nutrition minérale apparaît secondaire sauf pour la maîtrise de la **nutrition azotée** ; leurs actions sur les propriétés physiques demeurent primordiales. **Deux attitudes** peuvent être envisagées.

- la première consiste à ne rechercher qu'un niveau d'humus stable relativement modeste, entretenu essentiellement grâce aux restitutions, et à recourir aussi fréquemment et régulièrement que possible à des enfouissements de matières fermentescibles.
- La seconde attitude possible vise au contraire à constituer **un stock de m.o** humifiées élevé par des apports répétés de matériaux à haut rendement humique, mais à faible intensité spécifique.

Le premier objectif suppose l'introduction de matière quasi systématique des engrais verts en culture dérobées.

Deux possibilités s'offrent pour assurer un niveau élevé de m.o ou corriger un taux jugé insuffisant :

- accroître les apports,
- modifier le système de culture.

L'accroissement des apports suppose qu'on utilise d'abord toutes les ressources de l'exploitation : les pailles, les résidus culturaux, etc et qu'on les complète par des produits organiques d'origine externe (gadones) dont il est indispensable d'apprécier correctement la **valeur humique** et le **coût**. Le coût de l'humus est à considérer, quel que soit le produit, dès qu'une transformation est nécessaire pour l'obtenir ou qu'il pourrait connaître une autre destination (alimentation du bétail...) on peut l'évaluer ainsi :

P_m = valeur marchande du produit avant sa transformation en humus ;

P_f = valeur des éléments fertilisants renfermés ;

Pe = coût des interventions avant enfouissement

k₁ = coefficient iso-humique ;

C = coût d'une tonne d'humus.

Une réorganisation de l'assolement peut permettre aussi de mieux prendre en compte la préoccupation du taux de m.o. Elle conduit à réduire les sols à faibles restitutions humiques. Dans les systèmes de production des élevages, la gestion du stock de m.o et la planification de la fumure azotée qui lui est liée sont **devenues assez complexes**.

3.3 LA PREPARATION DU SOL

L'ensemble des opérations de travail du sol permet :

- L'amélioration des **propriétés physiques du sol**. La régénération de la structure et le rétablissement d'une porosité satisfaisante favorisent l'infiltration de l'eau dans le sol.
- La préparation du "**lit de semence**" le travail du sol bien conduit permet de placer les semences dans les meilleures conditions de germination.
- **L'incorporation au sol** des amendements, des engrais et certains produits de traitement (insecticides contre les larves du sol, herbicides de pré-levées)
- La destruction des **mauvaises herbes**, avant la mise en place d'une culture ou pendant son développement.

Chaque façon culturale joue un ou plusieurs de ces rôles et presque toujours, la combinaison de plusieurs opérations de travail du sol est indispensable pour obtenir une bonne préparation physique. Le schéma classique de préparation du sol comprend :

- un défrichement ;
- un labour (précédé parfois d'un déchaumage) ;
- un ou plusieurs passages d'instruments de pseudo-labour (pulvérisateur, cultivateur...) ;
- des façons superficielles (hersages et roulages).

3.3.1. Choix du terrain

Les travaux devraient dans la mesure du possible, être précédés

de l'établissement d'une carte pédobotanique de la région, afin d'éliminer les terrains qui ne conviennent pas et d'une carte topographique des terrains retenus. Cette dernière doit permettre d'élaborer le plan complet de la plantation.

Un tel document permet d'éviter bien des erreurs coûteuses, par exemple dans le choix de l'emplacement des installations diverses ou dans le tracé d'un réseau routier.

3.3.2. Délimitation des parcelles

Cette délimitation se fait par l'établissement de percées de 2 m de largeur. La distance entre les axes centraux de deux percées parallèles doit comporter :

- La longueur ou la largeur de la parcelle ;
- La demi - somme des largeurs des deux routes ou sentiers qui coïncident avec ces percées.

Il est recommandé d'utiliser un tachéomètre pour établir les axes des percées. Les dimensions des parcelles sont très variables suivant l'espèce cultivée.

<u>Espèces</u>	<u>Dimensions des blocs</u>
Thé	5 ha
Ananas	1 ha
Caféier	1 à 5 ha
Palmier à huile	12, 5 ; 25 ; 50-100ha

3.3.3. Défrichage

a) Ouverture par la méthode de non-incinération

1° Coupe du sous-bois

Ce travail doit supprimer, le plus possible, toutes les plantes herbacées, les arbrisseaux et les arbres dont le diamètre n'excède pas 15-20cm à 1 m au-dessus du niveau du sol. D'autre part, les lianes et les plantes volubiles accrochées aux arbres de la futaie non abattues doivent être coupées aussi haut que possible enfin d'augmenter au maximum la

visibilité. La coupe du sous-bois comprend également le débitage des couronnes des arbrisseaux abattus.

2° Piquetage des lignes

Ce travail, qui n'est entrepris que lorsque la visibilité est devenue suffisante par une complète défoliation, se fait par mesurage au départ des axes centraux des routes et chemins.

Lorsque les têtes de lignes sont fixées, le travail se poursuit par visée. Chaque ligne est déterminée par une série de jalons bien droits ; solidement plantés à intervalles d'environ 10m. Lorsque le piquetage intéresse des parcelles de plus de 100m de profondeur, il y a lieu de créer, parallèlement à l'axe de départ, des sentiers bien droits, à 100m d'intervalle.

Ces sentiers, destinés provisoirement à faciliter les travaux d'établissement, deviendront par la suite des sentiers de circulation et de surveillance.

3° Déblaiement des lignes

Ce travail doit vider les axes piquetés sur une largeur d'environ 1 m de part et d'autre de la ligne de jalons, de tous les débris végétaux provenant de la coupe du sous-bois.

Lorsque le dispositif de plantation choisi a comme base des lignes équidistantes, les débris végétaux sont accumulés au centre de tous les interlignes indistinctement ou au centre d'un interligne sur deux ou sur trois, si l'on envisage d'effectuer ultérieurement l'entretien au moyen d'engin mécanique. Lorsque, par contre, le dispositif comporte des lignes jumelées, les déchets végétaux doivent être accumulés au centre du grand interligne. Toutefois, l'expérience prouve qu'il faudra accumuler le matériel au centre des petits interlignes.

4° Piquetage des emplacements de plantation

Ce piquetage a également comme base l'axe central de la route perpendiculaire au sens des lignes. Le piquetage est fait au moyen d'un appareil de topographie. Tout comme pour le piquetage des lignes, toutes les mesures doivent se faire suivant un plan horizontal sous peine d'arriver à des résultats faussés. Ce piquetage tient compte des écartements à adopter pour chaque culture.

5° Trouaison et remblayage des trous de plantation

Les trous auront de préférence une forme cylindrique de 40 à 60 cm de diamètre et une profondeur égale au diamètre. Lors du remplissage des trous il faut veiller à tasser progressivement le sol tout en prenant soin de n'y incorporer matière organique non encore décomposée. Chaque trou est garni d'un jalon profondément enfoncé et dont le sommet ne dépasse le niveau du sol qu'une dizaine de cm.

6° Abattage de la futaie

On veillera, lors de ce travail, à obtenir que les arbres soient coupés de façon à provoquer leur chute dans les interlignes.

7° Ouverture définitive des lignes

Ce travail comporte l'enlèvement de tous bois encombrant les lignes. Le bois provenant des couronnes et des trous est entassé vers le centre des interlignes, lorsque les dispositifs présentent des interlignes d'égale longueur, ou bien vers le centre de l'interligne le plus large lorsque le dispositif est en lignes jumelées.

Dans les interlignes, les couronnes seront soigneusement débitées et entassées de manière à permettre un cheminement aisé et une parfaite visibilité.

8° Mise en place des plants

La mise en place implique la réouverture partielle des trous de plantation. Ce travail est exécuté par l'homme adjoint à chaque planteur. La réouverture tient compte des dimensions du système racinaire du plant à mettre en place. La mise en place doit se faire avec beaucoup de soins en tassant vigoureusement et progressivement la terre autour des racines. Il est important que le collet du plant vienne exactement au niveau du sol et reste à ce niveau.

b) Ouverture par la méthode d'incinération

Ce mode d'aménagement du terrain est d'une exécution plus facile. Après avoir délimité les parcelles à planter, on procède en premier lieu à la coupe du sous-bois. Après le sous-bois, la futaie est abattue à son tour et les couronnes des arbres sont soigneusement débitées et plus ou moins tassées.

Lorsque toute la végétation a été ainsi abattue, on la laisse

sécher. Une dessiccation suffisante est généralement obtenue en un ou deux mois, surtout si l'on prend l'utile précaution de faire coïncider la fin de l'abattage avec le début d'une saison sèche ou de moindre pluie. Lorsque le bois est suffisamment sec, on procède à l'incinération. Suivant que l'on désire que l'incinération ne soit pas superficielle ou qu'elle soit complète, on met le feu à **contre - vent** ou **dans le sens du vent**.

Lorsque le terrain est suffisamment déblayé, on procède aux divers autres travaux :

- piquetage des lignes et des emplacements de plantation ;
- au besoin, déblaiement des lignes ;
- trouaison et comblement des trous ;
- mise en place des plantules.

c) Ouverture par simple flambage.

Cette méthode est intermédiaire entre les deux précédentes. L'ordre des travaux est presque le même que dans la méthode d'ouverture par incinération. La grande différence réside dans le fait que l'incinération est effectuée avant que le bois ne soit très sec ; il s'ensuit que seul le menu bois est incinéré. Le déblaiement des lignes se fait après leur piquetage. Ce n'est que lorsque celles-ci sont parfaitement déblayées que l'on procède au piquetage des emplacements de plantation et autres travaux d'établissement.

3.3.4. Etablissement des cultures sur une savane.

Les cultures établies en région de savane sont généralement des cultures vivrières comportant dans leur rotation une culture industrielle (cotonnier). Dans ce type d'exploitation, le travail d'aménagement des champs soit l'abattage des arbres ou des arbustes est **manuel**.

Après incinération, l'appropriation du sol se fait à la houe. Dans certaines régions, au lieu de brûler la végétation, celle-ci est rassemblée en petits tas repartis régulièrement (écobuage). Ces tas sont ensuite recouverts de terre pour former des buttes. Dans des exploitations plus importantes, après abattage des arbres et arbustes, et après extirpation des souches, le labour plus ou moins profond incorpore le tapis herbacé et des débris ligneux au sol.

3.3.5. Obtention du profil cultural souhaitable

Dans un profil on peut distinguer trois couches : le **lit de semences**, la **couche arable** et le **sous-sol** (au sens agronomique). Elles exercent des fonctions distinctes, leur obtention résulte de façons culturales différentes.

Le **lit de semence** doit, en facilitant le travail du semoir, permettre le placement de la graine et réunir les conditions favorables (**contact, humidité, aération**) à la germination et au premier enracinement. L'état structural convenable (présence de particules fines, tassement, etc.) est obtenu par des passages successifs d'outils après le labour.

L'état physique de la couche arable qui résulte de façons primaires comme le labour doit permettre le développement de nombreuses racines et assurer les conditions les plus favorables à leur croissance.

La **couche arable** est l'objet d'une attention particulière de la part de l'agriculteur, l'essentiel des transformations qu'il peut envisager porte sur elle. Le sous-sol est souvent plus tassé que le reste du profil. La modification de son état structural nécessite des interventions particulières : **sous-solage**, griffage sous labour, etc. Les racines y sont moins abondantes que dans la couche arable.

1° Profil du lit de semence.

Le lit de semence comporte trois couches :

- une couche de surface ;
- une couche de contact ;
- une couche de base.

La **couche de surface** a pour objectif de protéger la graine des granivores, de limiter le dessèchement et d'éviter une dégradation trop importante de l'état structural superficiel.

La taille des mottes de terre dépend de la nature des cultures, de la stabilité structurale du sol et de l'époque des semis.

La **couche de contact** est la couche principale du lit de semences; elle reçoit la graine. La taille des particules doit être d'autant faible que la graine est petite ou que la surface est irrégulière.

La **base du lit de semence** doit être tassée afin de faciliter la circulation de l'eau et favoriser le premier enracinement.

La **profondeur souhaitable** du lit de semences varie selon les plantes cultivées. Elle dépendra de la taille, de la perméabilité, du tégument et de l'importance des réserves des semences. On sème plus profondément si on redoute une période sèche après le semis.

Les exigences à l'égard de la qualité du lit de semence varient largement d'une espèce à l'autre : elles sont en général d'autant plus grandes que les semences sont de **petite taille**.

2° Profil de la couche arable

Deux défauts sont à éviter : une **terre trop compacte** ou une **terre trop creuse**. La compacité du sol gêne la pénétration des racines et rend l'aération difficile en conditions humides. Les racines traversent d'autant plus difficilement une couche compacte qu'elle est surmontée d'une couche "creuse".

Une **porosité** et une proportion de macropores trop élevées sont également à éviter. Le contact entre les racines et les particules de terre se fait mal. En pratique on laboure souvent à une profondeur constante. La profondeur raisonnable et optimale dans la plupart des cas se situe entre 20 et 30 cm. Lorsque l'approfondissement est nécessaire, il faut le pratiquer très progressivement et être attentif à toutes les répercussions : dilution de la matière organique, des éléments chimiques, etc.

3° Profil sous la couche labourée

La couche de terre sous-jacente à la couche labourée doit aussi être pénétrable par les racines. A la limite entre la couche labourée et le sous-sol, il arrive qu'une "**semelle de labour**" se forme. Il s'agit d'une zone compacte à structure massive et continue surmontée d'une couche de quelques cm à **structure lamellaire**. Elle résulte du lissage provoqué par le passage des socs de la charrue et le patinage des pneus du tracteur. Tous les passages d'outils de travail du sol peuvent être plus ou moins à l'origine de semelles dites de préparation. Afin de prévenir leur formation, il faut éviter de **labourer à profondeur constante**.

3.3.6. Obtention du profil cultural recherché

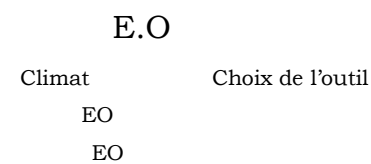
1° L'itinéraire de préparation

Pour les cultures les plus exigeants, la constitution du profil cultural souhaité est assez complexe, elle n'est pas obtenue par une seule façon culturale. Il faut choisir **différents outils** et combiner leurs actions lors de passages successifs.

L'ensemble constitue un **itinéraire de préparation**. A l'aide des façons culturales successives, on modifie le profil existant en cherchant à obtenir peu à peu un profil final plus proche du profil souhaité. Il n'existe pas d'itinéraire unique pour préparer une terre en vue d'implanter une culture déterminée. Le même état d'un profil cultural peut être obtenu en utilisant divers outils ; selon l'état du sol, l'utilisation du sol, l'utilisation du même outil conduit à des résultats souvent très divers. Trois ensembles de caractéristiques interviennent constamment :

- Les caractéristiques du sol : structure, texture, etc.
- Les caractéristiques climatiques : climat passé et futur.
- Les caractéristiques des outils utilisés.

Figure 3. Evaluation schématique des états d'un profil cultural



E.O

Les profils intermédiaires dépendent tous des façons culturales précédemment effectuées et commandent le choix des façons suivantes. Un profil intermédiaire est conçu en fonction des façons ultérieures et des effets climatiques attendus entre deux façons.

2° Importance de l'état hydrique du sol : la praticabilité

L'état hydrique du sol détermine la consistance du sol et son adhérence. Un sol présente, du fait de sa cohésion, une résistance à la déformation et la rupture qui définit sa consistance. Lorsqu'on l'humidifie, il passe successivement par différents "**états de consistance**". A très faible humidité, les mottes de terres se présentent à **l'Etat cohérent**. Elles sont difficiles à rompre et une fois rompues les particules n'ont pas tendance à adhérer de nouveau les unes aux autres. L'humidité augmentant, le sol

devient **friable puis plastique**.

On peut alors déformer une motte sans **la briser**.

Si l'humidité augmente encore, la terre se présente comme une boue, elle est à l'état " liquide".

Atteberg a utilisé pour caractériser les états précédents les teneurs en eau qui les limitent. Elles sont désignées comme les limites d'Atteberg, et l'on distingue :

- La limite de retrait " L.R." : elle sépare l'état cohérent de l'état friable ;
- La limite de plasticité " L.P." : elle sépare l'état friable de l'état plastique ;
- La limite de liquidité " L.L." : elle sépare l'état plastique de l'état liquide.

A l'état plastique, les particules adhèrent entre elles et aux surfaces mouillables comme celles des outils. L'adhérence varie avec la teneur en eau, à partir d'une certaine humidité, un peu de terre reste collée à une surface, l'humidité correspondante définit la limite d'adhérence (L.A.). La connaissance des caractéristiques précédentes (L.A, L.R, L.P) pour un sol permet de déterminer à quelle humidité il faut intervenir pour réaliser un travail du sol et obtenir l'état structural souhaité.

Suivant l'humidité du sol il est donc plus ou moins facile d'obtenir de la terre fine. Les outils selon leur mode d'action, travaillent plus correctement dans une gamme d'humidité. A égalité de pression exercée, le compactage du sol varie avec l'humidité du sol.

Figure 4. Les outils et l'humidité du sol

<i>Humidité du sol outils</i>	<i>Très sec</i>	<i>sec</i>	<i>Peu humide</i>	<i>humide</i>	<i>Très humide</i>
* Charrues à socs					
* Charrues à disques					
* Cultivateurs rotatifs					
* herses rotatives					

L'état hydrique, fonction du climat et du type de sol, conditionne

la possibilité d'intervenir ainsi que la qualité du travail.

La **praticabilité** désigne la plus ou moins grande facilité à prendre une terre. Selon **Boiffin**, sa définition englobe deux phénomènes :

- la **puissance nécessaire** pour opérer une modification structurale ;
- la durée pendant laquelle on peut travailler la terre.

La praticabilité est fonction de l'état hydrique du sol. Elle dépend des saisons mais aussi de caractéristiques hydrodynamiques comme la vitesse de **ressuyage** :

La durée pendant laquelle, sous un climat donné, une opération culturale déterminée peut être effectuée est évaluée en faisant appel à la notion de jours disponibles. C'est le nombre de jours propices à son exécution ayant une probabilité de 8 années sur 10.

3° Les actions recherchées.

Par les diverses façons culturales différentes actions sont recherchées sur le sol :

- le fractionnement ;
- le retournement ;
- le nivellement ;
- le tri des mottes et de la terre fine ;
- le tassement.

A chacune d'elles ne correspond pas un type unique d'outils, on peut les obtenir à l'aide de plusieurs types et un même outil réalise souvent plusieurs actions.

Le **fractionnement** vise à ameublir le sol en réalisant la cohésion et en augmentant la porosité. La division est d'autant plus poussée que la vitesse de travail des outils est élevée.

Le **nivellement** supprime le micro-relief qui existe après une culture ou une façon culturale. Le **tri** de la terre fine et des mottes facilite la réduction ultérieure de celles-ci.

On réduit la porosité en tassant le sol à l'aide des rouleaux.

4° Les accidents structuraux lors des façons culturales.

Au cours de la préparation, les répétitions des façons culturales ou l'inadaptation des outils et des opérations à l'état du sol occasionne

parfois une dégradation de la structure du sol. Les effets climatiques les amplifient très souvent.

Les accidents structuraux les plus souvent rencontrés sont :

- La création d'un excès de terre fine à la suite d'actions répétées trop énergiques (Battance, érosion).
- Durcissement des mottes
- Granulation du sol
- Création de mottes par compaction et lissage très difficiles à réduire.

3.3.7. Les façons préalables

1° Le déchaumage

On déchaume après la récolte des céréales avec différents outils.

Les objectifs sont :

- lutter contre les mauvaises herbes
- préincorporer les résidus culturaux
- faciliter l'infiltration de l'eau.

Le déchaumage est pratiqué à une profondeur de 8 – 12 cm avec des instruments à dents comportant des socs ou des appareils à disques. Le déchaumage est plus facile s'il est pratiqué aussitôt avant que le sol ne se dessèche trop à la suite de l'enlèvement d'une grande partie des pailles. Il est conseillé d'effectuer deux passages obliques à trois semaines d'intervalle. On peut associer au déchaumage un semis d'engrais verts en culture dérobée. Le déchaumage est parfois remplacé par **l'utilisation des herbicides et la pratique du brûlage des pailles.**

2° Le sous-solage.

Le but du sous-solage est d'éclater et de diviser les horizons profonds d'un sol afin de faciliter la pénétration des racines et accroître la perméabilité.

Exécuté en bonnes conditions, le sous-solage détruit les **semelles de labour** en sols limoneux et décompacte les horizons profonds. En zones humides, le sous-solage n'a pas de conséquences bénéfiques.

Il est effectué avec une sous-soleuse. La sous-soleuse qui travaille de 0,35 à 0,70 et même 1 m de profondeur exige une traction puissante. Elle est dans la majorité des cas attelée à un tracteur de 22 à 65

CV. L'écartement entre les raies de sous-solage varie de 1 à 3 m suivant la nature du terrain, suivant la profondeur du travail.

3.3.8. Les labours

1° Définition et rôles

Labourer consiste à découper une bande de terre de largeur et de profondeur variables et à la retourner en appliquant sur la bande précédente.

Les labours permettent :

- une meilleure pénétration et un meilleur emmagasinement des eaux pluviales ;
- l'aération du sol ;
- l'obtention d'une bonne structure ;
- la destruction et l'enfouissement des mauvaises herbes ;
- s'il y a lieu enfouir les amendements, les engrais, les insecticides.

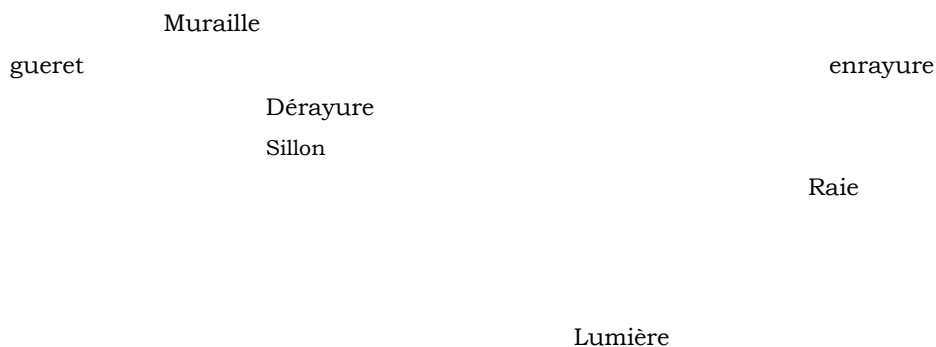
Les labours peuvent être effectués :

- à bras, à l'aide d'outils divers comme les pelles, bêches, fourches, houes...
- avec les charrues utilisant soit la traction animale ou mécanique.

Suivant leur type, les **charrues** découpent le sol en bandes de formes différentes. Une fois découpées, ces bandes sont plus ou moins retournées les unes sur les autres.

Le **gueret** est la partie du champ non encore labourée. La muraille est la partie verticale qui sépare le **gueret** de la partie labourée. Elle est façonnée par le coutre.

Figure 5. Schéma du labour : principales désignations.



Le **Sillon** ou **raie** de labour est la partie placée entre la dernière bande et la

muraille. La bande est la portion de terre découpée par le coutre et le soc puis renversée par le versoir. **L'enrayure** est le premier sillon d'un labour. La **dérayure** est le dernier sillon du labour. **La profondeur du labour** est la distance qui sépare la surface du gueret du fond du sillon. La **largeur du labour** est la largeur de la bande retournée. Elle mesure la distance entre la muraille et la contre-profondeur et largeur du labour dépendent l'une de l'autre et les versoirs ne permettent pas de dépasser un certain rapport. Dans les labours légers la largeur est ± 3 fois la profondeur. **Les fournières** ou **chaintres** ou **ournières** sont les extrémités du champ où tournent attelage ou tracteurs. **L'entrure** ou **embêchage** est la tendance de la charrue à entrer dans le sol. Les charrues sont caractérisées par leur **angle d'entrure**. Le talonnage est la tendance de la charrue à appuyer sur son arrière, sur son talon. Le **jumelage** est le défaut de régularité dans le labour; il est la conséquence d'un mauvais **réglage des versoirs**.

2° Principales caractéristiques des labours

Les principales caractéristiques d'un labour sont la **profondeur**, **l'inclinaison des bandes de terre** et **leur disposition**.

Lorsque la bande de terre est complètement retournée, le labour est "couché" ou "à plat" ; si elle est simplement redressée et reste presque perpendiculaire au fond de raie, il est dressé ou droit. Dans le premier type le rapport L/P vaut 1,4 – 1,5 ; dans le second il est compris entre 3 et 4.

Si le labour est utilisé comme moyen d'action sur le régime des eaux et d'assainissement du sol, plusieurs types de réalisation sont possibles :

- labour à plat ;
- labour à planches ;
- labour à billons.

Les deux derniers permettent l'élimination des excès d'eau en climats pluvieux ou en sols perméables. Les labours en planches comportent des dérayures espacées de **15 à 30 m**, les labours en billons sont constitués par l'adossement de 4 à 8 bandes et les dérayures sont beaucoup plus rapprochées.

Elles sont orientées dans le **sens de la pente** ou un peu obliquement afin de

réduire la vitesse de l'eau et limiter les risques d'érosion. L'exécution des labours en planches ou en billons est délicate et plus longue.

Suivant la profondeur des labours on peut distinguer trois types:

- labours légers ou superficiels ;
- labours moyens ou ordinaires ;
- labours profonds.
- **Labours légers** (8- 12cm). La faible épaisseur de la couche travaillée rend difficile l'observation des conditions de régularité. Ils sont très souvent remplacés par des pseudo-labours.
- **Labours moyens ou ordinaires** (15-25cm) qui sont les plus utilisées, en particulier pour les céréales et pour la plupart des plantes sarclées (pomme de terre, maïs...).
- **Labours profonds** ce mode de travail attaque le sous-sol, il se limite pratiquement à une profondeur de 35 cm. Au-delà, il s'agit d'un **labour de défoncement**.

Avantage

- Augmentation du volume de terre meuble ;
- Accroissement de la capacité de rétention pour l'eau ;
- Enfouissement de la m.o ;
 - **Les labours de défoncement** (35 cm) apportent à un degré accru les avantages et inconvénients des labours profonds.

Ils ne sont à envisager que dans des circonstances exceptionnelles : mise en valeur d'un sol vierge, cultures des plantes pérennes.

Tableau 17. Facteurs-pluie de long et profondeur optimal de la Couche arable.

Formule : facteur pluie de long précipitation annuelle en mm	Facteurs pluie	Prof. en Cm
	150-141	-----17
	140-131	-----18
	130-121	-----19
	120-111	-----20
Température moyenne de	110-101	-----21
l'année en %	100-91	-----23

	90-81	-----25
Ex. $\frac{1450 m}{18^\circ C} = 80,5 = 25cm$	80-71	-----27
	70-61	-----30
	60-51	-----35
	50-46	-----40
	45-41	-----45

3.3.9. Les pseudo-labours.

Les pseudo-labours ou quasi labours sont des opérations destinées à travailler plus ou moins profondément le sol pour l'ameublir sans le retourner.

1° Buts

* Elles précèdent et préparent le labour par

– le déchaumage

- l'incorporation des m.o

- Elles incorporent des engrais de fond et des amendements.

* D'autres façons culturales peuvent suivre le labour, soit immédiatement, soit après action du climat. Elles préparent le lit de semence, elles favorisent par le tassement la remontée de l'eau jusqu'aux graines.

* D'autres encore **cherchent à compléter le labour**. Ex. : Griffages et sous-solages.

* Les pseudo-labours peuvent remplacer les labours en terre caillouteuse.

2° Les différents matériels de pseudo-labour.

Une grande diversité existe dans les instruments de pseudo-labours. Ils sont généralement classés selon la forme des pièces travaillantes et on distingue :

- appareils à socs ou à lames : charrues rotatives ;
- appareils à dents : scarificateurs, extirpateur, chisel, cultivateur...
- appareils à disque : pulvérisateurs...

3.3.10. L'examen d'un labour

On juge un labour en considérant :

- l'aspect superficiel : la déformation des bandes de terre et les

irrégularités de surface ;

- la structure interne des bandes de terre.

Selon le profil des bandes de terre, on distingue plusieurs types de labours :

- des labours à arêtes vives ;
- des labours anguleux ;
- des labours arrondis ;
- des labours jetés.

Le type de labour obtenu dépend d'une part de caractéristiques propres au sol : constitution, utilisation antérieure, humidité au moment de la réalisation et d'autre part de caractéristiques liées à l'exécution : forme des versoirs de la charrue et vitesse d'avancement.

On apprécie aussi les labours en examinant **l'aspect interne** de la bande de terre retournée :

- la proportion de mottes et de terre fine, leur disposition ;
- la présence de cavités internes et leur importance ;
- l'inclinaison des bandes qui détermine la forme et l'importance de la lumière du labour ;
- la disposition et la localisation des matières organiques.

3.3.11 L'époque du labour.

Plusieurs facteurs conditionnent l'époque du labour :

- la disponibilité du sol ;
- l'état hydrique ;
- la culture projetée.

Deux périodes de labour sont possibles : en **début de cycle** ou en **fin** de cycle cultural.

Les labours de **début de cycle cultural** peuvent s'effectuer dès que les premières pluies ont suffisamment imbibé le sol. Deux ou trois pluies de 20mm sont en général nécessaires pour permettre un travail de qualité. On compte deux jours de ressuyage après 40mm de pluie afin de pouvoir pénétrer facilement dans le champ. La période adéquate est généralement très courte en **culture pluviale** ; car le calendrier de travail est souvent chargé à cette époque. Il est pourtant essentiel de ne pas prendre de retard,

car tout décalage dans la date de semis se révèle catastrophique pour les rendements. Or le temps d'exécution d'un labour soigné est important (5 à 6 J/ha en culture attelée, 1J/ha en culture motorisée).

Pour assurer une certaine qualité de travail qui est la condition de l'efficacité du labour, il vaut mieux en cas de surcharge prévisible :

- soit avancer une partie des labours en fin de cycle précédent ;
- soit de remplacer, sur certaines parcelles, le labour par un autre type de préparation du sol plus rapide plutôt que d'entraver le bon déroulement du cycle de culture.

Le **labour de fin de cycle** s'effectue après la récolte de la culture de saison des pluies avant le dessèchement du sol, voire sa prise en masse, qui se produisent en début de saison sèche, et qui interdisent alors tout labour profond.

En général, les terres argileuses et les terres argilo-calcaires doivent être labourées au bon moment ; si elles sont labourées trop humides, le labour forme des **grosses mottes** qui durcissent et rendent difficile tout ameublissement complémentaire. Si elles sont labourées trop sèches, elles exigent des moyens de traction puissants et coûteux pour des résultats médiocres.

3.3.12. Travaux d'ameublissement superficiel

Dans la plupart des cas les labours laissent le terrain insuffisamment ameubli pour qu'il puisse recevoir avec profit semences et boutures. Il est donc nécessaire de parfaire l'ameublissement grossier par le labour. On y parvient par le **hersage** et par **roulage**.

1° Le hersage

Le hersage a pour but principal de parfaire l'ameublissement obtenu par le ou les labours, de rendre le sol apte à recevoir les ensemencements et les plantations. Il permet également, suivant l'époque à laquelle il est exécuté :

- de niveler le terrain ;
- de détruire les mauvaises herbes et de les amasser en tas ;
- de faciliter la levée en brisant la croûte superficielle ;
- d'éclaircir les semis.

D'après la direction du travail, on peut herser :

- dans le sens des raies de labour,
- perpendiculairement aux raies de labour.

Le hersage suit le labour. Il est effectué lorsque les mottes ne sont ni trop dures, lorsqu'elles se brisent convenablement. Il ne faut pas herser les terres lourdes imperméables avant qu'elles soient convenablement ressuyées.

2° Le roulage.

Le roulage sert à briser les mottes, parfaire l'ameublissement et le nivellement du terrain. Le roulage sert aussi à tasser le sol arable afin de rétablir ou d'accroître par capillarité la remontée de l'eau des couches profondes vers la surface. Les semences trouvent ainsi dans le sol de meilleures conditions d'humidité et voient leur levée facilitée. Parfois on roule les jeunes graminées pour favoriser le tallage. Le roulage est déconseillé dans les terres **argileuses**, dont il augmente l'imperméabilité. Les meilleurs résultats sont obtenus sur des terres convenablement ressuyées dont les mottes se brisent facilement. Lorsque les mottes sont sèches et dures on a intérêt à utiliser les rouleaux brise-mottes ou **rouleau croskill**. Le roulage s'effectue après le semis.

3.3.13. Problèmes posée par la succession des façons culturales

Certaines questions se posent quant à la réalisation des façons culturales successives :

- le choix de la date d'exécution ;
- le délai entre interventions ;
- l'orientation des passages successifs ;
- la réduction et la simplification.

1° Les dates d'exécution

Les dates d'exécution des façons culturales déterminent très largement la qualité de la préparation du sol obtenue. Elles sont conditionnées par la date de semis, le type de sol et son état hydrique et le climat. Elles dépendent aussi du type d'outils, de la force de traction disponibles.

2° Les délais entre les façons culturales

L'action des facteurs climatiques facilite l'obtention de l'état structural souhaité ou au contraire la complique. Le comportement hydrique du sol détermine le délai optimal à respecter.

3° L'orientation des façons culturales.

Elle dépend de la configuration et la topographie des parcelles.

- Dans les terrains à faible pente, l'infiltration de l'eau est facilitée lorsque les labours sont exécutés perpendiculairement. Si un excès d'eau est à craindre l'exécution dans le sens de la pente permet de l'éliminer. Une orientation légèrement oblique réduit le risque de l'érosion si la pente est forte. En sols drainés, le labour se fera transversalement au sens des files de drains.
- Le sous-solage est effectué dans un sens tel que le labour suivant soit perpendiculaire. Le sens de déchaumage sera transversal à celui du labour. Si deux déchaumages sont effectués, ils seront recoupés.
- Les hersages et les roulages doivent être croisés obliquement entre eux. L'émiettement de la terre est meilleur ; la profondeur travaillée plus régulière ; le nivellement du sol et de la base du lit de semence également plus régulier.

4° Le tassement

Il faut distinguer le tassement intentionnel obtenu par différentes façons culturales (hersage, roulage..) et celui dû aux passages obligatoires des outils et des tracteurs en particulier. La porosité du sol traduit l'effet d'ensemble.

5° Réduction et simplification des façons culturales

Depuis un temps, on assiste à une réduction et une simplification des façons culturales. Elles s'expliquent par différentes raisons :

- la puissance accrue des tracteurs ;
- l'apparition de nouveaux outils ;
- l'accroissement de surface à travailler ;
- le désir de disposer de temps pour d'autres activités.

Ex. : Semoirs combinés avec houes rotatives.

* Une plus grande attention doit être portée à l'état physique du sol et à son

comportement hydrique au moment de l'intervention.

3.3.14. Evolution des techniques de travail du sol.

Il s'agit essentiellement des techniques de travail minimum du sol. On peut classer ainsi les techniques de préparation minimum du sol ;

- **Le non labour**, qui consiste à supprimer cette opération, au moins certaines années, et à la remplacer par des quasi-labours plus ou moins profonds ;
- **Le semis direct, sans travail du sol**, qui réduit à l'extrême le travail du sol : la végétation naturelle est détruite par un désherbant sans rémanence, et la culture est installée par un semoir spécial ne travaillant le sol que superficiellement, à l'emplacement des lignes de semis.
- **La simplification des façons** culturales avant et après labour, par le groupage d'outils derrière le même tracteur, ou par le remplacement de certaines opérations par le passage d'outils plus efficaces, souvent actionnés par la prise de force.

3.4. L'ENTRETIEN DES CAPACITES NUTRITIVES DU SOL.

3.4.1. Les principes de base de la fumure.

a) Nécessité mais insuffisance de la restitution.

Pour éviter l'épuisement du sol, il est nécessaire de lui restituer les éléments fertilisants enlevés par les récoltes (loi de Restitution). Certains mécanismes tendent à élever les pertes au-delà des exportations normales.

- Le **lessivage**, élevé en sol nu. Il porte surtout sur les nitrates, le Mg, le S, le Ca, et peu sur K₂O et sur le phosphore.
- Le **blocage** menace surtout les phosphates en sols calcaires et en sols très acides.
- La **consommation de luxe** enfin pour l'N et la potasse.

Mais d'autres mécanismes naturels compensent les exportations et autres pertes :

- La fourniture d'N par les synthèses microbiennes ;
- La libération progressive des réserves minérales insolubles.

Pour le bon agriculteur, il s'agit d'avoir toujours dans ses terres une réserve de fertilité de façon que la plante ait toujours à sa disposition de quoi produire davantage. Mieux qu'une restitution quantitative, il faut une restitution stimulante. Cette restitution peut être réalisée par des apports organiques et certains amendements minéraux modérés (Ca, Mg).

b) Les éléments fertilisants sont solidaires.

L'importance du rendement d'une récolte est déterminée par l'élément qui se trouve en plus faible quantité relativement aux besoins d'une récolte (Loi de Liebig ou du minimum).

L'insuffisance d'un élément assimilable dans le sol réduit l'efficacité des autres éléments, et par suite diminue le rendement des récoltes.

Ainsi tous les facteurs de croissance peuvent se comporter en facteurs limitant.

c) Tous les facteurs de croissance sont interdépendants et peuvent être des facteurs limitant

En fait cette loi ne s'applique pas aux seuls éléments fertilisants, elle concerne tous les facteurs de croissance qui peuvent aussi être des facteurs limitant des rendements.

Ex. : - Facteurs génétiques (variété) ;

- Facteurs climatiques ;
- Facteurs de nutrition
- Facteurs culturels.

La bonne culture forme un tout, elle doit conjuguer harmonieusement tous les **facteurs de croissance**, de façon que chacun puisse jouer dans de bonnes conditions, sans que son action soit limitée par l'insuffisance des autres. Une fumure intensive peut avoir son efficacité réduite par une variété peu productive.

d) L'interaction des facteurs de croissance

L'effet de deux facteurs agissant ensemble n'est pas exactement égal à la somme des effets des deux facteurs agissant séparément. La différence est justement ce que l'on appelle l'interaction des deux facteurs considérés. L'art de l'agriculteur consiste à exploiter au mieux l'interaction

des divers facteurs de croissance pour obtenir les meilleurs rendements.

Ex. : N-P ; N-K.

- L'interaction peut être **positive**

Ex. : N-P.

- L'interaction peut être **négative**

Ex. : N-Cu ; P-Zn.

e) Il y a une limite à l'emploi des engrais

Quand on apporte au sol des doses croissantes d'un élément fertilisant, les augmentations de rendement obtenues sont de plus en plus faibles au fur et à mesure que les quantités apportées s'élèvent. Cette loi, dite de Mitscherlich est le corolaire de la loi du minimum.

Pour le praticien, il conviendra d'augmenter les doses d'engrais avec prudence au-delà d'un certain niveau, pour rester dans les limites de la rentabilité. Ce niveau varie largement suivant les exploitations car il dépend non seulement du complexe sol-climat ; mais du degré de perfection de l'ensemble des techniques culturales et des prix respectifs des engrais et des produits agricoles.

3.4.2. Les types de fumures

Dans le sol, il existe deux catégories d'éléments nutritifs : les éléments stockés sous forme assimilable et ceux qui ne le sont pas.

Le K, P ; Mg etc appartiennent à la première catégorie. La fumure se raisonne sur plusieurs années, de préférence la durée d'une rotation culturale. L'objectif est de porter les réserves nutritives à un niveau tel que les besoins de toutes les plantes mêmes les plus exigeantes de la succession culturale, puissent être satisfaits. Une fois ce niveau obtenu on compense toutes les pertes pour le préserver. Selon le cas pratique une **fumure** de rendement ou une **fumure d'entretien**.

Pour les éléments non stockés à très court terme, la fumure doit être envisagée pour chaque culture et même chaque phase du cycle cultural. L'adéquation de la fumure aux besoins est souhaitable à tous les stades

cultureaux. On pratique une **fumure de satisfaction** des besoins destinée à compléter la fumure du sol (cas de l'N).

a) *La fumure d'entretien.*

L'objectif est de maintenir la capacité nutritive du sol pour chacun des éléments nutritifs. On compense les pertes de toute nature afin que le sol ne cède pas plus d'éléments qu'il en reçoit. La compensation s'**entend** en quantité et en qualité : localisation dans le profil, forme mobilisable, etc.

