

# ASSITANCE TECHNIQUE DE LA FAO



FAO/TCP/MOR/3201(D)

**Renforcement des capacités locales pour développer les produits de qualité de montagne - Cas du safran -**

**Entre**  
**L'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture**  
**Et**  
**L'Office Régional de Mise en Valeur Agricole d'Ouarzazate**  
**Maroc**

## **Rapport de Formation Continue**

### **Agronomie Durable** *Principes et Pratiques*

**Au profit des cadres et techniciens de l'ORMVA de Ouarzazate  
et de Migrations et Développement**

**Date : 13 et 14/04/2009**

**Lieu : Ouarzazate**

**Préparé par : Dr. Abdellah ABOUDRARE**  
**Consultant National en Agronomie Durable**

**Avril 2009**

**Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO)**  
**Rome, Italie**

## Sommaire

<b>Introduction.....</b>	<b>4</b>
<b>1- Développement durable.....</b>	<b>4</b>
<b>1-1- Définitions .....</b>	<b>4</b>
<b>1-1-1- Durabilité.....</b>	<b>4</b>
<b>1-1-2- Développement durable.....</b>	<b>4</b>
<b>1-2- Historique.....</b>	<b>5</b>
<b>1-3- Principes du développement durable : les trois piliers du développement durable .....</b>	<b>6</b>
<b>2- Agriculture durable.....</b>	<b>8</b>
<b>2-1- Définition.....</b>	<b>8</b>
<b>2-2- Principes de l'agriculture durable.....</b>	<b>8</b>
<b>2-3- Organisation de l'agriculture durable.....</b>	<b>10</b>
<b>3- Pratiques d'agronomie durable .....</b>	<b>10</b>
<b>3-1- Définitions.....</b>	<b>10</b>
<b>3-1-1- Notions de technique/pratique et invention/innovation.....</b>	<b>10</b>
<b>3-1-2- Pratiques agronomiques durables.....</b>	<b>11</b>
<b>3-2- Principes d'agronomie durable.....</b>	<b>11</b>
<b>3-3- Problématique agri-environnementale liée aux pratiques agronomiques au Maroc.....</b>	<b>12</b>
<b>3-4- Pratiques agronomiques durables.....</b>	<b>14</b>
<b>3-4-1- Choix de la terre à cultiver.....</b>	<b>14</b>
<b>3-4-2- l'assolement et conduite des rotations culturales.....</b>	<b>14</b>
<b>3-4-3- Gestion des résidus des récoltes.....</b>	<b>16</b>
<b>3-4-4- Travail du sol et installation des cultures.....</b>	<b>17</b>
<b>3-4-4-1- Travail du sol conventionnel.....</b>	<b>17</b>
<b>3-4-4-2- Travail du sol minimum.....</b>	<b>19</b>
<b>3-4-4-3- Semis direct.....</b>	<b>20</b>
<b>3-4-4-4- Choix de la variété et de la densité de peuplement.....</b>	<b>21</b>
<b>3-4-5- Fertilisation.....</b>	<b>22</b>
<b>3-4-5-1- Fertilisation minérale.....</b>	<b>22</b>
<b>3-4-5-2- Fumure organique.....</b>	<b>24</b>
<b>3-4-5-2-1- Le Fumier.....</b>	<b>25</b>
<b>3-4-5-2-2- Compostage.....</b>	<b>26</b>
<b>3-4-5-2-2-1- Définition.....</b>	<b>26</b>
<b>3-4-5-2-2-2- Composition d'un compost.....</b>	<b>26</b>
<b>3-4-5-2-2-3- Procédé de compostage.....</b>	<b>27</b>
<b>3-4-5-2-2-4- Conditions influençant le compostage.....</b>	<b>27</b>
<b>3-4-5-2-2-5- Méthodes de compostage.....</b>	<b>28</b>
<b>3-4-5-2-2-6- Utilisation du compost.....</b>	<b>29</b>
<b>3-4-6- Irrigation.....</b>	<b>29</b>
<b>3-4-6-1- Choix raisonné des cultures à irriguer.....</b>	<b>30</b>
<b>3-4-6-2- Choix raisonné du système d'irrigation.....</b>	<b>30</b>
<b>3-4-6-3- Pilotage de l'irrigation.....</b>	<b>31</b>
<b>3-4-6-4- Maintenance des installations d'irrigation.....</b>	<b>32</b>
<b>3-4-7- Désherbage.....</b>	<b>32</b>
<b>3-4-7-1- Désherbage manuel .....</b>	<b>33</b>

3-4-7-2- Désherbage mécanique.....	33
3-4-7-3- Désherbage chimique.....	34
3-4-7-3-1- Nécessité du traitement.....	34
3-4-7-3-2- Adaptation du traitement et choix du produit.....	34
3-4-7-3-3- Technique d'application.....	35
3-4-7-4- Lutte intégrée.....	35
3-4-8- Protection phytosanitaire.....	35
3-4-8-1- Lutte chimique.....	36
3-4-8-2- Lutte biologique.....	36
3-4-8-3- Lutte par les techniques culturales.....	37
3-4-8-4- Lutte intégrée.....	37
3-4-9- Agriculture biologique.....	38
3-4-9-1- Définition et principes.....	38
3-4-9-2- Intérêts de l'agriculture biologique.....	39
3-4-9-3- Limites de l'agriculture biologique.....	39
3-5- Aspects de développement .....	40
3-5-1- Adoption des techniques conservatoires des ressources naturelles.....	40
3-5-2- Le problème du temps long dans la recherche sur les technologies conservatoires des ressources naturelles.....	40
3-5-3- Les incontournables stratégies des producteurs.....	41
3-5-4- L'approche typologique.....	42
3-5-5- Pourquoi s'intéresser aux pratiques des agriculteurs ?.....	42
3-5-6- Comment aborder les pratiques des agriculteurs ?.....	43
Conclusion.....	44
Références bibliographiques.....	45

## Introduction

Le présent rapport de formation continue, destinée aux cadres et techniciens de l'ORMVA de Ouarzazate et de l'association Migrations et Développement, s'inscrit dans le cadre du projet FAO/TCP/MOR/3201(D) relatif au renforcement des capacités locales des produits de qualité de montagne – cas du safran de Taliouine-Tazenakht. Il traite les principes et les pratiques d'agronomie à mettre en œuvre pour une durabilité des exploitations agricoles et pour la contribution au développement durable. Dans ce rapport, nous rappelons d'abord la définition et les principes du développement durable et de l'agriculture durable, ensuite nous passerons en revue les principales pratiques agronomiques à mettre en œuvre pour une agriculture durable « pratiques agronomiques durables », enfin nous donnerons un aperçu sur certains aspects de développement relatifs au transfert et à l'adoption de ces pratiques.

## 1- Développement durable

### 1-1- Définitions

#### 1-1-1- Durabilité

La durabilité est la qualité de ce qui est durable. Le terme durabilité (ou *soutenabilité*) est utilisé depuis les années 1990 pour désigner la configuration de la société humaine qui lui permette d'assurer sa pérennité. Cette organisation humaine repose sur le maintien d'un environnement viable, sur le développement économique à l'échelle planétaire, et, selon les points de vue, sur une organisation sociale équitable. La période de transition vers la durabilité se fait par le développement durable.

#### 1-1-2- Développement durable

Le **développement durable** (ou *développement soutenable*, traduit du mot anglais *Sustainable development*) est une nouvelle conception de l'intérêt public, appliqué à la croissance et reconsidéré à l'échelle mondiale afin de prendre en compte les aspects écologiques et culturels généraux de la planète. Il s'agit, selon la définition proposée en 1987 par la *Commission mondiale sur l'environnement et le développement* dans le Rapport Brundtland de :

*« Un développement qui répond aux besoins des générations du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre aux leurs. Deux concepts sont inhérents à cette notion : le concept de « besoins », et plus particulièrement des besoins essentiels des plus démunis, à qui il convient d'accorder la plus grande priorité, et l'idée des limitations que l'état de nos techniques et de notre organisation sociale impose sur la capacité de l'environnement à répondre aux besoins actuels et à venir. »*

Il s'agit, en s'appuyant sur des valeurs (responsabilité, participation et partage, débat, innovation, ...) d'affirmer une approche double :

- Dans le temps : nous avons le droit d'utiliser les ressources de la Terre mais le devoir d'en assurer la pérennité pour les générations à venir ;
- Dans l'espace : chaque terrien a le même droit aux ressources de la Terre.

Le développement durable s'est construit comme une réponse des institutions et des entreprises aux préoccupations de la société civile et de certaines organisations non gouvernementales, relatives aux impacts environnementaux et sociaux de l'activité des principaux agents économiques sur leurs parties prenantes.

## 1-2- Historique

L'émergence du concept de développement durable a été longue. S'appuyant sur de nombreuses conventions internationales, l'idée d'un développement pouvant à la fois réduire les inégalités sociales et réduire la pression sur l'environnement a fait son chemin. Nous pouvons en retracer quelques jalons majeurs :

- **1968** : Création du Club de Rome regroupant quelques personnalités occupant des postes relativement importants dans leurs pays respectifs et souhaitant que la recherche s'empare du problème de l'évolution du monde pris dans sa globalité pour tenter de cerner les limites de la croissance économique.

- **1972** : Le Club de Rome publie le rapport *The limits to growth* (traduit en français par *Halte à la croissance ?* ou *Les limites de la croissance*), rédigé à sa demande par une équipe de chercheurs du Massachusetts Institute of Technology. Ce premier rapport donne les résultats de simulations informatiques sur l'évolution de la population humaine en fonction de l'exploitation des ressources naturelles, avec des projections jusqu'en 2100. Il en ressort que la poursuite de la croissance économique entraînera au cours du XXI<sup>e</sup> siècle une chute brutale des populations à cause de la pollution, de l'appauvrissement des sols cultivables et de la raréfaction des énergies fossiles. Le modèle n'est cependant pas encore à ce stade sectorisé par régions comme il le sera ensuite et ses prévisions se sont révélées fausses.

- **1972** (5 au 16 juin) : Une conférence des Nations Unies sur l'environnement humain à Stockholm expose notamment l'écodéveloppement, les interactions entre écologie et économie, le développement des pays du Sud et du Nord. Il sera rétrospectivement qualifié de premier Sommet de la Terre. C'est un échec relatif, avec aucun compromis clair, mais la problématique semble dès lors posée : l'environnement apparaît comme un patrimoine mondial essentiel à transmettre aux générations futures.

- **1979** : Le philosophe Hans Jonas exprime cette préoccupation dans son livre *Le Principe responsabilité*.

- **1980** : L'Union Internationale pour la Conservation de la Nature publie un rapport intitulé *La stratégie mondiale pour la conservation* où apparaît pour la première fois la notion de « développement durable », traduite de l'anglais « *sustainable development* ».

- **1987** : Une définition du développement durable est proposée par la Commission mondiale sur l'environnement et le développement (Rapport Brundtland). Le protocole de Montréal relatif aux substances qui appauvrissent la couche d'ozone est signé le 16 septembre, signe qu'un engagement collectif est possible.

- **1992** (3 au 14 juin) : Deuxième sommet de la Terre, à Rio de Janeiro. Consécration du terme "développement durable", le concept commence à être largement médiatisé devant le grand public. Adoption de la convention de Rio et naissance de l'Agenda 21. La définition Brundtland, axée prioritairement sur la préservation de l'environnement et la consommation prudente des ressources naturelles non renouvelables, sera modifiée par la définition des « trois piliers » qui doivent être conciliés dans une perspective de développement durable : le *progrès économique*, la *justice sociale*, et la *préservation de l'environnement*.

- **1994** : publication de la charte d'Aalborg sur les villes durables, au niveau européen.

- **1997** (1<sup>er</sup> au 12 décembre) : 3<sup>e</sup> Conférence des Nations unies sur les changements climatiques, à Kyoto, au cours duquel sera établi le protocole éponyme.
- **2002** (26 août au 4 septembre) : Sommet de Johannesburg : En septembre, plus de cent chefs d'État, plusieurs dizaines de milliers de représentants gouvernementaux et d'ONG ratifient un traité prenant position sur la conservation des ressources naturelles et de la biodiversité.
- **2005** : Entrée en vigueur du protocole de Kyoto sur la réduction des émissions de gaz à effet de serre dans l'Union Européenne.
- **2008** : Entrée en vigueur du protocole de Kyoto.

### **1-3- Principes du développement durable : les trois piliers du développement durable**

L'objectif du développement durable est de définir des schémas viables qui concilient les trois aspects **économique, social, et environnemental** des activités humaines (figure 1) ; « **trois piliers** » à prendre en compte, par les collectivités comme par les entreprises et les individus. À ces trois piliers s'ajoute un enjeu transversal, indispensable à la définition et à la mise en œuvre de politiques et d'actions relatives au développement durable : la gouvernance. La gouvernance consiste en la participation de tous les acteurs (citoyens, entreprises, associations, élus...) au processus de décision ; elle est de ce fait une forme de démocratie participative. Le développement durable n'est pas un état statique d'harmonie mais un processus de transformation dans lequel l'exploitation des ressources, le choix des investissements, l'orientation des changements technologiques et institutionnels sont rendus cohérents avec l'avenir comme avec les besoins du présent.

On peut considérer que les objectifs du développement durable se partagent entre trois grandes catégories :

- Ceux qui sont à traiter à l'échelle de la planète : rapports entre nations, individus, générations ;
- Ceux qui relèvent des autorités publiques dans chaque grande zone économique (Union européenne, Amérique du Nord, Amérique latine, Asie, Afrique,...), à travers les réseaux territoriaux par exemple ;
- Ceux qui relèvent de la responsabilité des entreprises.

Il est généralement convenu que la viabilité environnementale doit se bâtir sur la viabilité économique et sociale à long terme.