Pour chaque élément, on établit un **bilan prévisionnel** sur plusieurs années : les apports sont destinés à être équilibrés. En opérant sur la durée de la rotation, on s'affranchit de la nécessité d'évaluer la contribution annuelle des restitutions de chaque précédent cultural.

La capacité nutritive du sol ne variera pas durant la période considérée si l'apport "Ee est tel que"

$$E_r = P_r - R + L + F - L_i$$

P_r et R désignent les prélèvements et les restitutions. La différence

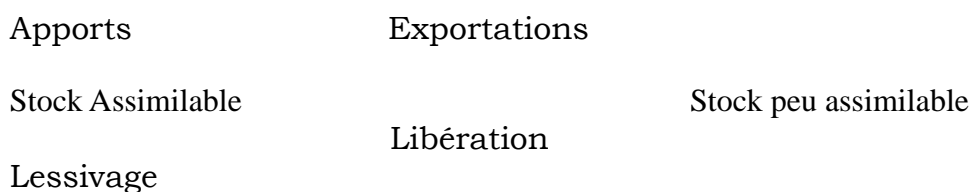
$P_r - R$ représente les exportations (E_x).

L = les pertes par lessivage

F = les quantités fixées ou immobilisées

L_i = les quantités libérées.

Figure 6. Les termes du bilan des éléments minéraux.



Le bilan est établi en début de rotation ; les termes du bilan sont évalués par avance.

1° Evaluation des exportations

Les exportations sont sensiblement proportionnelles aux rendements d'après ceux des années antérieures en tenant compte, s'il y a lieu, des modifications de techniques culturales ou des variétés introduites.

L'éventualité des conditions climatiques particulièrement favorables conduit à les surestimer légèrement. On se réfère pour les calculer, à une table de composition dont voici un extrait.

Tableau.18 Exportation d'unités fertilisantes pour les principales cultures.

<i>Culture</i>	<i>Qx /Ha rendement</i>	<i>N en kg</i>	<i>P₂O₅en Kg</i>	<i>K₂O en kg</i>
Agrumes	120 fruits	100	22	140
Ananas	200 fruits	66	18	164
Arachides	15 gousses	105	15	42
Banane	600 régimes	75	20	225
Blé	16 grains	60	75	75
Cacao	7 cacaos secs	60	54	90
Café	20 cerises sèches	30	50	50
Coton	3,5 fibres	75	30	78
Maïs	35 grains	114	43	125
Haricots	19 grains	132	37	97
Manioc	280 racines	50	20	40
Palmier à huile	16 huile	60	25	50
Patate douce	160 tubercules	116	49	187
Pomme de terre	100 tubercules	60	50	100
Riz	35 grains	40	16	13
Soja	9 grains	60	35	80
Tabac	16 feuilles	116	36	214

Thé	4 feuilles	31	4	13
Tomates	320 fruits	98	27	143

2° Evaluation des pertes par lessivage

Les pertes par lessivage « L » dépendent d'une part de la richesse de la solution du sol conditionné par celle du complexe absorbant et d'autre part de l'importance du drainage.

(ETR-P) pour le phosphore, elles sont totalement négligeables ; pour le potassium, élément fortement retenu, elles sont estimées à la suite d'étude en cases lysimétriques.

Tableau 19. Pertes de K_2O par lessivage selon type de sol K_2O/Ha

Richesse K_2O	Sol argileux à 35%	Limon à 20%	Sable à 5 %
0-10 % 0	3	7	20
0-20 % 0	5	13	40
0-30 % 0	8	20	60

3° Evolution de la fixation

Dans le sol, les éléments minéraux perdent au cours du temps une partie de leur **mobilité** : vieillissement et rétrogradation pour le P_2O_5 , fixation pour le K_2O , rétrogradation pour le Mg. La capacité nutritive d'un sol a donc tendance à baisser indépendamment des prélèvements et du lessivage. Pour remédier à ce phénomène, on applique une majoration aux exportations.

Tableau 20. Majorations à appliquer aux exportations

Types de sols	% Majorations
* P_2O_5	
Sols acides	30 %

Sols neutres	10 %
Sols calcaires	35 %
Sols très calcaire	50 %
* en K₂O	
Sols argileux	35 %
Limon	30 %
Sableux	10 %

b) La fumure de redressement

Les capacités nutritives révélées à l'analyse sont parfois insuffisantes : Ex. : - sols irrégulièrement entretenus

- sols de défriche.

Il va de soi que pour élever le potentiel alimentaire des sols pauvres il faut appliquer des doses d'engrais supérieures à celles d'entretien. Pour chaque élément on calcule l'ordre de grandeur de la quantité totale « Q » nécessaire au redressement au moyen de la formule suivante :

- (ts – ta) : la différence entre la teneur souhaitable et la teneur actuelle révélée à l'analyse ;
- M : la masse de sol à enrichir. Pour une couche arable de 20 à 25 cm de profondeur, elle est voisine de 3500 à 4000T.
- K : un coefficient de majoration.

Le coefficient de majoration dépend du type de sol et des conditions physico-chimiques en particulier sa valeur, toujours supérieure à l'unité, est difficile à préciser. Pour le P₂O₅ et K₂O on utilise très souvent 2 ; pour le K₂O on peut le calculer :

$$k = \frac{1}{1 - \frac{P \times F}{100}} \text{ (D'après Quemener)}$$

c) La fumure azotée

Son principe consiste à rechercher une concordance entre les **besoins de la culture** et la **fourniture d'azote naturel** ou complémentaire. Pour déterminer l'apport on établit un **bilan prévisionnel** prenant en compte les éléments suivants :

- les besoins du peuplement cultivé ;
- la quantité d'azote minéral présente à l'époque où le bilan est établi : les reliquats ;
- l'estimation des fournitures probables en cours de végétation ;
- l'efficacité de l'N disponible.

L'azote est le pivot de la fumure car il est presque toujours au minimum dans les sols, c'est lui qui assure la plus forte augmentation relative du rendement. Au contraire le P et K peuvent se stocker dans le sol tout en restant à la disposition de la plante. Il faut donc calculer la dose d'N en fonction des besoins de la culture en cours.

1° Les besoins

Pour assurer la nutrition azotée d'une culture, il est nécessaire de connaître le **besoin total et le rythme d'absorption d'N**. Le premier point permet de fixer la dose d'engrais à apporter, compte tenu des quantités fournies par le sol, d'en déduire les meilleures époques d'apport.

Dans les conditions agro climatiques habituelles de développement, le besoin total d'une culture est égal au produit du rendement R par la quantité d'N (b) nécessaire pour produire un quintal.

Tableau 21. Besoin en N pour quelques cultures

<i>Culture</i>	<i>Quantité Kg/ quintal</i>
Blé	3,0
Maïs	2,3
Sorgho	2,8
Tournesol	5,0

2° Les reliquats

Le labour est établi en début de végétation. L'N présent à ce moment provient des excès apportés sur la culture précédente et de la minéralisation. Une partie disparaît durant la culture précédente par lessivage ou réorganisation. La quantité restante constitue le reliquat « Rs ». Il varie selon le système de culture et le climat.

3° Les fournitures d'N du sol

Les fournitures d'N au sol en cours de végétation ne peuvent qu'être présumées. Pour les évaluer il faut considérer séparément la minéralisation des différentes fractions organiques :

- les résidus végétaux du précédent cultural (minéralisation primaire) ;
- les apports organiques : fumier...
- l'humus stable (minéralisation secondaire).

4° L'efficacité de l'N.

L'N minéral disponible n'est pas utilisé en totalité par la culture. L'efficacité E de l'N est définie par le rapport :

$$E =$$

5° Equation du bilan

En désignant les quantités d'N probables des différentes fractions organiques par :

Re = reliquats ;

Ms = la quantité provenant de la minéralisation de l'humus dont la culture pourra bénéficier ;

Mr = la quantité provenant de la minéralisation des résidus du précédent cultural ;

Mo = la quantité provenant de la minéralisation des apports organiques.

Le bilan de l'N minéral pour une culture s'établit ainsi :

$$Rb = (Re + Ms + Mr + Mo + F) E.$$

F = est la dose à apporter.

En introduisant la quantité d'N non utilisée «a» en fin de culture, pour tenir compte de l'efficacité de l'N, l'expression est alors la suivante :

$$Rb + a = Re + Ms + Mr + Mo + F$$

d) La fumure totale

En détermination de manière distincte la dose annuelle d'entretien «Fe» et de redressement «Fr» les quantités à apporter sont mieux évaluées. Naturellement, les apports sont pratiqués en même temps ; l'ensemble constitue la fumure totale «Ft».

La fumure de redressement a une durée limitée. Durant le redressement, elle peut être considérée comme une majoration de la fumure annuelle d'entretien :

$$\mathbf{Ft = Fe (1 + \alpha) ; 0 < \alpha < 1}$$

La méthode permet de limiter plus facilement les apports annuels totaux pour les cultures ayant de faibles prélèvements et d'éviter une consommation de luxe.

3.4.3. Le plan de fumure

Le plan de fumure est un budget technique et prévisionnel qui comporte l'évaluation des besoins quantitatifs et qualitatifs des fertilisants (amendements, engrais) nécessaires à l'exploitation pour réaliser l'objectif de production fixé par l'exploitant. **Herbert** le définit comme : “ l'ensemble des quantités, forme et techniques d'application des engrais géré au niveau de l'exploitation pour en maximiser les résultats socioéconomiques”.

a) Etablissement d'un plan de fumure.

Il est établi en début de campagne agricole juste avant les premiers semis. L'agriculteur fait la synthèse entre des exigences de différentes : techniques, économiques, etc.

Le processus de raisonnement est schématiquement présenté sur la figure 7. Deux courants d'information apparaissent : un courant “ascendant” comprenant des données agronomiques : richesse du sol, caractéristique de chaque parcelle, besoins culturaux, etc. et un courant “descendant” figurant les décisions prises : nature, dose, date d'application des engrais choisis. Le souci de l'agriculteur est de ne pas multiplier les formules d'engrais, de pouvoir réaliser les épandages aux époques les plus favorables et d'une manière générale de rechercher le coût minimum de la

production.

Figure 7. Principe d'élaboration d'un plan de fumure

Les termes du bilan minéral servent d'éléments de base à la réalisation du plan de fumure à l'échelle parcellaire. Travaillant sur la **rotation culturale**, nous prenons en compte l'influence de la fertilisation organique même ancienne et le rôle du précédent cultural. Il reste cependant d'autres facteurs importants à connaître ou à maîtriser. La **préparation du sol** qui permet un enracinement plus ou moins bon des cultures est l'un d'entre eux. **Le climat** intervient aussi concernant les cultures. L'examen des **quantités globales** requises ne suffit pas. Il faut bien connaître les aspects physiologiques de leur développement. D'une façon générale, on observe aussi que les éléments minéraux ne sont pas absorbés **passivement** par les cultures et que les **rythmes d'absorption** peuvent varier beaucoup selon le temps et selon l'élément considéré. Le maïs par ex. absorbe son phosphore très progressivement.

Enfin de nombreuses **particularités** sont en connaître, comme la réponse

des jeunes plantules à une fertilisation localisée sous forme soluble leur permettant un départ rapide en végétation (cas du maïs) : on remarquera à ce propos que l'apparition de signes de **carences** chez un végétal ne correspond pas toujours à un manque réel, mais parfois est due à un **défaut d'absorption** provoqué par un blocage des éléments du sol ou à des conditions climatiques qui freinent l'activité du métabolisme de la plante notamment au niveau des racines.

La détermination des doses d'éléments fertilisant à apporter doit donc s'accompagner d'une réflexion portant sur la formulation chimique de l'engrais à retenir, sur l'époque d'application qui tient compte de la culture elle-même et de l'engrais utilisé (solubilité...).

Le choix de la **présentation physique** de l'engrais dépendra plutôt des contraintes techniques de l'exploitation (matériel).

b) Modalités pratiques d'application de la fumure

1° Les apports aux cultures

D'une part toutes les cultures n'ont pas les mêmes besoins nutritifs, d'autre part l'importance des restitutions minérales par le précédent cultural ainsi que le rythme de libération des éléments minéraux sont très variables. Certains auteurs préconisent une distribution **quasi-uniforme** de la fumure phospho-potassique sur chaque culture de la rotation, leur position découle logiquement de la notion du **sol pourvu** à la base de la conception actuelle de la fertilisation.

Cependant en raisonnant ainsi le potentiel nutritif risque d'être momentanément diminué en cours de rotation après une culture ayant des prélèvements élevés. Ainsi, afin de faciliter la nutrition minérale, on adopte une attitude différente : chaque culture reçoit une fumure par anticipation dont l'importance est adaptée à sa nature. La fertilisation " par avance" est plus spécialement destinée à faciliter la satisfaction des besoins instantanés très élevés à certains stades.

Pour répartir les différents apports sur les cultures en rotation, on s'inspire des principes suivants :

-accorder une préférence aux cultures réagissant bien à certains éléments : K_2O sur pomme de terre.

- prendre en compte, dans la mesure où on les connaît, l'importance et le rythme de libération des éléments du précédent cultural.
- tenir compte du potentiel cultural installé, il est souvent lié au niveau de la fumure azotée appliquée ;

L'azote joue un rôle déterminant dans la production de matière végétale ; la fumure azotée en est le moteur. Une attention particulière lui est donc accordée. L'application de la totalité de la fumure phosphato-potassique en tête de rotation simplifie les opérations culturales en sol pourvu, et uniquement dans ce cas.

2° Les modes d'application des engrais

Le mode d'application doit prendre en compte **la mobilité** de l'élément nutritif, la disposition du système racinaire et la forme physique de l'engrais utilisé. On peut distinguer plusieurs modes de répartition des engrais :

- une distribution assurant une couverture totale avec disposition superficielle ou enfouissement.
- Une localisation superficielle ou en profondeur.
- La possibilité d'une fumure foliaire existe : pour l'apport des éléments majeurs est exceptionnelle en grande culture.

Après application, l'engrais doit être incorporé au sol en procédant à une façon superficielle et par un labour. L'incorporation permet une meilleure répartition dans le sol d'éléments peu mobiles comme le K_2O et P_2O_5 ; elle est conseillée aussi pour l'urée ou les engrais ammoniacaux afin de réduire les pertes par volatilisation. L'apport direct dans le sol nécessite des appareils enfouisseurs spéciaux. On peut aussi chercher à apporter l'engrais à certains endroits pour préserver la mobilité de l'élément nutritif et faciliter son absorption par les racines : **on localise l'engrais**. Deux effets sont recherchés : un effet de **concentration** et un effet de **placement**.

c) La rentabilité de la fumure

On peut envisager la rentabilité de la fumure à deux échéances :

- à court terme, l'année même de l'apport ;
- à long terme, il faut prendre en compte les apports effectués pour créer

le potentiel nutritif, l'immobilisation et les pertes d'éléments.

L'action des engrais sur la production s'exerce suivant la loi des rendements moins que proportionnels.

Pour une culture donnée, le rendement "R" est lié à la dose "D" d'un élément appliqué par une **fonction de production**. A la suite de travaux de **Mitcherlich**, l'expression la plus utilisée est la suivante :

$$R = R_0 + \alpha D + BD^2$$

Où R_0 est le rendement sans apport souvent dénommé "rendement témoin".

α : Un coefficient traduisant l'efficacité de l'engrais.

B: Un coefficient exprimant l'action des facteurs et des conditions qui limitent son action.

La représentation de la fonction de production est une parabole; son ordonnée à l'origine (R_0) est d'autant plus faible que le sol est pauvre : en sol pourvu sa forme est très aplatie. Le rendement est maximum pour une dose "DT", la dose technique optimale. La valeur de la récolte "P", en fonction de la dose, s'obtient en multipliant le rendement "R" par le prix de vente de l'unité de denrée produit (quintal, tonne), sa variation en fonction de la dose d'élément apportée est également représentée (C) déduite de la précédente par un changement d'unités sur l'axe des ordonnées.

La dépense d'engrais, quant à elle, se décompose en deux parties :

- une partie fixe, indépendante de la dose ; comprenant par exemple les frais d'épandage ;
- une partie proportionnelle à la dose. La dépense totale varie linéairement avec la dose d'engrais appliquée.

La dose économique optimale dépend de plusieurs paramètres :

- L'efficacité de l'engrais ;
- L'action des facteurs du milieu qui freinent cette action : B.
- Le coût de l'engrais ou plus exactement le rapport entre le prix de l'unité des denrées produites et celui de l'unité d'engrais ;
- Le niveau des réserves du sol.

3.5. LA CONSERVATION DES TERRES CULTIVEES

A l'heure actuelle, on assiste à l'échelle du globe à une recrudescence des phénomènes d'érosion. Celle-ci à de multiples causes : la déforestation, mais aussi le surpâturage et l'intensification des cultures sous l'influence des facteurs démographiques. On constate que le sol est globalement de moins en moins riche en matière organique et de moins en moins couvert par les cultures.

Figure 8. L'agriculture durable.

La lutte contre l'érosion pluviale repose :

1° D'une part, sur l'utilisation rationnelle des terres (classement). Par exemple sys (1991) propose pour le Rwanda les classes suivantes d'intensité de travaux d'aménagement :

a) légers travaux d'aménagement pente de 2 à 12 %.

- apport d'engrais organique et léger chaulage sur les sols acides pH 5,5 à 4,8.

- Cultures en bandes sur pente de 2 à 6 %.
- haies antiérosives espacées de 10 m sur pente de 6 à 12 %.
- b) Travaux d'aménagement intense* pente de 12 à 25%.
 - apport d'engrais organique et chaulage plus important sur le sol très acide pH < à 4,8.
 - haies antiérosives (espacées de 5 à 10m) ou terrassement.
- c) Travaux d'aménagement très intenses* pente de 25 à 55%.
Terrassement.
- d) Travaux d'aménagement exceptionnels* pente > 55%.
 - Cultures labourées : création des terrasses étroites.
 - Cultures pérennes : haies antiérosives et paillis.
 - sylviculture.

On voit que, plus la pente augmente, **moins** il est recommandé de développer des **cultures labourées** si on veut durablement maintenir la productivité.

Le développement de l'élevage est absolument nécessaire pour la mise en valeur rationnelle des terres en pente, car les haies anti-érosives fourragères et la prairie artificielle intensive et productive sont des moyens efficaces de production.

2° D'autre part, sur des actions portant sur les divers facteurs influençant l'érosion ;

- l'énergie cinétique des gouttes d'eau arrivent à la surface du sol ;
- l'érodabilité du sol ;
- le régime d'infiltration du sol ;
- la couverture vivante du sol.

3.5.1. Les techniques bioculturelles.

Ces techniques sont basées sur deux principes :

- occupation maximale du sol dans le temps et dans l'espace ;
- entretien et amélioration du taux de m.o du sol.

L'occupation maximale du sol se réalise par :

- la fertilisation et la protection phytosanitaire ;
- densité de semis ;

- les cultures associées dans le temps et dans l'espace ;
- les cultures dérobées ;
- des semis de plantes de couverture intercalaires ;
- la succession de deux cultures dans la même saison si le régime des pluies le permet ;
- l'échelonnement dans la rotation de cultures couvrant le sol l'une après l'autre ;
- la prairie artificielle, "culture de l'herbe", qui peut être soit permanente, soit temporaire et incluse dans la rotation pour 2 ou 4 ans ;
- l'agroforesterie ;
- le paillage avec les déchets de cultures (mulching). Il exige beaucoup de manipulations de transports et doit être produit près du lieu d'utilisation (2000m³ /ha pour une couverture de 20 cm).

L'entretien et l'amélioration des réserves organiques

Se réalisent par :

- La fertilisation et la protection phytosanitaire ;
- Des cultures laissant des résidus ligneux : cultures à paille, engrais vert âgé, jachère, prairie temporaire ;
- Un recyclage optimal des résidus de culture par décomposition sur place dans le champ sous forme de paillage, ce qui est la méthode la moins coûteuse en travail et qui occasionne le moins de pertes d'éléments nutritifs, ou éventuellement compostage.

2° En cultures arbustives et arborescentes.

- Utilisation d'une couverture vivante sous plantation. Cette couverture est souvent réalisée en plantes améliorantes (plantes d'ombrage, engrais vert, plante de couverture naturelle ou artificielle) telles que les légumineuses ou les graminées qui retiennent bien le sol en surface grâce à leur enracinement chevelu. On mélange souvent le **stylosanthès** et **Leucaena** aux graminées.

On peut maintenir la **couverture naturelle** et la rabattre périodiquement. Ce procédé est surtout valable dans les plantations d'espèces à tempérament forestier (hévéa, palmier à huile, cacaoyer...).

La couverture artificielle peut être soit complète et permanente ou périodique, soit partielle en bandes en courbes de niveau si elle doit permettre les façons d'entretien mécanisé. Il est souvent nécessaire de faucher périodiquement la couverture végétale des interlignes pour réduire leur concurrence hydrique.

- **Sarclage sélectif** visant à ne conserver et multiplier parmi la couverture spontanée, que les espèces compatibles avec les exigences de la plante cultivée.
- **Sarclage total**, immédiatement suivi d'un paillage devant être soigneusement entretenu.

3° Cultures en bandes alternées.

Cette technique consiste à créer le long de la pente une alternance de bandes portant une culture sarclée avec des bandes couvertes par un engrais vert, une jachère, ou mieux encore une prairie temporaire.

Seule une moitié du versant est à un moment donné sous labour. Le cycle des cultures doit être combiné de telle façon que, lorsqu'une bande est labourée, les bandes voisines soient densément couvertes. Après 2 à 3 ans, on peut labourer la prairie et enherber les soles sous labour.

On réalise ainsi un assolement ou une rotation en bandes alternées faisant bénéficier indirectement les bandes nues ou sarclées de l'effet de couverture des bandes voisines.

S'il existe un réseau antiérosif, il est commode d'asseoir l'assolement dans les bandes de terrain délimitées par les ouvrages du réseau.

3.5.2 Moyen d'action mécanique au niveau du champ

-précaution : on doit déconseiller certaines façons culturales (labour à la charrue dans le sens de la pente, labour à la charrue en condition très humide) et énoncer des règles d'exécution des façons culturales.

-Labour à plat en courbe de niveau. Le terrain doit d'abord être délimité en bandes de niveau, éventuellement ceinturées par les ouvrages d'une infrastructure antiérosive. Les sillons contribuent à réduire le ruissellement et de plus, si le labour s'effectue en commençant par la lisière des bandes et

en versant constamment la terre vers l'aval, la pente moyenne diminuera d'année en année, de telle sorte que les bandes évolueront peu à peu vers la forme de terrasses approximativement horizontales ou le ruissellement s'atténuera. La correction de l'inégalité de largeur d'une même bande conduit à laisser des «lentilles» sous couvert permanent, ou des trajets particuliers de labour.

-Labour en billon en courbe de niveau .Effectué en adossant l'une contre l'autre deux bandes de labour adjacentes. Ce labour suivant les courbes de niveau peut, dans certains cas, supprimer le ruissellement. Il est caractérisé par :

-la distance entre crêtes des billons (1 à 1,5m) ;

-la hauteur des billons : du fond de l'inter billon à la crête des billons.
(1 à 1,5m) ;

-la hauteur des billons : du fond de l'inter billon à la crête des billons. Cette dernière peut être limitée par la profondeur du sol. Elle sera fonction de la culture projetée, mais devra être telle (0,20 à 0,5) que la capacité des inter billons soit suffisante pour éviter le débordement par dessus les billons lors des fortes pluies.

- *Sous-solage, scarification profonde*. Il consiste à fissurer ou éclater un horizon compact de profondeur qui gêne le développement des racines et l'infiltration. Il est à faire en terrain sec en profondeur (0,6m). Il doit être effectué selon les courbes de niveau, et modèle la surface du sol en billon.

-outre le labour déjà mentionné, toutes les opérations culturales telles que :

-épandage d'engrais ou de compost ;

-semis ;

-sarclage ;

-buttage ;

-transports attelés ou mécanisés se feront en courbe de niveau.

-Culture sans travail du sol. Cette technique consiste à ne pratiquer aucun travail du sol, et à cultiver des légumineuses ou des céréales à l'aide d'herbicides et des semoirs pratiquant un travail de sol très superficiel et localisé pour le lit de germination, et distribuant simultanément des engrais.

2°Paillage.

Consiste à recouvrir les interlignes culturaux d'une couche de quelques cm de matières végétales mortes (paillis ou mulch) éventuellement sur une partie seulement de la surface. Au paillage s'apparente le système de travail du sol et de couverture vivante nécessitant moins de travail mais plus de technicité.

3 .5.3.Moyen d'action mécanique au niveau du versant.

1° Infiltration ou déviation

On distingue deux types de système ;

-système d'infiltration (ou absorption) ; ensemble d'ouvrages ayant pour rôle de provoquer l'infiltration totale.

-système de déviation; ensemble d'ouvrages ayant pour rôle, après avoir brisé la force du ruissellement déversant et arrêté l'érosion, d'infiltrer une partie de l'eau et d'évacuer le reste.

2° Bourrelets et levées de terre ($s < 5\%$)

Utilisés, en pays arides, au-dessous de 5% ou 3% de pente naturelle pour former de véritables digues retenant l'eau des averses, quelquefois jusqu'au pied du bourrelet situé en amont. Leur hauteur est de 0,3m en cas de terres agricoles et peut atteindre 1m dans les boisements.

3° Banquette ($5\% < s < 10\%$)

Une banquette est une structure d'infiltration de niveau franchissable par les engrais de culture et cultivés sur toute sa surface. Une banquette présente :

-Un talus amont de déblai ;

-Un fond en légère contre-pente, où se produit l'arrêt du ruissellement et l'infiltration ;

-Un bourrelet aval de remblai, avec un talus aval. Elle se caractérise par son profil :

- profil très amorti, utilisé sur faibles pentes (amorti signifie que les pentes des différentes parties de l'ouvrage sont faibles).

- profil amorti : la terre prise à l'amont, mais le talus aval du bourrelet n'est plus franchissable.

Les dimensions d'une banquette et l'espacement entre banquettes doivent être ajustés à la pente.

4° Banquettes ($s > 10\%$)

Dans ce cas, la banquette n'est plus cultivable sur le talus amont et/ou aval, ni franchissable par les engins de culture. L'infiltration diminue, car, si la pente augmente, la largeur du fond d'infiltration diminue pour une même hauteur de bourrelet.

On a sur ;

-sur pente de 10 à 25% : banquette à talus amont coupé.

-Sur pente $> 25\%$: banquette à profil déversé ou en V ; le fond en contre-pente et le bourrelet ne forment plus d'angle, la banquette se rapproche d'un fossé en V ; bonne résistance aux dégâts sur fortes pentes; mais faible infiltration du fait de la surface limitée du fond.

5° Terrasses.

-Construction directe.

Procédé très ancien et très efficace, nécessitant des travaux considérables (± 800 hj /ha) et se justifiant pour établir des cultures riches ou indispensables à la vie des populations sur terrains à forte pente lorsque des terrains plus propices font totalement défauts.

-Construction progressive.

On dispose des obstacles en courbe de niveau ou à faible pente longitudinale. Puis, à l'extérieur des bandes de terrain ainsi délimitées, les labours et les piochages sont effectués en versant ou en tirant toujours vers le bas. Dans chaque bande, les façons culturales et l'érosion en nappe déterminent une reptation du sol vers l'aval, de telle sorte que le terrain tend à s'aplanir progressivement surtout dans la zone de sédimentation aval. Les bandes sont séparées par des talus à fixer par des plantations pour constituer une zone protégée en pente supérieure à la pente initiale du terrain, mais non verticale.

D'après leurs conséquences sur le ruissellement, les obstacles se divisent en deux :

-obstacles filtres : billons, rang d'arbres fruitiers ou fourragers, haies isohypses avec dénivelés de 2cm, etc.

-obstacles absolus : fossés isohypses, banquettes.

6° Fossés gradins.

Les ouvrages creusés diffèrent par leur profil :

- Les fossés ou tranchées : profil en V.
- Les gradins : profil en V ou en trapèze.

Relativement profonds par rapport à leur largeur, les fossés et gradins interdisent le passage des engins et gênent celui des animaux. Ils peuvent être tronçonnés à des longueurs variant de 2 à 25m, les cloisons étant en chicanes sur le versant.

4. LA PRODUCTION DE MATERIEL VEGETAL

4.1. GERMOIRS ET PEPINIÈRES.

4.1.1. Avantages des germoirs et pépinières.

- Les germoirs sont indispensables pour les graines fines et de faible énergie germinative.
- Les germoirs assurent la bonne marche de la germination et la levée des semis. Ils permettent le semis très dense de plantes appelées à prendre plus tard un grand développement.
- Les pépinières permettent de multiplier des grains importés d'autres climats, de placer les jeunes plants dans une atmosphère artificielle, grâce aux abris.
- Grâce aux repiquages successifs, on obtient des plants plus vigoureux et plus résistants aptes à supporter des transports, capables de s'adapter à des conditions de milieu diverses.
- Dans la pépinière, on peut entreposer économiquement et durant plusieurs mois de grandes quantités des plantes prêtes à la transplantation.

4.1.2. Composition des germoirs et pépinières

On y rencontre les installations suivantes :

- un germoir ;
- des planches de repiquage plus ou moins abritées des rayons solaires et desservies par des chemins d'accès (pépinière) ;
- une compostière et une aire pour la préparation du terrain ;
- un hangar ou un abri aménagé pour l'entreposage de latéraux ;
- une bonne clôture ou palissage ;
- une installation facilitant l'arrosage.

On rencontre deux types de pépinières.

-Les pépinières permanentes : production importante (5 à 200.000 plants)
Pour une longue durée avec une organisation d'entreprise et un fonctionnement lourd.

- **pépinière temporaire** de l'ordre de quelques milliers de plants, pour une ou quelques saisons de plantation établies en général sur le lieu même de la plantation.

4.1.3. Choix de l'emplacement

Il faut tout d'abord décider si le programme sera mieux desservi par une grande pépinière centrale ou par plusieurs petites pépinières dispersées. Quand les communications sont insuffisantes ou que l'on ne dispose pas de moyen de transport, il n'y a pas d'autre solution que la création d'un certain nombre de petites pépinières. Si l'on a le choix, il faut examiner les aspects économiques relatifs des deux systèmes, ainsi que plusieurs facteurs d'ordre techniques :

-le coût par plant : il faut parfois tenir compte de frais de transport et subsistance de la main-d'œuvre.

-Il faut évaluer les frais totaux d'investissement requis par la création de plusieurs petites pépinières en les comparant à ceux que comporte la création d'une grande pépinière centrale.

- Il faut aussi tenir compte de l'effet de transplantation sur les plants de pépinière et de leur transport par de mauvaises roues à de grandes distances de la pépinière centrale.

On choisira un **endroit abrité des vents**, à température égale, ou l'atmosphère est relativement humide et plutôt dégagé de tous ombrages naturels.

On cherchera le **voisinage d'un cours d'eau**, et l'on évitera les vallées encaissées où les brumes matinales séjournent.

Le terrain doit **être plat**, ou en pente légère (2 à 3%). Les terres alluvionnaires sont à préférer. On devra prévoir la surface nécessaire à l'extension.

La composition du sol doit **être adéquate à la culture** ou similaire au sol du site de plantation. Pour les pépinières d'arboriculture, les

terres argilo-sablonneuses légères et humifères seront préférées. Pour les **pépinières forestières** il faut prévoir des extensions en sol ordinaire de la région en vue des stages éventuels d'adaptation progressive. Certains arbres ne supportent pas les fumures.

Enfin les pépinières doivent être d'accès facile. Proximité du lieu de plantation et d'un centre d'approvisionnement en intrants.

4.1.4. Les travaux d'aménagement.

Après avoir désherbé, dessouché et nivelé le terrain, on procède à un labour général de 30cm de profondeur, à un extripage complet et à un dernier nivellement. On passe ensuite un piquetage des chemins, des **planches de semis** et des **planches à repiquer**. On peut aussi diviser la pépinière en **blocs**, **section** et **planches** pour une meilleure planification des opérations

a) **La planche** est l'unité de base et ce terme ne désigne pas seulement la formation structurale courante qui est utilisée comme planche de semis ou planche de repiquage mais aussi éventuellement un espace définit dans lequel on dispose les sachets contenant les plantules.

b) **La section** se compose de deux à huit planches et représente l'unité qui est soumise au même traitement au même moment.

c) **Le bloc** représente simplement un groupe de section, d'un nombre approprié qui varie en fonction du tracé de la pépinière. Le bloc doit toujours comprendre un espace pour une route qui doit le traverser par le milieu, de préférence dans l'axe de la longueur, de manière que le chargement et le déchargement des camions ou des charrettes puissent se faire sur les deux côtés.

Une planche de semis ou de repiquage ne doit pas avoir plus de 1m de **largeur interne** pour que l'on puisse y travailler commodément dans les carrés en saillie dans lesquels on empile des récipients ou des sachets peuvent avoir jusqu'à **1,2m de largeur**, celle-ci devant en fait être plutôt calculée de manière à loger un nombre entier de récipients. La longueur de la planche est une question d'échelle des opérations et d'espace disponible. La longueur des carrés saillants doit être calculée de manière à loger un nombre entier des polybags ; ce qui simplifie le comptage et l'organisation. Il

n'est généralement pas indiqué d'avoir des planches dépassant 10m car les accès latéraux peuvent s'en trouver gênés. Les planches de semis doivent en principe être orientées **Est-ouest** enfin d'éviter que le soleil ne brûle les plants.

On réserve près du germoir une place **pour accumuler des terreaux** et, près des planches de repiquage, un endroit suffisamment vaste pour y aménager une compostière ; enfin, on prévoira une place pour l'installation du hangar à outillage et des chemins de desserte.

Tout l'ensemble sera délimité par un chemin de 1,20m de large et par un palissage en pieux, solidement fixé en terre, d'une hauteur de 1,8 m au-dessus du sol. Des portes seront aménagées dans cette clôture pour permettre l'accès aux points d'eau, amenée des déchets et l'évacuation des plants.

Les planches de semis ou germoir doivent normalement se trouver dans des blocs séparés des planches de repiquage (pépinière) sans en être trop éloignées.

Le nombre total des planches et de section nécessaires doit être calculé d'après le programme de plantation prévue, compte tenu des plants à **éliminer**, d'une tolérance **d'échec** et d'une **marge de sécurité**. Il faut également prévoir la possibilité d'une extension future dans le cas des pépinières permanentes.

Il faut aussi prévoir un ombrage mais la forme exacte des ombrières, de même que la structure des planches, dépend des types de planche, des techniques employées et de matériaux disponibles sur place.

A côté des dépôts couverts réservés aux brouettes, récipients et autres matières, il faut un **magasin spécial** pour les engrais, les insecticides, fongicides et autres produits chimiques. Il faut aussi prendre certaines dispositions en vue **d'enregistrer les données** météorologiques, en particulier les températures et les précipitations.

4.1 .5. Le germoir.

a) installation du germoir.

Le germoir sert à faire germer les graines dans un espace réduit, bien protégé. Les plantules seront ensuite repiquées en pépinière ou dans

des sachets.

Le germoir se compose de plates bandes ou lits de germination, orientées avec soin par rapport à la marche du soleil, pour éviter l'exposition des semis aux rayons obliques du soleil (longueur E-0). Les planches ont une longueur variable (5 à 10m) mais ne dépassent jamais 1,20 à 1,50m de largeur pour faciliter l'entretien.

Les germoirs peuvent être constitués de caisses en bois (propagateurs) ou en plastique (40 x 50 x 25cm) ou encore de bacs en ciment (6m x 2m x 25cm) qui possèdent un fond perforé et rempli de gravier pour assurer un bon drainage de l'eau. Le sol du germoir doit être **léger** et **superficiel**. On peut y ajouter une part de compost plutôt que du fumier animal. Parfois, un traitement **fongicide** préventif (ou benlate ou stérilisation du sol), contre la fonte de semis et insecticide incorporé au substrat (1 à 2 j avant le semis).

Elles seront séparées les unes des autres par des chemins d'un mètre. Suivant la fraîcheur du sol, elles sont surélevées de ± 15 cm relativement au niveau des planches des chemins. Dans les conditions d'un milieu **particulièrement sec**, le niveau des planches ne dépassera pas sensiblement celui des chemins. On pourra même, dans certains cas, abaisser le niveau des planches au-dessous de celui des chemins.

L'ombrière est composée de montants de longerons et de traverses formant une sorte de lit ou bâti surélevé supportant des paillasons ou de claies fixes ou plus ou moins amovibles. La hauteur de l'ombrière doit être de 1,5-1,8m de façon à y circuler facilement. Pour éviter que les eaux de pluies ne s'égouttent des abris sur les semis, il est conseillé de donner aux abris une inclinaison de 35%. Cette sorte de toiture protégera mieux encore les plates-bandes des rayons latéraux du soleil et des vents dominants. On peut confectionner des claies amovibles ou cadres en bambous ou en roseau, que l'on couche sur le bâti et que l'on peut soulever d'un côté ou même enlever à volonté. Il arrive en effet que, dans certaines régions et en certaines saisons l'abri ne soit pas nécessaire. Il peut même devenir nuisible.

b) le semis en germoir

Si le **sol est sec**, on l'arrose pendant quelques jours avant le semis, on remue la surface pour permettre l'eau à pénétrer et afin d'aérer le sol. La terre doit être mouillée, sans être humide ni surtout mouillée au moment de l'opération. Il faudra préparer à l'avance un petit tas de terre très légère pour le recouvrement de la semence.

La densité de semis varie suivant l'utilisation ultérieure des plantes après la levée ;

- **Si l'on ne repique pas** les plants, on sème à une distance plus grande de telle sorte que les jeunes plants ne se gênent pas mutuellement et couvrent cependant le sol (20x20; 25x25 ; 30x30).

- **Si l'on repique**, la densité de semis sera plus grande puisque les jeunes plants sont appelés à quitter très-tôt le germeoir pour un autre lieu (10x10 ; 5x10 ; 5x5). De toute façon, il faudra éviter de semer trop dru. On peut semer **à la volée** ou **en lignes**. Les deux modes présentent leurs avantages et leurs inconvénients.

Les graines fines, petites ou très légères se sèment à la volée. Pour avoir un pouvoir germinatif normal en compte après la volée 350 à 500 plants/m². A cet effet, on sème plus ou moins le double, en ayant soin de distribuer **un peu plus de semence** sur les côtes de la planche, plus sujets à la dessiccation et aux coups de soleil le matin et le soir. Toutefois, les quantités à semer dépendent du pouvoir germinatif des semences. Les grosses graines se sèment en lignes distancées de 5 à 10 cm et de 2 à 5 cm dans la ligne seront tracées parallèlement dans **le sens de la largeur du lit**.

Sauf cas d'espèce, la profondeur du semis est égale à une fois et demie et à deux fois l'épaisseur de la graine. On couvre ensuite le semis légèrement de terre fine et humifère. Les fines graines sont seulement, appliquées de la batte ou à la demoiselle.

c) Entretien des semis

L'opération précédente étant achevée, on recouvre le semis d'un écran d'herbe fine (paillis). L'écran de paille aura une épaisseur insignifiante. Les rayons de lumière doivent pouvoir pénétrer jusqu'au sol. Cet écran a pour but d'éviter que l'on ne dame le sol par un arrosage défectueux et de maintenir en saison sèche un film d'humidité à la surface du sol.

L'enlèvement de ce paillis devra se faire aussitôt après l'apparition des premières levées.

Dès que les plantules seront résistantes (stade 2 feuilles), on réduira progressivement l'ombrage. Il faut à tout prix éviter qu'elles ne filent ni s'étiolent.

Arroser matin et soir mais sans excès, on juge à la nécessité l'arrosage par la sensation de moiteur que donne une poignée de terre prélevée sur la planche.

A la première apparition des plantes adventices dans un semis, on procédera à un sarclage soigneux. Dans les semis en ligne on pourra utilement procéder à des scarifications du sol. Les autres soins consistent en pulvérisation **d'engrais** ou en **éclaircissage**, voir en traitement **antiparasitaires**.

4.1.6. La pépinière

a) Installation de la pépinière

La pépinière doit être :

- à l'abri des vents dominants,
- exposée au sud et non à la direction du soleil couchant, pour éviter que les plantules subissent des brûlures,
- d'accès facile.

Il faut choisir un site plat pour éviter des problèmes d'érosion. Quel que soit le type de production, en sachets ou en racines nues, le sol de la pépinière doit être profond, bien drainé et ameubli. Si une production en sachets est envisagée, prévoir un approvisionnement en sable et en terre. Si nécessaire creuser un petit canal en amont ou autour de la pépinière pour assurer l'écoulement de l'eau de ruissellement.

Les pépinières sont constituées de plates bandes de 1,20 à 1,50 m de large et de 3 à 10 m de long. Les plates bandes sont séparées les unes des autres par des chemins de 0,5 à 0,75 m de large.

Pour une en sachets, prévoir 100 sachets par m², en les maintenant par des encadrements ou des rondins.

La production des plantules en pépinière dure 3 à 4 mois et il faut les arroser chaque jour. En outre, la production des plantules a très souvent lieu durant les mois secs.

Il faut donc s'assurer que l'on dispose d'un point d'eau permanent.

La pépinière ne peut être établie dans les parcelles à planter car son emplacement, lors des plantules avec leurs mottes ou même par l'ameublissement poussé dont il a été l'objet, a perdu une grande partie de sa fertilité et ne présente plus que des plages où la culture se développera avec difficulté. Cet inconvénient peut cependant être pallié par des fumures organiques massives.

b) Pépinière en pleine terre.

Elle est indiquée pour les espèces qui supportent la transplantation à racines nues.

Il faut préparer dix fois autant de planches de repiquage que l'on possède de planches de semis bien levés. La distance à réserver entre les plantules à repiquer est fixée en tenant compte de leur utilisation finale. La règle générale qui préside à cette détermination est la suivante : les plantules seront repiquées à une distance telle que, lorsqu'elles auront atteint le développement maximum, souhaitable pour leur transplantation, les plants obtenus couvriront le sol sans toutefois se gêner mutuellement. Cette distance varie suivant les espèces : 10 x 10 cm ; 15 x 15 cm ; 20 x 20 cm ; 25 x 25 cm ou 30 x 30 cm. On repique parfois à 50 x 30 cm les plants – sujets destinés au greffage (agrumes).

Lorsque la pépinière est mécanisée, la plantation se fait en lignes jumelées ou en quinconce.

Le repiquage se fera de préférence par temps couvert, aux premières heures du jour, ou mieux vers le coucher du soleil. Les plants disposent alors de toute la fraîcheur de la nuit pour rétablir le contact avec le sol et se redresser.

Au moment du repiquage, les jeunes plantules du semis sont prélevées, autant que possible, avec une petite motte (arrosage abondant). On plante le déplantoir verticalement et profondément en terre pour enlever

les plants en grosses mottes que l'on réduit ensuite avec précaution, pour ne pas rompre les racines, en ayant soin de conserver les parcelles de terre ou de terreau qui y restent attachées. Elles seront déposées dans un panier par bottes de 10 à 50. Le panier sera immédiatement recouvert (feuille de bananier) pour éviter tout contact avec les rayons du soleil. On pourra appliquer sur les racines des jeunes plants une motte de terre glaise mouillée, si l'on doit le transporter à distance. On préconise quelquefois le **pralinage** qui consiste à tremper les racines des plantules dans une boue liquide constituée de terre glaise mélangée de bouse de vache.

Le repiquage est une opération délicate qui exige une réelle habileté de la part des ouvriers. Il demande toujours la démonstration préalable et un certain entraînement. C'est aux mauvais repiquages, aux mutilations et aux déformations de racines que l'on doit la majeure partie des insuccès en pépinière. La technique comporte toujours **un choix** parmi les plantules et un **habillage** du système racinaire et du feuillage.

Lors du repiquage, il est essentiel :

- que les plantules soient solidement ancrées au sol ;
- que, sauf cas d'espèce, **le collet ne soit pas enterré** ;
- que les racines soient normalement constituées et disposées dans le trou de repiquage ;
- que le repiquage soit suivi d'un bon arrosage.

Le repiquage peut s'effectuer à la main ou à l'aide d'un bon plantoir. Il faut toujours manipuler les plantules en les saisissant par le **feuillage**, jamais par la **racine** ni par le **collet**.

Le repiquage doit s'effectuer lorsque les plantules sont **munies de 4 feuilles** extra-cotylédonaires et d'un bourgeon terminal. Les arrosages qui suivent immédiatement le repiquage doivent être **doux et répétés**.

Directement après le repiquage, on abritera très fort les plantules en les protégeant par le dessus et latéralement on évitera le risque de voir filer les plantes en réglant l'ombrage aussitôt la reprise assurée.

c) Pépinière en sachet ou en polybags

Ce procédé présente l'avantage de réduire au maximum les aléas de la transplantation. Il est en principe plus coûteux que le repiquage en racines nues. L'opération doit être calculée en fonction de différents facteurs:

- coût des paniers ;
- éloignement de la plantation ;
- qualité de la main-d'œuvre ;
- aptitude de l'espèce à la reprise et à la transplantation.

1° Caractéristiques idéales des conteneurs

- être rigides ;
- être résistants ;
- être de couleur sombre ;
- être résistants à la chaleur, à la corrosion de l'eau et des engrais ;
- assurer un bon drainage ;
- autoriser une bonne aération du substrat ;
- permettre désempilage aisé, un empotage et un dépotage.

2° Remplissage des sachets.

La terre qui servira à remplir les sachets doit contenir tous les éléments nutritifs nécessaires à un bon développement racinaire. La terre de remplissage recommandée consiste donc à un mélange de terre noire 60% et la terre sableuse 40%. Dans le cas où la terre noire manque ou est insuffisante, on peut utiliser le sol fertile de galeries forestières. Dans la pratique, le mélange contiendra 1/3 de sable, 1/3 de terre et 1/3 de compost ou fumier.

Pour remplir les sachets on procède de la manière suivante :

- mettre au fond du sachet ou du panier 3 à 4 cm de sable ou de terre sableuse afin d'assurer un bon drainage.
- Remplir les sachets avec le mélange terre noire (ou sol fertile) terre

sableuse.

- Compléter le remplissage en laissant 0,5 à 1cm entre la terre et la lèvre du sachet ;
- Ajouter une mince couche de sable après l'ensemencement ou le repiquage, pour recouvrir les graines ou le collet, afin de permettre une meilleure percolation de l'eau d'arrosage.

3° Disposition des sachets

Les polybags remplis jusqu'à déborder avec la terre de repiquage sont disposés sur la planche et bien serrés les uns contre les autres (dispositions en quinconce) pour laisser le moins de vides interstitiels. On place habituellement 10 sachets sur la largeur de la pépinière.

Il faut éviter que les sachets ne s'appuient les uns contre les autres. Chaque sachet doit tenir verticalement de lui-même et, pour que soit possible, les sachets doivent être pincés en deux points de la base avant d'être posés sur le sol. De même, les planches sur lesquelles les sachets se reposent doivent être parfaitement nivelées.

Lorsque les sachets ne sont pas correctement placés verticalement, une partie de l'eau d'arrosage s'écoulera sur le côté, entraînant une partie du substrat qui recouvre les graines. Ces dernières risquent alors d'être entraînées hors du sachet. Une autre conséquence de la mauvaise disposition des sachets est le développement non uniforme des racines. Celles –ci se développent en longeant la paroi inférieure du sachet au lieu de se reprendre uniformément dans tout le sachet.

4° Semis

Les graines sont placées à une profondeur égale à leur diamètre. Il faut toujours procéder à un test de germination. Si le pourcentage se situe entre 50 et 100% ; on place deux graines dans chaque sachet ; si le pourcentage de reprise est inférieur à 50%, il est conseillé de semer 3 graines dans chaque sachet. On pourra suivre les étapes suivantes.

- remplir de terre et arroser deux semaines avant de semer ;
- ôter toutes les mauvaises herbes qui ont germé avant de semer ;

- mettre les semences à plat et enfoncer avec le pouce ;
- recouvrir les semences d'une couche de terre fine équivalente à 3 fois le plus petit grain de semence.

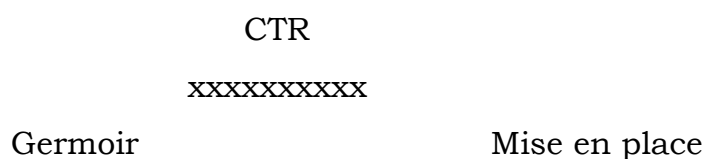
La technique de repiquage dans les sachets varie suivant les types de semences, mais les précautions suivantes sont parfois nécessaires:

- extraction des semis et rejets du mal conformé ;
- habillage des plants ;
- repiquage au doigt ou au plantoir ;
- tassage de la terre autour du plant ; sans compacter ; pour éviter les poches d'air ;
- respecter le niveau du collet (et ne pas le blesser) ;
- arroser copieusement.

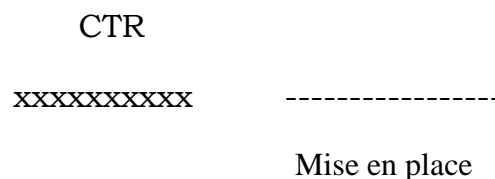
Il est conseillé de bouger les sachets dans la planche pour sectionner les racines qui dépassent en bas du sachet. Si les plants restent trop longtemps dans le sachet où poussent trop vite, on peut craindre des **spiralisations** des racines à la périphérie du tube. Rendement du repiquage 500plants/Hj.

Figure 9. Diverses combinaisons de deux modes de repiquage

Système 1. : Classique avec parfois passage en sachets



Système 2. : Semis direct en sachet.



Système 3. : Passage en sachet pour accélérer le lot des plants en croissance lente quand ils sont jeunes avant une culture en pleine terre pour former des

jeunes sujets.

CTR

XXXXXXXXXXXXXXXXX à ~~//////////~~ -----

Germoir

Pleine terre

Mise en place

Systeme 4. Les plants formés en pleine terre sont empotés en conteneur .

Pleine terre

CTR

~~//////////~~ XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX -----

Germoir

Mise en place

Légende : CTR = Conteneurs = Sachet = polybag.

d) Soins d'entretien aux plants repiqués en pépinière.

- **Remplacement** : on assurera les remplacement des plantules non reprises au fur et à mesure que des vides se produisent après le repiquage.

- La protection contre le vent est assurée par des haies brise-vent et des **palissades** (souvent en paille) parallèlement aux planches (toutes les 3 et 4 planches) et contre le soleil (notamment aux stades germoir et repiquage) par des **ombrières** à 1,5 à 2 m du sol en continu.

- **Le binage** facilite la pénétration de l'eau et de l'air dans le sol et freine l'ETP de l'eau contenue dans le sol.

Il se fait à l'aide d'un couteau dans les pots et d'une petite houe dans les planches.

- **L'arrosage** : Le sol doit être **maintenu en permanence humide** sans toutefois noyer ou déterrer les graines par excès d'eau.

Fréquence : 2 fois par jour : matin et soir pendant la période chaude, plus abondent le matin.

Quantité : 1 arrosoir pour 100 pots et 1 arrosoir pour 50 plants en planche. Vers la fin de la saison, avant la plantation, réduire l'arrosage régulier à une fois par jour afin de ne pas avoir des plants trop grands et de les sevrer.

- **Le désherbage** permet d'éviter la concurrence au niveau racinaire et aérien avec la plante et doit se faire avec soin.

- **Terreautage** : lorsque les plantules ont été déchaussées par une

pluie battante ou lorsqu'on désire les forcer quelque peu, on disposera une légère couche de bon terreau sur la superficie de la plate-bande. Le terreautage sera toujours précédé d'un binage.

- **Abris** : Les abris seront progressivement découverts et même éliminés vers le moment de la transplantation définitive et l'on diminuera l'intensité des arrosages jusqu'à assoiffer les plants, pour les **endurcir** ou éventuellement retarder leur développement. Si celui-ci tend à devancer l'époque de la plantation.
- **Pulvérisation** : on peut procéder à des pulvérisations de fongicides et essentiellement insecticides.

4.2. MULTIPLICATION VEGETATIVE

La multiplication végétative ne fait intervenir aucun processus sexué : fusion des gamètes mâles et femelles. On détache une partie de la plante initiale ou pied mère et on la fait vivre de façon autonome. Les plants ainsi multipliés présentent fidèlement et intégralement les caractères du pied mère, ils sont semblables entre eux, ils constituent un **clone** lorsqu'ils sont issus à l'origine d'un pied mère unique appelé tête de clone.

La régularité des plants obtenus et le maintien de l'identité du matériel végétal sont les principaux avantages de ce mode de multiplication. En contre - partie, son prix de revient est parfois élevé et il aggrave les risques de propagation de certaines maladies à virus.

Les procédés courants de multiplication végétative sont le bouturage, le greffage et le marcottage.

4.2.1. Le Bouturage.

a) La rhizogenèse

La rhizogenèse ou **néoformation des racines** est le phénomène d'organogenèse le plus généralement impliqué dans la multiplication végétale.

Une bouture feuillée ou un apex caulinaire mis en culture in vitro possède déjà au moins un méristème caulinaire. Mais quelque soit la méthode de propagation utilisée, le matériel utilisé doit toujours être apte à la néoformation des racines.

1° Origine des racines

Différents aspects sont à considérer en relation étroite avec le type de bouture considéré.

- Bouture de racine

Dans ce cas, les racines nouvellement formées sont des ramifications de la bouture. Leur origine est en général une origine profonde. Elles se sont formées à partir de cellules meristématiques qui se sont dédifférenciées au niveau du péricycle ou parfois au niveau de l'endoderme :

- *Bouture de tige*

Dans ce cas le mécanisme de la rhizogenèse est lié à l'existence du cambium. Deux schémas sont possibles :

** un îlot de cellules méristématiques de type primaire se développe directement à partir du cambium, puis s'organise ensuite en un méristème de type racinaire.

** A la base de la bouture et essentiellement à partir du cambium, une prolifération cellulaire intense aboutit à la formation d'un Cal. A l'intérieur de cet cal, certaines cellules évoluent en cellules méristématiques de type primaire, puis s'organisent en méristèmes de type racinaire.

- *Boutures de feuilles.*

Le processus général reste le même que pour les tiges, toutefois, la plante formera à la base du pétiole des méristèmes adventifs de type racinaire dans un premier temps, puis de type caulinaire ensuite.

2° Les Etapes

- Activité initiale

Immédiatement après le bouturage, on observe dans certaines cellules des modifications, en particulier l'activation de la biosynthèse de certaines molécules. Ces modifications sont particulièrement marquées au niveau des cambiums et des vaisseaux conducteurs. C'est en fait une activation générale peu spécifique et polarisée à la base de la bouture.

- Dédifférenciation cellulaire

Parmi les tissus activés, seules les assises génératrices et, à degré moindre, les tissus voisins sont le siège de divisions nombreuses. Ces divisions aboutissent à la formation d'un tissu cicatriciel d'importance variable qui peut, évoluer en cal.

Au niveau des assises génératrices ou dans le cal, les mitoses successives donnent progressivement des cellules ayant les caractéristiques des méristèmes primaires.

- Réorganisation

A partir des ilots méristématiques, les cellules vont se différencier et donner naissance à un méristème de racine. Celui-ci entrera en croissance et, après avoir traversé les tissus voisins, la racine néo-formée deviendra visible. Dans le cas des boutures de feuilles le processus reste le même. Toutefois, la plante reformera à la base du pétiole dans un premier temps, un méristème adventif de racine, puis, ensuite un méristème de bourgeon.

3° Facteurs influençant la Rhizogenèse

* **L'origine génétique.** Il existe à l'intérieur d'un même clone des individus qui ont une aptitude plus particulière à l'émission racinaire. En règle générale à l'intérieur d'un même clone les plantes qui rejettent de souche ont une meilleure aptitude au bouturage.

***L'âge.** Les boutures issues de végétaux jeunes ont généralement une meilleure aptitude à la formation de racines que celle qui proviennent des plantes âgées (Rabattre le pied mère pour obtenir une repousse de rameaux jeunes et vigoureux).

* **La lumière** une augmentation de l'intensité lumineuse sur les pieds-mères augmente la production du nombre de boutures mais a tendance à réduire légèrement la capacité d'enracinement une augmentation de l'intensité lumineuse sur les boutures accélère la rhizogenèse et par là-même réduit le temps de culture.

Le photopériodisme est également à considérer, quand une espèce sensible au photopériodisme s'enracine bien, celui-ci n'a que peu d'importance mais quand l'enracinement n'est plus délicat il faut s'en

préoccuper. Les jours longs favoriseraient l'enracinement.

- **L'obscurité** ; cette pratique se réalise sur les plantes ligneuses et se réalise de deux manières :

** L'étiollement il consiste à rabattre les pieds-mères, puis à mettre en place sur ceux-ci, juste avant le débourrement, des cages noires. On les laisse en place jusqu'à ce que les pousses atteignent $\pm 10\text{Cm}$.

** Chiment consiste à poser sur les pousses herbacées des bandes adhésives noires ou des anneaux de tissus de type velcro plus faciles à poser. Les parties ainsi mises à l'obscurité vont s'étioler. Le bouturage se réalise quelques jours après la pose.

- **La nutrition** d'une manière générale, des pieds-mères correctement nourris donnent des boutures qui s'enracinent plus facilement. L'équilibre des éléments nutritifs est aussi important.

Ex. : NO_3/NH_4 .

- **L'arrosage par "mist" ou bruillard** artificiel donne souvent d'excellents résultats, en particulier avec les boutures herbacées. Le mist a plusieurs effets:

- réduction des pertes d'eau ;
- diminution de la température au niveau du feuillage ;
- réduction de l'ETP.
- Des gradients d'aptitude à la rhizogenèse ont souvent été observés en fonction de la situation de la bouture sur la plante. Il est fréquent que des rameaux axillaires prélevés près de la base de l'axe caulinaire présentent une bonne aptitude à la rhizogenèse. Chez beaucoup de plantes herbacées les boutures possédant un bourgeon végétatif prélevées sur une tige florifère ne s'enracinent que si elles proviennent de la partie basale de la plante la plus éloignée des régions florifères. Des tailles répétées des ligneux peuvent permettre de faire recouvrir par les bourgeons subsistants diverses caractéristiques juvéniles, en particulier l'aptitude en l'enracinement.

- **Régulation hormonale**

L'existence de sites privilégiés pour la naissance des racines est un élément important. Mais pour que la rhizogenèse se réalise il faut en plus l'intervention d'une ou plusieurs hormones.

Ex. : Auxines et Cytokinines

b) La néoformation des bourgeons ou caulogenèse

1° Formation des bourgeons à partir de racines

On peut résumer la formation des bourgeons, à partir de racines en deux schémas :

- Un cal se forme au niveau de la blessure à partir de certains tissus de la racine, en général le **parenchyme cortical** ou le cambium, puis à partir de ce cal se différencie un bourgeon.
- La néoformation du bourgeon se fait à partir d'un tissu plus ou moins précis, le plus souvent à partir du **péricycle** ou la zone **corticale externe**.

2° Formations des bourgeons à partir de bouture de feuilles ou fragments de feuilles.

Le schéma général de la formation des bourgeons est assez semblable à celui de la formation des racines. Le plus souvent, l'activité mitotique a pour origine l'assise génératrice externe, c'est -à-dire l'assise **subéro-phellodermique**, mais peut varier pour certaines espèces. Il faut également remarquer que sur une bouture de fragments de feuilles, la naissance des racines et des bourgeons se fait sur la **partie basale** de la bouture, c'est-à-dire celle situé du **côté du pétiole**. Pour les boutures, de feuilles entières, le site de la naissance des racines et bourgeons est la **base du pétiole**.

Ce phénomène serait lié à une modification de l'équilibre entre les hormones de la plante, en particulier la circulation polarisée de **l'auxine** et une circulation privilégiée des régulateurs et diverses substances qui migrent en direction du pétiole.

Dans le cas des boutures de feuilles et de fragments de feuilles la naissance de racines nouvelles précède toujours celles des bourgeons.

Ceci serait dû essentiellement au fait que les cytokinines sont synthétisées en partie au niveau des racines et cette synthèse en modifiant légèrement l'équilibre hormonal, orienterait l'organisation cellulaire dans le sens du bourgeonnement.

3° Facteurs influençant la caulogenèse

Le rôle essentiel des “**interaction cytokinines-auxines**” dans la néoformation des bourgeons peut être considéré comme acquis. Cependant l'action de ces régulateurs ne s'exteriorise souvent que sur certains organes ou certains tissus, pour une espèce donnée. Ce seul fait suggère l'action déterminante de régulateurs ou métabolites encore indéterminés (prolamines par exemple). Parmi les facteurs climatiques nous pouvons citer la lumière et la t° ($\pm 25^\circ \text{C}$).

c) Avantage – inconvénients du bouturage

1° Avantages

- bonne homogénéité ;
- permet la reproduction de mutants ;
- permet la reproduction de plantes ne donnant pas de graines ;
- culture plus courte que la multiplication sexuée ;
- culture plus courte que par le greffage.

2° Inconvénients

- tous les végétaux ne se bouturent pas facilement ;
- obligation de posséder et d'entretenir des pieds-mères ;
- production limitée à la quantité des boutures produites par les pieds-mères ;
- pas de souplesse d'adaptation par rapport aux populations génétiquement hétérogènes ;
- transmission de maladies : virales, bactériennes et fongiques.

d) Différents types de boutures

On peut classer les boutures de différentes façons :

- suivant la nature de l'organe prélevé, boutures de feuilles, tige, de racines ;

- suivant l'état des tissus : herbacées, demi herbacées, ligneux.

1° Boutures de rameaux

Le matériel du départ est un rameau entier ou une portion de rameau parfois réduit à un fragment de 1 ou 2 Cm avec au moins un œil vivant. La présence du bourgeon terminal ou une lignification plus ou moins marquée seront l'origine de différents types de boutures.

- Boutures de rameaux non feuillés.

Elles se réalisent uniquement sur des végétaux ligneux pendant la saison sèche.

Les boutures ont 20 à 25 Cm et sont regroupés en paquets de 25 à 30 suivant la grosseur, puis mises en jauge.

- Boutures de rameaux feuillés

On trouvera dans cette catégorie plusieurs subdivisions de la technique de prélèvement et de la nature des tissus :

- *Les boutures herbacées* sont prélevées sur des pieds-mères en pleine végétation sur les parties jeunes de la plante.
- *Les boutures demi-herbacées* ou *demi-ligneuses* sont celles qui commencent à subir un début d'aoûtement.
- *Les boutures ligneuses* sont des portions de végétaux naturellement ligneux.

Quel que soit leur degré de lignification, toutes ces boutures se réalisent de la même manière :

- Des boutures dites de tête dont la caractéristique est de posséder le bourgeon terminal ;
- Des boutures de tronçons réalisés sur les parties intermédiaires des rameaux. Ces boutures peuvent être plus ou moins longues. Elles peuvent être constituées d'un œil, d'un court fragment de tige et d'une feuille. Les boutures de rameaux feuillées ou non feuillées peuvent avoir différentes variantes :
- Des boutures à talon ;

- Des boutures en crossette.

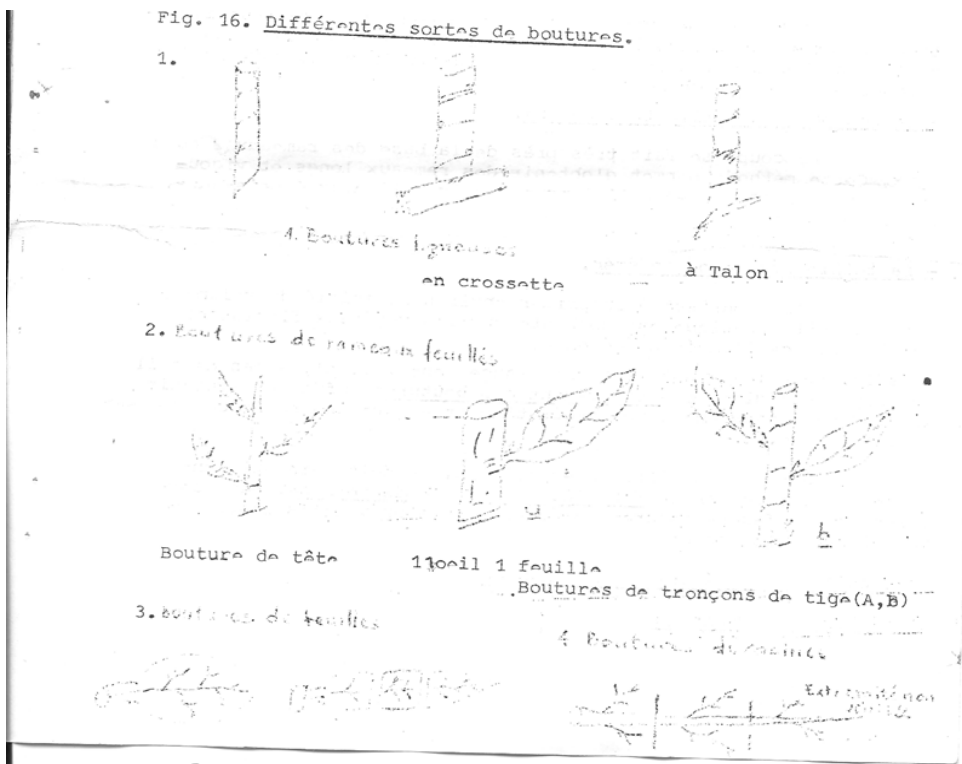


Figure 16. Différentes sortes de boutures

e) Les pieds-mères

1° Choix des pieds-mères

Il doit se faire en tenant compte de plusieurs critères, en particulier il doit parfaitement représenter l'espèce, la variété ou le cultivar choisi. Le pied mère doit être vigoureux, avoir un port régulier et harmonieux. Pour les plantes ligneuses en particulier, il est important de choisir les clones qui, en plus de leurs qualités esthétiques, possèdent une bonne aptitude à l'**enracinement**. Les qualités **sanitaires** sont également primordiales (en particulier les virus et bactéries).

2° Entretien de pied-mères

La taille des pieds-mères est également un facteur important et permet de maintenir une bonne productivité et une bonne qualité de boutures. Cette taille se fera différemment suivant les espèces et le but recherché.

- **Le recepage ou taille très sévère.**

La coupe se fait très près de la base des rameaux 2 ou 3 yeux. Cette méthode permet d'obtenir des rameaux longs et vigoureux. On la pratique essentiellement sur des ligneux florissants, sur le bois de l'année, en particulier quand on recherche des rameaux vigoureux, des plançons.

- **la taille sévère ou modérée.**

Elle consiste à supprimer environ la moitié du volume aérien. Cette pratique est courante sur les végétaux florissant sur le bois de l'année précédente.

-Enfin, pour les végétaux à croissance lente, il n'y a pas de taille proprement dite. **Le prélèvement des boutures** suffit à maintenir le pied mère dans une bonne végétation et assure une ramification satisfaisante.

A part les différentes tailles, on doit maintenir une bonne végétation par la **fertilisation et le désherbage**. Dans certains cas il faudra assurer les traitements préventifs contre les maladies les insectes.

f) condition de réussite du bouturage.

1° Réalisation Technique

- Une bouture est réalisée en ;
- réduisant une partie du feuillage afin de limiter l'ETP ;
- en enlevant les fleurs et les boutons floraux ainsi que les stipules s'il en existe sur la plante ;
- opérant une coupe nette, perpendiculaire à la tige, quelques mm au-dessus d'un nœud.

2° contrôle de facteurs du milieu.

* **La température**, s'apprécie à deux niveaux ; température du substrat. Il y a une relation directe entre ces deux températures. Un trop grand décalage entre elles a des effets négatifs sur la rhizogenèse. En règle générale, on retiendra qu'une différence de + 2° à 3° en faveur du substrat semble un compromis intéressant. Par contre, chaque espèce demande une

température particulière. Dans certains cas elle pourra être différente en fonction du type de bouture utilisée.

* **Hygrométrie** ; une bouture étant par définition dépourvue de racines, le fragment de végétal continue à transpirer. Il faut donc diminuer cette transpiration pour limiter le dessèchement de la bouture. Deux moyens sont utilisés ;

° **Habillage** de la bouture ; il consiste à réduire le volume du feuillage.

° **Maintien de l'hygrométrie** à un taux élevé, plus de 80% afin de limiter la transpiration.

Ces deux techniques sont parfois utilisées ensemble pour les boutures de rameaux feuillés. Pour maintenir une hygrométrie élevée, plusieurs techniques sont possibles ;

-**la mise à l'étouffée** ; cela consiste à recouvrir les boutures d'un matériau plus ou moins étanche. On crée un microclimat au niveau de celles-ci. Cette mise à l'étouffée peut se faire avec des films plastiques.

-**Le mist-system** ou mieux le **fog system**. Ces techniques consistent à maintenir une humidité constante au niveau de la plante par une **brumisation**. Le mist-system maintient, en permanence, une très fine pellicule d'eau au niveau des boutures. Le fog system crée, au niveau de l'atmosphère de la serre, un véritable brouillard qui reste très longtemps en suspension dans l'air ambiant.

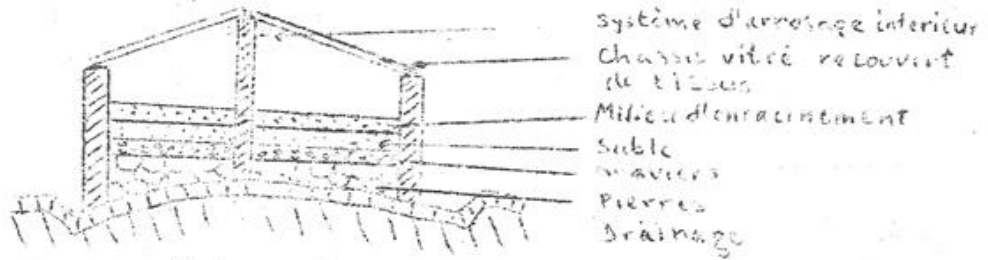
On peut également mentionner en conclusion deux procédés peu utilisés mais parfois intéressants ;

-utilisation du produit anti-transpirant ;

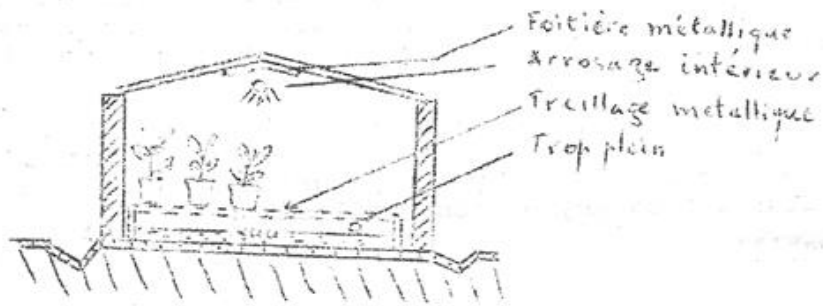
-Pulvérisation des pieds-mères avec des substances de croissance qui **agissent** sur l'ouverture des stomates.

* **La lumière** ; on limite traditionnellement la luminosité sur les boutures non pas pour limiter l'action de la lumière en raison de la température qui pourra devenir excessive (**effet de serre**). L'ombrage des boutures est donc important, spécialement pendant les périodes ensoleillées.

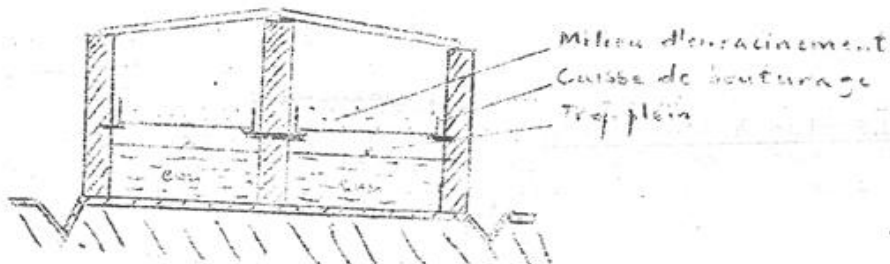
DIFFERENTS TYPES DE BACS DE BOUTURAGE



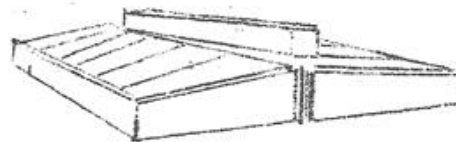
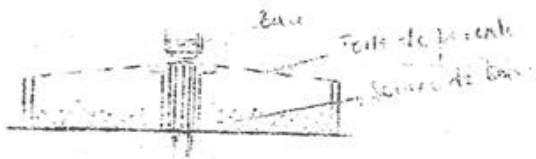
Type Augustine (Trinidad)



TYPE LA RÉUNION (Trinidad)



Type Clementine (ÉQUATEUR)



Type turvalha (COSTA RICA)

Différents types de Bacs de Bouturage

Il faut également mentionner l'action de la lumière sur les plantes sensibles au photopériodisme. Les plantes de jours courts induisent leur floraison pendant cette période. Il est important à la reprise des boutures.

*** Supports et substrats**

Ils sont essentiellement sélectionnés pour leurs qualités physiques et sanitaires, le pH étant corrigé si nécessaire. Un bon substrat doit avoir les qualités suivantes :

- une bonne porosité facilitant l'écoulement de l'eau en excès et une bonne aération ;
- une bonne capacité de rétention ;
- être stable de manière à ne pas compromettre le développement des jeunes racines ;
- être irréprochable sur le plan sanitaire. Cette qualité pouvant s'acquérir par désinfection physique ou chimique.

Ces substrats ou supports sont d'origine naturelle ou artificielle. Ils sont utilisés purs ou le plus souvent en mélange en proportion variable.

Ex. : tourbe, vermiculite
Terreaux, argile expansée
Sable mousses de polyphénole.

3° Utilisation des régulateurs de croissance

Parmi les régulateurs de croissance existants, les auxines sont utilisées de façon courante. Il s'agit de l'acide indole acétique (AIA). L'emploi de ces substances est parfois très intéressant et offre divers avantages ;

- élargissement des périodes de bouturages ;
- reprise plus rapide chez les espèces se bouturant assez difficilement ;
- permet le bouturage d'espèces à reprise difficile.

Les auxines se présentent sous trois aspects : poudre, comprimés, liquide.

Ex. : A.T.A ; A.I.B ; A.N.A.

- on peut procéder en **l'enrobage à sec**. Les boutures à traiter sont trempées dans une poudre qui enrobe ainsi la base de la bouture.
- L'absorption ou trempage se pratique avec les formes liquides ou en comprimés. Le produit commercial est dilué dans de l'eau à des dosages de l'ordre de 10 à 150 p.p.m de produit commercial par litre. (durée 10 minutes à 24 heures). Parfois le trempage ne dure que quelques secondes.
- L'immersion est une variante des trempages, la bouture est entièrement plongée dans la solution. Doses : de 1 à 8%.

4.2.2. Le greffage

Le greffage a pour but d'obtenir l'union entre deux fragments de végétaux.

- L'un, le porte-greffe (hypobioté) qui, par le biais de son système racinaire, et éventuellement d'une partie de sa tige, fournit les éléments nécessaires à la croissance du nouveau plant.
- L'autre, le greffon (épibioté) apportera les caractères du végétal à multiplier (pied-mère).

a) avantages et inconvénients du procédé.

1° Avantages :

- La multiplication des plantes allogames ;
- La multiplication des plantes rebelles aux autres méthodes : boutures, marcottes, in vitro ;

- La multiplication fidèle d'un hybride ;
- Adaptation au sol : - en terrain calcaire
 - en sol asphyxiant
 - en sol chargé de sel
- Adaptation au froid ;
- Lutte contre certains parasites (virus, nématodes...)

2° Inconvénients :

- La diminution de la longévité d'un arbre ;
- La transmission de maladies virales, bactériennes ou cryptogamiques par le biais des instruments de greffage ou par le matériel végétal utilisé.

b) Physiologie

1° Rappels de biologie.

Le greffage est une soudure entre le sujet et le greffon, celle-ci se réalise au niveau des assises génératrices des plantes concernées (méristèmes secondaires). Il est donc indispensable de les faire coïncider. L'union définitive est assurée par la prolifération des cambiums et le raccordement des **tissus libériens** (assurant la conduction) et **ligneux** (tissus de soutien).

Dans le bourrelet de greffe (c'est-à-dire au point de soudure), les **parenchymes** (tissus primaires de nutrition) et les tissus **conducteurs** (bois primaire, liber primaire et secondaire) s'unissent de façon compliquée, différente de la normale : les vaisseaux y sont moins nombreux, plus longs et dirigés dans tous les sens.

La greffe doit permettre la continuité de la circulation de la sève. La sève ascendante éprouve des difficultés à franchir ; le bourrelet de greffe qui agit comme un véritable filtre et maintient le greffon dans un milieu sensiblement plus sec que s'il était alimenté par son propre système racinaire. Ce bourrelet de greffe pourrait retenir une partie des ions calcium puisés dans le sol par le **système racinaire** des **plantes calcicoles**.

2° Affinités.

L'affinité peut être définie comme étant la tolérance d'un végétal vis-à-vis d'un autre lorsqu'ils sont réunis par le greffage.

Les lois en sont mal connues : on peut cependant les classer ainsi :

- **Affinités botaniques**

En règle générale, les végétaux greffés doivent être de la même famille botanique. L'affinité est meilleure entre deux végétaux de la même espèce qu'entre deux végétaux d'un même genre.

L'affinité change cependant suivant que les plantes servent de sujet ou de greffon.

- **Affinités nutritionnelles**

Elle est de deux ordres. Elle tient compte en premier lieu de :

- **L'aspiration** : chaque végétal est caractérisé par un état d'équilibre entre la puissance d'aspiration des racines et celles rameaux.
- **La composition** : certains sujets n'acceptent pas de substances élaborées par le greffon (polyphénols).
- **Affinités cellulaires.**

On observe parfois une soudure : greffon se détachant au moindre choc ou sur un coup de vent. Ce phénomène semble provenir d'une incompatibilité entre les cellules des deux cambiums dont les protoplasmes s'associent mal, les échanges ne pouvant s'effectuer normalement. On peut dire en résumé que l'affinité cellulaire dépend :

- De la dimension des vaisseaux ;
- De la constitution des cellules ;
- De certains virus.

La non-affinité entre deux végétaux peut se traduire par :

- la non-reprise de la greffe ;
- le faible % de reprise ;
- une reprise apparente de la greffe : formation d'un cal, puis dépérissement du greffon.
- **Relation entre sujet et greffon.**

Pour que la greffe ait les meilleures chances de reprise, il est nécessaire que :

- la polarité du greffon soit respectée (extrémité distale et proximale) ;
- sujet et greffon aient une vigueur analogue ;
- les tissus greffés aient une similitude de consistance (herbacée, demi ligneuse, ligneuse) ;
- sujet et greffon soient dans le même état végétatif.

c) Différents types de greffe.

On distingue les types de greffes suivants :

Tableau 22. Différents types de greffe.

Type de greffe	Variantes
1. par approche	En placage
2. par rameaux	- en fente
	- en incrustation
	- en couronne
	- en anglaise simple
	- en anglais compliquée
3. d'yeux	- en placage
	- en écusson à œil poussant
	- en écusson à œil dormant

1° Greffes de rameaux non détachés

Dans ce type de greffage, le greffon est accolé au porte-greffe tout en restant relié au pied-mère ; la séparation, appelée sevrage, ne sera effectuée, que lorsque la cicatrisation des tissus, au point de greffage, sera effective. La sève pourra circuler entre épibiote et hypobiote, la séparation avec le pied-mère permettra de rendre le jeune plant greffé autonome.

Ex. : greffe par approche en placage ;

Greffe par approche en arc-boutant.

2° Greffes de rameaux détachés.

Le greffon est dans ce cas là prélevé sur des pieds-mères, préparés et utilisés lors du greffage. Il peut, bien entendu, être conservé entre temps soit en jauge, soit en chambre froide.

Ex. : - greffe en fente

- greffe en incrustation
- greffe en couronne
- greffe en anglaise
- greffe en placage

3° Greffes d'yeux

On ne peut plus parler de greffes de rameaux détachés, car ce ne sont que le bourgeon latent et un lambeau d'écorce qui sont utilisés dans ce cas-là.