#### **Viabilité environnementale :**

Un environnement sain est le fondement sur lequel reposent une économie et une société saines. Le rôle essentiel que jouent les écosystèmes pour servir de support à notre société équivaut à un impératif environnemental qui doit être respecté dans toute décision concernant le sol, les ressources et l'économie. Notre priorité doit être de maintenir les systèmes naturels pour notre propre génération et pour les suivantes. Pour cela on est amené à :

- Préserver les services de survie
- Sauvegarder la diversité biologique au niveau des gènes, des espèces et des écosystèmes
- Essayer de prévoir et d'empêcher les impacts environnementaux nuisibles
- Comptabiliser selon la méthode du coût total

- Admettre notre responsabilité à l'égard de la protection de l'environnement mondial
- Respecter la valeur intrinsèque de la nature.

### **Viabilité économique :**

Notre capacité à préserver un environnement de qualité dépend de notre aptitude à encourager une économie qui serait à la fois forte et viable. Une telle économie serait plus efficace et tirerait de plus grands avantages, pour la société, d'une exploitation réduite des ressources environnementales. En outre, une économie viable peut fournir les moyens nécessaires à une amélioration de la protection et de la conservation de l'environnement, tout en offrant des modèles de société différents pour remplacer l'actuelle exploitation injustifiée des richesses naturelles. La viabilité économique passe par l'accomplissement des points suivants :

- Chercher à définir ce qu'est le développement économique
- Encourager le développement économique diversifié
- Encourager le développement économique efficace
- S'assurer que toutes les ressources renouvelables sont utilisées d'une manière qui soit viable à long terme
- Veiller à ne pas épuiser les ressources non renouvelables et à ce qu'il en reste assez pour les générations futures
- Maintenir l'activité économique dans les limites de la capacité des écosystèmes
- Stimuler une activité économique qui soit écologique
- Encourager une modification des attitudes et des comportements

### **Viabilité sociale :**

La protection et la bonification de l'environnement sont inextricablement liées à la promotion de la justice sociale et de l'équité. La justice sociale exige le respect des préoccupations de l'individu et de la collectivité dans le cadre d'un équilibre entre les besoins environnementaux et économiques. Ses principaux objectifs sont les suivants :

- Elle vise une distribution équitable des avantages et des coûts issus de l'utilisation des ressources et des décisions qui les concernent
- Elle n'oublie pas les générations futures
- Elle fait la promotion d'une bonne qualité de vie
- La justice sociale requiert une participation publique beaucoup plus considérable dans les décisions sur l'environnement et sur l'utilisation des sols et des ressources connexes

Selon le Rapport Brundtland, le développement durable doit « satisfaire les besoins de la présente génération sans compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leurs propres besoins ». Il reste à établir, néanmoins, ce qui constitue « les besoins essentiels ». On a fait valoir que la planète a des ressources limitées et qu'on ne peut pas s'attendre à ce qu'elle suffise à satisfaire toutes nos attentes ou nos désirs. Le Rapport énumère les neuf besoins essentiels suivants: emploi ; sécurité alimentaire et qualité du ravitaillement ; vêtement ; énergie ; logement ; approvisionnement en eau et salubrité ; santé publique, y compris des services de planning familial ; éducation ; un revenu qui se situe à un niveau qui permettra à un particulier ou à un ménage de satisfaire, régulièrement, ses besoins.



Figure 1 : Représentation schématique du développement durable avec ses trois principaux piliers

## 2- Agriculture durable

### 2-1- Définition

L'agriculture durable (ou soutenable, en traduction de l'anglais *sustainable*) est l'application à l'agriculture des principes du développement durable ou soutenable tels que reconnus par la communauté internationale à Rio de Janeiro en juin 1992. Il s'agit d'un système de production agricole qui vise à assurer une production pérenne de nourriture, de bois et de fibres en respectant les limites écologiques, économiques et sociales qui assurent la maintenance dans le temps de cette production.

Il s'agit d'un système qui utilise les technologies à faibles intrants qui améliorent la fertilité des sols, par le maximum de recyclage des ses sous-produits, par la diversification des productions, par le contrôle biologique des maladies. Dans une telle définition, l'assimilation agriculture durable/agro-écologie est totale.

Le terme **agriculture soutenable**, parfois rencontré, est une meilleure traduction - bien que littérale - du terme anglo-saxon *sustainable agriculture*, qui a d'abord été traduit par "agriculture durable" voire improprement par "agriculture soutenue" par les francophones.

### 2-2- Principes de l'agriculture durable

L'agriculture durable vise une amélioration dans la soutenabilité du système, en créant plus de richesses pérennes et d'emplois par unité de production, sur une base plus équitable. Ces principes sont basés sur la reconnaissance du fait que les ressources naturelles ne sont pas infinies et qu'elles doivent être utilisées de façon judicieuse pour garantir durablement la rentabilité économique, le bien-être social, et le respect de l'équilibre écologique (les trois piliers du développement durable).

Concrètement et dans l'idéal (rien n'assurant qu'une agriculture respectant simultanément toutes ces qualités soit possible), les principes de l'agriculture durable peuvent être résumés comme suit :

- Elle vise l'utilisation des **ressources naturelles locales** (utilisation des biens et services fournis par la nature comme intrants fonctionnels). Pour cela, elle utilise les processus naturels et régénérateurs, comme les cycles nutritifs, la fixation



biologique de l'azote, la reconstitution des sols et les ennemis naturels des ravageurs ;

- Elle vise également à **réduire la production de déchets non réutilisés** en créant des interdépendances avec d'autres activités économiques, dans un objectif de plus grande efficacité globale, et favorise **l'utilisation des sous-produits de l'activité agricole** ou de toute autre activité (par exemple, utilisation de déchets humains (sécurisés/compostés ou méthanisés, voir toilette sèche).

- Elle utilise **des pratiques limitant l'érosion et la dégradation des sols, réduit l'usage d'intrants pour protéger les ressources en eau.**

- Elle **ne porte pas atteinte à l'intégrité des personnes et des êtres vivants.** L'agriculture durable limite l'usage de pesticides qui peuvent nuire à la santé des agriculteurs et des consommateurs, elle vise à protéger la biodiversité.

Par ailleurs, l'agriculture durable ne peut se limiter à la mise en œuvre de technologies appropriées. Mais trois conditions fondent l'agriculture durable :

- un environnement politique et des services à l'agriculture appropriés ;
- des organisations locales durables ;
- des technologies appropriées.

En outre, la durabilité des systèmes agricoles est basée sur leur relation à leur environnement selon quatre liens :

- **un lien économique**, qui correspond aux marchés amont et aval dans lesquels s'insèrent l'exploitation et son système de production ;
- **un lien social**, qui correspond à l'insertion de l'exploitant et de sa famille dans les réseaux sociaux environnants, non marchands ;
- **un lien intergénérationnel**, par la transmission patrimoniale et la solidarité entre générations ;
- enfin, **un lien environnemental**, écologique, qui correspond aux relations de l'exploitation avec son environnement naturel.

Ces liens, qui ne dérogent en rien à la définition «Brundtland » du développement durable, renvoient respectivement à quatre composantes de la durabilité de l'exploitation agricole :

- **sa viabilité économique**, liée aux revenus agricoles et non agricoles du ménage, aux possibles aides extérieurs. Cette viabilité dépend d'une part des performances des systèmes productifs de l'exploitation (en diversité, qualité et quantité de produits) et des marchés environnants (prix aux produits, prix des intrants, accessibilité, fiabilité, etc.).
- **sa vivabilité sociale**, qui renvoie à la qualité de vie de l'exploitant et de sa famille. Des facteurs endogènes (stress, perception du risque, difficultés internes, pénibilité du travail, etc.) comme exogènes (accessibilité physique, intégration à des réseaux sociaux, reconnaissance locale, etc.) sont identifiables. L'intensité, la qualité, la densité et la diversité des relations que l'exploitation tisse avec son environnement social détermine en grande partie sa vivabilité.
- **sa transmissibilité**, très liée aux deux précédentes composantes, renvoie à la fois à la possibilité de transmettre le patrimoine, et à l'intérêt que portent les

nouvelles générations à cette transmission. L'image de l'agriculture et du métier d'agriculteur, les valeurs qu'ils véhiculent, la qualité de vie dans l'exploitation agricole sont notamment des facteurs importants.

- **sa reproductibilité environnementale**, qui dépend de la qualité des pratiques agricoles, considérée au regard de leur impact sur les ressources naturelles. Comme déjà évoqué, les effets négatifs des modes d'exploitation agricole du milieu sur l'environnement, pour l'instant limités, ne conduisent pas à leur remise en question dans les pays développés. Ces effets sont pour l'instant diffus (effet à distance) et plutôt à long terme (pollutions, accumulations, érosion). En revanche, des pratiques inappropriées dans des milieux tropicaux très fragiles causent parfois des dommages importants et plus immédiats.

### 2-3- Organisation de l'agriculture durable

Le concept principal est celui d'une exploitation agricole constituée par un ensemble de sous-systèmes fonctionnant tous en interaction, un sous-système générant des entrées pour les autres, le système fonctionnant dans l'idéal en cycle fermé.

L'agriculture durable doit être intégrée par tous les agents économiques de la filière, de la fourche à la fourchette (du producteur au consommateur), en incluant les parties prenantes concernées par :

- la limitation des nuisances olfactives et sonores ;
- la limitation des pollutions de l'eau, de l'air et du sol (intrants azotés, phytosanitaires), ainsi que de la pollution génétique liée aux OGM,...
- la limitation de l'appauvrissement de la diversité agricole liée aux techniques de sélection, d'hybrides stériles et de brevetage.

Une filière doit être évaluée selon des critères normés communs à tous les agents économiques de la filière, en cohérence avec le cadre normatif des comptabilités nationales.

Pour le système de production végétale, l'objectif majeur est l'application des principes de l'agriculture durable aux pratiques mises en œuvre par l'exploitant agricole pour l'installation et la conduite des cultures. On parle de **pratiques agronomiques durables** ou de **bonnes pratiques agronomiques**.

## 3- Pratiques d'agronomie durable

### 3-1- Définitions

#### 3-1-1- Notions de technique/pratique et invention/innovation

**Une technique ou une technologie** constitue un moyen, un mode de production ou d'organisation, hors de tout contexte ; c'est une invention ou plus largement, un savoir. **Une pratique** est une technique qui a été empruntée, adoptée dans un contexte social et économique, qui est passée par un processus d'innovation.

Les techniques peuvent être développées et formulées indépendamment des agriculteurs, et se réfèrent à la théorie. La technique est du domaine de la connaissance, alors que la pratique est du domaine de l'action. **Les pratiques** concernent les façons dont les agriculteurs travaillent, s'organisent, et sont très influencées par leurs conditions d'application. **Les pratiques** sont supposées être le résultat d'une intention directe, elle-même dépendante des objectifs que se donne l'agriculteur, dans un contexte

de contraintes, d'opportunités et de recherche d'efficacité. Enfin, les pratiques sous-entendent les itinéraires techniques, les systèmes de culture et de production, comme éléments essentiels de l'approche systémique.

En conséquence, les agents de la recherche et de développement doivent reconnaître qu'**adoption** renvoie le plus souvent à **adaptation**. Une technologie est rarement adoptée et appliquée sans modifications, imposées par les besoins, les contraintes et les limites rencontrées ou perçues par l'agriculteur. Par cette **adaptation, une invention (une technologie) peut devenir une innovation (une pratique)**. C'est la **mise en pratique de la technique**.

A l'inverse on peut passer du faire au savoir, en tirant de la pratique des enseignements techniques, dans un but de généralisation, de formalisation, d'élaboration de références techniques.

Le processus d'**innovation** implique pour l'agriculteur l'**adaptation d'une technologie** donnée, sa traduction en **pratique adoptée**.

Une technologie doit s'insérer non seulement dans le contexte de production, mais dans tout le système d'activités et de revenus, pour s'ajuster à la stratégie de la famille.

### 3-1-2- Pratiques agronomiques durables

Les **pratiques agronomiques durables** constituent un ensemble de règles à respecter (la *bonne pratique*) dans l'implantation et la conduite des cultures de façon à **optimiser la production**, tout **en réduisant le plus possible les risques** liés à ces pratiques, tant vis-à-vis de **l'homme** que vis-à-vis de **l'environnement**. On peut les appeler aussi les **bonnes pratiques agricoles (BPA)** ou les **pratiques conservatoires des ressources (PCR)** ou tout simplement les **pratiques de conservation** ou **conservatoires**.

### 3-2- Principes d'agronomie durable

Les mêmes principes de l'agriculture durable sont appliqués aux pratiques agronomiques durables. En effet, la durabilité des pratiques agronomiques est basée sur leur relation avec leur environnement économique, social, intergénérationnel et écologique. A travers ces liens, une pratique agronomique durable doit répondre aux critères qui définiraient l'agriculture durable ou la contribution de l'agriculture au développement durable de la région où elle prend place. Selon ces critères une pratique agronomique durable doit être :

- **Vivable**: elle ne doit pas correspondre à un niveau de pénibilité et de risques pour celui qui la met en œuvre et elle doit être socialement acceptable dans le faisceau des normes, références et coutumes d'un groupe social donné.
- **Transmissible**: elle doit être facilement théorisée, conceptualisée en référence technique, et donc devenir objet d'apprentissage, de transmission, d'éducation, vers les générations futures ou vers d'autres producteurs ou elle doit permettre de véhiculer par elle-même une image positive, patrimoniale ou culturelle, que d'autres auront envie de s'approprier.
- **Reproductible** : au plan environnemental, elle ne doit pas mettre en péril l'équilibre de l'écosystème cultivé, ou plus largement l'environnement naturel autour de l'exploitation.

- **Viable** : elle doit contribuer à la construction du revenu du ménage qui la met en œuvre, directement, ou indirectement par l'itinéraire technique, le système de culture et le système de production dans lequel elle s'insère.

S'intéresser à ces critères dans l'analyse des pratiques, c'est s'intéresser directement à la durabilité des systèmes techniques, à la durabilité de l'agriculture qui les met en œuvre. A partir d'une grille d'analyse fondée sur les points évoqués (et sans doute enrichie), on peut procéder à une évaluation des pratiques selon des critères de durabilité, porter un jugement, et sans doute évaluer les besoins et les options pour un changement technique.