Ex. : - greffe en écusson

Fig. 11. Greffage par approche en fente

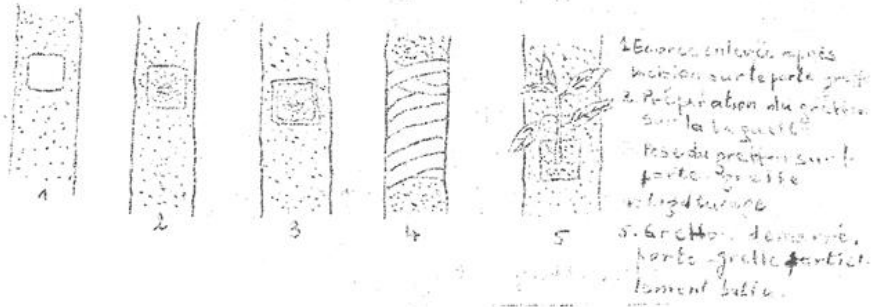


Fig. 12. Greffage en bente de côté

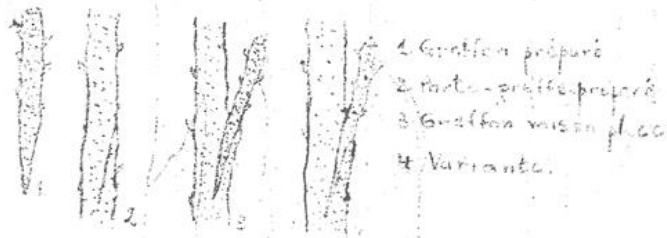
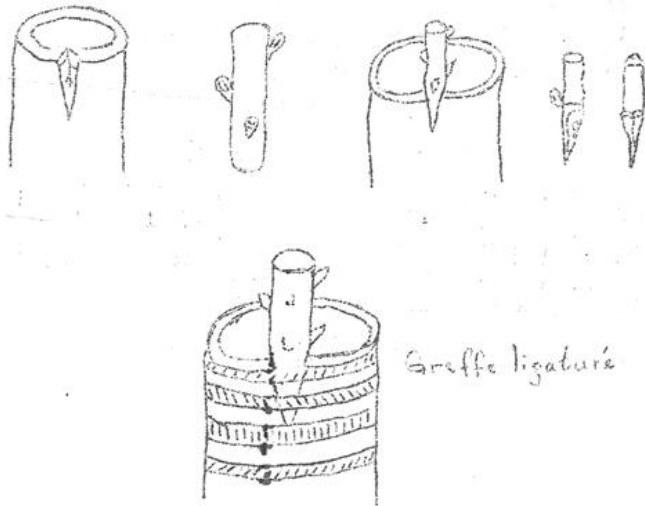


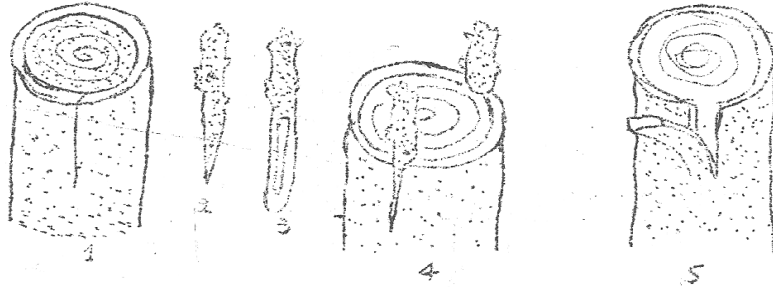
Fig. 13. Greffage en incrustation



budding.

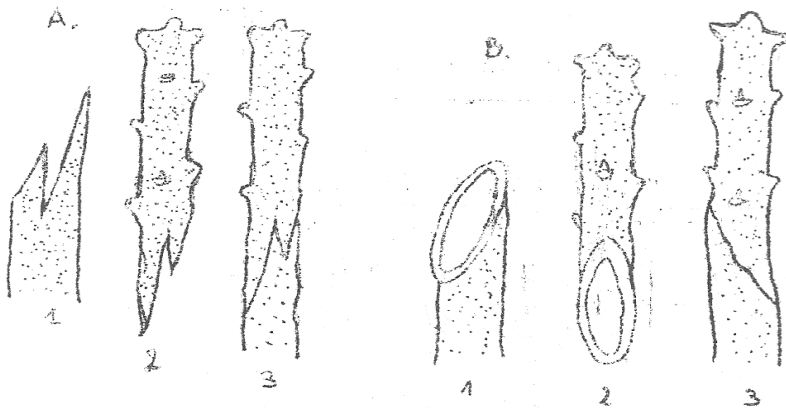
chip

Fig. 14: Greffage en Couronne



1. Porte-greffe préparé
2. Greffon préparé vue de profil
3. " " " " " " face
4. " " mis en place avant masticage
5. Variante pour préparation du porte-greffe

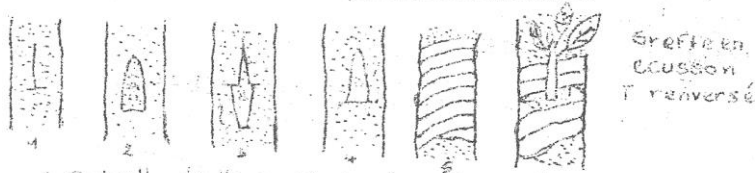
Fig. 15: Greffage Anglais



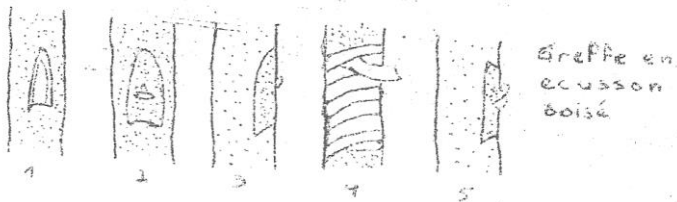
- A. Avec languettes.
1. Porte-greffe préparé.
 2. Greffon préparé.
 3. Greffe en place avant ligaturage.

- B. Simple.
1. Porte-greffe préparé.
 2. Greffon préparé.
 3. Greffe en place avant ligaturage.

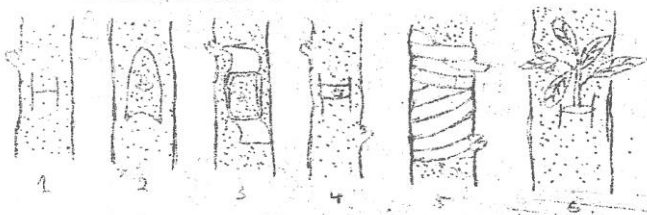
Fig. Greffage en ecusson et ses Variantes

Grefte en
ecusson
inversé

1. Entaille de l'écorce sur le porte-greffe
2. Prélèvement du greffon sur la baguette
3. Introduction du greffon
4. Greffon en place après avoir coupé la partie intérieure déposant
5. Greffe ligaturée
6. " démarrée

Grefte en
ecusson
boisé

Grefte en H



1. Incision sur le porte-greffe
2. Préparation du greffon
3. Pose du greffon
4. Languettes rabattues
5. Greffe ligaturée
6. Greffe démarrée.

d) Choix des végétaux à greffer

1° Portes-greffes.

Les sujets doivent être :

- de vigueur convenable ;

- adaptés au sol et au climat ;
- de bonne compatibilité avec le greffon ;
- sains.

Le lot de sujets doit être homogène (en taille, diamètre qualité)

2° Greffons.

Les greffons doivent être :

- issus de plantes saines et indemnes de maladies ;
- issus de pieds-mères variétalement sûrs et parfaitement identifiés ;
- issus de plantes de bonne vigueur ayant une végétation satisfaisante ;
- bien constituer et posséder au moins **un œil viable**.

En plus de ces critères de choix, l'élément **climat** est important pour toutes les greffes en place. Les vents brûlants, la pluie, le froid sont des éléments défavorables à la bonne réalisation d'une greffe. Le temps propice pour cette opération serait plutôt calme, couvert et chaud.

e) Soins post-greffage

1° Greffes sur tables

Ligaturées ou protégées par un mastic ou une paraffine, les greffes de caduques autrefois mises en jauge dans du sable avant leur plantation sont actuellement conservées en caisse, en chambre froide. La période de plantation venue, elles seront alors plantées. Des soins vigilants seront nécessaires afin d'éviter tout dessèchement.

Les greffes de végétaux persistants seront dans un premier temps **placées à l'étouffée** afin de faciliter leur reprise, puis, après une période d'acclimatation, ces plantes cultivées en polybags seront placées dans les conditions naturelles.

2° Greffes en place.

Les végétaux greffés en place demandent moins d'attention. Les greffes enduites de mastic se développent sans difficultés. Il sera nécessaire cependant dans certains cas de couper les ligatures (qui pourraient provoquer des étranglements). Le sevrage et les pincements seront exécutés pour permettre le bon développement de la plante.

4.2.3. Les cultures in vitro ou vitro cultures.

a) Définition.

Le terme de culture *in vitro* est appliqué à toute culture sous verre (tube, bocal, et.) en milieu aseptique, mais il regroupe plusieurs techniques dont les méthodes et les buts sont très différents. La technique générale consiste à prélever un fragment de tissu végétal, à la placer sur un milieu nutritif et provoquer directement ou après manipulation le développement d'une plantule. L'ensemble de ces opérations se dérouleront en conditions stériles et sera suivi d'une acclimatation sur un milieu traditionnel.

La culture *in vitro* n'est possible que grâce à une propriété des cellules végétales appelée **totipotence** cellulaire qui veut que : toute cellule végétale vivante, possédant un moyen, soit capable de reproduire fidèlement la plante entière dont elle provient. Chaque cellule possède donc entre autre la totalité du patrimoine génétique de la plante.

b) Les principales techniques de cultures in vitro

b.1. La culture des méristèmes.

Cette technique est la première à avoir débouchée sur des applications pratiques. Son but principal est la régénération d'espèces non atteintes de virus. Son champ d'application s'est également étendu puisqu'elle sert également dans certains cas de point de départ pour la micro propagation. Le terme méristème désigne un ensemble de cellules indifférenciées qui ont une capacité de division très élevée. Ils sont situés dans différents sites et sont responsables de la croissance en longueur et en épaisseur des tiges et des racines.

Dans le cas de la culture de méristème, seuls les méristèmes caulinaires sont utilisés.

1° Prélèvement

Après désinfection ou non (suivant les espèces) du rameau de départ, le prélèvement se fait sous loupe binoculaire, sous hotte stérile, ou sur paillasse désinfectée. Le fragment de rameau est débarrassé de ses feuilles, puis les ébauches foliaires sont éliminées. Quand le méristème apparaît, on ôte délicatement les dernières ébauches foliaires, puis l'on découpe un minuscule cube dont les faces sont tangentes au méristème, une dernière section transversale permettra de le détacher. Il sera aussitôt placé

dans un tube à **hémolyse**, sur un milieu **gélifié**.

Toutes ces opérations doivent se faire rapidement afin d'éviter le dessèchement du méristème et limiter les risques de contamination. Les outils utilisés sont désinfectés à chaque prélèvement.

2° Conditions de croissance

Les méristèmes ont les mêmes besoins nutritifs que la plante entière. Toutefois ne recevant plus certaines substances fournies d'autres parties du végétal, ils ont des exigences particulières.

Ces besoins seront satisfaits par le milieu des cultures.

Le milieu de culture comprendra :

- **Les macroéléments** : NH_4 , Mn, K, Mg et NO_3 , PO_4 , SO_4 à des concentrations de 50 à 400 mg/l.
- **Les oligoéléments** : Fe, Mn, B, Zn, Mo, Co, Ni, Al, quelques mg/l.
- **Les vitamines** – groupe B ± 1 Mg/l.
- **Les régulateurs de croissance** : auxine, cytokinines, gibberilines, glucose, gélose, l'eau.

D'une manière générale, on utilise des milieux déjà proposés par des chercheurs. Les plus courants étant ceux de Murashige et Skoog, Knop, Heller.

3° L'environnement.

La lumière est indispensable. Les intensités apportées varient entre 1000 et 3000 lux. L'humidité relative doit être proche de la saturation. La température sera contrôlée moyenne 22 à 25°C. Les conditions d'asepsie sont obligatoires pour une réussite.

Il faut donc :

- stériliser le milieu ;
- désinfecter les matériels ;
- éviter au minimum les risques de contamination

4° Taux de réussite

Il est très variable et le taux de régénération va de 0 à 80 %, les causes de cette variation sont très diverses.

b.2. Micro propagation.

C'est la technique *in vitro* la plus répandue. Le but essentiel de

la micro propagation est de produire en grandes quantités des jeunes plantes identiques au pied-mère. Si cette technique permet l'élimination des bactéries et champignons par le simple fait de leur expression en milieu de culture, les tubes contaminés sont alors éliminés. La micro propagation n'offre aucune garantie contre les virus. Il est donc indispensable, pour éviter de transmettre ces maladies, d'avoir au départ un matériel végétal sain. Ces pieds sains sont obtenus si nécessaire après **indéxage** ou sont issus de culture **in vitro**.

La micro propagation peut se décomposer en 4 phases successives.

Figure 16. Schéma de principe de la micro propagation

Culture en serre.

Phase I. Etablissement de la culture aseptique

C'est l'étape de base de l'opération. Elle consiste à établir la mise en culture in vitro de la plante que l'on désire multiplier. Cette implantation demande un minimum de réflexion et les réponses seront différentes pour chaque espèce. Le choix dépendra essentiellement :

- de la qualité sanitaire du pied-mère ;
- de son âge et de son état physiologique.

En fonction de ces critères, on décidera :

- de l'époque du prélèvement ;
- de la nature de l'explant à prélever ;
- de la composition du milieu de culture.

Phase II. Multiplication

Elle a pour but d'obtenir le nombre de plantules désiré. Suivant le matériel végétal obtenu en phase I, on procédera à un micro bouturage

dans le cas de plantule ou micro feuille à une division pour les amas de bourgeons. Ces fragments seront remis en culture puis à nouveau divisés, ceci autant de fois que nécessaire jusqu'à l'obtention du nombre de plants désiré.

Phase III. Enracinement et développement.

Après avoir obtenu le nombre de plants désirés, ceux-ci sont individualisés ou micro bouturés une dernière fois. Le repiquage s'effectue alors en bocal ou en tube, sur milieu différent afin de provoquer la croissance et l'enracinement. On profite parfois de cette étape pour commencer à « durcir » les plants et les préparer ainsi au passage « in vitro ».

Le milieu utilisé lors de cette 3^e phase diffère du précédent par l'équilibre des régulateurs de croissance, auxines et cytokinines. Cette étape n'est pas obligatoire. Il peut se faire, pour quelques espèces, que l'enracinement in vitro ne soit pas nécessaire.

Dans ce cas, le passage en acclimatation se fait directement à la fin de la phase II.

On peut également, pour diminuer le coût de l'opération, stocker en chambre froide 4 à 5°, 1000 lux, régime jour, nuit 12 – 12, et conserver ainsi les bocaux pendant plusieurs mois. Cette technique évite ainsi de recommencer l'établissement de la culture aseptique.

Phase IV. Acclimatation.

Au moment du passage de culture autotrophe, il faut habituer les plantes progressivement aux conditions de sécheresse de l'atmosphère. En effet, la saturation de l'air des conteneurs conduit à des morphologies épidermiques différentes in vitro, caractérisées par un mauvais fonctionnement des stomates et à l'absence de couche cireuse épicuticulaire. Ces conditions entraînent une perte de turgescence très rapide. C'est pourquoi, dès leur arrachage des bouteilles de culture, les plantules sont maintenues sous boîtes plastiques pour éviter leur dessiccation pendant le transport. Sous cette forme, les plantules peuvent voyager plusieurs jours. L'emploi d'une bâche plastique ou d'un système de « fog » empêche leur dessiccation après leur mise en terre. Un excès d'humidité, surtout à la surface du sol peut entraîner des pourritures du collet (pithium). C'est

pourquoi il faut utiliser un **substrat très drainant**. Pour les arbres forestiers, on emploie un mélange 3 parties terreau, 1 partie vermiculite. Pour les plantes communes, comme la pomme de terre, le fraisier, on emploie souvent des mottes pressées qui sont bon marché.

Figure 17. Schéma de principe pour prélèvement d'un méristème.

Figure 18. Schéma général de micro propagation chez les ligneux

b.3. Autres techniques.

1° Cultures de grains de pollen et d'ovules.

Cette technique n'a pas pour but la multiplication ou l'amélioration sanitaire, mais est utilisée pour l'amélioration des plantes. Elle permet, en effet, l'obtention d'haploïdes ou la recherche des mutants intéressants. Elle est également un moyen de mieux connaître le fonctionnement de la plante sur le plan génétique en particulier.

2° Cultures de protoplastes.

Un protoplaste est une cellule isolée et débarrassée de sa paroi squelettique. Ces protoplastes sont des matériaux de base très intéressants pour la recherche sur le plan fonctionnement cellulaire. Ils permettent également la réalisation d'hybrides somatiques après fusion. Ils servent également de base à diverses manipulations génétiques ou autres, couvrant d'énormes perspectives pour l'avenir.

c) Les milieux de cultures

c.1. Les constituants

* **L'eau** : on utilise en général l'eau déminéralisée ou de l'eau permutée.

* **Les sels minéraux** : comme pour les cultures traditionnelles, on trouvera des macroéléments, N, P, K, Ca, Mg, S et les oligo-éléments.

Tableau 23. Caractéristiques principales des quelques solutions minérales

Auteur	Concentration ionique totale (mM)	Ions dominants	Forme d'apport de l'N
Gambrg	60,2	NO ₃ , K ⁺	NO ₃ /NH ₄ ⁺ = 12,50
Murashige et skoog	93,3	NO ₃ ⁻ , NH ₄ ⁺ , K ⁺	NO ₃ /NH ₄ ⁺ = 1,91

Gautheret	9,6	NO ₃ ⁻ , Ca ⁺⁺ , K ⁺	NO ₃ ⁻ Seulement
Heller	39,8	K ⁺ , Na ⁺ , Cl ⁻	NO ₃ ⁻ Seulement
Knop	23,3	NO ₃ ⁻ , Ca ⁺⁺	NO ₃ ⁻ Seulement

* **Les sucres.** Ils apportent les glucides nécessaires au métabolisme. On ramène en général du saccharose à des concentrations de 2 à 6% la plante n'étant pas capable de photosynthèse à ce stade.

* **Les vitamines.** Elles favorisent le développement des plants in vitro. On utilise généralement des vitamines du groupe B. : thiamine, biotine, méso-inositol, pyridoxine.

* **Les régulateurs de croissance.**

- Les auxines AIA, ANA, 24D, AIB.

- Les cytokinines ; les gibberelins.

* **Produits divers.** On ajoute parfois du lait de coco, du "jus" de banane, du jus d'ananas, etc. ces substances apportent des régulateurs, mais aussi des acides aminés. Du charbon actif est quelquefois utilisé pour ses qualités de "détoxifiant".

* La gélose ou agar-agar. Extraite d'algues, elle assure un support solide transparent aux explants. Types d'agar-agar

* agar-agar purifié ; agar-agar ultra pur ; agar-agar en poudre.

c) La préparation

On préparera les milieux comme suit :

- Dilution des sels minéraux : macro et micro-éléments, puis ajustement du volume (éprouvette) :
- Mesure du pH, puis correction avec KOH N/10, le plus souvent on ajustera le pH à la valeur de 5,5 ou 5,6.
- Ajouter le sucre, puis la gélose que l'on versera en pluie en brassant le milieu.
- Chauffer le milieu jusqu'à l'ébullition tout en le brassant continuellement ; la gélose se dissout en quelques minutes et le milieu prend un aspect parfaitement limpide.
- Une fois la gélose dissoute, on ajoutera les vitamines, les substances

de croissance et autres produits.

- Bien brasser le milieu.
- Repartir le milieu dans les récipients en verre pour la culture ; la verrerie doit être propre.
- Stériliser le tout, T° 120° pendant 20 minutes.

d) Acclimatation.

Il faut maîtriser parfaitement trois éléments : le climat, le substrat et la protection sanitaire.

d.1. Climat

1° *L'hygrométrie* venant d'une atmosphère saturée, il faudra donc assurer des conditions voisines. Pour cela deux techniques sont couramment utilisées :

- **La mise à l'étouffée** est réalisée avec de films plastiques. Après quelques jours, une aération très progressive habituera les jeunes plants à l'atmosphère de la serre.
- **Le fog system ou brouillard artificiel** cette technique met en suspension dans l'air de minuscules gouttelettes d'eau, assurant ainsi une hygrométrie saturée sans pratiquement apporter d'eau au niveau des substrats. La fréquence de la diffusion sera graduellement réduite afin "d'endurcir" les plantes.

2° La lumière.

Venant d'une chambre de culture où la lumière est artificielle, la jeune plante ne "connait" pas les rayons du soleil et elle, y sera très sensible. Il faudra, dans un premier temps, assurer un ombrage correct, puis progressivement les habituer à la lumière naturelle.

3° La température.

Il faut assurer une température assez proche de celle de la chambre de culture, en général aux environs de 20°C. Cette température assurera également un départ de végétation rapide. Après plusieurs jours, elle pourra être progressivement diminuée, pour assurer la transition avec la température de culture.

d.2. Le substrat.

En dehors des qualités traditionnelles d'un substrat de

multiplication **léger** et **drainant**, il devra être irréprochable sur le plan sanitaire. Une désinfection est indispensable, sauf pour les substrats naturellement sains. Le plus souvent on utilisera de la tourbe ou des mélanges tourbe-perlite.

d.3. La protection sanitaire.

Commencée avec le substrat, la protection sanitaire devra être sévère et suivie. Il faut particulièrement surveiller les attaques cryptogamiques et être attentif aux pesticides utilisés quant à leur choix et leur dosage (risques de brûlures).

4.2.4. Le marcottage.

a) Définition.

C'est une méthode de multiplication végétative visant à provoquer l'enracinement de rameaux. Ceux-ci restent reliés au pied-mère pendant toute la période d'enracinement. **Le sevrage** est l'opération qui consiste à séparer le jeune plant raciné du pied-mère.

b) Avantages et Inconvénients

** 1° Avantages.*

- assure une transmission fidèle des caractères parentaux ;
- Très utile pour les ligneux qui se bouture difficilement.

** 2° Inconvénients*

- temps de travaux important ;
- faible productivité des pieds-mères ;
- durée d'enracinement trop longue.

c) Physiologie

Le principe de marcottage est de mettre une partie de végétal dans des conditions favorables pour qu'elle émette et développe des racines. Certaines techniques entraveront la migration des auxines, via phloème, vers la partie basale du végétal : celles-ci se trouveront dans un lieu donné avec des concentrations plus élevées que d'habitude. Le rapport cytokinines sur auxines deviendra inférieur à l'unité. La plante aura donc la possibilité d'émettre des radicelles.

Les racines issues d'un marcottage ont la même origine que celles provenant du bouturage : elles se formeront soit à partir des

méristèmes existants, soit il va y avoir une activité initiale, puis une différenciation des ilots méristématiques, les cellules vont se différencier et donner naissance à un méristème racinaire.

d) Les techniques de marcottage.

1° Marcottage par couchage.

Les rameaux seront courbés pour être mis en terre. On distingue trois cas :

- Marcottage par simple couchage ou en archet :
- Marcottage par couchage multiple ;
- marcottage de long bois.

2° Marcottage par buttage ou cépée.

Lors de la mise en œuvre de ces techniques, les rameaux ne bougent pas, ils sont chaussés de part et d'autre avec une terre fine.

3° Marcottage aérien.

***Avec décortication annulaire ;**

Elle consiste à supprimer les tissus superficiels sur quelques cm de hauteur, de façon annulaire. Les auxines et la sève élaborée voient leur passage entravé, leur concentration augmentée en favorisant des radicelles.

***La double entaille ;**

Celle-ci se réalise en greffon, sur environ 1cm de profondeur de façon opposée. Plus facile à réaliser, elle exige une précaution particulière ; les incisions doivent impérativement être remplies de substrat afin de faciliter la rhizogenèse. Dans le cas contraire, les deux bords de la coupe cicatriseraient rapidement et leurs intérêts seraient nuls.

e) Mise en place d'une marcottière.

Opération capitale qui nécessite beaucoup de soins et d'attention car son exploitation va durer de nombreuses années et certains problèmes faciles à régler à la mise en place risquent de devenir insolubles s'ils ne sont pas traités au départ.

1° choix du terrain.

Élément clé, il doit répondre à des critères assez précis quant à ses propriétés; il conviendra de choisir des sols légers (cela facilitera le buttage et la reprise des marcottes), riches en matières organiques, ces

terrains ne devront pas être ni trop séchant, ni trop humides ; sains ils ne devront pas être infestés par des **adventices vivaces**.

2° Mise en place.

En cas de présence d'adventices vivaces, il convient d'effectuer un désherbage chimique. Les distances de plantation seront en général de 2 à 2,5 entre les rangs de 0,50m sur le rang.

4.2.5. Division –Eclatage.

a) La division de touffes

1° Définition.

C'est une méthode de multiplication qui consiste à arracher un pied- mère, puis à le séparer en fragment, munis d'au moins un œil viable et de racines. On parle de division de touffes pour les vivaces et division de souches pour les ligneux.

2° périodes

Chez les végétaux ligneux, cette opération s'effectuera pendant le repos de végétation. Pour les plantes vivaces, la période préférentielle se situe après la floraison.

3° Plantes concernées.

Tous les végétaux ligneux poussant en souches, ainsi que toutes les plantes vivaces. Ex : graminées.

4° Techniques.

La première opération consiste à dégager l'ensemble du système racinaire, puis à débarrasser de la terre qu'il retient. Ensuite, il conviendra de séparer la touffe en plusieurs sujets munis de racines et d'au moins un œil viable. On peut réaliser cette manœuvre manuellement, à l'aide d'une serpette, d'un sécateur, voire d'une bêche. Les plants seront ensuite taillés et habillés.

b) l'éclatage= œilletonnage

1° Définition

La méthode de multiplication consiste à séparer un éclat (ou œilleton) d'un pied-mère qui reste en place.

2° Plantes concernées.

Généralement utilisée en pépinière, on l'utilise aussi pour les ananas, les bananiers et pour la production maraîchère.

3° Techniques.

Il faut déchausser les pied pour dégager les éclats. Pour les légumes il importe de ne conserver sur une souche que les deux ou trois plus beaux, destinés à assurer la production de l'année. Tous les autres sont détachés à l'aide d'une serpette, en leur laissant la portion de tige à laquelle ils seront reliés; **le talon.**

4.2.6. Rhizomes, Tubercules, Bulbes et bulbilles.

1° Multiplication végétation par rhizomes.

Au cours de la croissance et de ramification d'un rhizome, les parties anciennes de celui-ci meurent et disparaissent. La distribution des parties âgées finit par séparer les rameaux du rhizome principal. Les parties, ainsi isolées, évoluent ensuite de façon indépendante et constituent autant d'individus distincts qui, à leur tour pourront se fragmenter.

Dans le cas des rhizomes, l'importance de la multiplication végétative est donc étroitement liée au développement des ramifications chez les espèces dont le rhizome se ramifie abondamment. On verra se former des populations denses, augmentant rapidement leur surface de peuplement. Par contre, les espèces dont les rhizomes se ramifient peu ne forment que des populations très clairsemées.

2° Multiplication végétative par tubercules.

Ici la multiplication est liée au nombre de tubercules formés par un individu. Il est certain que lorsqu'une plante ne fournit qu'un tubercule, il n'y aura aucune multiplication végétative. Ce qui est le cas des tubercules hypocotylaires, toujours solitaires (radis, carottes, betteraves).

Lorsque plusieurs tubercules sont fournis par un même pied, ceux-ci peuvent, en se développant, constituer des individus distincts (pomme de terre, dhalia). Dans le cas des tubercules radiculaires (dhalia), les nouveaux individus restent près les uns des autres en une touffe dense, comme le sont les racines tubérisées qui les ont produits. Les tubercules caulinaires (pomme de terre), formée à l'extrémité de **stolons souterrains** sont plus éloignés de la plante-mère.

3° Multiplication végétative par bulbilles.

La multiplication par bulbe ne peut avoir lieu que si le bulbe principal forme des bulbes axillaires viables : **les bulbilles**. Chez **l'ail**, la formation de bulbilles est de règle. Si la formation de plusieurs bourgeons axillaires conduit souvent à la formation de bulbilles, elle peut aussi demeurer sans résultat. Par exemple, il se forme souvent dans le bulbe de l'oignon un ou deux bourgeons axillaires, mais ceux-ci dépérissent en même temps que le bulbe principal, il n'y a donc pas multiplication végétative de l'oignon, donc la reproduction est assurée par grains.

On appelle également **bulbilles**, des bourgeons axillaires renflés, par les tiges aériennes et qui restent en **dormance** tant qu'ils demeurent en place. Ces bulbilles aériennes, retenues par un pédoncule très fin sur la tige qui les a produites, se détachent facilement de celle-ci. Tombées sur le sol, elles se bouturent facilement et reconstituent des individus indépendants.

5. L'IMPLANTATION DES CULTURES.

5.1. CHOIX DE LA CULTURE.

5.1.1. Choix d l'espèce.

Les plantes ont des exigences plus ou moins marquées :

Vis-à-vis du **climat**, zéro de végétation, somme des températures, températures optimales, minimales critiques, thermopériodisme et photopériodisme, etc.

- vis-à-vis du sol : nature, structure, pH, richesse en éléments fertilisants...

En comparant les besoins de la plante aux possibilités offertes par le milieu, on peut dresser une liste des cultures possibles. Sur ces cultures, le climat est également susceptible de provoquer des fluctuations de rendement \pm importantes. Pour chacune d'entre elles, il est intéressant de chercher le rendement moyen obtenu sur une durée assez longue (± 5 ans). Ayant ces données techniques, le choix des cultures, sur l'exploitation dépend d'un grand nombre de facteurs qui permettent de déterminer l'assolement. La création de variétés nouvelles ayant des exigences différentes permet de modifier l'aire de **culture d'une plante**.

5.1.2. Le choix de la variété.

A l'intérieur de l'espèce, chaque variété a des caractéristiques propres. La meilleure variété est celle qui donnera le meilleur rendement moyen en produit de qualité. Le choix dépendra des critères suivants :

- **La productivité** qui est l'aptitude d'une variété à fournir un rendement élevé lorsque, placée dans le milieu qui lui convient le mieux, on lui applique les meilleures techniques culturales connues. La productivité s'exprime en quantité/ unité de surface.
- **L'adaptation au milieu climat-sol** qui est fonction de la précocité et de rusticité.

- **L'adaptation au milieu biologique** (ravageurs + maladies).
- L'adaptation aux techniques culturales.
- La qualité du produit récolté (qualité marchande et technologique).

Pour choisir les variétés, l'agriculteur dispose des résultats d'essais comparatifs effectués par différents centres de recherches (Midema, CAPSA, INERA, SNV, SNAFIC, etc...). Il est conseillé de ne conserver qu'une surface limitée aux variétés nouvelles tant que leur comportement n'est pas confirmé. Dans la pratique, l'agriculteur considère surtout la productivité et l'adaptation au milieu.

Les semences utilisées par l'agriculteur peuvent avoir deux provenances :

- La récolte de l'année précédente ;
- L'achat dans le commerce ;

L'achat des semences s'impose pour les **variétés hybrides** et pour les **clones** à cause de maladies de dégénérescence. Pour les lignées pures, ce renouvellement n'est pas systématiquement indispensable, mais il est souhaitable de produire les semences à partir des **semences sélectionnées**. Il est indispensable de choisir des semences certifiées ayant les caractéristiques recherchées.

Pour les semences produites à la ferme, il faut les prélever sur une parcelle qui a reçu les soins culturaux appropriés, les récolter dans de **bonnes conditions** en évitant les mélanges accidentelles, les trier soigneusement et bien les conserver.

La réalisation d'un comptage simple de faculté germinative est toujours souhaitable **avant le semis**.

5.2. VALEUR AGRICOLE DES SEMENCES

5.2.1. Introduction

La semence peut être de nature différente ; on distingue :

- **Les semences sèches**, organe issus de la reproduction sexuée renferment de 7 à 16% d'eau selon les espèces (les oléagineux ont une teneur en eau plus faible).

- **Les semences aqueuses** résultant des divers processus de la multiplication végétative et contenant de 70 à 85% d'eau (pomme de terre, bulbes).

Au moment d'entreprendre une récolte, il est important de savoir si elle se justifie. Il faut donc être sûr que la graine a atteint la maturité physiologique.

Dans le cas de graines achetées chez un producteur de semences, un certificat provenant d'une station d'essais de semences officielle est utile, non seulement comme base de paiement, mais également pour déterminer la future densité de semis et la méthode de prétraitement adéquate.

Par ailleurs, chaque lot de graines doit être nettoyé avant d'être semé immédiatement, ou soumis à un prétraitement dans le cas de matériel dormant. C'est l'analyse de pureté qui peut renseigner sur l'efficacité d'un système de nettoyage, sur ses avantages et ses inconvénients.

A partir des graines nettoyées, et après échantillonnage (cfr T.P) sont effectués les différents types d'analyse :

- Analyse de l'identité et de pureté ;
- Estimation du poids de 1000 graines ;
- Détermination de la teneur en eau ;
- Le calibrage des semences ;
- La faculté et l'énergie germinative.
- L'état sanitaire.

Cette série de test est très importante, car à partir de leurs résultats, la décision est prise de conserver ou non un lot.

5.2.2. L'identité et la pureté.

a) *L'identité ou pureté variétale* est la conformité avec les noms d'espèces et de variété indiquée par le vendeur. La forme, la couleur, la taille, l'ornementation permettent de reconnaître l'espèce à laquelle elles appartiennent. **Les tubercules** se différencient par leur forme, la coloration de la peau et de la chair et surtout par les germes.

Pour les **semences sèches**, il faut avoir recours à des techniques de laboratoires ou à des essais culturaux (morphologie).

- pureté variétale du blé minimum 99,7%.

b) *La pureté spécifique* s'exprime par le pourcentage en poids, de semences conformes à l'espèce considérée. Les impuretés sont, en général, subdivisées en deux groupes :

- matières inertes : terre, pierres, débris de graines, semences cassées appartenant à l'espèce ;

- semences étrangères à l'espèce considérée, semences d'autres plantes cultivées ou des plantes adventices. Pour les céréales 98%.

5.2.3. Le calibrage des semences sèches

Pour les **semences sèches**, le choix de grains gros et lourds, réalisé par les trieurs-calibreurs, etc. est la règle générale. Il se traduit, le plus souvent, par une amélioration de l'énergie germinative. Pour la **pomme de terre**, le calibrage est normalisé et s'exprime en mm. Pour le maïs, le calibrage est effectué en tenant compte de la grosseur des graines et de leur forme.

5.2.4 Poids de 1000 graines.

La détermination du poids de 1.000 graines est effectuée immédiatement après le test de pureté, et seule la fraction de graines pures est utilisée. Ce critère, combiné aux pourcentages de graines pures, de germination permet de calculer le nombre de graines utilisables par kg de graines, notion directement applicable en pépinière ou au champ puisqu'elle permet de prévoir les quantités de graines à semer. Le poids de 1.000 graines peut servir également de base lorsqu'on procède à un séchage ou à une imbibition. Pour la méthodologie cfr T.P.

5.2.5. Teneur en eau des semences

La longévité des semences dépend beaucoup de leur taux d'humidité. Celui-ci diminue à mesure que la graine mûrit et ne doit pas dépasser 15% pour les céréales et les légumineuses à grains.

Une forte teneur en eau des semences peut :

- entraîner la dégradation du glucose et des protéines en accroissant la fermentation et en intensifiant l'activité bactérienne ;
- intensifier la respiration ;
- provoquer l'échauffement du lot ;

- altérer la qualité de la graine ;
- enfin, détériorer les semences.

Les méthodes employées pour déterminer la teneur en eau se fondent sur :

- La conductivité électrique de l'échantillon ;
- La constante électrique de l'échantillon ;
- La réduction du poids de l'échantillon par évaporation de l'eau (méthode de séchage à l'étuve).

5.2.6. La faculté et l'énergie germinative.

La germination correspond à la sortie de la radicule. Les tests de germination, de même que les **tests de levée** au laboratoire, sont très utiles; ils permettent par exemple de comprendre comment les graines ont réagi dans le cas d'un prétraitement en conditions peu contrôlées et de mieux suivre également le comportement de graines semées en pépinière.

La germination maximale d'un lot de semences est appelée **capacité germinative** ou faculté germinative. De façon à introduire une notion de vitesse de germination, on utilise aussi parfois le terme **d'énergie germinative** qui désigne le pourcentage de germination après un temps égal à la moitié du temps officiellement retenu pour déterminer la capacité germinative. Cette durée diffère par espèce.

Les conditions intrinsèques de la germination sont évidentes à priori; une semence ne pourra germer que si elle est :

- Vivante (longévité maximum non dépassée) ;
- Normalement constituée (embryon et réserves intacts) ;
- A tégument préalable à l'air et à l'eau.

En plus, la semence doit avoir atteint sa **maturité physiologique**, c'est-à-dire être capable de germer lorsqu'elle est placée dans les conditions favorables.

5. 2. 7. L'état sanitaire des semences.

Les semences peuvent être porteuses de germes de diverses maladies susceptibles de se transmettre à la plante au moment de la germination : champignons, bactéries ou virus. Plusieurs cas peuvent se présenter :

- Les germes du champignon sont portés par le tégument de la semence ou dans ces replis. La contamination de la plantule se fait à la germination si les conditions sont favorables. Le traitement chimique des semences à l'aide d'un fongicide permettra de détruire les germes et d'obtenir des plantes saines.
- Les germes sont localisés à l'intérieur des semences, mais ils entraînent des symptômes visibles à la surface de la graine. Un triage des semences permet d'éliminer celles qui sont touchées.
- Les germes se maintiennent à l'intérieur des semences, sans symptômes apparents ; ils reprennent une vie active à la germination (maladies à virus).

Seule, la sélection sanitaire dans les cultures productrices de plants permet d'avoir des semences saines. Après contrôle au laboratoire, les plants sont classés en classe Elite, A ou B selon leur état sanitaire.

5. 2. 8. Quelques formules utiles à partir des résultats des différents tests.

A partir des résultats des différents tests, l'utilisateur est souvent conduit à en combiner plusieurs pour en tirer les informations pratiques nécessaires à la bonne réalisation des prétraitements ou des semis. Nous donnons ici les principales formules utiles.

a) séchage ou réhydratation des graines jusqu'à une teneur en eau déterminée.

Le praticien se trouve confronté à des problèmes de déshydratation et réhydratation, soit qu'il veuille déshydrater les graines et les amener à une teneur en eau bien déterminée pour les conserver, soit qu'il souhaite les réhydrater lorsqu'il entreprend des prétraitements avec un niveau d'humidité contrôlé.

Mode de calcul.

- soit le poids de graines au départ (PF1) ;
- soit leur poids sec (PS) après séchage en étuve à 105°C. La teneur en eau, au départ exprimée en pourcentage TF1 est égale à:

$$TE1 = \frac{(PF - 100)}{PF}$$

On souhaite amener les graines à une teneur en eau TF2 et déterminer leur poids final PF2. La teneur en eau souhaitée exprimée en pourcentage, TE2, est égale à :

$$TE2 = \frac{(PE - 100)}{PE}$$

Le poids PF2 recherché est donc :

$$PF2 = \frac{PF1 \cdot TE2}{TE1}$$

Cette formule s'applique aussi bien dans le cas séchage que dans celui d'une réhydratation.

Ex. 1° **Cas d'un séchage** (Déshydratation).

Des graines qui viennent d'être récoltées ont une teneur en eau de 21,4% et un poids de 1000 graines de 243,6 g. On souhaite les sécher pour les amener à une teneur en eau de 10%. Sachant que: PF1= 243,6g TE1=21,4%; TE2=10%

$$\text{On aura: } PF2 = \frac{243,6 \cdot 10}{21,4} = 212,8$$

Quand durant le séchage, le poids de 1000 graines diminue et atteint la valeur de 212,8g, la teneur en eau des graines est de 10%.

2° Cas d'une réhydratation.

Des graines en conservation ont une teneur en eau de 10% et un poids de 1000 graines de 212,8g. On souhaiterait les réimbiber en vue d'un prétraitement sous milieu et amener leur teneur à 30%.

Sachant que PF1= 212,8g ; TE1=10% ; TF2=30%.

$$\text{On aura } PF2 = \frac{212,8 \cdot 30}{10} = 273,6$$

Les graines devront être imbibées progressivement (par apport de 60,8g d'eau) jusqu'à ce que le poids de 1000 graines atteigne la valeur de 273,6g. Elles auront alors une teneur en eau de 30%.

b) "Valeur utile" du lot d'origine.

La "Valeur utile" correspond au poids de graines pures, viables ou aptes à germer, selon le type de test, dans 1kg du lot d'origine. Elle est exprimée en pourcentage du poids du lot d'origine. Soit P la pureté en % ; V la viabilité (ou Faculté germinative); la valeur utile est égale à:

$$\text{Valeur utile} = \frac{P \times V}{100} .$$

Ainsi un lot de graines dont la capacité germinative est de 85% à 17°C et la pureté de 95% aura une valeur utile de $v_u = \frac{95 \times 85}{100} = 80,8\%$.

Cela signifie que dans un kilo de lot d'origine, il y a 80,8% (ou 800 g de graines) capables de germer à 17°C.

c) Nombre de graines utilisables par kilo du lot d'origine.

La connaissance de ce nombre devrait contribuer à mieux ajuster les quantités de graines à semer en fonction de la densité de semis souhaitée et donc à résorber le gaspillage de graines.

Cette caractéristique intègre la pureté, la viabilité estimée par différents tests (germination, levée...) et le poids de 1000 graines. Soit P pureté en %; V la viabilité en %; p le poids de 1000 graines en grammes. Le nombre de graines utilisables par kilo du lot d'origine est égal à:

$$\text{Nombre de graines utilisables} = \frac{\text{Valeur utile} \times 1000}{P}$$

Le poids de 1000 graines est celui des graines dans l'état où elles se trouvent au moment du calcul. Selon les cas il peut s'agir de graines sèches après conservation ou des graines humides après prétraitement. Ainsi pour des graines sèches sortant de conservation, ayant un poids de 1500 graines de 212,8g, une pureté de 95,0%, une capacité germinative de 85,0% à 17°C, le nombre de graines utilisables par kilo du lot d'origine sera : nombre de graines utilisables par

$$\text{kilo du lot d'origine} = \frac{9686100}{232} = 3795$$

5.3. LA PREPARATION DES SEMENCES.

On procède souvent à un prétraitement des semences dans le but de **hâter** la germination, ou d'obtenir une germination plus régulière. Les traitements varient en fonction du type de dormance des graines.

5.3.1. Trempage.

Le trempage des graines dans l'eau froide ou tiède facilite, active et régularise la germination. Cette technique peut parfois remplacer la stratification ; la durée de ce trempage est variable (12 à 48h). Dans certains cas, on chauffe l'eau de trempage à une température de 70 à 80°C, on y plonge les grains, on laisse refroidir pendant 12 h puis l'on sème.

Il est parfois utile de sécher les graines avant le semis pour faciliter l'opération, notamment en cas de semis mécanisés.

5.3.2. L'enrobage.

L'enrobage est une opération qui consiste à envelopper les semences d'une couche de substance solide suffisamment épaisse pour en modifier la forme, la rendre plus régulière et ainsi en faciliter le semis (Ex. Tabac, betterave, carotte).

L'enrobage permet également une économie de semences (semis en mottes). Il permet également de protéger la plantule en y incorporant des fongicides et insecticides parfois des répulsifs.

5.3.3. Traitement des semences par des produits chimiques.

Il est souvent destiné à **détruire les germes** qui peuvent être transmis par les semences et à protéger la graine en germination ou la jeune plantule des insectes et des oiseaux qui peuvent l'attaquer. Selon les espèces cultivées et les dangers qui existent localement, le traitement comprendra :

- un fongicide ;
- un insecticide ;
- ou encore un répulsif.

On recourt au trempage dans les solutions d'acide dans le cas de semences à téguments très durs telles qu'*Acacia nilotica* et *Albizia lebbek*.

On emploie le plus souvent l'acide sulfurique concentré ; après trempage la semence doit être immédiatement lavée dans l'eau claire. Il convient de procéder à des essais pour déterminer la durée optimale de traitement pour chaque espèce ou même pour chaque provenance, un trempage trop long pouvant facilement endommager la semence.

Ex. Acacia albida	20'
A. nibilica	60' à 80
A. senegal	

Certains produits chimiques tels que le peroxyde d'hydrogène se sont révélés efficace pour rompre la dormance interne de la plupart des graines. On montre que l'acide gibbérellique accroît la faculté germinative et stimule même la croissance méristématique, et que, par ailleurs, un certain nombre de semences forestières répondent à un traitement par divers composés organiques, dont l'acide citrique et l'acide tartrique.

5.3.4. Traitement biologique des semences.

Pour certaines espèces, la croissance ne s'effectue convenablement que si des organismes extérieurs s'associent aux racines. On pratique soit **l'inoculation** ou **la mycorhization**.

Pour réaliser **l'inoculation** on dilue, au moment du semis, la solution de Bactéries. On arrose les graines d'une légumineuse avec le bouillon de culture et on brasse soigneusement avant de laisser les graines se ressuyer, il est indispensable d'opérer à l'ombre, car les bactéries sont sensibles à la lumière. Pour faciliter la **mycorhization**, on introduit artificiellement le champignon de l'association dans le milieu de culture. Deux méthodes existent :

- Introduire des spores du champignon dans le germe ;
- Récolter de la terre contenant du mycélium de ce champignon et utiliser cette terre pour le remplissage des sachets ou la confection des bouillottes pour le repiquage.

5.3.5. La prégermination.

Cette technique facilite nettement la réussite des semis, notamment pour ceux à germination lente, et procure en plus un gain de temps appréciable. Cette technique consiste à mélanger la graine avec du

sable humide ou avec des substances de type gel, à les maintenir à température élevée. Le semis devant se faire très rapidement dès que la racine perce les téguments.

En accélérant la végétation, on diminue certains risques liés aux semis, en particulier les attaques de champignons ou les risques de sécheresse immédiatement après le semis dans le cas d'opérations en plein champ.

5.3.6. Levée de dormance.

a) Levée de dormance en conditions naturelles.

Dans la nature la durée et l'intensité du processus de levée de dormance dépendent de plusieurs facteurs :

- profondeur à laquelle les graines sont enfouies dans le sol ;
- qualité et épaisseur de la couverture ;
- aptitude du sol à s'humidifier et à retenir l'eau ;
- structure et composition du sol qui influencent les échanges gazeux ;
- précipitations et vent qui influencent également sur l'humidité ou la déshydratation des graines enfouies ;
- présence d'animaux, d'insectes ou de divers macro et micro-organismes.

b) La scarification

La scarification est une usure des téguments permettant une meilleure pénétration de l'eau et de l'oxygène. Cette usure peut être obtenue par différents procédés :

- Agitation des semences seules ou mélangées à du sable. Les semences maintenues en mouvement se frottent les unes contre les autres et s'usent mutuellement.
- Les semences entraînées par un courant d'air sont projetées avec un angle d'incidence variable sur des parois rugueuses.
- On peut également arriver au même résultat en plongeant la graine dans un liquide corrosif : acide sulfurique ± dilué. Après le traitement de durée variable suivant les espèces, il faut rincer abondamment, puis sécher rapidement.

c) La stratification

C'est un séjour plus ou moins prolongé au froid et à l'humidité. Ce séjour peut être fait en chambre froide, en général entre 1° et 5°C. La stratification est une opération très simple. Les semences sont disposées pures dans des récipients, en général des terrines, ou en sac plastique ou encore mélangées avec du sable ou de la tourbe. La durée de séjour est de quelques semaines. Au sortir de la stratification, les graines sont récupérées, puis semées.

d) La dessiccation ou post-maturation sèche.

Elle consiste à faire séjourner les graines dans une atmosphère sèche afin de provoquer des fissures dans les téguments. Une alternance sécheresse-humidité est également possible. Cette opération permettrait, soit l'élimination d'inhibiteurs volatils, soit supprimerait certaines barrières de perméabilité.

e) Traitement par des produits divers.

Certaines substances ont la propriété de lever certaines dormances sans que l'on sache très bien si leur action est simplement stimulante ou si elles lèvent effectivement la dormance.

Ex : Acide gibbérellique, Nitrate de Potassium, la thio-urée.

On qualifie parfois de **psychrolabiles** quand la dormance est levée par le froid, **xérolabiles** quand la dormance est levée après un séjour au sec.

5.4. TECHNIQUES DE SEMIS ET PLANTATION.

5.4.1. Introduction.

- Le **semis** consiste à mettre des graines dans un milieu favorable en vue d'obtenir la germination pour la croissance d'une plantule. Cette définition classique peut paraître un peu restrictive car le terme de semis est également employé dans la **pratique**, pour désigner des opérations de multiplication faisant appel à la dissémination d'organes autres que les graines. Ex. : tubercules, bulbilles, bulbes.

- Dans ce cas, on parle de **plantations**. On plante aussi les boutures (manioc, patates, ignames, canne à sucre...).

5.4.2. Caractéristique de la multiplication sexuée.

La multiplication sexuée assure la conservation des caractères génétiques et spécifiques des plantes ; par contre, le rang variétal est

hétérogène, sauf les hybrides F1 et les lignées pures.

Avantages.

- Moyen rapide et en général peu coûteux ;
- Conservation facile des graines ;
- Technique simple et rapide ;
- Limitation des maladies, peu de maladies se transmettent par les graines ;
- La mécanisation possible dans de nombreux cas ;
- Du fait de la variabilité des semences, possibilité :
- d'obtenir de nouveaux cultivars,
- de découvrir des individus qui se sont adaptés à certaines conditions du milieu ;
- d'améliorer l'espèce en sélectionnant les individus présentant des caractéristiques jugées intéressantes.

Inconvénients

- reproduction très souvent infidèle ;
- végétation parfois hétérogène ;
- temps quelquefois très long entre la multiplication et la floraison.

5.4.3. Conditions de réussite d'un semis.

a) Conditions liées à la graine.

- Conditions internes remplies (pas de dormance)
- Saine
- Vivante, jeune de préférence
- Pure
- Posséder une bonne faculté germinative et une bonne valeur culturale.

b) Conditions liées au milieu.

- **Le substrat.** Le support du semis sera apprécié surtout pour ses qualités physiques. Il devra être sain, léger, drainant mais retenant suffisamment d'eau. La granulométrie superficielle du support devra être assez proche de la grosseur de la graine semée. Le nivellement du lit de semence n'est pas à négliger, surtout pour les terrines.

Ex : Substrats : sable, tourbe, terreau, sciure de bois, etc.

-**Température.** Il faut assurer une température du sol adaptée à l'espèce

semée. Ce contrôle est assez aisé sous abri où l'on considère généralement que pour un grand nombre de végétaux, 18° et 22° sont des températures optimales. La température ambiante est maîtrisée uniquement pour les cultures sous abri. On considère qu'elle doit être voisine de la température du substrat ($\pm 2^\circ$).

-Humidité relative. Elle devra être élevée, surtout au moment de la levée pour les graines non recouvertes. Pour maintenir un taux supérieur à 85% on pratique la mise à l'étouffée tout en assurant si besoin une légère aération de manière à éviter une trop forte condensation et la chute de gouttes d'eau sur les semis, car on assure dans ce cas des conditions favorables au développement des champignons parasites.

-Lumière. Il est important de maintenir un minimum de luminosité au semis, car la plupart des espèces sont à sensibilité positive pour germer. A partir de la levée, la lumière va devenir un facteur très important. Il faudra assurer une bonne luminosité tout en évitant une exposition au soleil trop prolongée, car les plantules sont très fragiles, d'où l'obligation d'un ombrage au début. Cet ombrage sera progressivement supprimé.

-Aération. L'aération se fera progressivement et sera toujours en liaison avec la température et l'hygrométrie. A partir de la levée, une aération progressive évitera un choc physiologique trop important et permettra une croissance rapide et régulière des plantules.

-Arrosage. Un arrosage judicieux et une surveillance étroite de celui-ci sont indispensables. La présence d'eau est en effet nécessaire pour permettre la réhydratation de la graine. Rappelons également le rôle de l'eau dans l'hydrolyse des réserves de la graine. Toutefois, il ne faut pas tomber dans des excès car dans ce cas le risque d'asphyxie existe et l'on crée des conditions favorables au développement de champignons parasites. L'arrosage des semis se fait par aspersion ou par brumisation dans le cas de semis en terrine. A titre préventif, on peut ajouter à l'eau d'arrosage un fongicide comme le **cryptonol**.

5.4.4. Epoque des semis.

Les conditions de température étant dans la majorité des cas réalisées en pays tropical. C'est le facteur humidité qui interviendra pour

fixer la date des semis et celle des plantations.

En zone tropicale humide, en zone équatoriale, une assez grande latitude est laissée au cultivateur quant à l'époque des semis, l'humidité étant presque toujours suffisante et rare les longues périodes de sécheresse.

Il n'en est pas de même dans les zones tropicales à saison des pluies (3mois). Le paysan doit s'arranger pour que ses cultures profitent des pluies au maximum, pour que la plus grande partie de leur cycle végétal coïncide avec elles. Il ne peut y parvenir qu'en effectuant des semis précoces. Les semis précoces effectués aux premières chutes de pluie permettent :

- aux plantes cultivées, de prendre une certaine avance sur la végétation spontanée, sur les mauvaises ;
- de récolter plus tôt et d'échapper en partie aux dégâts des parasites particulièrement nombreux enfin de saison des pluies ;
- de raccourcir la période parfois cruciale de la « **soudure** ».

Les semis précoces ont cependant un inconvénient : ils peuvent être complètement anéantis par une longue période de sécheresse toujours possible en début de saison des pluies. Le paysan devra alors réensemencer ses champs.

Les semis tardifs ; surtout en climat sec, donnent des récoltes moins abondantes, fortement attaquées par les parasites (oiseaux, insectes, rongeurs)...

Des précisions sur les époques de semis seront données dans les TP.

5.4.5 Profondeur d'enfouissement des semences.

La profondeur d'enfouissement des graines et des boutures varie beaucoup suivant les cultures. Elle a une grande importance. Semée trop profondément, la graine peut pourrir avant de germer, la plantule peut mourir avant d'atteindre la surface du sol, l'air et la lumière indispensables. Insuffisamment enterrée, elle risque de n'avoir pas assez d'humidité d'être détruite par des prédateurs (oiseaux, insectes, rongeurs). En règle générale, pour les semis :

- plus une graine est fine moins elle doit être enfouie. Les graines très fines, celles du tabac ne sont même pas enfouies (plombage).
- Plus le sol est léger plus il est nécessaire d'augmenter la profondeur

du semis afin de placer la graine dans les meilleures conditions d'humidité ;

- De toute façon, la profondeur du semis ne doit pas dépasser deux fois $\frac{1}{2}$ la grosseur de la graine. Le semis sera donc **superficiel**.

Diverses considérations apportent des restrictions à la règle du semis superficiel :

- **humidité du sol** : enfouir plus profondément lorsque les risques de dessiccation sont à craindre ;
- **température**: semé superficiellement quand la température dépasse le zéro de végétation, mais à condition que l'humidité soit suffisante ;
- la présence de prédateurs (oiseaux) peut conduire, localement, à des profondeurs d'enfouissement supérieures à l'optimum.

La profondeur d'enfouissement doit être très régulière, car elle conditionne une levée homogène et simultanée.

5.4.6 Densité de semis et de peuplement.

Chaque terrain est caractérisé par une densité du peuplement qui est nécessaire pour obtenir un **rendement optimal**, lequel, dépend essentiellement du nombre de plants fertiles par mètre carré.

Les plantes doivent utiliser au mieux l'espace aérien (surface foliaire suffisante et éclaircissement intense au niveau des feuilles) et l'espace souterrain (chevelu racinaire dense pour exploiter les réserves en eau et en sels minéraux) : si le peuplement est trop faible, certaines parties du sol ne sont pas explorées par les racines.

Fig.19. Du peuplement optimum au peuplement réel.

Plante riche en eau du sol.

Grossemur des semences

(M.M.G.)

Mode de semis.

Faculté germinative

Climat pestes

Techniques culturales

L'écartement des lignes est déterminé, d'une part, par le besoin d'espace vital de la plante et, d'autre part, par les travaux de soins prévus (binages, hersages). Les plantes prospèrent de manière optimale quand chacune d'elles dispose d'un espace égal à celui des autres.

Le peuplement optimum est fonction de plusieurs facteurs.

1° La fertilité du sol conditionne, à priori, la densité du peuplement et on peut en déduire les règles générales suivantes : **pour les céréales**, augmenter la densité des semis en sol pauvre où le tallage est en principe, plus faible. **Pour les plantes sarclées**, au contraire, il y aura lieu d'accroître les espacements, en terre de fertilité moyenne ou réduite, pour laisser à chaque individu un volume de sol plus important.

2° L'état physique du sol au moment du semis intervient également dans une large mesure. Lorsqu'il est motteux à l'excès, trop humide ou trop sec, la quantité de semences doit être augmentée pour tenir compte d'un déchet plus élevé à la germination.

3° L'état de propreté des terres est une considération non négligeable. Dans les sols ayant fait l'objet de soins de désherbage prolongé, on peut, sans inconvénient, limiter la quantité de semences.

Dans ces terres sales, au contraire, un peuplement dense peut entraver le développement des mauvaises herbes.

D'une manière générale, la densité de semis choisie doit aboutir à l'obtention du peuplement optimum qui doit correspondre aux impératifs

suivants :

- Exploiter au maximum la capacité de production du sol ;
- Couvrir complètement le sol pour limiter l'évaporation superficielle ;
- Obtenir le maximum de surface foliaire en fonction de l'énergie lumineuse disponible.

Pour calculer la quantité de semences à prévoir on peut utiliser la formule suivante.

5.4.7. Pratique des semis et des plantations.

Trois modes de semis peuvent être employés : à la volée en lignes et en poquets.

1° Semis à la volée

Les graines sont réparties sur la surface à semer aussi uniformément que possible mais sans ordre précis. Le semis à la volée se réalise en général manuellement, mais il peut être également mécanisé. Les graines sont ensuite enfouies par un hersage suivi ou non d'un plombage.

Avantage.

- rapide et simple.

Inconvénients.

- Demande une certaine pratique ;
- Façons culturales impossibles ou difficiles ;
- Oblige souvent à un repiquage rapide.

2° Semis en lignes.

Il est supérieur au semis à la volée car il permet :

- une répartition plus régulière des semences ;
- une économie de semences ;
- les travaux d'entretien, sarclages et binages, notamment avec des instruments attelés ou tractés.

Le semis se fait souvent en alignement. Les graines étant plus ou moins régulièrement espacées sur la ligne. Cette technique est très

souvent utilisée pour les semis sur place.

3° Semis en poquet.

Dans ce mode de semis plusieurs graines sont placées dans des petits trous appelés poquets, creusés à des distances régulières sur des lignes régulièrement espacées. Cette technique est essentiellement utilisée pour des semis en place ou réalisée directement dans un contenant (sachet).

Avantages.

- facilité la levée en terrain difficile ;
- permet l'obtention des touffes ;
- façons culturales très faciles.

4° Semis graine par graine.

Peut-être considéré comme une variante du semis en ligne. Chaque graine est déposée individuellement et espacée régulièrement dans tous les sens. Cette technique toujours plus ou moins mécanisée permet très souvent de supprimer un repiquage, d'où un gain de temps très intéressant.

5.4.8. Dispositifs de plantation ou de semis (cfr.T.P).

Pour les semis ou plantations en lignes ou en poquets plusieurs dispositifs peuvent être adoptés :

1° Plantation en carré.

La distance entre les lignes des plants étant la même d'entre les plants sur la ligne ; les quatre plants voisins forment un carré. Les plants peuvent se développer normalement sur tous les côtés sans être gênés si les écartements sont suffisants; les façons culturales se font en croisé. Ce dispositif, pour les grands écartements, laisse des bandes larges disponibles pour les cultures intercalaires.

2° Plantation en rectangle.

Dans ce cas, on plante plus serré sur la ligne en augmentant la largeur de l'interligne afin, de faciliter les travaux. Si les plants sont trop serrés sur la ligne, les frondaisons se rejoindront et s'interpénétreront et la fructification sera nulle sur les parties en contact. En revanche, si l'on n'est pas limité par le prix élevé des interlignes plus larges, sans diminuer les distances sur la ligne, afin de permettre les travaux mécaniques.

3° Plantation en quinconce.

La plantation en quinconce est obtenue en ajoutant une ligne supplémentaire à la disposition en carré, chaque plant se trouvant au point d'intersection des diagonales joignant les 4 plants les plus proches. Ceci revient à décaler les plants des lignes intermédiaires de la moitié de la distance entre deux plants sur la même ligne. Sur ce type de plantations, les façons culturales sont exécutées en croisé, suivant les diagonales.

4° Plantation en triangle ou en hexagone

Dans ce type de plantation, chaque plant d'une ligne forme avec les deux plants les plus proches de la ligne voisine un triangle équilatéral. Chaque plant se trouve donc au centre d'un hexagone formé par les plants voisins. Ce dispositif utilise le terrain au maximum et permet trois sens de travail.

5.5. TRANSPLANTATION ET PLANTATION DES PLANTS.

5.5.1. Préparation à la transplantation.

Quelque temps avant la transplantation, on supprime complètement l'ombrage en pépinière. Les plants renforcent leurs tissus, la base des tiges s'aoûtent et le feuillage prend un teinte sombre. L'arrosage s'effectue très parcimonieusement.

La trouaison doit se faire **peu de temps** avant la plantation. Il ne faut pas creuser les trous **trop longtemps à l'avance**, afin d'éviter la **stérilisation** et le **durcissement** des parois de la cavité, ce qui provoque, par la suite, des **fissures** circulaires isolant le plant du terrain adjacent. Si l'on est décidé à faire un apport d'engrais aux trous de plantation, ce travail doit être entièrement terminé avant de procéder à la transplantation. Le terreau ou le compost est mis en tas, auprès des trous. Ne pas le mélanger à la terre de déblai retirée du trou qui est accumulée sur le bord opposé. Les trous sont de la sorte, prêts à recevoir les plants.

5.5.2. Plantation en racines nues.

Ce mode de mise en place est peu coûteux et fournit, en général, de bons résultats, à conditions de prendre quelque précautions :

- vérifier la conformation des racines, rejeter les plants dont les racines sont défectueuses. Si le bout du pivot est affecté, il peut être sectionné.

- Praliner les racines et durant le transport, il faudra garantir les plants contre l'insolation en les plaçant en **caisses bien ombragées**.
- Lors de la mise en place bien placer les racines dans le trou de plantation.

Le succès de la plantation à racines nues dépend surtout des conditions climatiques qui règnent après la plantation.

5.5.3. Plantation en mottes.

Cette méthode, à condition d'être bien exécutée, offre plus de réussite que la précédente. Par contre, elle ne permet pas **l'inspection des racines** et coûte plus cher au transport.

Lorsque les terres sont légères, cette méthode est d'application aléatoire car les mottes se désagrègent généralement. Dans ce cas, on transplante sans avantage un gros tonnage de terre. En vue d'éviter **l'émiettement de mottes**, on recommande donc de ne procéder à la mise en place qu'après une ou plusieurs pluies ayant fortement humidifié le sol. On prend également la précaution d'entourer les mottes des grandes feuilles de marantacées, de sac ou de toile de réemploi.

5.5.4. Plantation en « stumps »

La transplantation en « stumps » s'applique à de végétaux ligneux qui ont dépassé l'âge, ont pris un développement trop important pour être assuré d'une reprise normale, par la méthode dite « à racines nues ». Ce procédé présente, en outre, l'avantage de faciliter la transplantation en dehors des époques de l'année durant lesquelles s'effectue ordinairement la plantation.

On l'utilise couramment pour **faire des remplacements tardifs** et combler des vides dans les plantations. Il constitue un excellent moyen **d'utiliser les plants excédentaires** de pépinières plusieurs mois, ou même un ou deux ans, après l'époque normale de la transplantation. Le principe du stumping consiste en une **ablation** très sévère des parties aériennes et souterraines des plants auxquels on ne laisse que la tige lignifiée et une souche radriculaire réduite à des moignons de racines. Les réserves nutritives contenues dans les tissus de cet axe suffisent généralement, avec les yeux,

bourgeons latents et amorces radiculaires à assurer à la plante un assez long répit végétatif suivi d'une reconstitution vigoureuse, lorsque les conditions deviennent favorables à la reprise de la végétation.

Dans la pratique le stumpage et la transplantation s'effectuent avec le maximum de succès, en fin de saison sèche, un peu avant les reprises de la végétation.

6. LES ASSOCIATIONS DES CULTURES.

6.1. INTRODUCTION.

L'association peut être définie comme la croissance simultanée de deux ou plusieurs espèces (ou variétés) sur la même surface du sol. Les cultures ne sont pas forcément semées exactement au même moment et leurs périodes de récolte peuvent différer notablement, mais sont généralement simultanées pendant une partie significative de leur croissance et développement. Ceci distingue la culture associée de la culture en relais, dans laquelle les périodes de croissance commune ne se chevauchent que brièvement.

On appellera culture composante chacune des cultures participant à une association. Le rendement de l'association est le rendement de cette culture cultivée dans l'association considérée, et exprimée par rapport à la surface totale de la culture associée. La simple addition de rendement combiné de l'association.

Le terme de culture pure se réfère à chacune des composantes d'une association, cultivée seule ; sans autre indication, on considère que cette culture est réalisée dans des conditions optimales. Le rendement combiné de la culture pure est obtenu quand la surface unitaire est divisée entre chaque culture pure dans des proportions déterminées.

6.2. TYPES D'ASSOCIATIONS DES CULTURES.

Suivant la disposition spatiale des composantes de l'association, on peut distinguer :

- Des cultures ou les composants sont fortement entre-mêlés (mixed

cropping) cas fréquent.

- Les cultures intercalaires (inter-cropping) où les composants sont en rang
- Les cultures en bandes (strip cropping) permettant un traitement individuel des composants mais telles que les interactions spécifiques existent.
- Alley cropping ou cultures en allée. Ce système fonctionne comme suit : des rangées d'arbres (Légumineuses par exemple) sont plantées à 2-4 m les unes des autres, avec un intervalle de ± 50 cm entre chaque plante. Entre les rangs d'arbres-donc dans l'allée-on fait pousser la culture principale.

Ex : Maïs.

- Si les longueurs des cycles des divers composants sont très différentes (une plante pérenne avec une plante annuelle); on parle alors des cultures en relais (Relay cropping).

6.3. RELATIONS ET INTERACTIONS ENTRE PLANTES ASSOCIEES.

a) Les mécanismes de dominance

- **Compétition pour la lumière.** Elle intervient dans tous les peuplements végétaux, sauf peut-être juste après la levée et en conditions arides, la densité de semis étant alors limitée par l'eau. C'est une compétition entre plantes. L'intensité de la compétition dépend des caractéristiques liées aux plantes elles-mêmes : la taille, le port et les feuilles.

- **Compétition pour les facteurs du sol.**

On pense qu'un système racinaire à forte croissance est un atout important pour la compétition. La compétition porte le plus souvent sur l'N et l'eau du fait de leur grande mobilité. Elle peut se manifester assez tôt. Une domination pour la lumière se traduit par un faible développement racinaire entraînant une perte de compétition pour les facteurs sol et réciproquement il va de soi, lorsque ni l'eau, ni les éléments minéraux ne sont pas limités, la capacité compétitive des plantes au niveau racinaire n'a pas d'influence.

- **Phénomène d'allélopathie.**

Ils sont dus à des substances libérées par les feuilles puis lessivées par les eaux de pluies ou sécrétées par les racines. Elles ont le plus couramment un effet négatif sur la croissance des plantes voisines. Ces

phénomènes peuvent dans certains cas conduire à des sous-rendements.

b) Les mécanismes de la coopération.

- Utilisation complémentaire de la lumière.

Les surfaces foliaires des composantes de l'association peuvent occuper différentes strates verticales, le composant le plus haut ayant un feuillage tolérant à une lumière forte et à une évaporation importante une humidité assez élevée.

Ex : Bananiers + taros.

- Utilisation complémentaire des facteurs du sol

L'exploitation par les composants de l'association des différentes couches de sol est bénéfique. Lorsqu'une légumineuse intervient, les excréments d'azote au voisinage de ses racines sont utilisés par les autres membres de l'association. Dans d'autres circonstances les excréments racines d'un des composants de l'association solubilisent certains éléments nutritifs susceptibles d'être utilisés par les autres (Ex. association avec lupin pour le P₂O₅).

- Utilisation complémentaire dans le temps.

Pour toutes les plantes, la demande en facteurs eau et sels minéraux varie suivant la phase de développement et les conditions écologiques. Dans une association, les composants peuvent ainsi avoir des exigences espacées dans le temps, ce qui permet d'avoir des pics de demande moins élevés. Le choix de caractéristiques génétiques et de la date de semis des différents composants permet le contrôle de l'intensité de ces exigences à un instant donné.

- Le support physique

Des espèces à port érigé peuvent servir de support à leurs associés grimpants. Des espèces résistantes à la verse peuvent soutenir des variétés sensibles si elles sont cultivées en association.

6.4. PROBLEMES PRATIQUES POSES PAR LE SEMIS

- Le semis peut être réalisé en une fois, après mélange préalable des semences si :

* Celles-ci ont des dimensions et densités comparables ;

* Les végétaux associés ont le même rythme de croissance.

Dans le cas contraire, on réalisera le semis en plusieurs fois.

- Dans le cas d'association des cultures à rythme de croissance différent, le semis de la plante à croissance lente devra être effectué le premier, 10 à 15 jours avant celui de la plante à croissance rapide.

Ex. : Soja + maïs.

- Lorsqu'il s'agit de semis sous abri, il y a lieu d'abord de réduire la densité de semis de cette dernière, ensuite, il est souvent préférable de retarder le semis de la plante à abriter de manière à obtenir plus sûrement l'effet recherché.

6.5. CULTURES ASSOCIEES ET SYSTEME DE PRODUCTION.

- Il peut s'agir de **maximiser le rendement**. Dans le système où la surface est limitant, l'agriculteur cherchera souvent à tirer de sa parcelle la production maximale. Mais même en conditions de surface moins limitant, obtenir des hauts rendements peut également coïncider avec les objectifs premiers de l'agriculteur.

- Il peut s'agir aussi de **maximiser d'autres productivités**. Dans beaucoup d'agricultures, la source d'énergie la plus importante est humaine. Il est intéressant de considérer la productivité du travail sur toute la saison de culture, mais aussi pendant les périodes de pointe de travail. Le bon déroulement de ces périodes détermine l'obtention des rendements satisfaisants.

- Les agriculteurs tiennent aussi compte de l'hétérogénéité de la parcelle lorsqu'il mettent en place leurs associations. On peut alors lutter contre l'érosion en jouant sur les choix des espèces des populations et des densités. On peut aussi maximiser les risques climatiques pour la compensation de la faible croissance d'une plante par une croissance accrue de ses voisines. La compensation augmente la stabilité des rendements.

- Dans beaucoup de régions, le climat oblige les paysans à mettre en culture le maximum des terres dès l'arrivée de la saison des pluies. Il s'en suit dans le temps une concentration des travaux très importante. On assiste dans l'année à **des périodes de travail intense** et à des périodes que les agriculteurs utilisent plus ou moins bien par les activités annexes (pêche,

chasse, artisanat). Les agriculteurs par la pratique des cultures associées, réussissent à établir leurs calendriers de travail et ont ainsi une stratégie quant à la minimisation de leurs risques.

- Dans certains cas, les associations de cultures peuvent constituer une protection supplémentaire par exemple lorsqu'il s'agit d'ajuster la production des espèces pérennes en fonction des cours de leur produit. Les agriculteurs peuvent réagir à la chute des cours du café en y associant le haricot. La production vivrière de la caféière est ainsi accrue aux dépens de celle du café devenue peu rémunératrice.

6.6. LES LIMITES DES SYSTEMES DE CULTURES MULTIPLES.

Une concurrence peut s'établir entre les différentes plantes de l'association : concurrence pour l'eau, l'espace et les éléments minéraux. En particulier, s'il manque un élément important, les cultures associées souffrent beaucoup plus que dans le cas d'une culture pure. Dans certains cas les maladies risquent de se développer plus facilement, surtout quand les mêmes maladies attaquent les plantes de l'association. Enfin, la rotation reste très difficile quand l'association porte sur plus de deux espèces.

Un système de culture associée, **la fertilisation** pose beaucoup plus de problème qu'en système de cultures pures, les différents composants ayant des besoins qualitatifs et quantitatifs différents en périodes elles-mêmes différentes. Il est souhaitable de faire des apports localisés et fractionnés. La fumure doit donc permettre le maintien d'un équilibre entre les composants de l'association.

Lorsque les composants de l'association sont physiologiquement trop différents, il est difficile de trouver des pesticides qui permettent des traitements sans nuire aux autres. Contre les maladies et les insectes, l'efficacité d'un traitement localisé peut se révéler réduite si une espèce végétale associée sert également d'hôte à l'agent susceptible de réattaquer la plante sensible dès la fin de l'effet du traitement.

La mécanisation est évidemment plus facile lorsque les actes techniques peuvent être appliqués uniformément sur la parcelle. Cette contrainte débouche logiquement sur la culture pure. En cultures associées, il faut en effet, éviter qu'une opération faite sur une culture endommage les

autres.

Ex : La date de semis, la récolte.

6.7. COMMENT ASSOCIER LES CULTURES.

Les mécanismes d'intervention entre les composantes d'une association sont très nombreux. Ceci n'implique que le choix de matériels végétaux destinés à des associations. Il a pour objectif de **minimiser** la compétition inter composante et **maximiser** les effets complémentaires. Les associations sont intéressantes lorsque la compétition inter composante est inférieure aux compétitions **intra-composantes** . Ceci suppose une bonne connaissance du fonctionnement des associations.

Plusieurs **critères** sont à considérer pour savoir si un agriculteur a ou non intérêt à juxtaposer des cultures, ou à associer celles-ci. Huxley (1983) les définit ainsi :

- La quantité de chaque culture produite est-elle acceptable pour l'agriculteur ?
- Quel rapport entre les différentes productions celui-ci recherche-t-il ?
- Quelles contraintes sont à respecter pour obtenir les rendements dans les rapports souhaités par l'agriculteur ? On peut y ajouter :
- Quels avantages (ou inconvénients) d'ordre agronomique ou phytosanitaire découlent de l'association choisie ?
- Quels avantages qualitatifs fournissent de tels systèmes à l'agriculteur ?

Les évaluations peuvent être exprimées en production quantitative, en rapports relatifs, en valeur monétaire ou en valeur nutritionnelle de chaque élément.

Principales cultures couramment associées.

- Riz avec Maïs ou manioc ;
- Maïs avec haricot, riz, soja, légumes
- Sorgho avec vigne, arachide, coton.
- Coton avec vigne, poids cajan, arachide.
- Arachide avec millet, sorgho, maïs,
- Manioc avec haricot, niébé, maïs, riz.
- Palmier à huile avec manioc, arachide, maïs, riz, bananier, papayer.

- Bananier avec arachide, taros, haricot, maïs.
- Caféier avec bananier, taros, papayer, ananas.
- Canne à sucre avec maïs, soja, haricot.

7. L'ENTRETIEN DES CULTURES

7.1. LE BINAGE

Cette opération consiste essentiellement dans le travail superficiel des interlignes. Ses effets sont multiples :

- destruction des adventices ;
- ameublissement de la couche superficielle du sol avec ses conséquences sur le bilan de l'eau : accroissement de la perméabilité et d'hygroscopicité, réduction des mouvements ascendants ;
- perméabilité d'action sur la fixation de l'N atmosphérique ;
- au cours du développement de la plante, les binages doivent être aussi fréquent que possible et se situer quelques jours après une pluie, de manière à détruire les jeunes adventices et rétablir la structure meuble de surface. Ils seront poursuivis tant que le feuillage n'aura pas acquis un volume suffisant pour assurer lui-même la protection du sol.

7.2. LE BUTTAGE

Le buttage est une opération qui a pour but de ramener autour des plantes cultivées une partie de la terre arable afin de les consolider, de leur donner plus de résistance aux vents et aux pluies et dans certains cas de leur permettre d'émettre de nouvelles racines sur les nœuds de la base (maïs, tomate, choux). Le buttage est souvent combiné avec un binage. Il s'effectue avec des outils à main buteuse avec des buttoirs spéciaux.

Le buttage doit être effectué avant que les plantes cultivées n'aient atteint un trop grand développement. Effectué trop tard, il est moins bénéfique et risque de causer des dégâts aux cultures notamment lorsqu'il est effectué avec la charrue.

7.3. LE DEMARIAGE

Le démariage est l'opération qui consiste dans le cas de semis en poquets à supprimer les plantes en excès. Son action peut être rapprochée de l'éclaircissage qui consiste dans le cas de semis en lignes ou à la volée à supprimer quelques plantes de façon à donner à celles qui demeurent un écartement optimum. En général, on ne conserve qu'un plant ou deux par poquet, celui ou ceux qui sont les mieux venus, les plus sains, les mieux placés.

Les pieds en excédent doivent être enlevés avec précaution afin de ne pas abimer le système racinaire de ceux qui sont conservés ; on opère en général après une pluie avant que le sol soit très sec ou trop dur. Les plants en excédent peuvent être utilisés pour remplacer les manquants. Il y a alors lieu de les "habiller".

7.4. UTILISATION DES SUBSTANCES DE CROISSANCE

Une substance de croissance est un produit d'origine synthétique ou végétale susceptible d'exercer une action physiologique sur le végétal traité.

- accélération de la germination des graines ;
- Accélération ou ralentissement de la croissance ;
- Inhibition de la germination, de la reprise des boutures, de la mise en fruit ;
- Prévention de la chute des fruits ou éclaircissage-défoliation ;
- Effet sur la précocité, etc.

Tableau 24 : principales substances de croissance.

Matière active	Toxicité	Utilisation	Remarque
-UCPA (Tomatone)	-	Nouaison des tomates	Suivre indication
-Acide gibbérellique	Très faible	Induction de la parnocarpie tomates, citrus, vigne	du fabricant. Idem
- Thiadizuron	-	Défoliation du cotonnier	Ethrel
- Ethephon	-	Ananas, hévéas	-
- Rootone	-	Stimulation de l'enracinement	Semences boutures

- Transplantone		repiquage, transplantation	-
-----------------	--	-------------------------------	---

7.5. LE DESHERBAGE.

7. 5.1. Nuisibilité des adventices.

Appliqué aux mauvaises herbes, le concept de nuisibilité englobe deux sortes d'effets :

* La nuisibilité due à la flore potentielle dont il faudrait tenir compte si, pour chacun des organes de multiplication conservés dans le sol à l'état de repos végétatif (semence, bulbes, tubercules...) donnait un individu à la levée.

* La nuisibilité due à la flore réelle, c'est-à-dire aux plantes qui lèvent réellement en cours du cycle de la culture.

Chaque espèce adventice possède sa propre nuisibilité (nuisibilité spécifique) qui contribue à la nuisibilité globale du peuplement adventice dans des conditions d'offres environnementales définies.

20. Types de nuisibilité des mauvaises herbes dans les cultures (chirappa-1981).

Lorsque la nuisibilité due à la flore adventive réelle n'est prise en compte que par ses effets indésirables sur le produit récolté, cette nuisibilité est dite **primaire**. Si les dommages dus à l'action conjuguée de la flore potentielle s'étendent aussi à la capacité ultérieure de production, soit niveau de la parcelle (accroissement du potentiel semencier du sol), soit au niveau de l'exploitation agricole (contamination du sol ou du matériel végétal), la nuisibilité est qualifiée de **secondaire**.

La nuisibilité primaire s'exerce sur la quantité du produit récolté, elle modifie aussi sa qualité. Par la diminution quantitative de production que leur présence entraîne, les mauvaises herbes manifestent directement leur nuisibilité. Par opposition les autres effets indésirables de mauvaises herbes sur l'élévation du coût de la production du produit commercialisable constituent la **nuisibilité indirecte**.

7. 5.2. La compétition mauvaise herbe/plante cultivée.

La compétition se définit comme la concurrence qui s'établit entre plusieurs organismes pour une même source d'énergie ou de matière lorsque la demande est en excès sur les disponibilités. Selon les auteurs est l'objet de leur étude, la compétition peut être définie soit par le fait qu'un individu profite aux dépens de l'autre (situation +- à l'état associé) ; soit par le fait que les deux individus sont déprimés (situation - - à l'état associé). Le cas particulier où l'individu le plus agressif n'est pas affecté (situation 0 - à l'état associé) ne peut pas non plus être associé ne peut pas non plus être exclu de la définition. La compétition serait donc synonyme de **concurrence**.

La concurrence commence à se manifester très tôt : il est donc essentiel de désherber le plus tôt possible ; mieux encore, d'empêcher les mauvaises herbes de lever.

7.5.3. Allélopathie due aux mauvaises herbes.

Le terme d'allélopathie désigne l'émission ou la libération pour une espèce végétale ou par l'eau de ses organes, vivants ou morts, de

substances organiques toxiques entraînant l'inhibition de la croissance des végétaux se développant au voisinage de cette espèce ou espèce où succédant sur le même terrain. Par cette définition, les interactions chimiques entre végétaux comprennent celles qui indirectement par l'intermédiaire de microorganismes (**marasmines et phytocides**) pendant la vie active des végétaux et au cours de la décomposition de leur résidus.