Les techniques agronomiques durables ou les techniques conservatoires des ressources peuvent s'intéresser soit :

- à l'agriculteur individuel et ses décisions : Niveau parcelle ou exploitation : itinéraire technique ou système de culture (variété, date de semis, stockage d'eau, etc...) ;
- à un groupement d'agriculteurs : compostage des résidus de culture, mécanisation collective ;
- un territoire ou une communauté : aménagement, mise en valeur d'un périmètre irrigué, terrassement, etc...

La différence d'impact en termes d'adoption est importante entre des approches visant des individus ou des groupes. Les organisations de producteurs constituent souvent des véhicules essentiels pour le développement et la dissémination de technologies conservatoires alternatives.

Les pratiques agronomiques durables concernent toutes les règles de décision mises en œuvre par l'exploitant en matière du choix des terres à cultiver, des assolements et des rotations culturales et des itinéraires techniques de conduite des cultures : travail du sol et installation des cultures avec ses techniques de gestion de résidus, de conservation de l'eau et du sol et d'économie d'énergie ; la fertilisation, qui vise notamment à minimiser l'utilisation des engrais chimiques et à recourir aux engrais biologiques, notamment, à travers la valorisation des sous-produits de la ferme (fumier, compost,...) ; le désherbage et la protection phytosanitaire qui doivent privilégier les méthodes de lutte mécaniques, biologiques et intégrées au détriment des méthodes chimiques et l'irrigation qui doit viser principalement les techniques plus économes en eau et en énergie et moins polluantes de l'environnement (eaux usées, eaux salines,...).

Avant d'aborder ces pratiques, nous allons tout d'abord donner un aperçu sur la problématique agri-environnementale liée à ces pratiques au Maroc, celles qui menacent la durabilité des systèmes de production.

### **3-3- Problématique agri-environnementale liée aux pratiques agronomiques au Maroc**

La rareté et la diminution de la ressource en eau, suite à la sécheresse et à la diminution du régime des précipitations, est l'un des problèmes majeurs qui menace la durabilité de l'agriculture Marocaine et du développement durable en général. Ce problème est accentué par la défaillance des pratiques agronomiques utilisées par les agriculteurs, notamment celles liées au travail du sol et à la gestion des résidus de récolte, qui amplifient les risques de désertification. D'autres pratiques culturales menacent la

durabilité des systèmes de production à travers leurs effets néfastes sur l'environnement et la santé humaine, nous citons ici la dégradation de la qualité des eaux et des produits agricoles suite à l'utilisation non raisonnée des engrais chimiques et des pesticides. Ajoutons à cela le problème de crise énergétique qui est accentuée par l'utilisation de pratiques très consommatrices en énergie non renouvelables et très polluantes pour l'environnement.

Le tableau 1 suivant résume l'impact des pratiques agronomiques couramment utilisées au Maroc sur l'environnement

**Tableau 1.** Impact des pratiques agronomiques sur l'environnement au Maroc

Pratiques agronomiques	Caractéristiques	Effets sur l'environnement
Assolement et rotations culturales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix des cultures et des rotations non raisonné</li> <li>- Pratique de la monoculture céréale abondante</li> <li>- Forte exportation des résidus de la culture précédente</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problème de maladies et de parasitismes : recours aux pesticides</li> <li>- Problèmes de mauvaises herbes : recours aux pesticides</li> <li>- Baisse de la fertilité des sols : appauvrissement en matière organique et en éléments minéraux</li> </ul>
Travail du sol	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Choix des outils non raisonné et utilisation non adéquate</li> <li>- Abondance des outils à disques</li> <li>- Passages répétés</li> <li>- Travail dans le sens de la pente</li> <li>- Problèmes des mauvaises herbes</li> <li>- Forte consommation en carburants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dégradation de la structure du sol : semelles, battances, compactage, tassement,...</li> <li>- Problème de ruissellement et d'érosion hydrique et éolienne</li> <li>- A long terme, baisse du potentiel productif: baisse de la qualité du sol,...</li> <li>- Problème de pollution de l'air : émission du gaz carbonique</li> </ul>
Fertilisation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Utilisation limitée et non raisonnée des engrais chimiques</li> <li>- Utilisation limitée des amendements organiques</li> <li>- Exportation continue des éléments minéraux par les cultures</li> <li>- Utilisation des résidus pour l'alimentation des animaux et pour l'usage domestique</li> <li>- Absence d'analyses du sol</li> <li>- Défaillance des techniques d'épandage des engrais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Baisse de la fertilité du sol</li> <li>- Dégradation de la structure</li> <li>- Problème d'érosion</li> <li>- Pollution de l'eau et du sol</li> <li>- Risques pour la santé humaine</li> </ul>
Désherbage	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Forte infestation des cultures par les mauvaises herbes</li> <li>- Choix non raisonné des herbicides</li> <li>- Défaillance des techniques d'application</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution de l'eau et du sol</li> <li>- Risques pour la santé de l'agriculteur et du consommateur</li> </ul>
Protection phytosanitaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abondance des maladies</li> <li>- Choix non raisonné des pesticides</li> <li>- Défaillance des techniques d'application</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pollution de l'eau et du sol</li> <li>- Risques pour la santé de l'agriculteur et du consommateur</li> </ul>
Irrigation	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abondance de l'irrigation gravitaire</li> <li>- Défaillance des installations d'irrigation</li> <li>- Doses et dates d'irrigation non raisonnées</li> <li>- Efficience d'irrigation faible</li> <li>- Qualité de l'eau d'irrigation non contrôlée (eaux usées, salinité,...)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Problème de gaspillage de la ressource en eau</li> <li>- problème d'érosion et ruissellement,</li> <li>- Pollution de l'eau et du sol</li> <li>- Risques pour la santé humaine (eaux usées, nitrates,...)</li> </ul>
Récolte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dates de récolte non raisonnée</li> <li>- Défaillance des techniques de récolte</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques pour la santé humaine : résidus de pesticides dans les récoltes</li> <li>- Dégradation de la structure du sol : tassement</li> <li>- Détérioration de la qualité des récoltes</li> </ul>

### 3-4- Pratiques agronomiques durables

#### 3-4-1- Choix de la terre à cultiver

Le choix d'une terre à cultiver doit viser une bonne productivité des cultures qui y seront pratiquées et une préservation des ressources en eau et en sol en évitant d'exploiter des terres très sensibles à la dégradation par le phénomène d'érosion. Ce choix doit tenir compte des critères suivants :

- du climat local qui doit permettre aux cultures d'achever leur cycle dans de bonnes conditions hydriques (pluviométrie moyenne suffisante et bien répartie) et thermiques (absence de températures extrêmes);
- du sol qui doit avoir une profondeur suffisante et des caractéristiques physico-chimiques favorables aux cultures (absence de dalles ou croûtes, bon drainage, acidité et alcalinité normales, richesse naturelle en éléments minéraux et en matière organique,...) ;
- du relief qui ne doit pas être trop accidenté pour éviter les problèmes de ruissellement et d'érosion (pente de préférence inférieure à 3%) ;
- de la végétation spontanée qui ne doit pas être constituée de plantes vivaces difficiles à éliminer (chiendent,...)

Néanmoins, une terre présente rarement toutes ces qualités et il est nécessaire d'entreprendre, en fonction des situations, des aménagements qui permettront sa mise en culture et la conservation des ressources naturelles : installation des brises vents, irrigation, défoncement, épierrage, amendements organiques, fumure minérale, techniques culturales conservatoires, défrichage, dispositifs anti-érosifs (banquettes, terrasses, cuvettes,...), etc...

La technique de cuvettes, qui consiste en la conception des petites cuvettes sur les terrains en pente cultivés en cultures annuelles (blé, légumineuses, oléagineuses, a été testée sur le blé au Maroc (région de Meknès, Sefrou et Khmisset) et a donné des résultats satisfaisants en terme d'amélioration du rendement (jusqu'à 33 % de gain par rapport au témoin non cuvetté pour le blé irrigué en 2008 à Louata-Sefrou) et de l'efficacité d'utilisation de l'eau (jusqu'à 34 % de gain par rapport au témoin non cuvetté pour le blé irrigué à Louata-Sefrou en 2008) et en terme de réduction du ruissellement et d'érosion (Aboudrare, 1992 ; Bouaziz et Chekli, 1996 ; Bouaziz et Aboudrare, 2008).

Aussi dans les régions montagneuses (cas du Moyen Atlas, Haut Atlas, Anti-Atlas et Siroua), les techniques de terrasses et de banquettes jouent un rôle important pour la mise en culture des terres et la lutte contre l'érosion hydrique et éolienne.

#### 3-4-2- Assolement et conduite des rotations culturales

L'**assolement** est la division des terres d'une exploitation agricole en parties distinctes, appelées **soles**, consacrées chacune à une culture donnée pendant une saison culturale. Dans chaque sole, les cultures peuvent varier d'une année (voire d'une saison) à l'autre : c'est la **succession culturale** ou **rotation**, qui est une notion différente. L'assolement est la diversité géographique des cultures à un moment donné, la rotation est la succession des cultures sur une même parcelle au fil du temps.

Dans le but de maintenir la durabilité des systèmes de culture l'agriculteur et par conséquent la durabilité de l'exploitation, l'agriculteur doit mettre en œuvre des assolements et des rotations culturales qui poursuivent les objectifs suivants :

- contribuer à la préservation de la ressource en sol en limitant la dégradation de ses qualités physico-chimiques pouvant contribuer à la baisse de sa fertilité et à son exposition à l'érosion ;
- participer à la préservation de la ressource en eau en favorisant l'infiltration des eaux de pluie et en diminuant les pertes en eau par ruissellement ;
- assurer une bonne productivité des cultures ;
- garantir la rentabilité et la durabilité de l'exploitation agricole.

Le choix des cultures à insérer dans l'assolement dépend de plusieurs facteurs liés principalement à leurs rentabilités, à leurs adaptations aux conditions pédoclimatiques de l'exploitation et à leurs exigences en matière de conduite technique.

La pratique de la rotation culturale se justifie pour diverses raisons :

- les cultures prélèvent avec des intensités différentes les éléments nutritifs du sol et certaines cultures enrichissent même le sol en éléments minéraux (cas des légumineuses); la rotation permettra ainsi de maintenir un certain équilibre chimique dans le sol ;
- les racines des cultures exploitent le sol de manières différentes, certaines cultures sont à enracinement superficiel et d'autres à enracinement profond ; la rotation permet donc d'exploiter les différentes couches du sol et de récupérer éventuellement les éléments nutritifs en cours de lessivage (cas du tournesol) ;
- les maladies et les ravageurs ainsi que les plantes parasites sont favorisées s'ils trouvent continuellement une culture hôte sur laquelle ils peuvent se développer ; il en est de même pour les adventices d'elles trouvent en permanence des conditions favorables à leur développement ;
- la structure du sol s'améliore, sous l'effet de l'alternance des différents systèmes racinaires (fasciculés, pivotants,...), la diversité des façons culturales (travail du sol, binage, désherbage, etc,...) et la nature des résidus de récolte (résidus restitués au sol, résidus utilisés pour alimentation de bétail ; résidus utilisés à des fins domestiques,...).

La mise en œuvre de plan de rotation culturale implique la prise en compte de nombreux critères :

- les besoins de la culture : les cultures présentent des exigences différentes en matière du sol et de conduite technique ;
- la valeur du précédent cultural, notamment en ce qui concerne les reliquats de la culture précédente en éléments minéraux, en matière organique et en eau dans le sol. Par exemple, les légumineuses présentent l'avantage de laisser un reliquat d'azote dans le sol ; le tournesol est connu par des exportations importantes en éléments minéraux du sol et par un épuisement de la réserve hydrique du sol ; les cultures maraichères laissent en général les parcelles plus humides et moins infestées par les mauvaises herbes,... ;
- les contraintes liées à l'organisation de travail (cultures nécessitant plus de main d'œuvre, cultures nécessitant plus d'opérations culturales, cultures faciles,...) ;

- la nécessité d'amortir le matériel agricole et les installations liées à la production et à la transformation ;
- la nécessité de fournir une alimentation régulière et équilibrée aux animaux ;
- l'organisation des achats et des ventes.

Le choix de rotations culturales diffère selon que l'on est dans une zone bour ou une zone irrigué. Dans les zones bour, les possibilités de diversifier les cultures sont plus restreintes, de ce fait les rotations y sont plus simples, faisant généralement alterner une ou deux saisons culturales d'une céréale, une saison culturale occupée par une jachère, une légumineuse ou une culture oléagineuse. Par ailleurs, dans ces zones il a été montré au Maroc et d'autres pays l'importance de la jachère dans les rotations culturales du fait qu'elle permet une conservation de l'eau et du sol et une amélioration des rendements des cultures suivantes (Mazhar, 1987 ; Amir et al., 1988 ; Greb et al., 1979; Greb, 1983 ; Dalrymple et al., 1988 cités par Aboudrare, 1990 ; Bouzza, 1990 ;). Le tableau 2 montre l'impact de la jachère sur la conservation de l'eau de pluie et le rendement du blé dans une zone pluviale aux USA.

Dans les périmètres irrigués, la diversité des cultures est telle qu'il est aisé de ne pas faire revenir sur la même parcelle deux fois de suite la même culture. Les rotations culturales peuvent être annuelles (cultures annuelles), saisonnières (cultures maraichères) ou pluriannuelles (cas des cultures pérennes).

**Tableau 2.** Impact du mode de gestion de la jachère sur l'efficacité de conservation de l'eau et le rendement du blé aux U.S.A. (Arkon, Colorado) (Greb, 1983).