Parmi les plantes responsables de tels effets, figurent des **plantes cultivées** comme l'avoine, le tournesol, le concombre ; des **adventices** comme les *Avena fatua*, *Chenopodium album* et des arbres comme les Eucalyptus, les cyprès.

L'émission par certaines espèces de substances inhibitrices volatiles souvent aromatiques, a également été démontrée. Champignons et bactéries libèrent aussi des substances chimiques inhibitrices qui pourront être utilisées par l'industrie phytosanitaire.

7. 5.4. Parasitisme, exploitation et antagonisme.

Le parasitisme est le mode de vie d'un organisme qui vit au dépens de l'hôte avec lequel il est associé, par prélèvement direct de molécules produites au cours de l'activité métabolique de l'hôte ; le prélèvement est assuré par des organes d'absorption, appelés suçoirs ou « **haustoria** ». La description des mauvaises herbes parasites des terres arables et basées/sur trois critères :

- Le degré de dépendance vis-à-vis de l'hôte (parasites obligatoires ou facultatifs) ;
- La localisation des haustoria sur l'hôte (parasites sur tiges et sur racines) ;
- La présence ou l'absence de chlorophylle chez le parasite (hémiparasites ou holoparasites).

A l'état isolé, les plantes parasites sont réduites dans leur croissance et leur développement ; la mort est l'évolution normale pour les parasites obligatoires. En situation de rencontre, le parasite exploite les ressources nutritionnelles de l'hôte. L'organisme exploiteur est avantage dans l'association, où il exprime toutes ses potentialités biologiques de croissance et de développement alors que l'organisme exploité, l'hôte, est

défavorisé. Le parasitisme se distingue de la concurrence par la situation qui préexiste à l'état isolé pour chaque organisme. Toutefois, au niveau des éléments du groupe, les effets mesurés ne se distinguent pas des effets mesurés dans certains cas de concurrence : la croissance et le développement de chaque organisme subissent des actions antagonistes liées à la présence de l'autre organisme, l'une favorable et l'autre défavorable.

Il apparaît donc que pour une plante cultivée A, désavantagée dans la concurrence, et une mauvaise herbe B, qui peut être soit désavantagée, les effets mesurés peuvent être aussi bien dus à des effets de rencontre dans la même cellule de ressources, qu'à des processus biologiques. On parle alors **d'Exploitation**. Exploitation nutritive pour un facteur limitant du milieu (compétition), chimique (allélopathie) ou parasitaire (parasitisme occasionnel). En pathologie les processus qui conduisent à un antagonisme entre microorganismes regroupent de façon analogue des phénomènes d'antibiose, d'hyper parasitisme et de compétition nutritive.

Toutefois, la notion **d'antagonisme** a tendance à prendre actuellement un sens plus large que la seule inhibition directe de l'agent pathogène par un germe ou une population de son environnement, en considérant les actions (directes et indirectes) exercées par les microorganismes et limitant l'expression de la maladie.

7.5.5. Les seuils biologiques de nuisibilité

a) Seuils de nuisibilité adventice

La notion de seuil de nuisibilité est liée au type de nuisibilité adventice que l'on redoute principalement. L'idée simple que le seuil de nuisibilité exprime le niveau d'infestation adventice à partir duquel il est rentable de désherber prête à confusion. En effet, la décision de traiter les mauvaises herbes doit être considérée à différents niveaux : celui d'une parcelle cultivée, celui d'une culture de l'assolement, celui d'une exploitation agricole et celui d'une région à caractéristiques définies. Par ailleurs déterminer un seuil de nuisibilité pour chacun de ces niveaux exige de faire une synthèse entre les prévisions biologiques (risques d'infestation adventice

et espoirs de production potentielle) et des prévisions économiques à plus ou moins long terme.

Sur **le plan pratique**, il est nécessaire pour mesurer un seuil de nuisibilité de décider quel type de nuisibilité adventice doit être considéré : les **effets de concurrence** ou les risques **d'infestation**, les dégâts dus à une mauvaise herbe dominante ou ceux dus à toute la population adventice, la perte de rendement annuelle ou la moyenne sur plusieurs années. Plusieurs définitions des seuils de nuisibilité doivent être données pour répondre à des questions aussi diverses que les suivantes, malgré leur ressemblance apparente :

-à partir de quel niveau d'infestation une baisse du rendement de la culture est-elle constatée ?

- à partir de quel niveau d'infestation est-il économiquement nécessaire d'intervenir ?
- La destruction complète des mauvaises herbes d'une parcelle cultivée est-elle toujours souhaitable ?
- Est-il indispensable de faire d'une façon systématique des traitements herbicides ?

Sur le plan théorique, la première question met en cause la nuisibilité directe des mauvaises herbes. Comme la relation lie deux paramètres biologiques, la perte de rendement de la plante cultivée et la présence de mauvaises herbes à une période déterminée, le seuil de nuisibilité mesuré est appelé **biologique**. Il est défini comme le niveau d'infestation, à un moment donné, à partir duquel une baisse de rendement de la culture est mesurée.

Les réponses aux trois autres questions font appel à des éléments économiques chiffrables : ce sont des seuils économiques de nuisibilité qui doivent être définis.

Fig. 21. Seuils de nuisibilité de mauvaises herbes.

b) Seuil biologique de nuisibilité

b.1 Relation entre densité adventice et pertes de rendement.

Souvent défini par le seul paramètre de la densité, le seuil biologique de nuisibilité se confond alors avec la densité critique c'est-à-dire la densité à partir de laquelle une perte de rendement est statistiquement décelable. Dans les essais où la mauvaise herbe est présente pendant toute la durée de la culture, la recherche d'une densité critique peut être faite selon trois méthodes principales:

- le semis de l'adventice à une gamme de densité afin d'obtenir des populations artificielles d'une seule mauvaise herbe;
- l'éclaircissage manuel et/ou chimique de peuplements naturels adventices afin d'obtenir une gamme de densités pour une seule espèce adventice.
- l'échantillonnage par placette dans des parcelles infestées de façon hétérogène par un adventice dominante, de façon à disposer de plusieurs densités pour mesurer la perte de rendement par rapport à un témoin sans mauvaises herbes,

Connaissant le potentiel de production de la culture, il est tentant de chercher à établir la relation biologique qui lie la densité

adventice au rendement ou à la perte de rendement de la plante cultivée afin de prédire dans une situation donnée les pertes de rendement dues à une mauvaise herbe. Diverses fonctions classiques exprimant la diminution du rendement de la plante cultivée lorsque la densité de l'adventice s'élève ont été proposées : polynômes, polynômes inverses, exponentielles... Comme la perte de rendement tend vers une limite asymptotique lorsque la densité s'élève, les modèles basés sur de telles considérations biologiques s'ajustent le mieux aux données lorsque la gamme de densités est très étendue.

Parmi les plus appropriées se rencontrent l'hyperbole rectangulaire, certaines fonctions polynomiales et des fonctions exponentielles.

Pour une gamme de densités adventices faibles correspondant le plus souvent aux infestations de cultures de haute productivité, une équation linéaire ou quadratique suffit généralement à décrire la relation. Ces relations empiriques permettent généralement de préciser les densités critiques d'espèces adventices nécessitant une opération de désherbage dans une culture. Elles peuvent aider également à l'interprétation des effets de concurrence sur les composantes du rendement.

b. 2. Structures de la population adventice et pertes de rendement

En fait, comme le seuil biologique de nuisibilité est défini par rapport à la nuisibilité directe des mauvaises herbes la densité n'est qu'un des éléments à retenir pour déterminer un tel seuil de nuisibilité, adventice ou autre, toute population peut être considérée comme un (ou plusieurs) ensemble d'individus de la même espèce pouvant vivre en commun à un moment de leur reproduction ; chaque population présente plusieurs types de structure (sociale, spatiale, temporelle, génétique...) et plusieurs niveaux de structuration. Aussi les relations entre plantes cultivées et adventices doivent être abordées sous leurs aspects démographiques, génétiques et fonctionnels, ces derniers étant relatifs au fonctionnement intégré des plantes selon leurs réponses physiologiques aux conditions d'offre environnementale qui leur sont fournies.

Parmi les aspects démographiques, 5 catégories principales d'effets peuvent être distinguées :

- La densité de la plante cultivée et de chaque M.H.
- L'espèce pour chaque M.H., et le cultivar pour la plante cultivée (effet partenaire) ;
- Les proportions des espèces entre elle, soit entre la plante cultivée et les M.H. ; soit entre les M.H. elles-mêmes (effet proportion) ;
- La répartition sur le terrain ;
- La période de concurrence interspécifique entre la plante cultivée et les M.H. mais aussi entre les M.H. elles-mêmes (effets de structure temporelle).

Comme la levée de chaque adventice est déterminée par la conjonction de plusieurs propriétés de la semence et du milieu ambiant, les effets de structure temporelle déterminent la connaissance de la période critique des mauvaises herbes. Définie comme la période pendant laquelle la présence d'adventices entraîne une perte de rendement mesurable, **la période critique** indique la meilleure période d'intervention pour la réalisation d'un ou de plusieurs traitements herbicides.

Dans les associations entre plantes cultivées et mauvaises herbes, les **études de concurrence** se limitent généralement à la prise en considération des seuls aspects démographiques.

Fig . 22. Facteurs modifiant le degré de nuisibilité des mauvaises herbes dans une culture.

Espèce et génotype
Densité de peuplement
Proportion entre mauvaises et plante cultivé
Structure spatiale ou répartition sur la parcelle
Structure temporelle ou période de concurrence inter/intra-spécifique

Espèce et cultivar
Densité de peuplement
Proportion entre plante cultivée et M.H
Structure spatiale=écartement
Structure temporelle = période de concurrence intra spécifique

7.5.6. Les seuils économiques de nuisibilité

a) *Seuil économique annuel de nuisibilité.*

Sur une base annuelle de données, le seuil économique annuel de nuisibilité tient compte du coût des opérations de désherbage de post-levée mais aussi des dépenses supplémentaires engagées pour supprimer la nuisibilité indirecte des mauvaises herbes. Il représente le niveau d'infestation (atteint au moment conseillé pour éliminer les mauvaises herbes) à partir duquel une opération de désherbage devient rentable, compte tenu du prix de revient de cette opération et de la valeur de la récolte.

Si la valeur du produit récolté est appréciée sous son seul aspect quantitatif, c'est le seuil économique élémentaire de nuisibilité qui est défini. Il dépend de la relation qui lie le niveau d'infestation adventice et la perte de rendement, de la valeur ajoutée au produit récolté résultant de l'élimination des mauvaises herbes et du coût de l'opération du désherbage.

Si des charges supplémentaires occasionnées par l'élévation du coût du produit commercialisable due à la nuisibilité adventice indirecte sont incluses dans le prix de revient de la lutte contre les mauvaises herbes, ce seuil économique annuel est dit **intégré**. En termes économiques, il s'agit du seuil au-delà duquel l'accroissement de la dépense nécessaire pour lutter contre les mauvaises herbes n'est plus compensé par l'accroissement du prix de vente du produit commercialisé. L'ampleur de l'infestation adventice au

moment du désherbage et la réussite du traitement herbicide modifient les valeurs des seuils de nuisibilité.

h) Seuil économique pluriannuel de nuisibilité.

Calculé sur plusieurs années, le seuil économique pluriannuel de nuisibilité fait intervenir les risques de nuisibilité potentielle des mauvaises herbes, dus à la flore potentielle de la parcelle cultivée (seuil économique parcellaire de nuisibilité) et de l'exploitation (seuil économique global de nuisibilité). Au niveau de la parcelle comme au niveau de l'exploitation agricole, il existe plusieurs façons de l'appréhender : une optique prévisionnelle, une optique **d'optimum économique** et **une optique de sécurité économique**.

Il devient difficile sur plusieurs années de raisonner le désherbage en fonction de la seule, densité adventice, alors que la principale crainte est de voir le niveau d'infestation adventice s'accroître avec le temps. Afin de décider une opération de désherbage dans la pratique de la lutte phytosanitaire on préfère utiliser les concepts de "**seuils de tolérance**" de "**seuils d'intervention**" ou de "**seuils de nuisibilité technique**". Le but est d'intervenir sur une densité de population adventice au moment où elle atteint un seuil prédit.

Une approche plus analytique des variations des populations de mauvaises herbes dans le milieu cultural conduit au calcul de seuils économiques optimaux de nuisibilité d'adventices particulièrement redoutables. **Le seuil économique optimal de nuisibilité** est défini comme le niveau d'infestation à partir duquel les mauvaises herbes devraient être désherbées afin d'optimiser les retombées financières consécutives aux opérations intégrées de désherbage. L'accent est mis sur la modélisation du cycle biologique de mauvaise herbe entreprise depuis plusieurs années dans certains travaux de recherche.

7.5.7. Les méthodes de contrôle des mauvaises herbes.

a) Les Méthodes préventives.

- Choix d'une bonne rotation où les plantes nettoyantes et étouffantes alternent avec les céréales.

- Choix des semences pures et propres.
- La technique du faux semis qui consiste à préparer à l'avance le lit de semences et à détruire les levées des mauvaises herbes juste avant le semis, et sans travail profond du sol.
- Le chaulage des terres acides et le drainage des terres humides.
- La désinfection des sols par la chaleur en germoir et pépinières.
- Une bonne végétation de la culture permet à celle-ci de concurrencer efficacement les mauvaises herbes.
- Utilisation du fumier fabriqué à haute température.

b) La lutte culturale.

- **La préparation du sol** : les labours et les façons superficielles permettent d'obtenir un sol propre au moment du semis.

- **La fertilisation** : une bonne utilisation du fumier est indispensable pour maintenir un sol propre. Un fumier bien décomposé contient moins de graines vivantes. Une fumure minérale équilibrée, appropriée favorise la plante cultivée au détriment des mauvaises herbes.

- **Le désherbage manuel ou mécanique.** Les sarclages, les binages et les buttages permettent aussi de détruire les mauvaises herbes.

- **Le brûlis.** Cette technique est encore largement pratiquée notamment pour le défrichage ou la mise en culture des champs. Il est également utilisé pour régénérer les pâturages. Toutefois le brûlis offre beaucoup d'inconvénients :

- * Destruction non sélective de la végétation ;
- * Destruction partielle de la faune, modification profonde du biotope.
- * Destruction de la couche superficielle de la matière organique.

c) Les herbicides.

c.1. Introduction.

L'utilisation des herbicides est directement liée au coût de la main-d'œuvre : si ce dernier est très peu élevé, l'emploi des herbicides se justifie mal sur le plan économique, pour autant que le désherbage manuel soit techniquement possible.

On distingue les herbicides de **contact** et les herbicides systémiques. Les premiers, absorbés seulement par les feuilles, agissent

uniquement là où ils sont déposés. Les seconds pénètrent par les feuilles ou les racines et sont ensuite transportés par les sèves jusqu'aux sites où ils agissent. Le déplacement se produit par systémie montante ou systémie descendante ; il faut donc les utiliser à un stade physiologique déterminé selon le sens principal des migrations.

Les herbicides agissent selon 5 modes d'action principaux :

- en détruisant les membranes cellulaires : les herbicides de contact.
- En inhibant la **croissance** : les phytohormones de synthèse vis-à-vis des dicotylédones.
- En inhibant la photosynthèse (les triazines).
- En arrêtant la division cellulaire : les herbicides de germination.
- En bloquant différentes biosynthèses, ex. : Glyphosate.

c.2. Différents types d'utilisation des herbicides.

- **Les herbicides non sélectifs** sont employés comme **herbicides** totaux à des doses et à des époques qui permettent la destruction (avant semis , plantation ou même levée). Des doses ou techniques particulières permettent de les employer à titre sélectif.

- **Les herbicides dits sélectifs** sont actifs sur telle ou telle adventice à des stades divers d'application : leur efficacité dépend donc de leur mode d'application (date et dose). Utilisés avant ou après le semis de la culture et avant la levée des adventices, ce sont des herbicides employés en pré-levée. Utilisés après la levée des adventices : des doses non létales pour la culture, ce sont des herbicides employés en post-levée.

Pour raisonner le désherbage chimique il faut prendre en considération les facteurs suivants :

- La nature de la culture ;
- La flore adventice présente : nature, stade, densité, nocivité, etc.
- Le passé cultural. On peut présumer du salissement probable en connaissant les précédents culturaux et les techniques utilisées ;
- Les facteurs climatiques : température, pluviosité, vent. Ils conditionnent l'efficacité et les possibilités d'application ;
- Les caractéristiques du sol : teneur en colloïdes, pH, humidité, état structural de surface.

- Les herbicides disponibles. Il faut connaître leurs caractéristiques essentielles et leur efficacité à l'égard des différents adventices ou « **spectre d'activité** ».

c.3. Stratégies.

Il existe plusieurs stratégies d'application des herbicides. Selon l'époque d'application par rapport à la levée, on distingue des traitements de **pré-levée** et de **post-levée**.

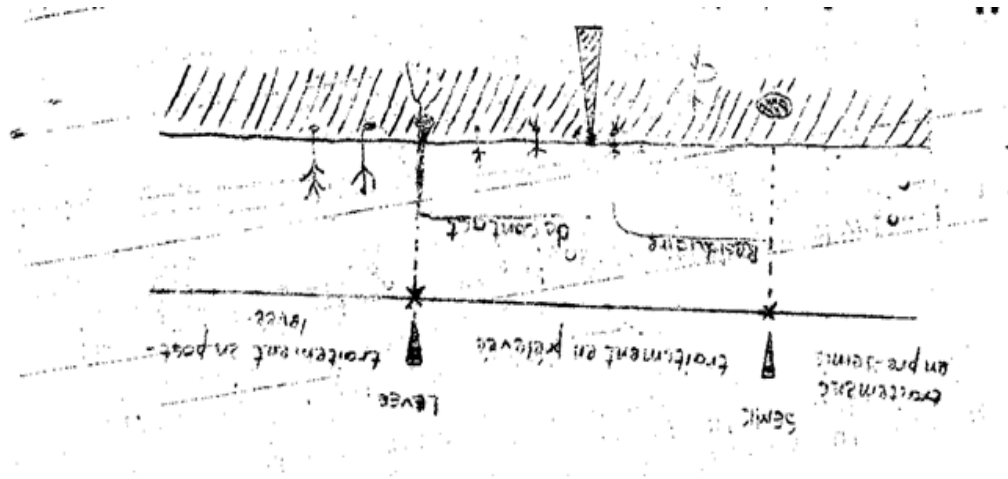


Fig. 23. Différents types d'utilisation des herbicides.

** Les traitements de **pré-levée** sont effectués avec des herbicides à action

radiculaire avant le semis, au moment du semis ou entre le semis et la levée de la culture. Il faut distinguer :

*Le traitement de pré-levée résiduaire. On traite sur le sol nu, avant l'apparition des plantules de mauvaises herbes : les produits pénètrent, en général, par les racines des graines adventices ;

* Le traitement de **pré-levée de contact** : on applique le désherbant lorsque les mauvaises herbes sont sorties alors que la plante cultivée n'est pas encore levée.

Les produits sont pulvérisés sur le sol et incorporés s'ils sont volatils. On peut aussi les apporter sous forme de microgranulés.

L'application de pré-levée présente les avantages suivants :

- Les résultats sont réguliers ;
- Le désherbage de parcelles à fort taux de salissement est possible ;
- En cas d'efficacité insuffisante une possibilité de rattrapage existe souvent.

Par contre, la méconnaissance de la nature des adventices et du degré d'infestation conduit à choisir un herbicide ayant un spectre d'activité très étendu et incite à utiliser la dose maximale homologuée pour obtenir la plus grande efficacité possible.

**** Les traitements en post-levée:** On traite après la levée des mauvaises herbes et de la plante cultivée. En post-levée il est plus facile d'adapter l'herbicide à l'intensité et à la nature de l'enherbement. Par contre les traitements sont plus difficiles à réaliser; la période de traitement est plus difficile à réaliser ; la période de traitement est assez courte car les adventices doivent être traitées au stade plantule où elles sont moins résistantes. L'application et la réussite du traitement sont toujours tributaires des conditions météorologiques. Des risques de phytotoxicité existent.

Les résultats d'un traitement n'étant visibles qu'après un certain délai, un traitement de rattrapage n'est envisageable que pour un traitement de pré-levée effectué très précocement.

c.4. Le mode d'action des herbicides.

Famille chimique	Absorption	Mobilité	Effets physiologiques et biochimiques	Symptômes
Traiazines	Racines (principalement)	Apoplasme	BLOCAGE DE LA PHOTOSYNTHESE	CHLOROSE DES FEUILLES
Urées	Racines (principalement)	Apoplasm		DESSECHEMENT RAPIDE DES ORGANES VERTS
Uraciles	Racines	Apoplasm		Brûlure et nécrose
Propanil (amide) Phenmedipham (carbamate) Chloridazone	Feuilles Feuilles Racines	Peu mobile Apoplasm		DEFORMATION DES EXTERMITES (épinastie) EPAISSEMENT DE LA TIGE A LA FORTE CONCENTRATION
Bipyridyles	Feuilles	Déplacement limité	Utilisent le transfert d'électron de la photosynthèse pour produire de l'Eau oxygénée qui détruit les tissus	
Phénols	Feuilles	Déplacement limité	PERMURBATION DE LA REGULATION DE	
Hydroxybenzonnitriles				
Dichlobénil	Racines			
Phénoxyalcanoïques	Feuilles		PERMURBATION DE LA CROISSANCE DU VEGETAL	
Acides benzoïques	Feuilles (principalement) ou racines			

Acides picoliniques	Feuilles			
Dinitroanilines	Racines (principalement)	Faible mobilité (variable selon les espèces)	INHIBITION DE LA DIVISION CELLULAIRE (méristèmes) : poisons mitotique	INHIBITION DES LA CROISSANCE DES RACINES : gonflement des racines INHIBITION DES JEUNES PLANTES Phénmediphame : chlorose.
Carbamates (+ carbétamide)	Racines ou feuilles (selon les produits)	Apoplasme		
Triarbamates	Jeunes poussés qui lèvent ou racines ou feuilles	Apoplasme ou symplasme	INHIBITION DE L'ÉLONGATION CELLULAIRE et de la synthèse des lipides (acides gras insaturés à longue chaîne)	INHIBITION LA CROISSANCE Aspect contourné des jeunes graminées. Formation de la cuticule inhibé
Amides : - Chloroacétamides - Propanil - Carbétamide - Chlortiamide - Les autres	Racines Feuilles Racines Racines	Apoplasme Voir dichlobénil symplasme	INHIBITION DE LA SYNTHÈSE PRO	ARRÊT DE LA CROISSANCE
Dérivés de l'acide propionique	Feuilles	symplasme	INHIBITION DE L'ÉLONGATION CELLULAIRE	ARRÊT DE LA CROISSANCE
Aminotriazole	Feuilles	Apoplasme et symplasme	Inhibition de la synthèse des carotènes	Plantes Albinos
Nitrofène	Feuilles et jeunes tiges	Très peu mobiles	Action liés à la présence de pigments	BRÛLURE DES PLANTES Parfois déformation des extrémités

Oxadiazon				
Glyphosate	Feuilles	symplasme	Bloque une réaction située au début de la voie de synthèse des phénols et des acides aminés aromatique	JAUNISSEMENT DES FEUILLES NECROSE DES PLANTES SOUTERRAINES.

7.6. LA PROTECTION DES CULTURES CONTRE LES PARASITES.

7.6.1. La connaissance des parasites.

Toutes les méthodes de lutte ont une base commune : la connaissance des facteurs de pullulation du parasite. Il faut en particulier connaître :

1° *Le cycle de développement du parasite.* C'est-à-dire les différentes phases du cycle (œufs ; larves ; nymphes et insectes parfaits pour les insectes ; spores et développement du mycélium pour les champignons) ; leur situation dans l'espace (dans le sol, sur la plante cultivée, sur un hôte intermédiaire...) et dans le temps (moment de l'apparition de telle ou telle phase).

2° *Les conditions de climat propices au développement :* chaleur et humidité relative élevée favorisant l'apparition de nombreuses maladies cryptogamiques.

3° *Les conditions de sol* qui influencent le parasite.

4° *L'influence des ennemis.* Ex. : Non respect de l'assolement et de la rotation des cultures.

5° *Les ennemis éventuels* du parasite qui permettront, dans certains cas, d'envisager des méthodes de lutte biologique.

6° *Les parasites* sont étroitement inféodés aux stades culturaux. Les troubles présentés par les plantes atteints se manifestent par des **signes extérieurs** : symptômes. Selon l'importance des dégâts, il en résulte une diminution des capacités de production (destruction des organes floraux) ou une disparition complète de la plante.

7.6.2. Principaux parasites et ravageurs.

Les plantes sont parasitées par des insectes des mollusques, des nématodes, des champignons, des bactéries et des virus.

1° *Les insectes phytophages* et les mollusques consomment les tissus végétaux. Les insectes suceurs affaiblissent le végétal et sont aussi vecteurs d'autres parasites comme les virus.

2° *Les nématodes* modifient l'organisation tissulaire des racines ou des tiges et perturbent leur fonctionnement.

3° *Les bactéries* provoquent des réactions diverses sur les plantes : pourriture, tumeurs, etc.

4° *Les champignons* sont responsables des maladies cryptogamiques. Leur action débute par une contamination invisible à partir d'un inoculum, après un temps d'incubation, variable de quelques jours à quelques mois, des symptômes pathologiques apparaissent.

5° Les virus sont des agents infectieux. Ils causent de nombreuses maladies en général incurables. Les principaux vecteurs sont les pucerons.

Comme pour les adventices, différentes nocivités (primaires, secondaires directes ou indirectes) et seuil de nocivités peuvent être considérés. Par définition, un seuil est le niveau d'un facteur variable dont le franchissement détermine une brusque variation dans une série.

En fonction de leur finalité on distingue 3 types de seuils :

* **Le seuil de nuisibilité biologique** se traduit par un effet dépressif du ravageur sur la plante cultivée.

* **Le seuil de tolérance biologique** correspond au niveau de population au-dessus duquel le coût des dégâts causés par le ravageur est supérieur à celui des traitements phytosanitaires. Seuil de tolérance économique d'après Chiang (1979).

La valeur absolue du seuil varie pour une culture et un ravageur donné en fonction des paramètres agronomiques (Etat sanitaire, vigueur de la plante) ou économiques (prix de la denrée, coût des traitements phytosanitaires...).

* **Le seuil d'intervention indicatif** ; beaucoup plus élevé que le précédent, a pour objectif, sur le plan d'application pratique, de définir dans quelles conditions il est indispensable d'agir. Il indique au praticien l'attitude à adopter en fonction :

- d'un seuil de nuisibilité établi suivant un niveau national ;
- du stade phénologique de la plante qui est le plus sensible aux attaques de ce ravageurs ;
- des limites précoces et tardives de traitements pour la région concernée ;
- d'une évaluation des facteurs antagonistes des ravageurs (niveaux des populations locales des prédateurs, parasites et pathogènes de l'espèce).

En fonction de la valeur de ce seuil, l'intervention sera impérative ou conditionnelle ; immédiate ou tardive.

7. 6.3. Les méthodes de lutte.

a) La lutte indirecte et préventive.

Elle vise à placer la plante cultivée dans des conditions qui défavorisent le développement des parasites, soit en agissant sur la plante elle-même, soit en modifiant le milieu.

Ex : - La création des variétés résistantes,

- Les modifications de la date des semis ;
- La densité des semis ;
- La rotation des cultures ;
- L'introduction de plantes pièges ou androgènes ;
- La manipulation de l'environnement des plantes cultivées ;

- La protection des denrées stockées.

b) La lutte physique.

La chaleur est un moyen de destruction important : la vapeur est utilisée pour désinfecter les terreaux. **La thermothérapie** est un moyen long et difficile mais efficace contre les maladies.

La destruction des hôtes permet d'interrompre le cycle de certains parasites.

Divers procédés permettent d'effaroucher certains ravageurs : épouvantails, détonateurs à acétylène, etc.

Les pièges permettent de capturer de nombreux insectes :

Ex. : Pièges gommeux, pièges alimentaires, **lis phermones**.

c) La lutte biologique

Les parasites des cultures sont eux-mêmes attaqués par leurs ennemis (insectivores, oiseaux, insectes prédateurs, bactéries, virus,...). La lutte biologique consiste à favoriser le développement des ennemis des parasites afin de limiter les pullulations de ce dernier.

Il convient donc de respecter et de valoriser les auxiliaires, des cultures. Ex. : Prédateurs et parasites d'insectes, les virus d'insectes, les bactéries entomopathogènes, les champignons entomopathogènes, etc.

Dans la lutte chimique, il faut éviter les produits qui détruisent de très nombreux insectes, y compris les prédateurs et utiliser de préférence les produits à action spécifique visant un ennemi précis. Les traitements précoces sont souvent effectués avant l'apparition des prédateurs qui sont ainsi en partie protégés.

Cependant, dans tous les cas, les différentes méthodes de protection des cultures doivent s'appuyer sur la biologie de la plante et de ses ennemis.

d) La lutte chimique

La lutte chimique est de plus en plus utilisée grâce à la rapidité d'exécution des traitements et aux effets souvent spectaculaires.

Mais commodité d'emploi de risque de conduire à des abus et si la lutte chimique rend de nombreux services, elle ne peut venir qu'en complément des autres méthodes de lutte qui sont souvent plus

économiques et qui en augmentent l'efficacité.

La lutte chimique met en œuvre des produits complexes chaque année plus nombreux; certains sont très dangereux, pour l'agriculteur qui les utilise et pour le consommateur qui se nourrit des produits traités; lorsque toutes les règles d'utilisation n'ont pas été respectées scrupuleusement. Comme pour le désherbage chimique des cultures, la lutte chimique nécessite une information permanente de l'agriculteur.

Les divers produits antiparasitaires ou **pesticides** comprennent essentiellement: les fongicides, les insecticides, les acaricides, les nématicides, les rodenticides et les attractifs.

*e) La lutte intégrée. **

Pour limiter le développement des ennemis de cultures, il est souhaitable de combiner l'ensemble des moyens de protection et de lutte : méthodes culturales, lutte biologique et procédés techniques (mesures mécaniques, physiques et chimiques). C'est ainsi qu'est née la notion de **lutte intégrée**.

La lutte intégrée est définie comme "un procédé de lutte contre les organismes nuisibles qui utilise un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois économique écologique et toxicologique; en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance". Elle permet de réduire les interventions chimiques dans des proportions pouvant dépasser 50%.

L'ensemble des moyens de lutte doit permettre de maintenir les populations d'ennemis au-dessous d'un seuil qui ne nuit pas sensiblement à la culture.

Tableau 24. Schéma d'évolution des méthodes de protection des cultures. (Riba et Al. 1989).

1 LUTTE CHIMIQUE AVEUGLE	AUX EXIGENCES		
statique			

<p>réfléchi des pesticides à large spectre d'action en relation avec un service d'avertissement</p> <p>statique améliorée</p>			
<p>statique améliorée</p>			
<p>* intégration des moyens de lutte biologique ou biotechnique * Limitation maximale de la lutte chimique</p> <p>dynamique limitée</p>	-	-	
<p>* souci d'un dévelpt physiologique équilibré de la plante, application « de techniques intégrés »</p>			

<p>formure équilibrée * Respect, intégration et valorisation de tous les facteurs positifs de l'agro système</p> <p>é industrie consommateur Phase dynamique globale</p>			
--	--	--	--

8. PRODUCTION ET RENDEMENT

8.1. LA PRODUCTION POTENTIELLE DE BIOMASSE.

La F.A.O. a publié une méthodologie pour estimer la production nette de biomasse végétale et en déduire le rendement optimal dans des conditions climatiques données (FAO, 1979). Il s'agit donc des rendements de cultures sans contraintes d'ordre pédologique, phytopathologiques et autre, exprimées en kg de matière sèche par ha.

Afin de calculer la production nette de biomasse, il est nécessaire de procéder à :

a) **Une subdivision des espèces végétales** d'après leurs caractéristiques photosynthétiques : ainsi les espèces ayant une potentialité semblable de production sont regroupées.

Tableau 25. Regroupement de certaines espèces végétales selon leurs caractéristiques photosynthétiques (FAO, 1979).

Groupe	Caractéristique de la photosynthèse	cultures
I	<ul style="list-style-type: none"> - Circuit photosynthétique : C₃ T° optimale : 15 -20°C Intervalle effectif : 5-30°C. - Intensité de rayonnement, photosynthèse maximale : 0,2 -0,6 cal cm⁻²min⁻¹ - taux maximum d'échange de CO₂ à saturation lumineuse : 20-30 mg dm⁻²h⁻¹. - Taux maximum de croissance : 20-30 gm⁻²jour⁻¹ - Efficacité de l'utilisation de l'eau : 400-800g/g 	<p>Pomme de terre, haricot, tournesol, blé, théier café arabica.</p>
II	<ul style="list-style-type: none"> - Circuit photosynthétique : C₃ - Réaction de la température à la photosynthèse : t° optimale : 25-30°C intervalle effectif : 10-35°C - Intensité de rayonnement, photosynthèse maximale : 0,3-0,8 cal cm⁶²min⁻¹. - Taux maximum d'échange de CO₂ à saturation lumineuse : 40-50mg dm⁻²h⁻¹. - Taux maximum de croissance : 30-40 gm⁻²j⁻¹ - Efficacité de l'utilisation de l'eau : 300-700g/g. 	<p>Arachide, soja, Tabac, Tomate, Riz, Manioc ; Café robusta ; Igname, Bananier, Palmier à huile.</p>
III	<ul style="list-style-type: none"> Circuit photosynthétique : C₄. - Réaction de la t° à la photosynthèse : t° optimale : 30-35°C Intervalle effectif : 15-45°C - Intensité de rayonnement, photosynthèse maximale : 1,0-1,4 cal cm⁻²min⁻¹ 	<p>Canne à sucre ; Sorgho, Maïs, Mil.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> - Taux maximum d'échange de CO₂ à saturation lumineuse : 70 à 100 mg dm⁻² h⁻¹ - Taux maximum de croissance : 30-60 g m⁻² j⁻¹. - Efficacité de l'utilisation de l'eau : 150-300 g/g 	
IV	<ul style="list-style-type: none"> - Circuit photosynthétique : C₄ - Réaction de la T° à la photosynthèse : T° optimale : 30-35°C Intervalle effectif : 15-45°C - Intensité de rayonnement, photosynthèse maximale : 1,0 -1,4 cal cm⁻² min⁻¹ - Taux maximum d'échange de CO₂ à saturation lumineuse : 70-100 mg dm⁻² h⁻¹ - Taux maximum de croissance: 30-60 gm⁻²/j - Efficacité de l'utilisation de l'eau : 150-300 g/g. 	<p>Canne à sucre Sorgho, Maïs, Mil.</p>
V	<ul style="list-style-type: none"> - Circuit photosynthétique : C₄ - Réaction de la température à la photosynthèse : t° optimale : 20-30°C. - Intensité de rayonnement, photosynthèse maximale : 1,0 -1,4 cal cm⁻² min⁻¹. - Taux maximum d'échange de CO₂ à saturation lumineuse : 70-100 mg dm⁻² h⁻¹ - Taux maximum de croissance : 40-60 g m⁻² j⁻¹ - Efficacité de l'utilisation de l'eau : 150-350 g/g. 	<p>Mil, Sorgho, maïs</p>
VI	<ul style="list-style-type: none"> - Circuit photosynthétique C.A.M. - Réaction de la t° à la photosynthèse ; t° : 25-35°C intervalle effectif : 10-45°C. 	<p>Ex. sisal ananas</p>

<ul style="list-style-type: none"> - Intensité de rayonnement, photosynthèse maximale : 0,6- 1,4 cal cm⁻²min⁻¹. - Taux maximum d'échange de CO₂ à saturation lumineuse : 20-50 mg dm⁻²h⁻¹ - Taux maximum de croissance : 20-30 gm⁻²j⁻¹. - Efficacité de l'utilisation de l'eau : 50-200g/g. 	
--	--

b) Un inventaire des différents climats basé sur la température et la période de croissance.

Pour la RDC, les climats majeurs sont :

	T° max. pendant la période de croissance
<ul style="list-style-type: none"> • Les tropiques chauds • Les tropiques moyennement frais • Les tropiques frais 	<p>Plus de 20°c</p> <p>15-20°c</p> <p>5-15°c</p>

Une grande partie de la RDC appartient au climat chaud et moyennement frais. Une division ultérieure est ensuite superposée sur ces deux climats, et est basée sur la période continue entre le moment où les précipitations dépassent le ½ ETP (calculée selon penman) et le moment où elles tombent en dessous d'ETP/2, période à laquelle on peut ajouter le nombre de jours nécessaires pour évoquer une réserve hypothétique d'humidité dans le sol de 100mm.

c) Une comparaison des exigences climatiques des cultures et l'inventaire climatiques ; dans le cas où la culture considérée est possible.

On procède au calcul de son rendement dans ces conditions, exempt de toutes contraintes. Ceci est réalisé par le calcul de la production nette de biomasse (Bn) pour la culture et la période considérée. Cette production nette est transformée en rendement économique (By) par l'application de l'indice de récolte (Hi). Ce dernier fait référence à la fraction de la biomasse

nette récoltée : $B_y = B_n * H_i$

Le rendement ainsi obtenue constitue la production optimale sans contraintes en matière sèche. La procédure est seulement valable pour des variétés bien adaptées sans facteurs limitant.

8.2. LA MESURE DES RENDEMENTS DES PRODUCTIONS VEGETALES.

L'efficacité ou l'inefficacité des pratiques agricoles apprises dans ce cours se mesure aux résultats obtenus par rapport aux objectifs que l'on s'est fixé : consommation familiale, revenu monétaire, protection et amélioration de la terre, etc.

Il s'agit de porter un jugement sur les rendements physiques des productions. C'est-à-dire sur les rapports entre les quantités produites et les quantités de facteurs respectivement consommées. **La mesure du rendement** physique exige donc deux séries de mesures : l'évaluation des quantités produites et l'appréciation des quantités des facteurs consommées. La mesure d'un rendement physique est donc le calcul d'une **productivité brute** d'un facteur de production.

Etant donnée la complexité d'un tel travail, il est préférable de calculer plutôt la **productivité de la terre** et du travail.

Il est théoriquement possible de définir, compte tenu de la nature et de la qualité des facteurs de production disponibles dans un milieu donné, la quantité optimale d'une production à atteindre. L'économiste peut utiliser la fonction de production établie par les techniciens et déterminer en fonction des prix de niveau d'emploi d'un facteur donné et la quantité de produit à obtenir : il définit donc un **rendement optimal** de ce facteur pour la production considérée.

S'il ne dispose pas à proprement parler de fonctions de production ou, si les essais techniques réalisés ne sont pas assez significatifs pour permettre de fixer scientifiquement la valeur du rendement optimal, l'économiste peut chercher à utiliser les valeurs des **meilleurs rendements** obtenus par les agriculteurs employant des techniques qui se sont avérées profitables dans la région considérée. Ces valeurs joueront alors le rôle de **normes-clés** permettant de juger des possibilités de chacune des

productions dans le milieu considéré et pour un groupe déterminé d'exploitations.

La comparaison des rendements obtenus par un agriculteur, compte tenu de la qualité des facteurs utilisés, avec les normes-clés ainsi définies permet de juger, dans une certaine mesure, **la technicité de l'agriculteur.**

L'intervention de la notion de temps vient encore compliquer le problème : en effet la plupart des rendements sont exprimés pour une durée déterminée qui peut ne pas correspondre exactement à un cycle complet de production. Aussi, un arrachage précoce des ignames laisse la possibilité, sur une même parcelle de terre d'une seconde récolte que permettrait un arrachage tardif donnant cependant une quantité plus grande de tubercules.

D'autre part, l'aspect qualitatif du produit ou du facteur de production vient encore compliquer l'interprétation des mesures : ainsi le calibre moyen des tubercules de pomme de terre a de l'importance. Si nous introduisons les phénomènes de fluctuation des prix au cours de la campagne, nous comprenons pourquoi la production de quantités moyennes pendant la période où la demande est avantageuse est peut être préférable à une production très grande au moment où il y a excès de l'offre.

On parle de **rendement de la terre** lorsqu'on veut exprimer la quantité de produits agricoles qu'on obtient durant une saison de culture sur une surface de terre **d'un are** ou d'un **hectare**. On mesure donc la surface cultivée et on pèse la production obtenue sur cette surface. Puis on divise le second chiffre par le premier.

Ex. On a récolté 120 kg d'amarantes sur 25 ares, le rendement de la terre :
 $120 \text{ kg} : 25 \text{ ares} = 4,8 \text{ kg/are.}$

On peut aussi calculer le **rendement de travail** ; pour cela, on remplace l'unité de surface par la journée de travail.