Années	Mode de gestion de la jachère	Précipitation moyenne (mm/an)	Précipitations durant la période de jachère (14 mois) (mm)	Quantité d'eau stockée (mm)	Efficacité de la jachère * (%)	Rendement du blé (kg/ha)
1916-1930	Travail du sol maximal: labour+hersage	439	531	101	19	1070
1931-1945	Travail du sol traditionnel: travail superficiel aux disques	401	467	112	24	1105
1946-1960	Travail du sol traditionnel amélioré: début du travail sur chaumes en 1957	416	507	137	27	1725
1961-1975	Travail du sol sur chaumes: début du travail minimum avec désherbage chimique	389	476	157	33	2165

\* Efficacité = (Précipitation durant la période de jachère/Quantité d'eau stockée) x 100

### 3-4-3- Gestion des résidus des récoltes

Les résidus des cultures jouent un rôle important dans le maintien de la fertilité et la structure du sol et la conservation de l'eau et du sol. Dans les zones à agriculture pluviale, plusieurs études ont montré l'intérêt du maintien des résidus de culture en surface pour la réduction du ruissellement et de l'érosion et l'augmentation du stock en eau du sol par le biais de l'amélioration de l'infiltration des eaux de pluie dans le sol et le maintien de la structure et la porosité du sol (Black et Bauer, 1988 ; Unger, 1983 ; Smika et Unger, 1986 ; Unger et Stewart, 1983 cités par Aboudrare, 2000).



Malheureusement, dans le contexte méditerranéen, les résidus des récoltes sont, dans la plupart des situations, utilisés pour la nourriture du bétail ou pour des fins domestiques. Ce qui engendre une dégradation de la fertilité et des propriétés physicochimiques des sols et par conséquent la baisse de leur potentiel de production et leur exposition au phénomène d'érosion. Cette mauvaise pratique menace la durabilité des systèmes de production et donc de l'exploitation agricole.

#### 3-4-4- Travail du sol et installation des cultures

Le travail du sol est un maillon important de l'itinéraire technique pour l'installation des cultures. Dans l'objectif de la durabilité des systèmes de cultures, il doit jouer un rôle important aussi bien pour l'implantation des cultures, du fait qu'il favorise la germination, le levée et le développement racinaire, que pour la conservation de l'eau et du sol à travers ses effets sur l'amélioration de l'infiltration et les transferts de l'eau dans le sol et sur la réduction de l'évaporation de l'eau, le ruissellement et l'érosion. En plus des effets précédents, le travail du sol doit également viser la limitation des phénomènes de dégradation de la structure du sol (compactage, tassement) et l'économie de l'énergie suite à l'utilisation des engins agricoles. Le type de travail qui répond à ces objectifs s'appelle le **travail du sol de conservation** (*conservation Tillage*). On distingue deux types de travail du sol de conservation : **travail minimum** (*minimum tillage*) et le **semis direct** (*no tillage*), appelé aussi par certains non labour ou non travail du sol. La mise en œuvre des pratiques de travail du sol de conservation est intimement liée aux autres pratiques mentionnées précédemment, à savoir, les rotations culturales et les résidus de surface. Par ailleurs, le recours au **travail du sol conventionnel**, faisant appel aux techniques de labour traditionnel, s'avère nécessaire dans certaines situations (cultures maraîchères, cultures à racines pivotantes, etc...), à condition que les risques de dégradation des ressources en eau et en sol (évaporation, ruissellement, érosion,...) qui y sont liés soient atténués.

L'amélioration de la productivité et de la conservation de la ressource en eau passe également par le raisonnement de la variété et de la densité de peuplement.

##### 3-4-4-1- Travail du sol conventionnel

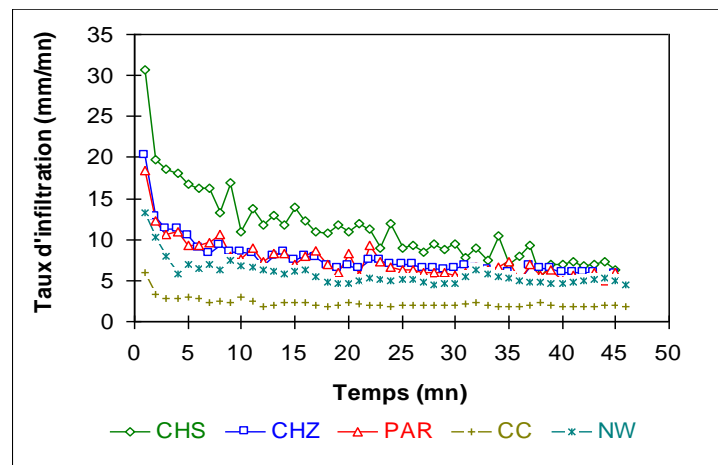
Le travail du sol conventionnel ou labour consiste à découper une bande de terre et la retourner. Les outils mis en œuvre sont les charrues à socs ou à disques. La profondeur de travail varie en fonction du type d'outil et peut atteindre 25 à 35 cm. Les principaux avantages du labour est qu'il permet un bon ameublissement du sol sur la profondeur travaillée, ce qui engendre une meilleure infiltration de l'eau dans le sol (Figure 2) et un bon développement racinaire suite à l'amélioration de la porosité du sol (Aboudrare, 1992 et 2000 ; Debaeke et Aboudrare, 2004 ; Aboudrare et al., 2006). Cependant, il faut noter que cet avantage de conservation de l'eau est constaté surtout lors des années pluvieuses (Figure 3). En années sèches, l'intensité de l'évaporation aboutit à une perte rapide en eau sur les sols labourés. Un autre avantage du labour est qu'il permet l'enfouissement des semences des adventices, ce qui réduit l'infestation des cultures par celles-ci et diminue ainsi l'utilisation des herbicides chimiques et améliore le rendement. Ces effets positifs du labour sont particulièrement bénéfiques en conditions hydriques favorables (bonne pluviométrie, irrigation). Cependant, en conditions hydriques limitantes, caractérisant les zones arides et semi-arides, le travail conventionnel aboutit à une perte en eau importante par évaporation suite à l'absence des résidus de culture précédente (enfouissement des résidus) et à la porosité importante

du sol (transferts de l'eau dans la macroporosité du sol), ce qui implique une baisse du rendement et de l'efficacité d'utilisation de l'eau des cultures (Aboudrare, 1992 et 2000 et Aboudrare et al., 2006). Dans les deux situations, le labour peut également engendrer des pertes en eau et en sol par ruissellement sur les terrains en pente, ce qui accentue le phénomène d'érosion. Ce phénomène est accentué si le travail du sol est fait dans le sens de la pente (pratique très répandue en conditions Marocaines). En outre, cette pratique est très consommatrice en temps et en énergie et fait recours à des engins puissants pouvant induire un problème de tassement et de compactage du sol, notamment en conditions humides.

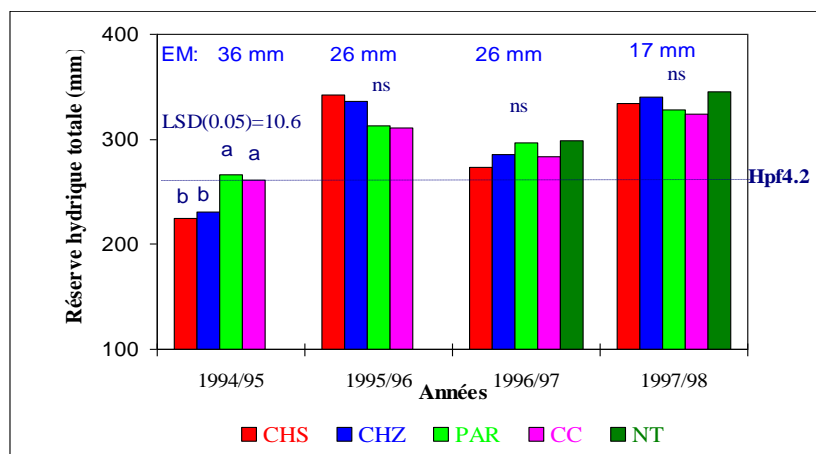
Les cultures présentant un enracinement pivotant (betterave, tournesol, etc...) et les cultures maraichères à bulbes et à tubercules sont particulièrement exigeantes en matière de travail du sol.

Les outils à dents (chisel, décompacteurs,...), pourraient constituer une alternative intéressante aux charrues à socs et à disques, notamment dans les zones à agriculture pluviale. Les études au Maroc et à l'étranger ont montré l'intérêt de ces outils pour la conservation de l'eau et du sol (Aboudrare, 1992 et 2000). Ces outils sont particulièrement recommandés sur les terrains en pente. Leur utilisation nécessite cependant un contrôle adéquat des adventices.

En récapitulatif, la pratique du travail du sol conventionnel doit être utilisée avec beaucoup de précautions de manière à ce qu'elle ne porte pas atteinte à la durabilité du système de culture à travers les risques qu'elle encoure pour les ressources en eau et en sol. Le cas échéant, ces outils pourraient être remplacés par les outils à dents dont leur effet sur la conservation de l'eau et du sol est prouvé. Dans les zones arides et semi-arides à agriculture pluviale, les études ont montré que la pratique du labour est à proscrire du fait des risques précités. Ce sont plutôt les pratiques de travail minimum et de semis direct qui sont préconisées pour ces zones (cf paragraphes suivants).



**Figure 2.** Effet du travail du sol sur la vitesse d'infiltration de l'eau dans le sol (CHS : labour à la charrue à socs ; CHZ : travail au chisel ; PAR : travail au paraplow ; CC : travail au pulvérisateur à disques ; NW : non travail du sol) (Aboudrare, 2000)



**Figure 3.** Effet du travail du sol précoce (en été) sur le stockage de l'eau au semis du tournesol (CHS : labour à la charrue à socs ; CHZ : travail au chisel ; PAR : travail au paraplow ; CC : travail au pulvérisateur à disques ; NT : non travail du sol) (Aboudrare, 2000)

### 3-4-4-2- Travail du sol minimum

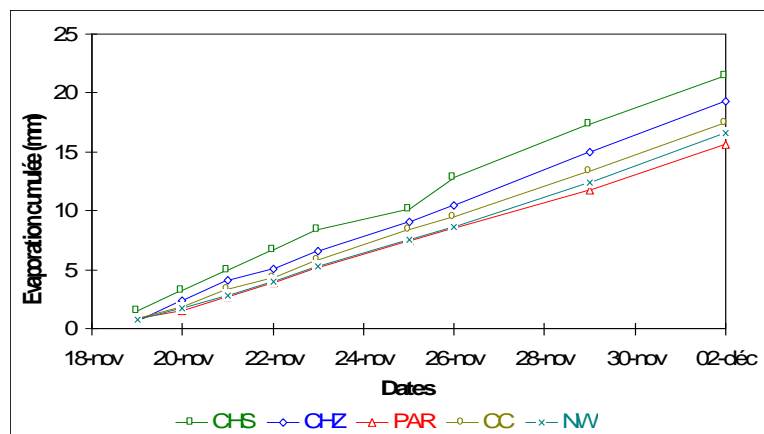
Le travail minimum est une stratégie de travail du sol qui tend à réduire le nombre de façons culturales et le volume de terre travaillée. La séquence traditionnelle de préparation du sol enchaînant le labour, le pseudo-labour et les façons superficielles tend vers une simplification. Cette technique consiste soit en la suppression de certaines opérations (en général le labour), au moins certaines années, soit en la combinaison de plusieurs opérations en un seul passage de tracteur. Le labour réalisé classiquement à la charrue à disques ou à socs est ainsi remplacé par des façons superficielles faisant appel aux outils visant à perturber le sol uniquement en surface pour l'installation des

cultures. Il peut s'agir d'outils à dents (cultivateurs légers, herse, vibroculteurs,...) ou à disques (pulvérisateurs à disques,...), mais aussi les outils animés par la prise de force (cultivateurs rotatifs,...).

Les atouts de cette technique de travail minimum sont les suivants :

- contribue à la conservation de la ressource sol à travers l'amélioration de l'infiltration de l'eau dans le sol surtout si les résidus de surface sont maintenus en surface et la limitation de la dégradation de la structure du sol (compactage, tassement) due aux passages successifs des engins agricoles;
- aboutit à la conservation de la ressource eau en améliorant l'infiltration de l'eau et en réduisant l'évaporation (Figure 4), ces phénomènes sont accentués par la présence de résidus de culture en surface ;
- contribue à l'amélioration de la productivité et de l'efficacité d'utilisation de l'eau ;
- aboutit à l'amélioration de la rentabilité des cultures à travers l'économie d'énergie et du temps due à la simplification des façons culturales ;
- aboutit à la durabilité des systèmes de culture.

Les travaux menés à Meknès par l'équipe du département de Machinisme entre 1989 et 2000 (Aboudrare, 1992 et 2000 ; Dimanche, 1997 ; Dietmar, 1995 ; Chekli, 1992 ; Boutahar, 1996) et à Settat par l'INRA (Bouzza, 1990) confirment l'intérêt de cette technique en zones semi-arides pour l'amélioration des rendements des cultures (Tableau 3) et la conservation de l'eau et du sol.



**Figure 4.** Effet du travail du sol sur l'évaporation cumulée de l'eau (CHS : labour à la charrue à socs ; CHZ : travail au chisel ; PAR : travail au paraplow ; CC : travail au pulvérisateur à disques ; NW : non travail du sol) (Aboudrare, 2000)

### 3-4-4-3- Semis direct

Le semis direct (appelé aussi non labour ou zéro labour) est une technique réduisant à l'extrême le travail du sol (forme extrême du travail minimum). Celui-ci n'étant pas travaillé et un couvert constitué par une couche de résidus végétaux (chaumes,...) y est maintenu en permanence, ce qui le protège des différentes formes de dégradation (hydrique et éolienne), favorise son activité biologique et améliore l'infiltration des eaux de pluie. Les opérations culturales se limitent au semis de la culture, qui se fait par le passage d'un semoir spécifique travaillant le sol de façon superficielle à l'emplacement des lignes de semis et qui y dépose les semences et les engrais. Le travail du sol n'étant plus pratiqué, le contrôle des adventices doit être assuré par voie

chimique, à l'aide d'herbicides non nocifs à l'environnement, associée à des techniques culturales (rotation,...).

Cette technique a fait ses preuves dans le monde entier (95,5 Millions ha) et est pratiquée à large échelle dans certains pays (USA : 25,3 M ha ; Brésil : 23,6 M ha ; Argentine : 18,3 M ha ; Canada : 12,5 M ha ; Australie : 9 M ha, ...). Au Maroc, les recherches menées à Settat (INRA), Meknès (ENA Meknès) et Ain Aouda (IAV Hassan II) sur une longue durée ont montré la performance de cette technique dans ces régions caractérisées par un climat semi-aride. Elle améliore les rendements des cultures, notamment les céréales, et l'efficacité d'utilisation de l'eau et contribue à la conservation des ressources eau et sol (Bouzza, 1990 ; Aboudrare, 1992 ; Mrabet, 2008) (Tableau 3). Par ailleurs, les résultats dépendent du type d'année. A Meknès, les études ont montré qu'en année pluvieuse, les rendements du blé sont similaires entre le semis direct et le travail conventionnel à la charrue à socs mais le semis direct l'emporte sur le plan de la rentabilité de la culture (économie d'énergie); par contre en année sèches, le semis direct aboutit incontestablement à un meilleur rendement par rapport au travail conventionnel.

La mise en œuvre de cette technique nécessite un semoir spécial qui permet l'ouverture du sol pour y déposer les semences malgré la présence de la couverture de résidus végétaux. Ces semoirs, généralement coûteux, sont très lourds avec des organes d'enterrages très robustes de façon à faciliter leur pénétration dans le sol qui n'est pas travaillé. Le semis direct nécessite également un contrôle adéquat des mauvaises herbes et une grande technicité de l'opérateur. Aussi, il faut noter que cette technique ne s'adapte qu'aux sols ayant une bonne activité structurale (sols isohumiques et calcimagnésiques); les sols battants et lourds sont à proscrire pour cette technique. Le problème de parasitisme lié à la présence en surface des résidus de culture pourrait être également posé dans certaines situations (Aboudrare, 1992).

Le coût, très élevé, du semoir en semis direct et l'utilisation des résidus de culture pour l'alimentation du bétail sont deux points qui pourraient limiter la technique du semis direct au Maroc.

**Tableau 3 :** Rendements du blé obtenus sur différents essais travail du sol au Maroc (Aboudrare et al., 2001)

Années	Rendement (Qx / ha)				Auteur
	S. direct	T. superficiel	T. moyen	T. profond	
1987-88	50,6	62,1	63,4	63,9	Cekli (1991)
1990-91	9,6	20,3	26,4	31,4	Nebras (1992)
1990-91	35,4 - 43,4	-	-	-	Boutahar (1996)
1991-92	6,6	5,1	4,3	4,3	Boutahar (1996)
1991-92	10,7	2,4	5,1	4,2	Aboudrare (1992)
1983-1993*	19	16	-	14	Bouzza (1990 ; Mrabet et al. (1993) ; Mrabet (2000)
1983-1993**	37	37	-	26	Bouzza (1990 ; Mrabet et al. (1993) ; Mrabet (2000)

\* Monoculture blé (Sidi El Aydi)

\*\* Blé/Jachère (Sidi El Aydi)

### 3-4-4-4- Choix de la variété et de la densité de peuplement

Pour une meilleure valorisation de la ressource en eau et une amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau par les cultures on doit choisir les cultures et les variétés qui sont plus adaptés au contexte pédoclimatique (climat aride, semi-aride,...)

et cultural (irrigué, bour,...) de la région. Par exemple, pour le tournesol dans les zones arides et semi-arides à agriculture pluviale, on doit choisir des variétés naines qui présentent un indice foliaire faible qui ne permet pas un gaspillage important de l'eau. Le facteur variétal doit être combiné au facteur densité de peuplement qui est également très déterminant pour la gestion de l'eau par le couvert foliaire et l'amélioration de l'efficacité d'utilisation de l'eau et du rendement. Dans les zones arides et semi-arides à agriculture pluviale, il est recommandé de semer moins dense pour mieux gérer la ressource en eau. En conditions d'irrigation, il faut semer à une densité optimale qui permet une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau.

L'homogénéité du peuplement est également un facteur important pour l'utilisation efficace de l'eau par les cultures à travers un recouvrement rapide et homogène du sol ; d'où la réduction de la part de l'évaporation de l'eau à partir du sol dans l'évapotranspiration totale des cultures. Cette homogénéité peut être obtenue par utilisation des semoirs (semoirs classiques pour les céréales ou de précision pour les cultures sarclées). Les semis à la volée, largement pratiqués au Maroc, sont à proscrire en raison de l'hétérogénéité du peuplement et du gaspillage des semences qu'ils engendrent.

### 3-4-5- Fertilisation

La **fertilisation** est le processus consistant à apporter au sol les éléments minéraux nécessaires au développement de la plante. Ces éléments peuvent être de deux types, les engrais (minéraux ou organiques) et les amendements (minéraux ou organiques).

Les objectifs de la fertilisation sont d'obtenir le meilleur rendement possible compte tenu des autres facteurs qui y concourent (qualité du sol, climat, apports en eau, potentiel génétique des cultures, moyens d'exploitation), ainsi que la meilleure qualité, et ce, au moindre coût, mais aussi, **en agriculture durable**, s'y ajoute l'objectif de **préservation de la qualité de l'environnement** (eau, sol, air, santé humaine et animale, biodiversité,...).

On s'intéressera dans ce qui suit aux deux composantes de la fertilisation à la fertilisation minérale et à la fertilisation organique

#### 3-4-5-1- Fertilisation minérale

Une des lois de la fertilisation connue sous le nom de « loi de restitution » stipule qu'« il est indispensable de restituer au sol, pour qu'il ne s'épuise pas, tous les éléments fertilisants que lui enlèvent les cultures ».

Toutefois, il faut ajouter aux pertes occasionnées par l'exportation des récoltes celles provenant du lessivage ou de l'immobilisation d'éléments minéraux dans le sol (blocage, formation d'humus). D'autre part, le sol bénéficie de restitution en éléments nutritifs, provenant des résidus de la récolte précédente mais également de mécanismes naturels tels que la fixation d'azote atmosphérique (légumineuses, bactéries libres,...), la minéralisation de l'humus ainsi que l'altération progressive des minéraux insolubles du sol.

La fertilisation minérale visera donc à combler la partie des pertes non compensées par les restitutions, en fournissant de préférence les éléments à l'avance, ce qui permettra à la culture de disposer de tous les éléments nécessaires au moment voulu. Cette restitution se basera sur des apports d'engrais chimiques associés ou non à un

complément d'engrais ou amendements organiques. Si l'exploitation fait le choix de pratiquer l'agriculture biologique, il ne sera pas amené à utiliser les engrais chimiques.

**L'approche rationnelle de la gestion de la fertilisation** des cultures peut se reposer sur deux méthodes :

- l'**analyse du sol** : elle permet de connaître avec certaine précision la teneur du sol en matière organique ainsi que sa richesse en divers éléments minéraux ;
- le **raisonnement de la fertilisation** : il se base sur le maintien ou l'amélioration du statut organique du sol ainsi que sur le bilan des pertes et gains pour les principaux éléments nutritifs, en général N, P et K. C'est la **méthode du bilan des éléments nutritifs**.

Cette approche aboutira à choisir les matières fertilisantes qui répondent le mieux aux besoins des cultures en fonction de la situation. Elle permettra également de prévenir une « sur-fertilisation » pouvant conduire à des toxicités et à la pollution des nappes d'eaux souterraines, ce qui constitue un réel gaspillage économique et une atteinte à l'environnement. A l'opposé, elle permettra d'éviter une « sous-fertilisation » qui peut entraîner des carences et diminuer le niveau de production des cultures.

La méthode de bilan des éléments nutritifs consiste à comparer les exportations et les importations (ou entrées) au niveau de la parcelle ou de l'exploitation pour les principaux éléments nutritifs. A partir de ce bilan et en tenant compte des éventuels reliquats et de leur disponibilité, on pose un certain nombre d'hypothèses concernant la culture à installer (surface, produit exportés, rendement,...) afin d'établir un bilan prévisionnel qui permettra de déduire les quantités d'engrais organiques ou minéraux à apporter au sol.

Pour calculer le bilan des éléments nutritifs au niveau de la parcelle, il faut comparer :

- Les sorties (pertes) dues aux exportations par les récoltes, au lessivage, aux immobilisations d'éléments minéraux (blocage, humification,...) et aux autres pertes (volatilisation,...) ;
- Les entrées (gains) provenant de la minéralisation de l'humus, de la décomposition rapide des matières organiques fraîchement enfouies (fumier, résidus de récolte,...), de la libération d'éléments provenant de l'altération des minéraux insolubles du sol, de l'azote fourni par les synthèses microbiennes et des apports d'engrais organiques et minéraux.

La méthode de bilan des éléments nutritifs est fiable pour le phosphore et le potassium mais son application est plus délicate pour l'azote en raison de la variabilité des paramètres de cette méthode qui dépendent fortement du facteur climatique.

Le choix du type d'engrais est un problème complexe qui nécessite de prendre en considération plusieurs facteurs :

- l'acidité du sol : en sol acide on choisira un engrais alcalinisant, en sol alcalin un engrais acidifiant ;
- la dynamique de l'absorption de l'élément par la plante (assimilation directe ou après transformation) ;
- les interactions « nature d'engrais - nature du sol » (azote nitrique en sol sec et ammoniacal en sol humide) ;
- la présence d'ions bénéfiques ou indésirables (chlore, soufre,...) ;
- le coût de l'unité fertilisante.

Une fois le type d'engrais choisi et sa dose déterminée, il faut l'épandre de manière correcte soit manuellement, soit mécaniquement à l'aide d'un épandeur d'engrais. Ce dernier, s'il est bien réglé assure une bonne répartition de l'engrais dans la parcelle que l'épandage manuel. En cas de mélanges de plusieurs engrais, il est nécessaire de savoir la compatibilité des mélanges d'engrais (Mélanges à éviter : ammonitrate et urée, nitrates de chaux et urée ; sulfate d'ammoniaque et nitrate de chaux ; nitrate de chaux et ammonitrate ; urée et superphosphate ; nitrate de chaux et superphosphate ; nitrate de chaux et phosphate d'ammoniaque ; nitrate de chaux et nitrate de potassium,...). Il faut également veiller à ce que les granules des différents engrais aient une taille et une densité similaire, au risque qu'il y ait une ségrégation entre les granules et que la répartition lors de l'épandage soit hétérogène.

Enfin, Il est recommandé de respecter les règles de sécurité par l'opérateur lors de la préparation des mélanges d'engrais et leur application pour préserver sa santé. Aussi, le respect de l'environnement lors de l'application des engrais et l'entretien du matériel d'épandage est nécessaire.

Au Maroc, cette bonne pratique est limitée par le coût des analyses du sol et des matières fertilisantes, d'une part, et le manque de matériel d'épandage d'engrais et leur mauvaise utilisation s'ils existent, d'autre part. Ajoutons à cela le problème de manque d'eau en années sèches qui engendre une mauvaise utilisation des engrais.

### **3-4-5-2- Fumure organique**

La Fertilisation basée exclusivement sur l'apport d'engrais minéraux ne peut assurer durablement la fertilité des sols. Le maintien ou l'amélioration de la fertilité des sols nécessite l'entretien de la teneur en matière organique du sol qui se fait par un apport régulier d'amendements humifères de qualité, utilisés correctement.

La matière organique constitue la base de la fertilité des sols. Ses effets sur le sol sont multiples :

- Amélioration de la structure du sol, rendant le sol plus aéré, augmentant sa capacité de rétention en eau et sa résistance à l'érosion ;
- Augmentation de la capacité à retenir les éléments nutritifs, évitant le lessivage ;
- Contribution à la nutrition des cultures par minéralisation progressive de l'humus qui libère des éléments minéraux ;
- Stimulation de l'activité biologique et donc des grandes fonctions biologiques du sol : humification, minéralisation, fixation biologique d'azote,...

Les amendements humifères peuvent être le fumier, le lisier, le purin, le compost, les résidus de récolte, les engrais verts ou d'autres matière organiques,...

L'intégration des cultures et de l'élevage dans le système de production permet des transferts de fertilité intéressants.

Le suivi du statut organique du sol peut être réalisé au niveau de la parcelle ou de l'exploitation par la méthode du bilan de l'humus. Elle consiste à calculer les quantités d'humus fournis annuellement à la parcelle ou à l'exploitation et de les comparer aux quantités d'humus détruites annuellement par minéralisation. Si le bilan est positif (quantités fournies supérieures aux pertes), le taux d'humus va augmenter, ce qui va



contribuer à une meilleure nutrition des cultures; si le bilan est négatif (pertes supérieures aux quantités fournies), il faudra trouver des sources supplémentaires de matières organiques, dans ou hors de l'exploitation.

Le calcul du bilan humique du sol nécessite donc de connaître les quantités de matières organiques apportées à la parcelle ou à l'exploitation et la quantité d'humus qu'elles fournissent (fumier : 100 kg/tonne ; paille du blé (Rendement de 20 qx/ha): 500 kg/ha; racines et chaumes du blé (Rendement de 20 qx/ha) : 300 kg/ha ; racines et tiges de luzerne (âge de 2 ans) : 1000 kg/ha) et les quantités d'humus détruites annuellement par minéralisation.

L'**agriculture biologique** (cf paragraphe 3-4-9), qui fait appel pour la fertilisation des cultures, uniquement aux engrais et amendements organiques est la pratique la plus durable en terme du maintien et l'amélioration de la fertilité des sols.

Dans le contexte marocain caractérisé par un mauvais apport de fertilisants minéraux et organiques et une utilisation des résidus des cultures pour l'alimentation animale et pour l'usage domestique (incinération), de nombreux sols présentent des signes d'appauvrissement chimiques et de dégradation physique. Pour redresser cette situation et espérer une durabilité du système de production, en plus d'une fertilisation minérale raisonnée, l'apport des amendements organiques est nécessaire. Par ailleurs, la faible capacité technique des agriculteurs à valoriser correctement les matières organiques accentue le problème ; à titre d'exemple le fumier non composté est souvent utilisé par les exploitants, ce qui peut constituer un foyer de maladies et de mauvaises herbes et peut endommager la culture en brûlant les racines (augmentation de la température du fumier sous l'action de la fermentation ou décomposition du fumier). Pour cette raison, on a jugé nécessaire d'aborder dans les sous paragraphes suivants le processus de compostage et le cas particulier du fumier largement utilisé au Maroc.