Ex. : $120 \text{ kg} : 15 \text{ jours de travail} = 8 \text{ kg/j.}$

Le mot productivité a une signification comparable au mot rendement, mais le chiffre indiquant la quantité de produit est remplacé par un chiffre exprimant la valeur de ce produit.

Ex. : Si 1 kg d'amarantes vaut 0,5 \$, la valeur de 120kg est de 60 \$: 25

ares=2,4\$/are

La productivité du travail 60\$: 15 j= 4\$/jour de travail.

Ce calcul de la productivité peut être fait même lorsqu'on ne vend pas les produits. Dans ce cas, on calcule la valeur de la production en prenant le prix qu'on aurait obtenu si on l'avait vendue.

Par ailleurs, il faut savoir que la productivité ci-dessus s'appelle **productivité**, parce qu'elle ne considère que le prix de vente du produit sans tenir compte des dépenses occasionnées pour produire.

Pour avoir une idée plus précise de l'argent réellement disponible pour le cultivateur au bout de son effort, il faut calculer la **productivité nette**. La productivité nette est celle que l'on calcule après avoir déduit les dépenses de cultures.

Enfin la **productivité nette du travail** exprime la somme réelle que le cultivateur touche pour son labeur. C'est en quelque sorte le salaire journalier qu'il perçoit pour les activités réalisées après avoir décompté tous les frais de sa production.

8. 3. L'ELABORATION DU RENDEMENT.

a) Le champ cultivé comme le lieu où s'élabore le rendement.

Le champ, terme général, désigne la parcelle de culture. C'est-à-dire une portion continue de territoire qui porte la même culture, ou a une même succession d'interventions.

L'agronome dispose de modèles d'élaboration du rendement qui mettent en relation des caractéristiques du climat, du sol, des plantes et des techniques. Ils font référence à des modèles physiologiques de croissance et du développement des végétaux, ainsi qu'à des modèles du comportement physicochimique et hydrodynamique des sols. Le champ cultivé est aussi un cadre de pratiques agricoles. En fait dès lors que l'agronome étudie les techniques au « champ », c'est-à-dire dans des conditions singulières d'un champ et qu'il observe de mettre en œuvre une technique qui est particulière à l'agriculteur concerné, c'est de pratiques qu'il s'agit. Les pratiques des agriculteurs posent à l'agronome deux questions : celle de l'évaluation de

leurs effets sur le milieu et sur le processus d'élaboration de la production ; celle de la compréhension des conditions et des déterminants de leur choix et de leur mise en œuvre.

b) L'élaboration du rendement.

D'une manière simplifiée ; la production d'un peuplement cultivé se résume à l'interception, la transformation et le stockage d'éléments nutritifs et d'énergie fournis par le milieu environnant. Elle peut être schématisée par cette figure.

Fig. 25. Processus de production.

Durant la première partie du cycle de végétation les assimilats sont consacrés à l'installation des feuilles et des racines ; un **potentiel d'assimilation** se constitue : surface foliaire et système racinaire.

Ensuite en même temps que ce potentiel se développe, des organes faiblement ou non assimilateurs apparaissent. La croissance est définitivement fixée à la floraison pour les espèces comme les céréales. Pour d'autres comme les légumineuses, elle peut se poursuivre ou reprendre après. Pour les premières espèces, la seconde partie du cycle de végétation correspond à une accumulation dont l'ampleur dépend largement du potentiel d'assimilation créé durant la première partie.

Les processus de production présentent des exigences de deux natures. D'une part des exigences absolues qui conditionnent la réalisation des stades du développement (la température et la vernalisation ; le

photopériodisme et la mise à fleurs, etc.) et d'autre part des besoins indispensables à la croissance végétale (énergie, éléments nutritifs, eau, etc.). On établit alors une distinction entre facteurs et conditions de production ou de croissance.

Le carbone, les éléments minéraux, l'énergie lumineuse sont 'des facteurs de croissance » : ils entrent dans la constitution des plantes. Les caractéristiques du milieu permettent l'assimilation des facteurs de croissance et l'orientation des phénomènes biologiques constituent des « **conditions de croissance** ». La température, l'enracinement, la structure du sol, etc. sont des conditions de croissance.

Les modalités d'action des facteurs et conditions de croissance sont différentes. Le rendement augmente progressivement avec l'accroissement d'un facteur. Par contre, les conditions de croissance agissent comme **des seuils**. Lorsqu'un facteur de croissance est présent en quantité limitée, il réduit l'action des autres (loi du minimum).

Fig. 26. Modèles d'élaboration du rendement.

I.

II.

Conduite du
Précédent

Rendement

Type de sol.

Histoire de la parcelle

c) Les composantes du rendement.

Entre les constituants d'un peuplement cultivé, une concurrence s'exerce vis-à-vis des différents facteurs de croissance, notamment à l'égard de la lumière, de l'eau, de l'énergie et des éléments nutritifs. Le niveau optimum des facteurs de croissance n'est pas le même selon que l'on considère l'ensemble du peuplement cultivé ou chacune des plantes qui le composent. Une plante prise isolément pourrait par exemple recevoir un apport d'N plus élevé que celui qui revient au sein du peuplement : appliqué sans discernement, il en résulterait une compétition plus vive vis-à-vis de la lumière à certains stades.

Les conditions et les facteurs de production à réunir pour atteindre la production maximale du peuplement ne correspondent donc pas à la somme de ceux des plantes prises isolément. Le peuplement forme un ensemble et la pratique agricole consiste justement à optimiser chaque condition de manière raisonnable sans créer de concurrence excessive. Pour raisonner les interventions on se base sur 3 principes que nous allons examiner successivement.

1^{er} principe : Le rendement est le produit de plusieurs composantes

Il s'agit du rendement agricole : quantité d'organes ou de matière utile prélevée à la récolte/unité de surface. Voici la décomposition du rendement pour quelques types de plantes.

° Céréale :

Rendement= nombre de pieds/Ha x nombre d'épis/pied x nombre de graine/épis x poids d'un grain.

°Tubercule :

Rendement= nombre de pieds/Ha x nombre de tubercules/pied x poids d'un tubercule.

° Canne à sucre :

Rendement= nombre de tiges usinables/Ha x poids moyen d'une tige
x teneur en sucre.

Toutes les composantes du rendement agissent en interaction. La recherche de la valeur optimale de l'une d'entre elles ne peut être considérée isolément. L'analyse des facteurs et des conditions permet de mettre en évidence les interventions possibles, d'en examiner les conséquences et d'hiérarchiser les actions les plus déterminants.

2^{ème} principe :

Chaque composante est sous la dépendance de facteurs et des conditions du milieu qui lui sont spécifiques et du niveau des composantes élaborées précédemment.

3^{ème} principe :

Les facteurs et les conditions du milieu sont tout ou partie déterminé par les techniques.

Le schéma d'élaboration du rendement résulte de la synthèse de ces trois principes. Sa puissance réside dans la mise en correspondance possible d'une composante du rendement et des techniques culturales qui la conditionnent spécifiquement selon la chaîne logique suivante :

Décomposition du rendement (I)

Facteur et condition du milieu (II)

Techniques culturales (III).

Fig. 27. Schéma d'élaboration de canne à sucre.

Technique Technique Technique

Les composantes du rendement s'élaborent en cours du temps : c'est la succession des états du milieu à des périodes spécifiques qui détermine ces différentes composantes. Les états du milieu sont sous la dépendance des techniques culturales et du climat.

9. LA GESTION DE L'ESPACE AGRICOLE

9.1. ASSOLEMENTS-ROTATION.

L'assolement est la répartition de la surface de l'exploitation entre les cultures ayant les mêmes caractéristiques techniques. Chaque ensemble constitue une « **sole** ». Dans un sens plus courant, l'assolement désigne la distribution des surfaces entre les différentes cultures. Les cultures en place pour plusieurs années (cultures pérennes) sont dessolées (hors assolement).

La rotation culturale se définit comme la suite des cultures qui se succèdent sur une parcelle dans un ordre donné, se reproduisant de manière semblable au cours du temps. Lorsque cette condition n'est pas respectée, on utilise de préférence le terme **succession culturale**.

Chaque plante requiert du sol des qualités quelque peu différentes, quant au pH, à l'eau, aux substances nutritives, bref à tout ce qui constitue les conditions de croissance. Ainsi, dans une rotation les plantes doivent se succéder en raison de leurs propriétés contraires :

- plantes consommant de l'N et plantes accumulant de l'N ;
- plantes consommant de l'Humus et plantes produisant de l'humus ;
- plantes laissant un sol plus compact et plantes ameublissant le sol ;
- plantes à racines superficielles et plantes à racines profondes.

9.1.1. L'assolement

De nombreux facteurs interviennent lors de l'établissement de l'assolement, les principaux sont regroupés dans cette figure.

Fig. 28. Les facteurs du choix de l'assolement.

Les facteurs agroclimatiques et économiques sont fondamentaux, leur prépondérance varie suivant le type de milieu. Les facteurs relatifs à l'exploitant sont qualifiés limitant sans être exclusifs. En pratiquant l'assolement les agriculteurs recherchent la **sécurité** et la **régularité** de leur revenu.

9.1.2. La rotation culturale.

Les deux préoccupations d'un agriculteur sont d'obtenir la production maximale immédiate et de restaurer la fertilité de la terre appauvrie. La solution la plus couramment retenue pour atteindre ces buts consiste à faire alterner les cultures en pratiquant une rotation culturale

a) L'alternance des cultures.

Toutes techniques semblables, le rendement d'une culture diffère selon la nature de celle qui la précède. On observe un effet

« **précédent** ». Il est défavorable lorsqu'elle est de même nature. La fréquence de retour possible varie selon les cultures. **Sebillotte** propose d'opérer une distinction entre un effet précédent véritable et un effet suivant. L'effet précédent correspond, selon cet auteur, à la variation de l'état du milieu (caractères physiques, chimiques et biologiques) entre le début et la fin de la culture précédente) du fait de sa présence et des techniques culturales appliquées. L'effet suivant traduit, quant à lui, la création de la culture suivante et des techniques à l'état du milieu lors de son installation.

Les effets d'un précédent cultural se manifestent parfois durant plusieurs cultures. La supériorité des rendements constatés pour les cultures en alternance par rapport à la monoculture s'explique en partie par ces effets.

b) Les effets de l'assolement-rotation.

On peut distinguer des effets directs et des effets indirects. Les effets directs sont dus à la présence d'espèces végétales différentes :

- exigences nutritives ;
- restitutions ;
- système racinaire, etc.

Les effets indirects résultent des techniques différentes qui leur sont appliquées :

- travail du sol ;
- fertilisation ;
- désherbage, etc.

Les effets affectent le sol et le milieu biologique.

- Effets sur le sol : Ils concernent l'état structural, organique, nutritif, etc. et en entraînent le maintien, l'amélioration ou la dégradation.
- Effets sur l'environnement biologique : La répétition et l'extension d'une culture dans une région favorisent le développement du parasitisme. La pratique d'une culture de coupure limite la propagation si celle-ci ne constitue pas un hôte du parasite. L'effet de l'absence ou de la signification des rotations sur le développement des adventices est assez comparable à celui évoqué à propos des parasites.

9. 1.3. L'élaboration et la conduite de l'assolement-rotation.

a) Problématique.

L'agronome et l'agriculteur se posent deux grandes questions :

- Comment au niveau de l'exploitation combiner au mieux, en fonction de toutes les contraintes existantes, la production des différentes parcelles ?
- Comment sur une parcelle utiliser au mieux les relations **climat-sol-plante** pour obtenir la production maximale ?

Réponse à ces deux questions conduit à envisager la manière d'installer un système de production (établir un assolement et une rotation) et de conduire les cultures installées. L'agriculteur est alors amené à prendre deux types de décisions : **décisions stratégiques et décisions tactiques**. Les décisions stratégiques engagent l'exploitation à long terme : assolement, rotation, type d'équipement, type d'organisation du travail, etc. Les décisions tactiques concernent les interventions culturales à court terme.

b) Installation d'un système d'assolement-rotation.

L'élaboration est précédée d'un inventaire des cultures possibles et des contraintes auxquelles l'exploitation est soumise. L'exploitant choisit parmi elles, les cultures qu'il souhaite pratiquer, attribue une superficie à chacune et essaie de retenir le meilleur ordre de succession.

1° Les données nécessaires :

- des informations sur les parcelles : superficie, forme, distance à l'exploitation. Ces éléments figurent sur un plan parcellaire sommaire;
- des informations agronomiques portant sur le passé cultural : nature des cultures, techniques utilisées, fumures pratiquées, rendements obtenus, résultats d'analyse. Ces renseignements figurent dans des fiches parcellaires.
- des références techniques et économiques locales pour les cultures pratiquées dans la région.

A partir des éléments précédents une démarche comportant trois étapes principales est possible :

- déterminer la surface à assoler ;
- affecter une proportion aux différentes cultures ;

- fixer l'ordre de succession.

2° Détermination de la surface à assoler.

Dans un système de production de polyculture-élevage, **Duthil** propose d'opérer de la manière suivante : pour maintenir le système d'élevage il faut assurer en priorité la satisfaction des besoins fourragers. On les évalue et les compare aux disponibilités attendues des prairies permanentes. La superficie à consacrer aux cultures fourragères pour assurer le complément nécessaire s'en déduit. La superficie restante, après ce calcul, est à assoler.

La démarche est logique mais un peu théorique. Dans la pratique, la production présente des fluctuations, on est conduit à surestimer légèrement les surfaces fourragères de complément ou à retenir des cultures à plusieurs finalités possibles comme le maïs. En dernier recours des achats d'aliments sont également possibles. La solution retenue comporte un certain risque inhérent à toute prévision.

D'une manière générale on doit tenir compte des paramètres suivants :

- les cultures pérennes ou permanentes (a)
- prairies permanentes (b)
- cultures annuelles (c)

Superficie à assoler = $st - (a+b)$

St= superficie totale.

3° L'affectation des surfaces.

Le problème est à considérer dans deux situations suivantes :

- établissement d'un assolement sur des bases entièrement nouvelles ;
- ajustement d'un assolement existant.

****Méthode de la tête de rotation.**

On dresse la liste des cultures choisies en les classant par ordre décroissant de **marge brute** (on admet la proportionnalité avec le revenu net). On affecte à la première culture de la liste une superficie compatible avec le maximum de répétition possible. La même procédure est répétée pour la culture figurant en deuxième position et ainsi de suite jusqu'à occupation

complète de la surface disponible.

Une première ébauche de l'assolement étant obtenue, il faut prendre en compte les **contraintes pratiques** (superficie des parcelles, contraintes spécifiques), s'assurer que les facteurs de production disponibles, main-d'œuvre et matériel en particulier, sont suffisant pour satisfaire les besoins et exécuter les travaux en tenant compte des jours disponibles en main-d'œuvre.

En résumé la méthode comporte :

- une répartition théorique des surfaces : la fréquence de retour possible d'une culture déterminant la proportion occupée ;
- la prise en compte de diverses contraintes pratiques et la recherche de la cohérence du système ;
- la vérification de la compatibilité entre les moyens et les besoins de production.

Certains auteurs préconisent d'opérer différemment. Les deux facteurs fondamentaux du choix des cultures possibles sont en effet : les facteurs agro climatiques et les facteurs économiques. Lorsque les premiers exercent des contraintes importantes, il est plus logique de les considérer d'abord. Dans ce cas on procède au choix en recherchant le meilleur précédent plutôt que la meilleure marge brute.

****Méthode par ajustement économique**

Cordonnier a proposé une autre méthode qui s'applique à un assolement déjà existant. Disposant de références économiques locales on augmente progressivement la superficie consacrée à la culture la plus rémunératrice ou on l'introduit si elle ne figure pas dans l'assolement. La progressivité de la méthode est bien adaptée au caractère des systèmes de production agricole. Elle a la faveur des agriculteurs : les modifications sont introduites très progressivement et les conséquences apparaissent de la même manière. Les exploitants disposent de plus de temps pour trouver les solutions adoptés.

Comme dans la méthode précédente, il faut vérifier la concordance entre les besoins et les moyens de production disponibles. La

méthode est très fonctionnelle dans les systèmes de grande culture.

4° La fixation de la succession culturale.

L'ordre de succession des cultures est établi ensuite en faisant en sorte que chaque culture bénéficie du meilleur effet d'alternance. On peut le déterminer à partir d'enquêtes. Lorsque les cultures sont nombreuses, il est difficile qu'il en soit ainsi pour toutes. La priorité est accordée aux successions où l'effet est le plus fortement marqué. Toutes les restrictions et impossibilités spécifiques à l'exploitation sont naturellement à prendre en compte.

9.2. L'ASSOCIATION AGRICULTURE-ELEVAGE.

Le modèle de l'association agriculture-élevage repose sur l'intensification conjointe de l'agriculture et de l'élevage au sein de l'exploitation agricole. Il repose sur trois piliers, l'utilisation de **la traction animale**, l'introduction d'une **sole fourragère** dans la rotation culturale et la valorisation de la **fumure animale**.

a) Au niveau agronomique, l'intensification attendue passe par :

- La modification d'itinéraire technique, amélioration qualitative du travail du sol, et augmentation éventuelle du nombre des opérations culturales, autorisée par la réduction des temps de travaux due à la mécanisation ;
- Une meilleure gestion de la fertilité due à l'introduction d'une sole fourragère (légumineuse) et à des restrictions organiques améliorées en quantité grâce à la fabrication du fumier ;
- L'abandon de la jachère et le passage à la culture continue, la maîtrise des adventices étant assurée par l'effet nettoyant de la sole fourragère. L'association agriculture-élevage doit en effet permettre de transformer l'agriculture extensive et itinérante en agriculture intensive et fixée, grâce à l'apport de fumier animal et au remplacement des jachères longues, improductives et génératrices de mauvaises herbes par des soles à pâturage artificiel.

b) Au niveau zootechnique, l'adoption de la stabulation (permanente ou saisonnière) pour les animaux de trait constitue le moteur de l'intensification. Elle va de pair avec :

- L'intensification des systèmes fourragers : affouragement à l'auge,

constitution de stocks de report à base de foin ou **d'ensilage** et introduction des cultures fourragères ;

- L'amélioration du poids et de la qualité des carcasses des animaux, débouchent en fin de carrière sur une valorisation bouchère suffisante pour assurer la reproduction du système, voire pour dégager un revenu complémentaire ;

- L'édification d'étables fumières.

Que penser de ce modèle technique, souvent présenté comme un modèle de développement ? Un premier élément de réponse peut être tiré du fait qu'il n'a guère fait la preuve de son caractère opératoire. Mais au-delà de ce constat, divers arguments théoriques poussent aujourd'hui à remettre en cause et le raisonnement technique et les hypothèses sur lesquelles il s'appuie, cela autour de 4 idées :

1° Le modèle proposé ne permet pas de rendre compte et d'interpréter les évolutions en cours.

2° *Les choix opérés conduisent* à privilégier systématiquement et survaloriser les complémentarités techniques entre Agriculture et Elevage et, à l'inverse, à négliger complètement **les relations de concurrence** ou de complémentarité qui dominant le plus souvent dans la pratique.

3° L'image de l'exploitation agricole qui est implicitement retenue ne correspond pas à la **réalité dans la majorité** des situations d'Afrique intertropicale.

4° Il n'est pas pertinent de se limiter, pour penser les relations agriculture élevage, à l'échelle des **unités familiales** de production.

c) Faiblesses du modèle technique.

1° *Traction animale.*

L'adoption de la traction animale a souvent fourni l'occasion et le moyen d'une extensification des pratiques culturales et d'une extension rapide des surfaces cultivées. On constate souvent en revanche que l'intensification progressive de la conduite des animaux de trait et des systèmes fourragers est bien réelle.

Le point de vue adopté, exclusivement agronomique, conduit par ailleurs à réduire l'utilisation de la traction animale à la culture attelée, et

donc à négliger la contribution des animaux de trait aux **transports**, fonction pourtant essentielle pour l'activité agricole elle-même comme pour la vie de relation des paysans concernés.

Le point de vue zootechnique, très orienté vers la production finale de viande, conduit de même à « oublier » la traction équine et asine, en dépit des multiples intérêts de ces espèces : docilité, rapidité, aptitude à valoriser les fourrages pauvres en particulier. Ces qualités justifient l'attachement que leur manifestent les paysans, dans les zones qui leur sont favorables : L'indifférence persistante manifestée par les responsables de la recherche et du développement vis-à-vis des équidés paraît à cet égard totalement injustifiée.

2° Plantes fourragères.

En dépit d'efforts importants, le modèle d'intégration d'une sole fourragère aux systèmes de culture en place n'a pratiquement été adopté en RDC et nulle part en Afrique francophone. Dans de nombreux cas, la maîtrise technique de la culture n'est pas suffisamment assurée. Les légumineuses, ainsi, posent des problèmes de tous ordres : pathologie, ravageurs, mais également récolte et labours.

Un certain nombre de soles fourragères ont aujourd'hui été testées en milieu paysan avec des résultats intéressants. Cependant, leur vulgarisation reste entravée par le coût, car aux frais d'installation de la culture s'ajoutent ceux de la clôture, qui s'avère souvent indispensable. Au demeurant, l'insertion des soles fourragères introduit des bouleversements importants dans le fonctionnement des systèmes de culture et d'élevage, et soulève de difficiles problèmes fonciers.

Il apparaît, aujourd'hui, que toutes ces difficultés ont été sous-estimées, voire ignorées, en raison de l'approche très technique qui a toujours été privilégiée. Les solutions « douces » sont donc considérées à l'heure actuelle comme plus prometteuses : cultures associées, semis de légumineuses fourragères sous céréales, etc.

Mais il reste difficile d'en juger, les **référentiels** disponibles étant encore insuffisants.

En tout état de cause, la recherche internationale semble

s'orienter de manière préférentielle vers l'utilisation des plantes fourragères annuelles ou pérennes dans des dispositifs d'aménagement et de protection des sols ainsi que vers celles d'arbres et d'arbustes fourragers fixateurs d'N, ce qui modifie radicalement les perspectives antérieures.

3° Fumure animale.

L'étable fumière n'est pas entrée dans les mœurs. Puis, la valorisation des fèces des animaux en stabulation reste, la plupart du temps, très insuffisante. Les formes coutumières d'entretien de la fertilité par la fumure animale perdent cependant leur efficacité, ou sont abandonnées, soit que le nouveau contexte social remette en cause l'organisation de ces pratiques collectives de gestion, soit que la densification de l'espace agricole, le raccourcissement et la raréfaction généralisé des jachères, conduisent à la séparation, saisonnière ou totale, de l'aire pastorale et de l'aire agricole. Il est clair que l'échelle de l'exploitation agricole ne permet pas de prendre en compte ces pratiques, qui ne peuvent être appréhendées qu'au niveau des institutions et des finages villageois : le modèle proposé ne permet donc pas de saisir dans sa véritable dimension le problème de gestion des flux de matières organiques et de l'entretien de la fertilité. Pourtant, le maintien d'un niveau correct de matière organique dans les sols est le seul moyen de limiter les phénomènes **d'acidification** et de **déstructuration**. Or, même si le fumier continue d'apparaître comme une solution techniquement adoptée, le problème de sa production en milieu rural reste entier.

4° Un grand absent : l'arbre.

L'arbre est absent du modèle proposé. Or, l'expérience montre qu'il constitue un élément fondamental des systèmes qui associent agriculture-élevage, en raison des multiples rôles qu'il joue :

- dans la protection des sols et bien souvent, dans leur enrichissement en matières organiques ;
- en tant que pourvoyeur alternatif de fourrages riches en N (feuillages, voire de véritables aliments concentrés, mais aussi d'aliments humains, qui viennent compléter la ration fournie par l'agriculture et l'élevage);
- dans l'équilibre écologique ; séquestration du CO₂

- en qualité de pourvoyeur de combustible pour la cuisine, pour l'artisanat, etc.

d) Des relations essentielles négligées

Le fait d'insister sur les relations techniques de complémentarité entre agriculture et élevage conduit à des interprétations partielles ou erronées des évolutions observées. Ainsi, les avantages agronomiques supposés de la mécanisation ne constituent pas le principal moteur de l'adoption de la traction animale, dans la plupart des cas.

Ce sont **l'amélioration décisive de la productivité du travail** et **la diminution de sa pénibilité** qui motivent les paysans. On ne saurait donc se contenter de l'énumération de relation de complémentarité technique, fussent elles tout à fait réelles ou potentiellement intéressantes de complémentarité ou de concurrence qui sont en jeu. Deux types des relations apparaissent particulièrement importants en pratique :

1° Les relations concurrence, entre Agriculture et Elevage sont relatives à l'allocation des principaux facteurs de la production agricole : la terre et le travail. La plupart de ces relations ont indéniablement une dimension technique importante :

- organisation des travaux ;
- structure du parcellaire ;
- circuits de pâturage, etc.

Le principal problème est sans doute celui de la concurrence pour l'espace. D'une façon générale, ces évolutions conduisent à des restrictions brutales ou progressives de l'espace pastoral, à son émiettement spatial, qui entraîne des difficultés croissantes pour la circulation des animaux. En définitive, elles débouchent sur la réduction des ressources fourragères réellement accessibles aux troupeaux.

2° Les relations de complémentarité économique, en revanche ; doivent être saisies d'abord à l'échelle des unités familiales de base, en considérant que l'agriculture et l'élevage concurrent ensemble à assurer la reproduction agricole ne constitue qu'une dimension, si importante soit-elle. Dans cette optique, les fonctions auxquelles répond l'élevage sont généralement les suivantes :

- **Fourniture d'aliments** : agit sur la malnutrition
- **Contribution à la formation des revenus.**
- **Epargne et capitalisation** : L'élevage joue dans ce domaine des rôles divers :

*Dans la régularisation des flux monétaire à différente échelle du temps. L'élevage représente la « caisse d'épargne » des ménages, permettant de différer l'utilisation de ressources destinées à la consommation, et en particulier de couvrir la période de soudure alimentaire et de faire face aux dépenses imprévues.

*Dans la **capitalisation, cette** fonction débouche sur l'investissement productif, qui concerne ;

-le secteur de l'élevage lui-même ;

-le secteur agricole (équipement, achats d'intrants) ;

-des investissements alternatifs (construction en « dur », achat moto, fonds de commerce)

-sécurisation ; comme toute diversification, la combinaison de l'agriculture et de l'élevage est enfin un facteur important de sécurisation des systèmes est enfin un facteur important de sécurisation des systèmes de production. Véritable réserve monétaire et alimentaire sur pied, le bétail y contribue efficacement d'autant plus que sa mobilité lui permet d'être mis à l'abri en cas de besoin. Sa capacité à se reproduire confère en outre au troupeau une aptitude à se reconstituer après une catastrophe.

En vérité, ces relations de complémentarité sont primordiales, et se sont évoquées par les paysans pour justifier la coexistence si fréquente de l'agriculture et de l'élevage, en dépit des multiples problèmes qui en résultent pour les systèmes de culture et la conduite des animaux.

• **3. L'AGRICULTURE DES PLANTATIONS.**

Par opposition à l'agriculture vivrière ; il s'agit là d'une agriculture dite de production ayant pour objectif essentiel et le plus souvent unique, la fourniture des produits destinés au commerce et à l'industrie. Une telle agriculture est essentiellement représentée par l'agriculture de type capitaliste employant une main-d'œuvre salariée. Mais couramment, il s'est développé aussi une agriculture familiale et villageoise tendant au même but

et appliquant de plus en plus les méthodes et les techniques de l'agriculture de type capitaliste, mais n'employant pas régulièrement une main-d'œuvre salariée.

Ce type d'agriculture contribue aux plus grands marchés mondiaux de matières premières agricoles : café, cacao, sucre, thé, caoutchouc, produits du palmier et du cocotier, bananes, épices, coton, quinquina, ananas,...

9.3.1. Etablissement et développement des plantations.

Les plantations sont localisées dans l'ensemble des tropiques humides. Elles se sont développées au rythme de la croissance des marchés, de la colonisation agricole des différentes régions des trois continents et de leur intégration dans l'économie internationale.

Les plantations exigent, selon la technique, un investissement en travail et/ ou des capitaux en quantité suffisante au moment de la création et pour l'entretien des plantations jusqu'à la date d'entrée en production.

Leur installation intervient souvent aussitôt après la défriche d'une forêt primaire ou secondaire. L'association des cultures vivrières aux cultures pérennes, dans les premières années de plantation, est fréquente en agriculture paysanne. Elle permet de répondre aux besoins alimentaires d'exploitants, de protéger les sols et d'offrir une rémunération optimale des facteurs de production (terre et travail).

Si le développement des plantations est lié aux conditions écologiques favorables, il dépend aussi et surtout des politiques économiques mises en œuvre : réglementation foncière, immigration, crédit, mais aussi routes et pistes permettant l'approvisionnement en intrants et l'évacuation rapide de produits souvent pondéreux.

Les plantations peuvent être le fait de grandes entreprises agro industrielles ; dont l'origine remonte parfois à l'époque coloniale ; et dont la rentabilité est fortement conditionnée aujourd'hui par le coût relatif de la main d'œuvre salariée et les performances de gestion eu égard à la situation de marchés internationaux. Mais elles peuvent aussi être le fait

d'exploitations agricoles paysannes et d'initiatives autonomes.

Aujourd'hui ; de nombreuses économies de plantations paysannes ; dont la croissance a reposé sur l'épuisement de ressources de l'extensif notamment l'espace forestiers. Ce phénomène impose à moyen terme ; une évolution significative des systèmes techniques de production (et l'intensification) ; qui implique de lever les blocages techniques ; financiers ; et institutionnels (crédit ; régime ; financier ; commercialisation) ; faute de quoi ces systèmes agraires seront promis au dépérissements ; à la paupérisation ou à des alternatives à haut risque (culture de drogue).

9.3.2. Les plantations familiales.

a) Définition.

Cette famille de système agraire correspond à des exploitations familiales pratiquant une ou plusieurs productions arboricoles en plantations ; plus moins spécialisées ; avec quelques cultures vivrières associées destinées à l'autoconsommation.

Certaines exploitations ont été constituées par défrichement de forêts ; on y cultive le caféier ; le cacaoyer ; le palmier à huile et diverses productions fruitières (mangues ; avocats ; bananes).

D'autres exploitations ; plus anciennes ; sont spécialisées dans une arboriculture beaucoup plus poussée ; sur des surfaces généralement réduites. La part réservée aux autres cultures vivrières est beaucoup plus faible et de nombreuses exploitations (caféiculture).

b) Caractéristiques.

b.1. Ecologie : cacaoyers ; hévéas et palmier à huile sont surtout présents dans les zones à saison sèche peu marquée ; les caféiers Robusta supportent une saison sèche plus accusée. Les régions d'altitude rassemblent les petits planteurs de caféiers arabica, agrumes, fruits divers cultivés sur des sols souvent très favorable ;

b. 2. Démographie : Les densités de population observées sont variables 5 à 30 habitants /km² selon les techniques culturales utilisées et des exigences en main d'œuvre permanente ou temporaire.

b.3. Organisation socio culturelle et politique. L'habitat est souvent proche de

la plantation. Celui-ci peut être dispersé ; en rameau ; ou disposé le long des piste. On constate une solidarité entre planteurs qui se manifeste à propos de la défense du prix d'un produit face aux acheteurs.

b.4. Situation foncière. Le régime de la propriété privée est largement dominant, terres et plantations commencent à pouvoir être vendues louées ou gagées. Mais les problèmes posés par les successions foncières s'accroissent du fait d'épuisement de réserves en terre appropriables et d'une législation foncière inadaptée.

b. 5. Equipements. Les matériels d'exploitation sont en général manuels, mais avec des besoins variables d'évacuation de la production jusqu'aux points de transformation et de commercialisation. Pour les équipements collectifs ; la densité et la maintenance du réseau de desserte rurale ; du chemin d'exploitation jusqu'aux voies conduisant aux points de commercialisations ; sont de la plus haute importance. Elles conditionnent ; pour une large part, la survie des systèmes avec la circulation des intrants et récoltes ; et les prix au producteur sont très sensibles à la qualité de ces infrastructures.

b. 6. Intégration au marché. La sensibilité aux aléas du cours est plus ou moins grande ; fonction : - de l'organisation de la commercialisation ;
: - de l'importance relative des revenus issus de ces productions dans chaque exploitation ;
: Des charges (main d'œuvre ; intrants ; crédits) relatives à ces productions commerciales.

L'appel à une main d'œuvre autre que familiale est assez généralisée ; au moins au moment de la pointe de travaux de récolte.

Le recours aux emprunts concerne surtout les crédits de campagnes. Le ou (les) système (s) de crédit agricole est efficace ; il intervient dans la mise en place ou la rénovation de plantations.

c) Problèmes et Perspectives.

C1 Durabilité écologique. Au début le capital "fertilité du sol" est fourni par le précédent forestier. A cette étape de "facilité" succède toujours une phase nécessaire de restauration du capital initial et replantation. Les systèmes proches de l'écosystème forestier originel ; et infiniment plus conservateur

pour les sols que des cultures de cycle court exigeant de lumière.

C2. Problèmes socio économiques.

A part les catastrophes naturelles (trachyomycose ; cyclones) ; les principaux problèmes sont liés à la commercialisation des produits (fluctuations des cours mondiaux et des prix des producteurs). Les impératifs économiques de l'étape de la replantation sont cruciaux pour la survie de ces systèmes agraires (besoins de financement adoptés). La réussite de cette étape conditionne directement la compétitive des filières de production.

La diversification des cultures est bien souvent préconisée pour remédier aux crises périodiques des économies de plantation. Un de grands enjeux reste la capacité à organiser les filières de commercialisation sur la base de compromis institutionnels entre différents agents économiques (producteurs ; commerçants ; exportateurs ; industriels) et l'Etat.

9.3.3. Les grandes plantations spécialisées.

a) Définition.

Ce système agraire est fondé sur des exploitations agricoles de grand taille ; plus au moins intégrées à des complexes agro industriels ; orientées chacune vers une seule production un nombre restreint de produit ; commercialisé en quasi-totalité. La gestion des grandes plantations incombe ; généralement à des centres de décision relativement extérieur au monde rural : compagnies multinationales, société étatiques, propriétaires privés résident en ville. La quasi totalité des taches nécessaires à la production agricole est exécutée par des salariés. On distingue généralement :

- les exploitations exclusives agricoles possédées par des latifundistes depuis de nombreuses générations (Amérique latine) ou constituées par des colons européens (Afrique, Asie du sud-est) et rétrocédées à des propriétaires nationaux au moment des indépendances. Elles concernent des productions comme la canne à sucre, le cacao, le thé...
- Les exploitations intégrées aux complexes agro-industriels : plantations pérennes (palmier à huile, hévéa, agrumes,) ou semi-pérennes (bananier, ananas, canne à sucre).

b) caractéristiques

b.1. Ecologie Ces systèmes sont largement différenciés selon les avantages comparatifs des variantes bioclimatiques de la zone tropicale humide et des différents facteurs historiques (passé coloniale, disponibilité en terres...). Outre les facteurs climatiques, les conditions spécifiques favorables relèvent de la qualité des terres et du contexte topographique permettant la construction et la maintenance des infrastructures routières

b.2 Démographie Elle est sujette à des fonctions du type forte variations en fonction du type de production du niveau de mécanisation et de la main œuvre utilisée ; suivant que ses revenus proviennent totalement ou partiellement de l'activité sur les plantations.

b.3. Organisation socio-économique et politique.

Les compagnies multinationales, mais aussi les sociétés nationales et les propriétaires privés ne sont généralement pas installés sur les exploitations et disposent d'autres sources d'activités et de revenus que ceux associés à la plantation. Un chef de plantation et des contre-maitres gèrent les exploitations au jour le jour, avec parfois l'appui d'une expertise technique étrangère. Le personnel salarié est fréquemment spécialisé dans l'exécution d'une ou plusieurs tâches strictement définies ; dans certains cas, une partie de cette main-d'œuvre n'est employée qu'occasionnellement (coupeurs de canne).

La main-d'œuvre temporaire, souvent étrangère à la région, est soumise à d'importantes migrations saisonnières. Il faut aussi noter la dépendance des manœuvres permanentes sur l'exploitation, qui résulte des facilités offertes (logement, transport, l'enseignement, les médicaux) et de l'absence d'autres opportunités d'emploi dans la région. La recherche de rentabilité conduit plus en plus à l'abandon de ces avantages en nature et renforce la misère des travailleurs.

b.4 Situation foncière. On peut généralement distinguer :

. Les grands domaines fonciers de type Latino-Américain, constitués principalement au XVIII^e et XIX^e, au dépens des terres indigènes, par défrichement mortiers ou par rachat de petites propriétés endettées (xx^{es}).

. Les plantations localisées sur des terres qui appartiennent à l'état, qu'il s'agisse des sociétés d'économie mixte ou des sociétés privées disposant de beaux emphytéotiques ou des sociétés en économie (xx^{es}).

Les plantations appartiennent à des sociétés agro-industrielles qui se sont développées à la fin du xx^{es} (palmier à huile) et juste pendant la première moitié du xx^{es} (Indonésie, Nigeria). La situation foncière a été localement marquée par des nationalisations, plus ou moins indemnisées, avec transfert à l'Etat ou à des propriétaires nationaux.

b.5 Equipement.

Les équipements d'exploitation comportent, en premier lieu, le réseau de pistes de desserte des parcelles surtout développées pour les productions pondéreuses ou devant être acheminées rapidement (canne à sucre, noix de palme). A ces infrastructures s'ajoutent les bâtiments d'exploitation, de stockage et parfois de logement pour la main-d'œuvre. Les besoins en outillage et engins mécanisés sont variables d'une production à l'autre. L'importance des équipements de première transformation est très variable suivant qu'il s'agit de produits modérément exigeant (etc.) ou nécessitant une transformation importante et presque définitive proche du lieu de production (canne à sucre, thé).

Ces systèmes agraires nécessitent toujours une infrastructure régionale d'évacuation de la production vers le marché (routes, chemin de fer...)

b.6 Intégration au marché.

L'intégration des produits au marché est d'autant plus forte que ces entreprises agricoles sont depuis longtemps spécialisées dans les productions destinées à l'exploitation. Les fluctuations de cours ont donné lieu à de booms épisodiques, suivie des dépressions profondes (café, etc. ...) avec de tentatives de régulation à travers la mise en place des quotas de production concertés entre les principaux pays producteurs, de stocks régulateurs et de caisse de stabilisation dans lesquelles les Etats et les entreprises privées jouent un rôle essentiel.

La main-d'œuvre salariée, constitue aujourd'hui l'essentiel de la

force de travail, avec une dépendance souvent très forte par rapport à l'entreprise qui possède tout (logement, transport, infrastructures sanitaires et d'éducation).

Les besoins en capitaux se réfèrent pour l'essentiel à :

- . L'investissement initial pour la production: foncier, aménagement, plantation et infrastructure ;
- L'investissement initial pour le stock et la première transformation de la production ;
- . L'entreprise des plantations jusqu'aux premières récoltes significatives (6 à 7 ans) ;
- . Les besoins en capitaux circulants pendant la phase de production : (main-d'œuvre, intrants).

Les besoins sont couverts par l'actionnariat des sociétés, crédit bancaire, fonds propres etc....

c) problèmes et perspectives.

c.1. Durabilité écologique.

Le choix des terres, des techniques et des spéculations a souvent été appuyé par moyens et les connaissances disponibles à chaque époque et le choix de terre (est bien souvent porte sur celles présentant le meilleur potentiel, à l'échelle de la région considérée et pour les spéculations envisagées.

Le système de la grande plantation spécialisée est un grand consommateur d'intrants chimiques de toute nature (engrais, herbicides pesticides et homogènes) qui sont parfois néfastes pour l'environnement et les employés.

L'expansion de plantations de plusieurs milliers d'hectares consacrés à une seule espèce végétale entraîne une situation quasiment "désertique" sur le plan biologique.

C.2. Problèmes Socio-économiques

Parmi ces problèmes nous pouvons citer :

1. La mobilisation des terres souvent les plus productives pour des cultures destinées à l'exportation et la diminution de l'espace exploitable pour les cultures vivrières.

2. La faible valeur ajoutée générée au sein des exploitations extensives dans lesquelles la maximisation du taux de profit passe par le recours à une très faible quantité de main-d'œuvre permanente ;
3. La dépendance économique et parfois politique du pays d'accueil lorsque les sociétés multinationales qui gèrent ces plantations prennent un poids trop important ;
4. Les contraintes résultant d'un marché mondial où les productions agricoles spécifiques à la zone sont en situation de très forte concurrence avec des crises périodiques de surproduction et une forte dépendance commerciale à l'égard d'un nombre limité d'opérateurs multinationaux.