### **3-4-5-2-1- Le Fumier**

Le fumier est une matière organique, constitué d'excréments d'animaux domestiques additionnés de paille, utilisé comme produit fertilisant dans l'agriculture. Les fumiers contribuent à enrichir la terre en y ajoutant des matières organiques et des nutriments (azote, phosphore, potassium,...).

On distingue différents types de fumier selon l'espèce animale qui le produit : le fumier de bovins, le fumier d'ovins et caprins, le fumier d'équidés et le fumier de volailles. Chaque type de fumier présente des caractéristiques différentes en termes de la vitesse de sa décomposition et de sa richesse en éléments minéraux.

Le tableau 4 présente les teneurs en éléments minéraux des différents types de fumier. Les fumiers de volailles sont très riches en éléments minéraux et leur décomposition est rapide et par conséquent les éléments minéraux, notamment l'azote, qui résultent de sa minéralisation sont rapidement disponibles pour les plantes. Par contre, les fumiers de bovins, moins riches en éléments nutritifs que les autres types de fumier, se dégradent lentement (25 % en première année, 50 % en deuxième année puis effet résiduel long pendant plusieurs années). Il est qualifié de « fumier froid » et est particulièrement adapté aux sols siliceux et calcaires. Les apports doivent se faire en automne hiver pour le printemps suivant. Les fumiers de cheval et d'ovins, à richesses intermédiaires entre le fumier de bovins et celui de volailles, présentent une durée de dégradation plus ou moins lente et sont qualifiés de « fumiers chauds » du fait qu'ils permettent de chauffer le sol. Ils sont plutôt adaptés aux sols argileux.

On n'emploie jamais le fumier dès sa sortie de l'étable ou de l'écurie, ce fumier frais risquerait d'endommager les plantes en brûlant les racines. Il doit être **composté** pendant au moins 6 mois dans de bonnes conditions avant d'être épandu sur les cultures.

**Tableau 4.** Teneurs en azote, phosphore et potassium selon le type de fumier (Fagroud et al., 2005)

Types de fumier	Azote (kg de N/tonne de fumier humide)	Phosphore (kg de P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /tonne de fumier humide)	Potassium (kg de K <sub>2</sub> O/tonne de fumier humide)
Fumier de bovin	3,4	1,3	3,5
Fumier de cheval	6,7	2,3	7,2
Fumier de mouton	8,2	2,1	8,4
Fumier de volailles	20	13	25

### 3-4-5-2-2- Compostage

#### 3-4-5-2-2-1- Définition

Le **compostage** est un procédé biologique de conversion et de valorisation des matières organiques (sous-produits de la biomasse, déchets organiques d'origine biologique...) en un produit stabilisé, hygiénique, semblable à un terreau, riche en composés humiques, le **compost**.

Le compost améliore les propriétés physiques du sol (accroissement de l'aération, de la rétention en eau et de la résistance à l'érosion) et contribue à l'alimentation en éléments minéraux des cultures

#### 3-4-5-2-2-2- Composition d'un compost

Les organismes responsables du compostage ont besoin de trois éléments pour vivre :

- ✓ de nourriture équilibrée, composée d'un mélange de matières **carbonées** (brunes-dures-sèches) et de matières **azotées** (vertes-molles-humides) ;
- ✓ d'humidité, contenue particulièrement dans les matières azotées ;
- ✓ d'air, dont la circulation est favorisée par les matières carbonées structurantes (dures).

Par conséquent la décomposition et la qualité du compost sont meilleures si on mélange des matières organiques riches en carbone avec des matières organiques riches en azote.

Les matières organiques utilisées peuvent être d'origines diverses : fumier, résidus de récolte, déchets agro-industriels, déchets d'animaux, déchets ménagers, etc...

Les matières organiques riches en carbone sont la paille, les écorces de bois, les sciures,...

Les matières organiques riches en azote sont le fumier, les fientes de volaille, les herbes coupées, les déchets d'abattoirs, les déchets de légumes,...

Par ailleurs, il faut être prudent avec les déchets ménagers urbains et les boues d'épuration qui peuvent contenir des métaux lourds, toxiques, notamment pour la santé humaine.

### 3-4-5-2-2-3- Procédé de compostage

Le compostage est une opération qui consiste à dégrader, dans des conditions contrôlées, des déchets organiques en présence de l'**oxygène** de l'air.

Deux phénomènes se succèdent dans un processus de compostage :

- ✓ le premier, amenant les résidus à l'état de compost frais, est une **dégradation aérobie** intense : il s'agit essentiellement de la décomposition de la matière organique fraîche à haute température (50-70 °C) sous l'action de **bactéries** ;
- ✓ le deuxième, par une dégradation moins soutenue, va transformer le compost frais en un **compost mûr**, riche en **humus**. Ce phénomène de **maturation**, qui se passe à température plus basse (35-45 °C), conduit à la **biosynthèse** de composés humiques par des **champignons**.

L'élévation de la température lors de la première phase de dégradation permet la destruction de nombreux germes de maladies ainsi que des graines de mauvaises herbes.

### 3-4-5-2-2-4- Conditions influençant le compostage

La progression du matériel de départ vers le stade final, l'humus, dépend d'un grand nombre de facteurs externes comme, l'aération, l'humidité, la dimension des particules, la température, le pH, la nature du carbone, le rapport C/N, le rapport C/P, la flore microbienne,...

- **Aération** : Ce facteur est essentiel puisque le compostage est un processus aérobie. On estime que l'air devrait occuper au moins 50% du volume du tas. L'anaérobiose commence lorsque le taux d'oxygène du tas est inférieur à 10% ; elle prédomine au-dessous de 5% d'O<sub>2</sub> (air = 21% O<sub>2</sub>).

- **Humidité** : Comme pour un substrat de culture, l'aération et l'humidité du compost sont liées : un excès d'eau diminue la quantité d'air disponible dans le volume de compost. L'arrosage de la masse en fermentation permet le cas échéant de manière à maintenir un taux d'humidité de 50 à 70% de la masse fraîche (c'est-à-dire l'équivalent de la capacité au champ pour un sol).

- **Dimension des particules** : Outre son rôle sur la porosité à l'air et la rétention en eau du milieu, l'un des effets de la dilacération préalable (broyage) est d'augmenter la surface de contact entre les déchets et la microflore. Une réduction de la taille des particules entraîne donc un accroissement du taux de décomposition mais aussi une circulation d'air plus faible (risque d'anaérobiose).

- **Température** : Par leur respiration les micro-organismes dégagent une chaleur telle que les températures atteintes (80 et même plus de 90°C dans un tas bien isolé) peuvent devenir létales pour les cellules. L'optimisation du processus consiste donc à veiller à ne pas dépasser une température de 70°C.

- **pH** : Généralement, les matières à composter présentent un pH compris entre 5 et 7, c'est-à-dire dans des limites acceptables. Le pH s'abaisse pendant les premiers jours et remonte ensuite pour devenir neutre ou légèrement alcalin aux alentours de 8.

- **Forme du carbone** : Elle influence beaucoup la vitesse de décomposition du compost. Certaines molécules, tels les glucides simples, l'amidon, les hémicelluloses, les pectines et les acides aminés, sont aisément dégradables. La cellulose, polymère plus volumineux, est plus résistante. La lignine et les autres polymères aromatiques, extrêmement solides, seront dégradés plus tardivement, plus lentement et incomplètement (conduisant à la formation d'humus).

- **Rapport C/N** : La consommation du carbone organique par la microflore libère une grande quantité de CO<sub>2</sub>. La diminution progressive de la teneur en carbone du milieu a

pour conséquence une diminution sensible de la valeur du rapport C/N. En effet l'azote, fixé dans les protéines microbiennes, reste dans la masse du compost (sauf pertes éventuelles par dégagement d'ammoniac). Selon le degré de fermentescibilité du carbone composant les résidus, on considérera comme favorable un rapport C/N de 20 à 40 en fin de maturation. Mais, de nombreux auteurs citent un rapport C/N de 15 à 30 comme idéal.

- **Rapport C/P** : Le phosphore est essentiel aux réactions énergétiques des micro-organismes (Adénosine Tri-Phosphate). Il entre aussi dans la composition de nombreuses autres macromolécules. Un rapport C/P de la matière à composter voisin de celui de la microflore (75 à 150) conduit à une dégradation plus rapide de la matière organique et à une plus grande production d'humus.

- **Conditions biologiques** : La vitesse et l'efficacité du compostage sont liées à la présence d'une population microbienne adéquate. Si la présence de ces milliards de bactéries et champignons est indispensable, leur ensemencement ('activateurs' ou 'stimulateurs' de compostage) semble peu, voire pas utile. Les spores de ces micro-organismes existent en effet en quantités suffisantes dans la nature et il est beaucoup plus important de veiller à créer un milieu (pH, humidité, aération, C/N, ...) favorable à leur développement.

- **Autres éléments minéraux** : Les matières à composter doivent être considérées comme un milieu de culture pour microbes, où le facteur limitant ne peut être que le carbone assimilable et non un autre constituant du milieu. Ces éléments sont en général présents en quantité suffisante dans la matière organique à composter.

### 3-4-5-2-2-5- Méthodes de compostage

Il existe de nombreuses méthodes de compostage, mais les processus de biodégradation qu'ils mettent en œuvre sont tous les mêmes :

- **A l'air libre** : on construira cependant un auvent au-dessus des composts en fermentation afin de les protéger des pluies excessives ou de la dessiccation par le vent et le soleil.

- **En fosse** : La fosse est creusée dans un endroit abrité et bien isolé. Les déchets organiques y sont disposés en couches d'une vingtaine de centimètres d'épaisseur, alternant les produits riches en azote et ceux riches en carbone. Ils sont ensuite recouverts d'une épaisse couche de paille (isolation) puis d'une couche de terre d'environ 10 cm d'épaisseur. Cette méthode est très lente et partiellement anaérobie car aucun apport ultérieur d'eau ou d'air n'est effectué.

- **En tas** : C'est la **méthode de compostage la plus commune**. Les déchets sont rassemblés en andains de longueur indéfinie et dont la hauteur dépend à la fois de la porosité à l'air du compost ainsi que de la fréquence et de la méthode d'aération choisie (une fréquence élevée et/ou une aération par ventilation forcée autorisent des tas plus importants).

- **En couloir** : Cette méthode est fort semblable à la précédente, mais les andains sont ici compris entre deux murs latéraux. Elle permet parfois une installation plus aisée des dispositifs d'aération mais nécessite un investissement plus important. On dispose également de moins de flexibilité pour l'organisation ou la modification du chantier de compostage.

- **En enceinte close ou « digesteur »** : Le principe commun des procédés de fermentation dite « accélérée » est basé, sur le séjour plus ou moins rapide des déchets dans des dispositifs appelés digesteurs. Un digesteur est une enceinte fermée à l'intérieur

de laquelle il est possible de contrôler le déroulement de la fermentation en agissant essentiellement sur l'aération.

- **Silo vertical (tour) :** De nombreux dispositifs existent, plus ou moins complexes, mais leur principe reste le même. Les déchets sont acheminés, via une bande transporteuse, au sommet de la tour de digestion. Ils descendront soit au moyen de vis sans fin ou de racleurs en suivant une succession de plateaux, soit par gravité. L'aération est assurée par des tuyaux d'aération.

- **Bio-stabilisateur :** Le digesteur est disposé ici, non plus verticalement, mais horizontalement. Il s'agit en fait d'un cylindre rotatif d'une longueur de 25 à 35 mètres et d'un diamètre de 3 à 4 mètres. La rotation continue du cylindre, à l'intérieur duquel sont fixées des plaques déflectrices hélicoïdales, permet d'assurer à la fois le brassage et l'aération du produit ainsi que sa progression vers l'extrémité du dispositif.

### 3-4-5-2-2-6- Utilisation du compost

Un bon compost est un produit dont les constituants organiques ont subi une conversion biologique en des substances moins agressives et plus stables. Les processus de dégradation persistent cependant à un taux plus réduit au-delà même de la phase de fermentation. Il faut donc savoir quand et pour quel usage on pourra utiliser un compost sans risque de phytotoxicité.

Un compost frais, c'est-à-dire ayant subi un début de fermentation (de l'ordre de 2 semaines), pourra être utilisé en paillage (mulching) ou en champignonnières. En fin de fermentation, le compost est stabilisé et pourra servir comme engrais/amendement organique. Une utilisation comme substrat de culture requiert quant à elle un compost ayant subi une longue période de maturation (d'autant plus longue que les plantes sont sensibles : jeunes semis,...).

En fonction du type de culture, on utilisera un compost plus ou moins décomposé. Un compost jeune conviendra pour les cucurbitacées ou les épinards, alors que les légumineuses ou les alliées apprécieront un compost bien mûr, bien décomposé.

Après tamisage, le compost sera épandu puis incorporé au sol sur 10-15 cm de profondeur, soit il pourra être localisé le long des lignes de cultures.

### 3-4-6- Irrigation

Les ressources en eau au Maroc sont limitées et la concurrence entre l'agriculture et les autres secteurs utilisateurs (approvisionnement en eau potable des populations, activités industrielles) croît sans cesse. Le secteur agricole utilise environ 85 % des eaux mobilisées du pays, il est donc appelé à employer cette ressource de façon rationnelle, par sa valorisation technique et économique, dans la perspective de sa préservation pour les générations futures et d'assurer la durabilité des systèmes de production.

La valorisation de l'eau couvre de nombreux aspects techniques et économiques :

- choix raisonné des cultures à irriguer ;
- choix raisonné du système d'irrigation;
- meilleur pilotage de l'irrigation ;
- maintenance des installations d'irrigation

### 3-4-6-1- Choix raisonné des cultures à irriguer

Le choix raisonné des cultures à irriguer vise à l'utilisation efficiente de la ressource en eau en vue de la préserver et à l'amélioration de la productivité des cultures et par conséquent de l'exploitation.

Le choix des cultures à irriguer prend en considération les besoins totaux de la culture mais également la manière dont la culture valorise l'eau sur le plan agronomique et économique :

- Sur le plan agronomique, les cultures ne présentent pas les mêmes besoins en eau et ne répondent pas de la même manière aux apports d'eau d'irrigation. La valorisation de l'eau par la plante est représentée par l'efficacité agronomique d'utilisation de l'eau qui est définie comme étant le rapport entre le rendement de la partie récoltable de la culture sur le volume d'eau consommé.
- Sur le plan économique, le bénéfice tiré de l'irrigation est indiqué par la valeur de l'efficacité économique d'utilisation de l'eau qui est définie comme étant le rapport entre la valeur monétaire de la partie récoltable sur la quantité d'eau consommée.

### 3-4-6-2- Choix raisonné du système d'irrigation

La mise en œuvre d'un choix raisonné du système d'irrigation poursuit les objectifs suivants :

- contribuer à l'utilisation efficiente de l'eau en vue de sa préservation par la limitation des pertes en eau liées à l'irrigation ;
- améliorer la productivité des cultures irriguées et par conséquent améliorer la rentabilité de l'exploitation;

Les pertes en eau liées à l'irrigation peuvent provenir soit au niveau du réseau, soit au niveau de la parcelle.

Au niveau des réseaux, les pertes peuvent être minimisées en remplaçant les canaux en terre ouverts pourvus d'un revêtement étanche ou par des canaux fermés généralement constitués d'éléments préfabriqués assemblés.

Au niveau de la parcelle, les pertes dépendent de la méthode d'irrigation pratiquée.

On distingue trois principaux types d'irrigation : l'irrigation gravitaire, l'irrigation par aspersion et l'irrigation localisée ou au goutte à goutte. Chaque système d'irrigation présente ses avantages et ses contraintes (Tableau 5).

Chaque situation nécessite une analyse personnalisée du système d'irrigation répondant le mieux aux besoins et aux possibilités de l'exploitation. Le raisonnement intégrera les divers paramètres techniques et économiques, mais également sociologiques et environnementaux. Il prendra également en compte les évolutions futures, notamment en matière de la rareté de la ressource en eau et de sa tarification pour l'usage agricole. Par conséquent, dans une optique de conservation de cette ressource et pour garantir la durabilité de l'exploitation agricole, l'accent doit être mis sur les méthodes d'irrigation économes en eau telles que les systèmes de goutte à goutte et d'irrigation par aspersion au détriment du système gravitaire dont l'efficacité est faible et qui constitue la pratique la plus répandue au Maroc (80 % des superficies irriguées). Cependant, si le choix est fait sur le système gravitaire, l'efficacité peut être améliorée par l'utilisation de rampes à vannettes, de siphons, ou de gaines souples.

Le tableau 5 présente les caractéristiques de chaque méthode d'irrigation

**Tableau 5.** Caractéristiques des principaux systèmes d'irrigation

Système d'irrigation	Caractéristiques
Gravitaire	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pente nécessaire (0,1 à 3 %) pour écoulement de l'eau et nivellement indispensable (irrigation par blanche, bassin, raie)</li> <li>- Adapté à toutes les cultures</li> <li>- Contrainte sur sols très argileux ou très limoneux</li> <li>- Pas de contrainte liée à la charge de l'eau (sable, limon,...)</li> <li>- Répartition hétérogène de l'eau</li> <li>- Favorise le développement des adventices</li> <li>- Ne nécessite pas de pression</li> <li>- Ne nécessite pas assez d'équipements</li> <li>- Nécessite de la main d'œuvre</li> <li>- Efficience globale d'utilisation de l'eau très faible (40-50 %)</li> <li>- Risque d'accumulation des sels au niveau des buttes pour l'irrigation à la raie</li> </ul>
Aspersion	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convient aux terrains accidentés</li> <li>- Convient bien aux céréales et fourrages</li> <li>- Convient à tous les types de sol</li> <li>- Contrainte liée à la charge de l'eau</li> <li>- Contrainte liée au climat (vent et température élevée)</li> <li>- Répartition hétérogène de l'eau</li> <li>- Feuillage humecté (risques de maladies et de brûlures dues à la salinité)</li> <li>- Favorise fortement le développement des adventices</li> <li>- Nécessite d'importants équipements (coût d'environ 20000 DH/ha)</li> <li>- Nécessite de la pression (2,5 à 6 bars selon le type d'aspersion)</li> <li>- Intervention de la main d'œuvre restreinte</li> <li>- Efficience globale moyenne (60-70 %)</li> <li>- Risque de salinisation réduit</li> </ul>
Goutte à goutte	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Convient à tous types de terrains</li> <li>- Convient au maraichage et à l'arboriculture</li> <li>- Convient à tous les types de sol</li> <li>- Convient uniquement aux dispositifs en lignes</li> <li>- Contrainte liée à la charge de l'eau</li> <li>- Répartition homogène de l'eau</li> <li>- Favorise peu le développement des adventices</li> <li>- Nécessite d'importants équipements (coût d'environ 25000 DH/ha)</li> <li>- Nécessite de la pression (2,5 à 6 bars selon le type d'aspersion)</li> <li>- Intervention de la main d'œuvre très restreinte et automatisation possible</li> <li>- Efficience globale élevée (75-85 %)</li> <li>- Concentration des sels à la périphérie de la zone humectée : permet d'utiliser des eaux plus salées que pour les autres méthodes d'irrigation</li> </ul>

### 3-4-6-3- Pilotage de l'irrigation

Une bonne valorisation de l'eau d'irrigation passe par un meilleur pilotage de l'irrigation. Le pilotage de l'irrigation a pour objectif de répondre à deux questions :

- quelle quantité d'eau faut-il apporter ?
- à quel moment cette quantité d'eau doit-elle être apportée ?

Plusieurs méthodes permettent de répondre à ces questions, mais la méthode la plus accessible est celle basée sur l'évapotranspiration (transpiration des cultures et évaporation de l'eau). Le principe de la méthode est de suivre dans le temps, à partir du moment où le réservoir « sol » est plein d'eau, les quantités perdues par évapotranspiration jusqu'à l'épuisement de la réserve en eau que la culture peut utiliser facilement (réserve en eau facilement utilisable : RFU). La réserve étant épuisée, l'irrigation permettra de remplir de nouveau le réservoir « sol » en eau.

La mise en œuvre de cette méthode nécessite la détermination de :

- l'évapotranspiration maximale (ETM), calculée à partir de l'évapotranspiration potentielle (ETP) et le coefficient cultural (Kc) :  $ETM = Kc \times ETP$  ;
- déficit pluviométrique ou besoin en eau d'irrigation, calculé à partir des besoins en eau de la culture (ETM) et de la pluie efficace (Peff) en tenant compte de l'efficacité globale de la méthode d'irrigation (Eff):  $Besoin\ en\ eau\ d'irrigation = (ETM/Eff) - Peff$  ;
- la dose d'irrigation, qui est égale à la réserve facilement utilisable (RFU);
- la fréquence d'irrigation qui est égale au rapport du besoin en eau d'irrigation sur la dose d'irrigation

Le pilotage de l'irrigation nécessite donc la connaissance de l'ETP, de Kc (par culture et par stade), de la pluie, du coefficient d'efficacité de la pluie, de la RFU et de l'efficacité globale du système d'irrigation.

#### **3-4-6-4- Maintenance des installations d'irrigation**

L'objectif principal de la maintenance des installations d'irrigation est de contribuer à la préservation de la ressource en eau à travers la réduction des pertes en eau dues au mauvais entretien des installations.

Chaque système d'irrigation nécessite des opérations de maintenance qui lui sont propres :

- Pour le système gravitaire, on veillera particulièrement à l'entretien des canaux et des tuyauteries par le remplacement des joints et bétons endommagés, le nettoyage des canaux et l'entretien des ouvrages de stockage.
- Pour le système d'irrigation par aspersion, on veillera au remplacement des régulateurs de pressions s'ils sont défectueux et des tuyaux percés et clapets manquants.
- Pour le système de goutte à goutte, l'accent sera mis sur le contrôle du bassin de stockage de l'eau (sédiments, algues,..), le nettoyage régulier des filtres, le purgeage des rompes et portes rompes et le débouchage des distributeurs (goutteurs). Selon le type de colmatage (physique, chimique ou biologique), la maintenance peut être physique (purgeage à haute pression) ou chimique (utilisation de l'acide ou de l'eau de javel).

#### **3-4-7- Désherbage**

Le désherbage consiste à lutter contre les plantes adventices (mauvaises herbes) dans les champs cultivés. Ces adventices concurrencent les cultures pour l'eau, la lumière et les éléments minéraux et peuvent causer des chutes importantes de rendement s'elles ne sont pas contrôlées. On distingue différentes méthodes de désherbage :

- le désherbage manuel : arrachage manuel des adventices ;
- le désherbage mécanique : arrachage mécanique des adventices (sarclage ou binage) ;
- le désherbage chimique : utilisation des produits chimiques (herbicides) pour détruire les adventices
- le désherbage thermique : passage d'une flamme sur les parties aériennes des plantes.

En termes de durabilité, les méthodes manuelles et mécaniques sont les plus préconisées. La méthode chimique, la plus efficace, présente un risque pour l'environnement. Le désherbage thermique est une méthode peu utilisée.



Il existe également des pratiques culturales alternatives pour la réduction de la flore adventice dans les champs cultivés, nous citons notamment, les pratiques de travail du sol (labour) et de rotation culturale (cf paragraphe précédents). D'autres pratiques de lutte intégrée, combinant plusieurs techniques de désherbage (mécaniques, pratiques culturales, chimiques,...) peuvent être également envisagées en agriculture durable. On peut également envisager les pratiques biologiques de lutte contre les adventices en faisant appel aux organismes naturels phytophages qui se nourrissent des plantes adventices sans causer de dégâts sur la culture. Toutes ces pratiques visent à réduire l'impact des mauvaises herbes sur les cultures tout en respectant l'environnement ; elles sont de ce fait plus durables pour les systèmes de production.

#### **3-4-7-1- Désherbage manuel**

Cette méthode consiste à arracher les mauvaises herbes manuellement ou à l'aide de sape ou houes dans les champs cultivés. En général, l'arrachage manuel est pratiqué dans les exploitations vivrières en vue de l'utilisation des mauvaises herbes pour le bétail. L'arrachage à la sape ou à la houe, qui est combiné au binage, est largement pratiqué dans les cultures maraichères (pomme de terre, oignon, tomate,...) et les cultures sarclées (betterave, tournesol,...) à travers toutes les régions du Maroc. Cette pratique, faisant appel à la main d'œuvre, est la source de revenu de plusieurs familles au Maroc, notamment dans les périmètres irrigués et dans les zones où le maraichage est répandu.

L'avantage de cette pratique est qu'elle combine deux opérations à la fois, le désherbage et le binage, ce dernier joue un rôle important pour la croissance et le développement de la culture et pour la conservation de l'eau et du sol (limitation de l'évaporation et du ruissellement) et par conséquent elle respecte l'environnement. L'autre avantage c'est qu'elle participe à l'amélioration des revenus de l'exploitation (main d'œuvre bon marché pour des cultures rentables) et des salariés ruraux, limitant ainsi le problème d'exode rural. D'où l'intérêt de cette pratique dans la durabilité des exploitations agricoles et le développement rural de manière générale.

#### **3-4-7-2- Désherbage mécanique :**

Le désherbage mécanique consiste à arracher les mauvaises herbes mécaniquement à l'aide d'un outil tracté (bineuse, herse, cultivateur à dent, etc...) ou d'un outil trainé par la traction animale (araire, bineuse, herse,...) ou manuellement à la houe ou à la sape (cf paragraphe précédent). Il est pratiqué surtout sur les cultures maraichères et les cultures annuelles sarclées. Dans les pays développés, il y a un retour vers cette méthode, même sur les céréales (herse étrille) pour des considérations environnementales (limitation de l'utilisation des herbicides).

Cette méthode a un double avantage du fait qu'elle permet d'éliminer les adventices et d'effectuer le binage. Ceci implique une amélioration des conditions de croissance et du développement des cultures et par conséquent une amélioration du rendement et une conservation des ressources en eau et en sol par la réduction de l'évaporation et du ruissellement. Ajoutons à cela le coût de cette opération qui est faible du fait qu'elle fait appel aux outils simples qui ne consomment pas assez de temps et d'énergie (limitation des émissions de CO<sub>2</sub>). C'est donc en terme environnemental une **méthode très écologique et durable**.

Dans les pays développés, cette méthode est souvent combinée à la méthode chimique (désherbage chimique uniquement sur la ligne de semis), en vue de limiter l'utilisation des herbicides, mais cette pratique nécessite des équipements spéciaux.

### 3-4-7-3- Désherbage chimique

Le désherbage chimique consiste à utiliser des produits chimiques (herbicides) pour l'élimination des mauvaises herbes dans les champs cultivés. C'est une pratique qui doit être raisonnée de manière rationnelle du fait qu'elle peut générer des effets néfastes sur l'environnement (pollution de l'eau et du sol, effets sur la faune et la flore utiles du sol,...), et sur la santé humaine (intoxications par les herbicides, résidus dans les récoltes,...).

Le raisonnement du désherbage chimique doit donc poursuivre comme objectifs :

- ✓ préserver la qualité et la durabilité des ressources naturelles (eau, sol, faune, flore, biodiversité,...) en limitant le recours aux herbicides et en raisonnant, le cas échéant, son utilisation et son application ;
- ✓ préserver la santé du consommateur en limitant contamination des chaînes alimentaires ;
- ✓ améliorer la productivité de l'exploitation ;
- ✓ répondre aux normes de qualité en matière de résidus.

La mise en œuvre de la lutte chimique doit permettre de répondre à quatre questions :

- ✓ le traitement envisagé est-il nécessaire ?
- ✓ le traitement envisagé est-il adapté ?
- ✓ quels produits choisir ?
- ✓ la technique d'application est-elle adéquate ?