9.4. MECANISATION ET MOTORISATION DES EXPLOITATIONS AGRICOLES.

9.4.1 Critère d'application pour la mécanisation des travaux culturaux.

Du point de vue strictement économique, la substitution pour l'exécution des travaux culturaux, de l'énergie du moteur à l'énergie humaine n'est justifiable que si les conditions suivantes sont réalisées, à savoir :

- – les coûts totaux de mécanisation sont récupérables par des revenus accrus de l'exploitation ;
- – la mécanisation favorise une élévation de rendements à l'hectare ;
- – les surfaces cultivées par l'exploitant s'accroissent ;
- – les composants (1) et (2) s'améliorent.

Le respect de ces conditions est sous la dépendance des éléments suivants :

- des rapports des prix des facteurs qui vont se substituer à des intensités variables, c'est-à-dire des rapports de prix de l'exécution des travaux par des moyens mécaniques à ceux de l'exécution manuelle des travaux ;
- du revenu monétaire atteint effectivement par unité de surface pour les différentes cultures et qui est fonction :
 - du rendement à hectare ;
 - des prix de produit au producteur ;
- des accroissements de la surface cultivée, qui doivent résulter, soit de

la mécanisation totale des opérations culturales, soit de l'utilisation des machines pour certains travaux ;

- l'agriculteur dispose de l'une ou l'autre forme de financement pour son équipement.

9.4.2. Comment mécanisation et motorisation peuvent-elles résoudre les problèmes stratégiques des agriculteurs.

L'ajustement besoins-production-revenus est, on sait, ce qui régit fondamentalement le fonctionnement des agricultures. On peut donc le considérer comme le problème le plus stratégique que doivent résoudre les agriculteurs.

Dans les agricultures traditionnelles la majorité des besoins sont satisfaits par des biens qui sont autoproduits.

Le problème fondamental de l'agriculteur est alors un problème de productivité physique du travail. Il s'agit en effet de savoir comment produire ces biens et ces services tout au long de l'année, compte tenu des techniques disponibles et de la main-d'œuvre familiale présente.

Le développement de la culture attelée, dont l'adoption est très ancienne dans certaines sociétés agraires a en tout cas, largement précédé la motorisation de la production. Il s'explique par la nécessité de cultiver des surfaces plus importantes, compte tenu des besoins alimentaires et des rendements. La culture attelée représente donc un phénomène bien à part dans le processus historique de mécanisation, car elle n'est pas liée nécessairement à la présence d'une production marchande. La motorisation, compte tenu de ses coûts, exige une production marchande pour pouvoir y faire face... Dans les agricultures traditionnelles, l'ajustement besoins-production-revenus, se ramène finalement à l'ajustement besoin-production, dont la clef principale est la productivité du travail. Son augmentation nécessitera alors parfois le passage à la culture attelée qui permettra d'agrandir les surfaces cultivées et d'améliorer parfois les façons culturales et donc les rendements.

En Europe, le passage à la mécanisation, puis la motorisation a été nécessité par l'augmentation rapide de la population non agricole, et

donc de la demande alimentaire marchande. Alors qu'en Afrique, on voit souvent coexister une agriculture très marchande, avec un taux très élevée de la population active agricole.

L'augmentation de la production implique une mécanisation lorsque les contraintes de travail sont très fortes :

. L'étroitement du calendrier agricole ne permet souvent pas de faire coexister des cultures dont les pointes de travail peuvent coïncider ;

. On voit aussi apparaître les phénomènes de pénibilité des certains travaux comme les labours ou les transports ;

. Enfin, cette augmentation des revenus monétaires sans l'apparition des dépenses en intrants qu'il faudra rembourser au moment de récolte. Or les accidents climatiques les rendent aléatoire. Les agriculteurs sont alors obligés de développer des comportements d'Épargne.

Lorsque l'augmentation de production marchande ne peut plus se faire avec les moyens de production propres à la culture manuelle, l'agriculteur se trouve théoriquement devant une alternative: intensifier ou augmenter les surfaces cultivées.

Si l'espace est disponible, il choisira la deuxième solution qui lui permet d'augmenter beaucoup plus rapidement sa production, et qui correspond à une élévation de la productivité du travail plus sensible.

L'adoption de la motorisation contient sans doute un ensemble de composante de nature plus psychosociale qu'économique. L'objectif d'augmenter les revenus monétaires en produisant davantage de productions marchandes est à l'origine de la motorisation.

En effet, pour les agriculteurs qui n'ont pas des problèmes fonciers bloquent une extension des surfaces, l'élévation des revenus monétaires par l'augmentation de la production agricole se heurte, en culture attelée, à deux contraintes, celle du calendrier agricole et celle de la main-d'œuvre. Le problème à résoudre en effet est de mettre en culture puis d'entretenir davantage des surfaces cultivées avec la main-d'œuvre disponible. Seule la motorisation permettra ce passage. Les autres opérations culturales (sarclages et traitements) ne présentent pas du tout les mêmes contraintes et peuvent donc continuer à être réalisées à la main ou

avec l'attelage.

9.4.3. Les frais économiques liés au développement de motorisation.

L'analyse des travaux réalisés sur le passage à la motorisation des pays comme la France et Japon, montre que l'achat d'un tracteur était assorti de conditions de prêt telles qu'elles pouvaient être supportées par les agriculteurs disposant dans bien des cas de structures foncières largement sous-dimensionnées par rapport à la capacité de leur tracteur.

Pour l'agriculture africaine, dans toutes les expériences de motorisation tentées jusqu'alors, on a buté sur la fameuse «rentabilité» de la motorisation. Cette rentabilité semble bien être la clef du problème du financement.

Pour résoudre ce problème, on admet que l'achat et le financement d'un tracteur peuvent être effectués si le produit supplémentaire que son utilisation va entraîner est supérieur, à ses coûts d'une part, et au financement de la satisfaction des besoins supplémentaires qui ont poussé à son adoption d'autre part.

On peut admettre que les coûts de fonctionnement et d'amortissement sont incompressibles et que les coûts de consommation ne le sont que modérément. L'essentiel de la résolution du problème du financement du tracteur se situera dans la maximisation des produits supplémentaires apportés par le tracteur. On va donc se donner comme objectif de tenter de maximiser la production, tout en **minimisant les coûts**.

Maximisation de l'utilisation du tracteur pour des opérations en produit élevé **et utilisation non agricole** de ce tracteur, semblent donc bien être les règles observées dans les agricultures ne pouvant pas adopter le modèle agricole dominant.

9.5 LES SYSTEMES DE CULTURE.

9.5.1. L'opération technique et ses conséquences élémentaires.

L'opération technique est l'action minimum qui fait passer l'écosystème cultivé d'une parcelle d'un état A à un état B. Le changement

d'état ne concerne souvent qu'une partie de l'écosystème ; la couche supérieure du sol, les parties aériennes de la végétation, etc. On peut définir l'opération technique pour un lot d'animaux de la même manière que pour l'écosystème cultivé d'une parcelle .On pourra ainsi qualifier d'opération technique un labour, un traitement insecticide, une insémination .Elle se réalise sur un temps restreint de l'ordre de la journée, parfois moins, rarement plus. Elle est constituée d'un grand nombre d'actes de nature diverse mais tous nécessaires : réglage des outils, organisation du chantier et gestes assurant l'exécution concrète. Elle est précédée d'une appréciation de la condition qui permet d'engager ou de différer sa réalisation.

On parle de **pratique d'exécution** quand on s'intéresse à la manière de faire de l'opérateur. Cette notion permet de caractériser individuellement ou de composer les procédés d'agriculteurs ou de communautés rurales d'Histoire et de contexte différents.

Il peut être nécessaire d'associer plusieurs opérations techniques qui s'enchaînent logiquement sur un temps plus ou moins long. On appellera **séquence d'opération** ou **séquence technique**, cette succession d'opération.

9.5.2. Itinéraires techniques et pratiques de gestions des techniques.

Les opérations techniques réalisées par un agriculteur au cours d'une campagne peuvent s'examiner dans une double logique :

-mener à bien pour chaque parcelle une succession d'interventions aboutissant à une production. On s'intéresse alors à l'**itinéraire technique**.

-Organiser les activités entre les lieux qui nécessitent une même opération .On définit cette fois des pratiques de gestion de la technique.

a) L'itinéraire technique est une suite logique et ordonnée de techniques culturales appliquées à une espèce végétale cultivée. La détermination d'un itinéraire technique se fait à partir de la suite des opérations techniques observées. On se place dans le cadre de la cohérence des actions de l'agriculture, au niveau de son exploitation comme au niveau de ses cultures. Pour chacune d'entre elles, on peut définir un programme d'intervention, fonction de la technique dont l'exploitant dispose et de ce qu'il estime utile à sa culture pour qu'elle réussisse.

Il peut avoir aussi des objectifs particuliers, par exemple la date de récolte ,pour des raisons économiques ou d'organisation interne à l'exploitation .Il doit tenir compte des états du calendrier de leur utilisation .La suite observée des opérations techniques acquiert le statut d'itinéraire technique lorsque l'agronome a pu ,compte tenu de ses connaissances car leurs perceptions sont différentes .Par les itinéraires techniques (binage, fumage, désherbage, etc.) ;on cherche à conduire étroitement la culture pour obtenir régulièrement des rendements élevés .

Avant chaque campagne, l'agriculteur connaît les itinéraires techniques qu'il va s'efforcer de mettre en œuvre, compte tenu des objectifs qu'il se donne et des moyens dont il dispose. C'est un **projet**, construit à partir de son expérience ou des conseils techniques.

Il sera réalisé effectivement ou non (perturbations par des conditions climatiques par exemple). La **réalisation** des opérations qui doivent s'effectuer pendant une pointe habituelle des travaux dépendra particulièrement d'une bonne appréciation par l'agriculteur de ses capacités de travail à une époque donnée confrontée aux jours disponibles.

La comparaison entre projet et réalisation est une source d'information utile à l'agriculteur comme à l'agronome. L'importance d'une différence entre projet et réalisation dépend beaucoup des conséquences de tous ordres qu'elle peut entraîner (Etats du champ .trésorerie).

Pour l'agronome, des écarts importants entre projet et réalisation dans un grand nombre de parcelles signalent un calendrier de travaux trop chargé avec des priorités sur d'autres cultures. Pour l'agriculteur ayant diagnostiqué la gravité de certains écarts, l'objectif sera d'alléger les périodes de pointe par modification des priorités voire des projets.

Le concept d'itinéraire technique introduit une logique d'élaboration du rendement et l'état du milieu en fin de campagne ne sont pas un produit des techniques mais découlent de la succession des états pris par l'écosystème cultivé tout au long de cette campagne.

b) Le concept de pratique de gestion permet d'analyser la manière dont une même opération ou séquence technique est gérée pour un choix d'une opération technique par l'agriculteur résulte d'un compromis entre la

gestion d'une culture sur une parcelle et la gestion de chaque opération sur les parcelles de l'exploitation. Par extension, le terme de pratique de gestion peut désigner la gestion de gérer un groupe d'opération techniques dans l'exploitation.

L'étude des pratiques de gestion des techniques, est un outil important pour interpréter des différences d'itinéraires techniques ou des mauvaises conduites responsables, de mauvais rendements.

9.5.3. Système de culture

Les systèmes de culture sont un sous-ensemble du système de production défini pour une surface de terrain traitée de manière homogène, par la culture avec leur ordre de succession et les itinéraires techniques. Il désigne les combinaisons culturelles adoptées par les agriculteurs.

C'est en appliquant un système de culture à un territoire que l'agriculteur en tire de production et modifie le milieu sur le long terme. La dimension essentielle du système de culture est le temps, la succession des campagnes au cours des quelles son territoire subit des conduites obéissant à une même logique.

L'observation des systèmes de culture se fait sous deux angles complémentaires ; leurs conduites par l'agriculteur d'autre part.

- **Fonctionnement et conséquences.**

Pour chaque terrain les niveaux de production obtenus et leur régularité, l'utilisation des facteurs de production et l'état du milieu sur place et aux environs, au moyen des mesures (analyses, dénombrements) ou d'observations qualitatives. Ces évaluations permettent la description des itinéraires techniques et l'appréciation des conséquences des conduites en matière de capacité productive des terrains et d'effet sur l'environnement. Sur ces bases, la distinction d'un ou de plusieurs système de culture structure le territoire et, du point de vue de la mise en œuvre des techniques, la façon dont l'agriculteur procède.

- **Conduite par l'agriculteur.**

L'important pour l'agronome est de saisir et de formaliser les éléments qui pèsent sur les décisions des agriculteurs, pour conduire le

systeme de culture à court ou moyen terme, l'agriculteur tient le rôle d'un opérateur interne de décision qui prévoit et dirige la mise en valeur effective du milieu. Cet opérateur transforme en décision, l'information sur les objectifs. Les moyens disponibles, l'état du système et les contraintes (cfr. Fig.29).

Fig.29. Mise en valeur du milieu par le système de culture piloté.

9.5.4. Système de production.

Le concept de système de production a été développé par les

économistes de l'exploitation agricole pour désigner la combinaison des facteurs de production dans l'exploitation.

Dans l'exploitation, les systèmes des cultures et d'élevage, le système des pratiques sont des sous-systèmes de production .

Utile à l'économiste et à l'agronome, le système de production est susceptible d'analyses selon des points de vue très variés. D'un point de vue agronomique, deux concepts sont essentiels pour rendre compte du fonctionnement annuel du système de production, ce sont ;

- **L'assolement**, répartition des cultures sur le territoire de l'exploitation, quels que soient les systèmes de culture qui les conduisent ;
- **Le calendrier des travaux**, répartition des tâches et de l'emploi de moyens sur l'année, quels que soient les pratiques qui les gouvernent. Le calendrier des travaux ne peut s'étudier sans une analyse des jours disponibles, notion résultant du climat et des pratiques.

La gestion du système de production inclut de prévision d'assolement, de calendrier des travaux et de fonctionnement micro-économique. Le système de production est piloté par des objectifs socio-économiques de l'exploitation et l'analyse des résultats passés.

9.5.5. Le système agraire

Un système agraire, correspond aux modes d'exploitation agricole d'un espace donné par une société résultat de la combinaison de facteurs naturels, **socioculturels, économiques et techniques**.

Pour pouvoir identifier un système agraire et caractériser sa structure, il faut d'abord le repérer.

a) Comment peut-on repérer un système agraire

Un système agraire peut- être repéré par un ensemble des règles implicites qu'un groupe social s'est donné, de pratiques sociales, économiques, qu'il met en œuvre pour exploiter son milieu, gérer son espace et pour s'organiser socialement, économiquement et techniquement.

- **Les règles et pratiques sociales**

Seules, nous intéressent celles qui interviennent directement en plus ou moins indirectement sur les processus productifs et le mode d'exploitation du milieu ; nous cherchons à repérer des façons de produire, des manières d'exploiter le milieu. Ces règles et pratiques sociales sont par exemple l'organisation du travail, les modalités d'accès au foncier, les habitudes alimentaires.

- **Les pratiques économiques**

Ce sont par exemple ; l'existence de "tontine", la forme d'accumulation et de constitution de l'épargne, la vente différée des récoltes à des périodes plus favorables ; la vente des animaux pour financer la force de travail nécessaire à l'entretien des cultures.

- **Les règles et pratiques techniques.**

Une société qui exploite un milieu se transforme mais cette transformation ne se fait pas de façon anarchique, elle est soumise à certaines règles que tout un chacun accepte et se fait selon certaines pratiques techniques adoptées et mise en œuvre pour le plus grand nombre ; règles d'utilisation de l'espace, de conduite des animaux, pratique d'entretien de la fertilité...

- **L'analyse des paysages.**

Avant toute analyse du paysage, il convient de recueillir la documentation disponible (cartes, photos aériennes). A l'aide de ces documents ; il est parfois possible de formuler quelques hypothèses grossières sur la structure de l'espace et les systèmes de cultures que nous allons rencontrer.

Une bonne méthode d'analyse consiste à effectuer des **transects** (des chemins) dans le finage que l'on souhaite étudier, de localiser au fur et à mesure de notre parcours des différents terroirs que l'on traverse et d'identifier les systèmes qui leur sont associés.

Choix des transects ; les hypothèses émises sur la structuration de l'espace lors de l'étude des cartes ou de bibliographie et de l'observation globale du paysage vont nous aider à choisir les transects. Ils peuvent s'effectuer selon le topo séquence ou, si l'on n'a pas d'idées a priori sur l'organisation du paysage selon deux axes se coupant au niveau d'un site structurant l'espace (village, point d'eau...).

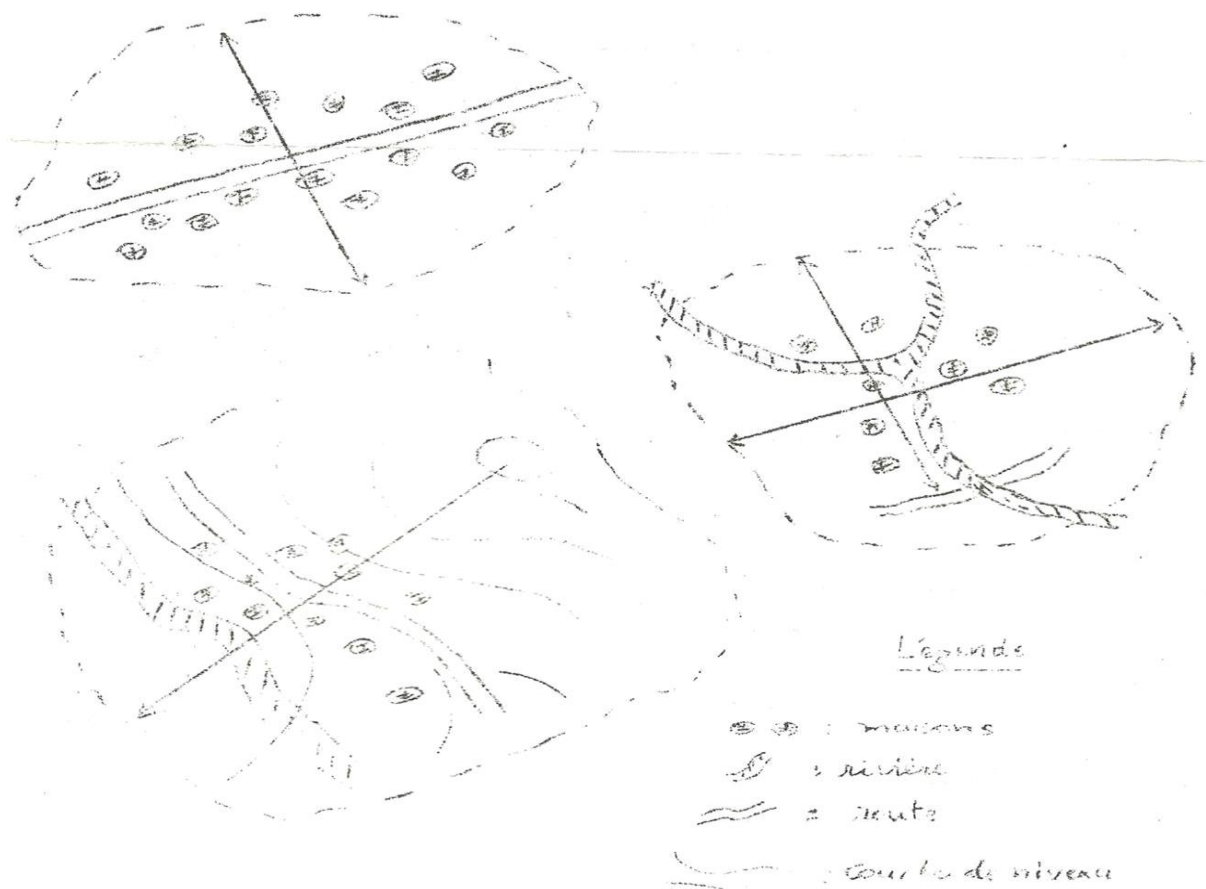


FIG. 20. Choix de la direction des transepts.

Déroulement du parcours : il est nécessaire de faire accompagner par un groupe représentatif d'agriculteur, exploitant la zone que l'on étudie. On doit parcourir le transect à pied. La date devra être

choisie de telle sorte que la majorité des cultures soit installée

Au fur et à mesure du cheminement, l'analyse consistera en un va et vient entre les observations, les questions, la formulation d'hypothèses infirmées ou confirmées. On repérera soigneusement la limite de chaque terroir que l'on caractérisera sommairement.

Les observations porteront sur différents critères ;

- sol, pente, état de surface, type de sol ;
- végétation spontanée ; densité, degré de recouvrement ;
- utilisation du milieu par l'homme.

La synthèse des informations recueillies sera présentée sous forme des **profils et système et diagrammes paysagers**.

- **Le fonctionnement du système agraire.**

Un système agraire est composé de trois ensembles d'éléments

- un premier ensemble comprenant les éléments caractéristiques du milieu physique ; climat, sol, relief et structuration de l'espace, type de végétation ;
- un deuxième ensemble d'éléments caractérisant le milieu humain et l'organisation sociale dont il s'est doté pour gérer l'espace et exploiter le milieu ; ethnie, mode d'organisation social, gestion de l'espace, gestion de la force de travail ;
- un troisième ensemble, enfin, composé de moyens techniques dont le groupe social, s'est muni pour exploiter le milieu ; matériel et animal, outils, savoir-faire technologique, pratiques culturelles, mode de conduite des animaux.

Un système agraire est le mode d'exploitation qui résulte de la combinaison de ces trois ensembles.

Fig. 31. Modèle simplifié de la fonction d'un système agraire.

“Règles ”et pratiques
D'utilisation des resour

“règles ”d'utilisation
et d'organisation du

ces naturelles.
Ex. foncier.

Travail. Ex. pratique et
Savoir faire.

Systemes techniques
De
Production.

9.5 .6. Principaux systemes de cultures en RDC.

- **En region de savane**

Dans des conditions climatiques plus favorables (pluies annuelles-700 à 1200mm). Les systemes vivriers ont integre des cultures de rente et les paysans ont adopte des themes techniques augmentant la productivite du travail et/ ou de la terre. L'equilibre ressources/population a pu etre maintenu tant que les densites de population ne depassaient pas 50 à 60hab/km² et que les structures sociales permettaient une gestion raisonnee de la force de travail et des terroirs à l'echelle villageoise.

A1. L'utilisation de l'espace et les systemes de production

Le systeme de culture est caracterise par l'association des cereales (sorgho, mais) à l'arachide (ou cotonnier) et à la jachere selon les differents type de rotation. Cette integration est facilitee par le decollage existant entre les temps de travaux pour les differentes especes. Deux types de champs coexistent en general dans ces systemes ;

- **Des champs de culture** permanents situes pres de l'habitation, soit en vivrier, soit en culture de rente ;
- **Des champs plus eloignes** sur lesquels est pratiquee la rotation

Culture / jachère.

La culture de rente est semée en tête de rotation et précède les cultures céréalières. Sur les champs permanents, le paysan concentre les apports de fumier alors que le recrû de savane arborée permet de reconstituer la fertilité sur les champs les plus éloignés. Une fertilisation minérale est parfois possible sur les cultures de rente.

La gestion de la fertilité n'est possible qu'avec une étroite association agriculture /élevage renforcée par l'utilisation des engrais verts.

a.2 La dynamique des systèmes des cultures

L'élément central de la transformation de ces agricultures est le développement de la **culture attelée** qui permettrait rapidement des gains de productivité du travail appréciable dans la préparation du sol et du semis.*Le passage à la culture attelée permet d'augmenter les superficies cultivées, en diminuant les pointes de travail au moment des semis et des sarclages.

Dans les zones de savanes, l'enjeu se situe au niveau de la réussite de l'intensification qui passe par une intégration complète de l'élevage au système de production, ce qui signifie sa maîtrise sur le plan technique (alimentation, reproduction, dressage et hygiène) qui seule peut permettre une plus grande capacité de production des systèmes.

C3 Un modèle d'aménagement de l'espace proposé par L'INERA.

Les aménagements regroupés par la juxtaposition le long d'une route de crête de blocs divisés en 14 soles ou bandes de 50m de large. Un **lotissement individuel**, perpendiculaire au grand axe des soles, alloue à chaque agriculteur une petite ferme de 100m de largeur. La première sole est réservée à l'habitation, ses dépendances et le jardin, la seconde est occupée par les cultures coutumières et comporte un enclos pour le petit bétail. Les douze autres soles sont occupées par les cultures et les jachères pâturables. La succession des ouvertures se fait en séquence alterne : ceci dans le but de lutter contre l'érosion. Cependant, les deux premières années, on cultive

successivement la première et la dernière bande, afin de protéger l'ensemble culture en couloirs permet de lutter contre l'érosion et enrichit le sol en matières organiques.

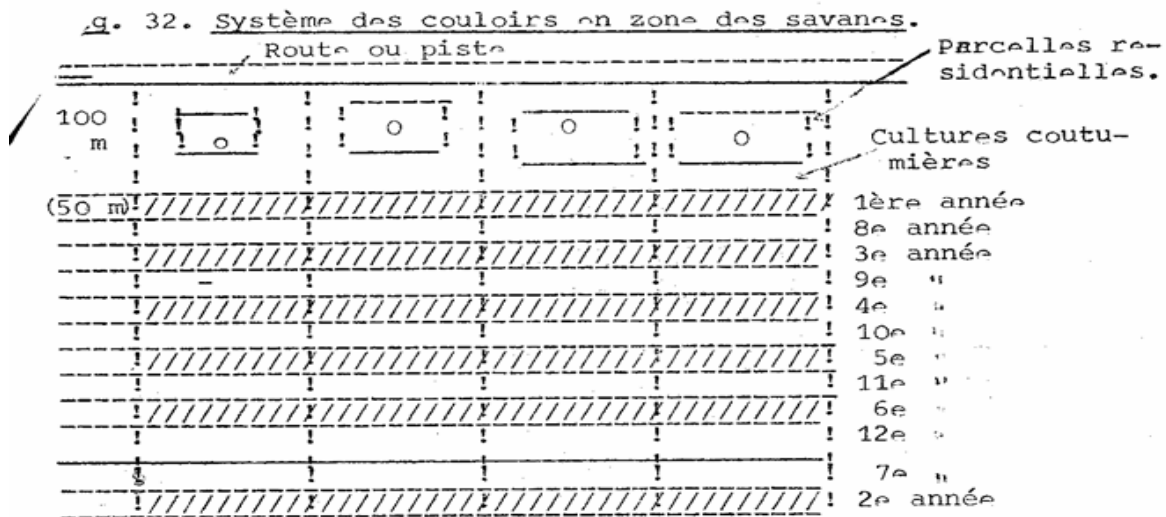


Fig 32 . Systeme des couloires en zone des savanes

b) Les systèmes agraires de zones forestières.

Ces systèmes se retrouvent entre 0° et 7° de latitude N et S dans la région équatoriale. La pluviométrie y est très élevée (+de 1.500mm), et les problèmes parasitaires sont par conséquent très importants. Du fait de l'importance du lessivage, les sols se dégradent rapidement après une défriche, ce qui provoque d'importants problèmes de fertilité. De leur forme originale, ces systèmes utilisent la forêt comme moyen de reproduction de la fertilité.

b.1. Le système de défriche- brûlis.

L'artificialisation du milieu est importante puisqu'elle doit permettre dans une zone forestière la constitution d'une espèce favorable à la croissance et au développement des espèces cultivées :

- accès à la lumière ;
- accès aux éléments fertilisants ;

-suppression de la compétition avec les adventices . Ces conditions sont créées par la **défriche- brûlis**. La défriche est manuelle : machette, hache. Tous les arbres ne sont pas abattus et le dessouchage ne concerne que quelques troncs.

Pour un terrain donné, cette méthode de culture commence par l'abatage et le brûlis de la végétation forestière par le cultivateur qui installe alors ses cultures vivrières selon des cycles variables d'un endroit à l'autre et cependant de courte durée (1 à 4 ans). Lorsque la baisse de la fertilité et les adventices affectent les rendements, le cultivateur abandonne le terrain pour de nouvelles terres vivrières.

La reproduction de la fertilité se base sur la possibilité de mettre en culture chaque année une parcelle de la forêt dont le couvert est complètement reconstitué. Dans le système forestier typique cette reproduction est assurée par des rotations de plus de 15 ans. Le terrain en jachère comporte donc autant des parcelles avec des recrues forestières d'âge croissant.

Les sols y sont très fragiles, leur relative pauvreté en humus, leur faible stabilité structurelle et capacité d'échange les rendent très vulnérables au lessivage et à l'érosion. La masse des éléments nutritifs est concentrée dans les premiers cm du sol et surtout dans la végétation qui le recouvre. Le climat, en particulier les précipitations sont plus agressives que partout ailleurs.

Le brûlis enrichit le sol en éléments nutritifs et permet d'éliminer la concurrence herbacée pendant un certain temps. Cette situation favorable est cependant de courte durée, le taux de **matière organique** du sol diminue, en effet très rapidement, en même temps que se dégrade la structure de ce dernier ; le **lessivage** s'accroît, entraînant les éléments minéraux hors de portée du système racinaire des cultures.

Si la jachère forestière est de longue durée, la **culture itinérante** est donc bien le système le plus satisfaisant pour assurer une production vivrière continue, tout en maintenant le niveau général de la fertilité des sols. Pour se perpétuer, elle supposerait cependant que soient mises à la disposition du cultivateur de grandes surfaces et que se poursuive le

gaspillage de produit ligneux qu'elle implique. Ce système connaît donc des limites.

Fig 33. Système des couloires type Tyrumbu.

b.2 Les limites du système forestier et dynamique de transformation

Compte tenu du mode d'exploitation du milieu, les densités de population permises sont de l'ordre de quelques dizaines d'habitants /km².

Les systèmes de défriche -brûlis, lorsque la pression démographique est faible, satisfont bien les stratégies d'autosubsistance des paysans. Ils permettent en effet de produire correctement pour de faibles quantités de travail : la productivité du travail est élevée, 40 à 50 kg d'igname ou 8 à 10 kg de paddy par jour de travail sans intrant. Mais puisqu'ils sont extensifs, ils contribuent peu au produit intérieur brut des états. D'un point de vue macro-économique, leur intensification est une nécessité.

L'équilibre de ces systèmes suppose que l'espace soit suffisamment vaste pour que les paysans n'en cultivent qu'une faible partie chaque année, l'on prolonge la culture sans recours à la repousse forestière.

Traditionnellement, c'était l'accroissement démographique qui entraînait le raccourcissement des jachères. Depuis plus d'une vingtaine d'année, l'exode rural et l'immigration ont stoppé ce processus. C'est désormais le développement des cultures pérennes de caféier, cacaoyer, ou de palmier à huile qui imposent de rechercher un autre système de reproduction de la fertilité.

Des formules judicieuses d'association cultures vivrières /cultures de rente peuvent néanmoins ralentir l'apparition d'importants problèmes de fertilité et de baisse de la production vivrière. Il demeure que ces systèmes doivent trouver un nouvel équilibre en regard de la gestion de leur fertilité. C'est autour de formules associant l'arbre, les cultures de rente et les cultures vivrières sous couvert à basse densité que ces systèmes peuvent retrouver un nouvel équilibre.

c) Les systèmes agraires d'altitude.

Les systèmes agraires d'altitude occupent en RDC des superficies modestes mais fortement peuplées, c'est surtout à l'Est qu'ils sont fortement représentés (N/KIVU, Ituri)

c1 . *Le milieu et ses conséquences sur les espèces cultivées.*

Les caractères climatiques tropicaux sont modifiés par l'altitude qui influe ainsi sur la gamme des cultures possibles. Entre 1.400 et 1500m semble se situer la limite des zones chaudes. Plus haut, le climat permet le développement de cultures de zones tempérées (blé, légumes). 1.800m est une autre barrière pour les cultures.

-Le bananier et le caféier deviennent rare puis disparaissent ;

-Le haricot, très fréquent entre 1.800m est remplacé par les petits pois ;

-Les basses températures moyennes allongent fortement le cycle des céréales tropicales alors que la nébulosité réduit le rendement des plantes en C₄ comme le maïs.

Au-dessus de 2300m, le remplacement de ces céréales par l'éleusine, l'orge ou le blé devient obligatoire. Le caractère souvent nuageux des zones d'altitude diminue, l'ensoleillement, et donc avec des températures également plus basses, l'ETP est moins importante.

Le relief, l'importance de pluie, et souvent l'épuisement des sols en matière organique posent d'importants problèmes hydrique. D'une manière générale, l'importance du lessivage génère des **sols acides**. Sur les reliefs volcaniques, se sont par contre développés des sols profonds, bien fournis et stables.

c 2 L'utilisation de l'espace et les systèmes de culture.

Pour des raisons historiques, liées au refoulement d'ethnies d'agriculteurs dans des zones de relief en général confinées, les systèmes d'altitude sont fréquents marqués par une forte pression démographique. Ils se distinguent alors par une utilisation intense de l'espace basé sur un droit foncier qui reconnaît, sous formes juridiques diverses, le droit à l'exploitation permanente ou quasi permanente du sol (kalinzi chez les Bashi, Muhako chez les Nandes).

Au niveau de la parcelle, **l'association culturelle est la règle.** Les associations des cultures correspondent en effet à des stratégies d'utilisation maximale de la parcelle dans les conditions les plus favorables ou à des stratégies de minimisation des risques sur les terrains épuisés ou érodés. Dans la première catégorie, les espèces, en nombre important (souvent plus de 10) comprennent à la fois des plantes pérennes et des plantes annuelles, et fréquemment des arbres (Bananeraie des hutu et yira) Associations culturelles sont complexes avec des forts coefficients d'occupation des sols et procurent des rendements vivriers élevés. Les parcelles de la seconde catégorie comprennent moins d'espèces (2 à 5), plus rustiques en général annuelles.

c3 Dynamique et intensification de ces systèmes.

Il s'agit donc de forme d'agriculture très intensive au moins en travail ce qui se traduit par des ratios significatifs.

*forte intensité de la m.o; (4 à 5 actifs agricoles par ha de SAU).

*Association avec l'élevage 0,5 à 0,6 UBT/Ha de SAU.

Des investissements importants sont rendus possibles par la pérennité de contrats d'attribution de la terre.

*mise en place de bananeraie, qui crée un milieu favorable pour le développement des cultures intercalaires.

*Association avec des légumineuses qui fixent l'azote atmosphérique ;

* dispositions anti-érosives avec des arbres si la pression des cultures annuelles n'est pas trop forte.

L'augmentation de la population et la pénétration de l'économie marchande accentuent la pression des cultures sur ces terres, alors que les équilibres sont extrêmement fragiles. Le schéma typique de cette évolution est celui d'une intensification par **augmentation de la quantité de travail investie** par unité de surfaces.

- En accélérant les rotations culturales (2 voire 3 cultures en relais) et en diminuant les jachères ;
- En performant les techniques de culture, pour augmenter la production par ha ou tout au moins pour faire face à la baisse de la fertilité du milieu que provoque la diminution des jachères.

La recherche de fourrages et les transferts de fertilité deviennent de plus en plus coûteux en travail, jusqu'à saturation de l'offre disponible. A terme, cette évolution conduit à une crise accentuée où le système, poussé à produire davantage n'a plus la possibilité de se reproduire. Le signe le plus immédiatement visible de cette crise est alors la diminution de l'élevage. A partir d'un certain stade d'intensification, la **réduction des jachères** fait que l'élevage, au lieu d'être complémentaire, va concurrencer l'agriculture pour l'utilisation de l'espace disponible.

Des solutions peuvent soulager la pression des cultures sur le milieu **soit par l'émigration** ; soit par le recours à des zones encore plus élevées pour les coloniser ou s'en servir comme pâturage extensif ; soit enfin par intensification agricole non minière, ce qui suppose alors le développement des cultures fourragères et le renforcement de l'intégration de l'élevage.

En tout état de cause, l'utilisation d'intrant, notamment de fertilisants, sera indispensable. Les prix agricoles élevés seront alors la clé de leur succès.

BIBLIOGRAPHIE

1. BEDU U. et al. (1981) : *Appui pédagogique à l'analyse du milieu rural*
Dans une perspective de développement, Montpellier, CTRAD.
- 2 .Anonyme (1991) : *Mémento de l'agronome*, Techniques rurales en Afrique, Paris.
3. ELLIAD, J.C (1987) ; *Agriculture générale* ; Ballière, Paris.
- 4 .VILAIN, M. (1987-1989) ; *La production végétale*, tome 1 et 2 Ballière, Paris
5. BLANC D. (1987) : *Les cultures hors sol*, Technique et Documentation, Paris
- 6 .DUTHIL, J. (1973) : *Eléments d'écologie et d'agronomie*, tome 1,2 et 3, Ballière Paris.
7. HENIN S. et al. (1969) : *le profil cultural*, Masson Paris.
8. GROS, A. (1979) : *Engrais, guide pratique de la fertilisation*, Maison

Rustique, Paris.

- 9 .DIEHL, R. (1979) ; *Agriculture générale*, Ballière, Paris.
10. Anonyme (1979) ; *Conservation des sols au sud du Sahara, Techniques Rurales en Afrique*, Paris.
- 11 .Anonyme (1989) : *Mémento du forestier, Techniques rurales en Afrique*,Paris.
- 12 .FRANQUIN (1973) ; *La climatologie fréquentielle en agriculture tropicale*, In *Techniques et Développement*, n° 5.
13. MILLEVILLE, p (1987) : *Recherches sur les pâturages des agriculteurs in Cahiers de la recherche développement*, n° 16.
14. JONFS W. ET al (1981) ; *systèmes des cultures en Afrique ; Les hautes Terres du Zaïre, Rwanda et Burundi* ; Washington, Banque Mondiale.
15. BONO, M (1981) ; *La multiplication de la semence vivrière tropicales*, Paris, P.U.F.
16. CHAUSSAT, R. et al (1980) ; *La multiplication végétale des plantes Supérieures, Paris*, Hauthiers et villars.
17. FAO (1988) ; *Directives ; évaluation de terres pour l'agriculture pluviale*, Rome, Bulletin pédagogique.
18. BOCKMAN, o. c (1990) ; *Agriculture et fertilisation, Paris*, Technique et Documentation.
19. GENTIN, A. (1990) ; *la botanique appliquée à l'horticulture*, Paris, Technique et Documentation.
20. NICOLAS J.P. et al (1989) : *la pépinière*, Technique et Documentation, Paris
21. BOUTHERIN et al. (1989) ; *Multiplication des plantes horticoles*, Technique et Document, Paris.
22. MARGARA J. (1989) *Bases de la multiplication végétative*, INRA, Paris.
23. HELLER, p. (1990) ; *Abrégés de physiologie végétale*, Tome 1et 2, Masson, Paris.
24. HENNEBERT, P (1978) *Classification, cartographie et aptitude des sols*, Université de Burundi.
25. FAO (1980) ; *L'agriculture itinérante et la conservation des sols en*

Afrique, Rome.

26. HARTMAN; H.T (1978); *Plant propagation*, prentice –Hall, New Jersey.

27. MEYNARD, J.M. (1992) ; *Diagnostic de l'élaboration du rendement des Cultures*, in cahiers agriculture, n°1

28. BOXUS, P (1989) : *La multiplication in vitro. Une biotechnologie Intéressante pour le développement des cultures*, in Annales de Gembloux, vol .9.5, n° 3

29. LANDAIS, E et al (1990) : *L'association agriculture- élevage en Afrique Intertropicale*, in cahiers de sciences humaines Vol .26 n°1-2.

30 .DEFFONTAINES, (1991) ; *L'agronomie, Science, du champ. Le champ, Lieu d'interdisciplinarité de l'écophysiologie aux science humain*, in Agronomique, n°11, INRA

31. CAUSSONEL, J.P. (1989) *Nuisibilité et seuls de nuisibilité des mauvaises Herbes dans une culture annuelle, annuelle*, In Agronomie, N° 9, INRA

32. R. GROS et al (1992) *le fait technique en Agronomie*, INRA, Paris

33 .TISSAT, M et al (1992) ; *plantes herbicides et Désherbages*, Bases scientifiques et techniques, ACTA, Paris

34. SATTLE F et al (1992) *la ferme Biodynamique*, ulmer, stuttgart.

35. VIDALIE, H. (1992) ; *la culture in vitro et ses applications horticoles*, Tec et Dvc, J .B . Ballière, Paris.

36. DUFUMIER, M et AL. (1997) ; *Les plantations des zone tropicales Humain* ; caractéristiques et perspectives -in Plantations, recherche, développement, pp .81-