#### 3-4-7-3-1- Nécessité du traitement

Elle doit se baser sur une démarche à trois étapes :

- **Observation** : savoir identifier les mauvaises herbes et leurs stades de développement et observer régulièrement et attentivement les cultures;
- **Evaluation** : évaluer correctement le degré d'infestation de la culture (comptage,...) et estimer le risque pour la culture en fonction du degré de l'infestation et de l'état d'avancement de la culture ;
- **Décider** : la décision de traiter ou non doit se baser sur l'évaluation du coût/bénéfice ; c'est-à-dire le coût du traitement et les risques qu'il encoure pour la culture elle-même, pour la qualité de la récolte et pour l'environnement et le bénéfice en terme de l'efficacité espérée contre les espèces d'adventices à traiter et le gain de rendement. Cette décision doit prendre également en considération l'existence de méthodes alternatives (techniques culturales, mécaniques,...). Aussi, la prise en considération d'un « seuil de nuisibilité » ou « seuil d'intervention », qui correspond au seuil au-delà duquel les pertes prévisibles dépassent le coût de revient du traitement, constitue une aide précieuse à la décision de traiter ou non.

#### 3-4-7-3-2- Adaptation du traitement et choix du produit

Ayant décidé de traiter, le choix du traitement adapté est capital, celui-ci doit agir efficacement sur les plantes adventices sans provoquer une toxicité pour la culture à traiter et sans aboutir aux effets indésirables pour l'environnement (eau, sol, faune,

flore,...), et la santé humaine (intoxication lors de l'application, résidus dans les récoltes,...). D'où le choix d'un produit homologué, efficace (mode d'action, rémanence,...), moins toxique et à prix de revient raisonnable. Celui-ci doit être appliqué correctement à une dose précise.

### 3-4-7-3-3- Technique d'application

La technique d'application joue un rôle important dans la réussite du traitement et la protection de l'environnement. En effet, elle doit viser l'application du produit à la dose choisie et de manière homogène et le respect de l'environnement, en évitant la contamination des autres cultures environnantes et des ressources naturelles (eau, sol, biodiversité,...). Pour cela il faut veiller à respecter les règles suivantes :

- ✓ un bon réglage du matériel du traitement (pulvérisateurs tracté ou à dos,...) de manière à respecter la dose du traitement;
- ✓ une préparation correcte de la bouillie tout en respectant les normes de sécurité par l'opérateur ;
- ✓ une application correcte de la bouillie, en conditions climatiques favorables (humidité, température, vent) ; en général les traitements doivent être fait le matin ou le soir (températures clémentes) en absence du vent ;
- ✓ un entretien correct du matériel de traitement en veillant à ne pas contaminer l'environnement (eau, sol, faune, flore,...),
- ✓ un respect des normes de sécurité par l'opérateur lors de toutes les étapes de traitement (préparation de la bouillie, traitement, entretien, stockage du produit, emballage vide,...) de manière à se protéger contre une éventuelle intoxication ;

### 3-4-7-4- Lutte intégrée

La lutte intégrée en désherbage repose sur la combinaison de plusieurs techniques de contrôle des adventices : lutte mécanique, manuelle, par les techniques culturales et en dernier recours la lutte chimique. Le cas le plus efficace est celui qui combine les méthodes mécaniques (désherbage manuel ou mécaniques) à la rotation culturale. En effet, pour réduire la population des plantes adventices, il est recommandé d'alterner les cultures sarclées (betterave, légumineuses, oléagineuses, cultures maraichères,...), où le désherbage est effectué mécaniquement « cultures propres » et/ou nécessitant parfois un labour (enfouissement des semences d'adventices) avec les cultures non sarclées (céréales d'automne,...), nécessitant en général un désherbage chimique en cas de forte infestation par les adventices. Dans ces cultures, la population d'adventices se trouve réduite et ne nécessite pas un désherbage chimique si le taux d'infestation est en dessous du seuil de nuisibilité. On aura ainsi limité le recours aux herbicides et par conséquent favorisé la protection des ressources naturelles (eau, sol, biodiversité,...) et la santé de l'homme. C'est **la pratique de désherbage recommandée en agriculture durable**.

### 3-4-8- Protection phytosanitaire

La protection phytosanitaire (maladies et ravageurs) des cultures est essentiellement assurée par l'usage des pesticides (lutte chimique). Cette pratique, s'elle n'est pas utilisée de manière rationnelle, peut provoquer des effets néfastes pour l'environnement et la santé humaine, et par conséquent limite la durabilité des systèmes de production. Il

existe d'autres pratiques de protection plus durables qui permettent un certain niveau de protection des cultures, sans la destruction totale des organismes nuisibles, et une préservation de l'environnement et de la santé humaine, ce sont les méthodes biologiques et intégrées et les méthodes basées sur les techniques culturales.

### 3-4-8-1- Lutte chimique

La lutte chimique contre les maladies et les ravageurs des cultures consiste à utiliser les produits chimiques (pesticides) pour l'éradication des organismes nuisibles.

Le raisonnement de la lutte chimique a pour objectifs :

- préserver la qualité et la durabilité des ressources naturelles (eau, sol, biodiversité,...) ;
- limiter la contamination des chaînes alimentaires ;
- réduire l'impact négatifs des traitements sur la faune auxiliaire et sur la sélection des souches résistantes ;
- améliorer la productivité de l'exploitation et la rendre économiquement plus performante ;
- répondre aux normes de qualité en matière de résidus.

Comme pour le cas du désherbage chimique, la lutte chimique contre les maladies et les ravageurs doit permettre de répondre à quatre questions :

La mise en œuvre de la lutte chimique doit permettre de répondre à quatre questions :

- ✓ le traitement envisagé est-il nécessaire ?
- ✓ le traitement envisagé est-il adapté ?
- ✓ quels produits choisir ?
- ✓ la technique d'application est-elle adéquate ?

Le même raisonnement que dans le cas du désherbage chimique doit être suivi pour la réponse à ces questions avec comme ennemis des cultures dans ce cas les organismes responsables des maladies et les ravageurs nuisibles (cf paragraphe 3-4-7-3). En effet, un bon raisonnement de la lutte chimique doit se baser sur :

- ✓ l'observation, l'évaluation et la décision ;
- ✓ l'adaptation du traitement et le bon choix du produit ;
- ✓ l'application correcte du traitement ;
- ✓ le respect des mesures de sécurité et de l'environnement

### 3-4-8-2- Lutte biologique

La **lutte biologique** est une méthode de lutte contre les ravageurs au moyen d'organismes naturels antagonistes de ceux-ci, tels que des parasitoïdes (arthropodes...), des prédateurs (nématodes, arthropodes, vertébrés, mollusques...), des agents pathogènes (virus, bactéries, champignons...), etc...

C'est **une méthode d'agriculture durable** du fait qu'elle permet d'assurer une protection de la culture et de protéger l'environnement et la santé humaine.

Les auxiliaires qu'on cherche à utiliser sont le plus souvent des insectes entomophages ou des acariens entomophages ou parasites. Un prédateur bien connu est par exemple la coccinelle qui se nourrit de pucerons. Contre la pyrale, *Ostrinia nubilalis*, ravageur du maïs, on utilise couramment une espèce de trichogramme qui est un micro-hyménoptère *Trichogrammatidae* (0,5 mm) dont les larves se développent au détriment des œufs de pyrale.

D'autres auxiliaires peuvent aussi être des bactéries ou des virus qui provoquent certaines maladies chez les insectes nuisibles. On parle de muscardines dans le cas de champignons.

Une forme particulière est la lutte « autocide » où on fait appel à des mâles stériles, qui lâchés en grand nombre concurrencent les mâles sauvages et limitent très fortement la descendance des femelles. Cette méthode est bien adaptée aux cultures sous serre.

Une méthode proche est celle qui consiste à utiliser des phéromones (hormone sexuelle) pour attirer les mâles dans des pièges ou tout simplement les désorienter par confusion.

L'utilisation de ces méthodes est encore limitée à cause des difficultés techniques qu'elle rencontre, pour identifier les auxiliaires utiles, qui soient spécifiques des objectifs de lutte, et ensuite assurer leur production en masse pour permettre une mise en œuvre à grande échelle.

De plus en plus la lutte biologique entre dans un cadre plus large, la **lutte intégrée** qui associe tous les moyens de lutte disponibles, chimique, biologique, mécanique, thermiques... et qui vise non pas à éliminer totalement les ravageurs, mais à maintenir leur population en dessous d'un seuil supportable économiquement parlant.

### 3-4-8-3- Lutte par les techniques culturales

Les techniques culturales peuvent être un moyen de lutte contre les maladies et les ravageurs en pratiquant notamment les rotations culturales qui permettent d'interrompre le cycle de développement d'une maladie ou d'un ravageur en alternant des cultures ne qui ne sont pas hôtes pour la même maladie ou le même ravageur.

### 3-4-8-4- Lutte intégrée

Selon la FAO, la **lutte intégrée** est définie comme étant la « conception de la protection des cultures dont l'application fait intervenir un ensemble de méthodes satisfaisant les exigences à la fois écologiques, économiques et toxicologiques en réservant la priorité à la mise en œuvre délibérée des éléments naturels de limitation et en respectant les seuils de tolérance ».

En Europe, la lutte intégrée est définie par la directive communautaire 91/414/CEE du 15 juillet 1991, comme suit : « L'application rationnelle d'une combinaison de mesures biologiques, biotechnologiques, chimiques, physiques, culturales ou intéressant la sélection des végétaux dans laquelle l'emploi de produits chimiques phytopharmaceutiques est limité au strict nécessaire pour maintenir la présence des organismes nuisibles en dessous de seuil à partir duquel apparaissent des dommages ou une perte économiquement inacceptables. »

L'objectif n'est donc pas l'éradication totale des organismes nuisibles dès leur apparition mais le maintien de leur population en dessous du seuil de nuisibilité, celui-ci étant propre à chaque espèce. C'est une pratique qui répond aux principes d'agriculture durable.

La mise en œuvre de la lutte intégrée nécessite de pouvoir :

- ✓ identifier les organismes nuisibles et les organismes utiles (auxiliaires) ;
- ✓ disposer de méthodes d'évaluation des populations (observations sur un nombre défini d'échantillons, piégeage,...) ;
- ✓ connaître les seuils de nuisibilité (ou seuils d'interventions) pour les différents organismes nuisibles ;

- ✓ disposer d'une information technique sur les différentes méthodes de lutte permettant d'assurer le contrôle des populations d'organismes nuisibles ;
- ✓ intégrer les différentes méthodes de lutte dans une stratégie globale de protection des cultures ;
- ✓ évaluer l'efficacité de la stratégie de protection mise en œuvre.

L'application de la lutte intégrée nécessite un suivi régulier des cultures. Elle se base sur une approche dynamique qui évolue au rythme des connaissances et des expériences acquises par l'agriculteur en la matière. L'encadrement de l'agriculteur pour sa mise en œuvre est nécessaire.

Cette pratique a néanmoins certaines limites qui entravent son application au Maroc :

- ✓ capacité des agriculteurs à renoncer à la lutte chimique systématique, considérée comme facile à appliquer et produisant des effets immédiats ;
- ✓ mise au point et accessibilité pour les agriculteurs d'itinéraires techniques fiables en matière de protection intégrée contre les organismes nuisibles ;
- ✓ disponibilité de la technologie liée à la lutte intégrée (seuils de nuisibilité, pièges, élevage d'auxiliaires,...) ;
- ✓ encadrement des agriculteurs.

### 3-4-9- Agriculture biologique

#### 3-4-9-1- Définition et principes

L'**agriculture biologique** est un système de production agricole spécifique qui **exclut l'usage d'engrais et de pesticides de synthèse et d'organismes génétiquement modifiés**.

Il s'agit d'un système qui gère de façon globale la production en favorisant l'agro-système mais aussi la biodiversité, les activités biologiques des sols et les cycles biologiques.

Les pratiques mises en œuvre en agriculture biologique sont :

- ✓ des assolements permettant une saine rotation culturale ;
- ✓ des associations végétales comprenant fréquemment une légumineuse associée à une ou plusieurs cultures ;
- ✓ des techniques de travail du sol minimum ;
- ✓ des apports réguliers de matière organique provenant du compostage de toutes les matières organiques de l'exploitation, des engrais verts et des apports complémentaires d'engrais organiques ;
- ✓ une protection des cultures basée sur le renforcement des mécanismes d'auto-défense des plantes ainsi que sur l'utilisation des méthodes de lutte culturale, mécanique, physique et biologique ;
- ✓ une lutte contre les plantes adventices combinant les techniques culturales (rotation, travail du sol,...) avec le désherbage mécanique, manuel et thermique.

L'agriculture biologique peut être considérée comme **une des approches de l'agriculture durable**, la différence étant que le qualificatif "biologique", ou son abréviation "bio", implique une **certification** attribuée correspondant à des normes, et que le mot est, souvent, légalement protégé. Plusieurs labels internationaux de reconnaissance pour ce type d'agriculture ont été définis, dont le **Label AB**. Dans le monde, environ 31 millions d'hectares sont consacrés à l'agriculture biologique.

Les apports d'engrais ne sont pas totalement exclus mais ceux-ci doivent se présenter sous une forme insoluble ou peu soluble (phosphates naturels,...). De même, les produits pesticides d'origine minérale (produits à base de soufre, de cuivre,...) peuvent être utilisés sous certaines conditions.

L'agriculteur qui veut se convertir du système d'agriculture « conventionnelle » au système d'agriculture biologique, en vue de commercialiser ses produits sous le label AB, doit passer par une « phase de conversion », qui peut durer 2 à 3 ans. A l'issue de cette phase, l'agriculteur subira le contrôle d'un organisme certificateur chargé de vérifier que les pratiques mises en œuvre dans l'exploitation répondent bien à la réglementation relative à l'agriculture biologique. Actuellement les deux organismes certificateurs présents au Maroc sont « Ecocert » et « Qualité France ».

Les rendements des cultures en agriculture biologique sont réputés être inférieurs à ceux obtenus en agriculture conventionnelle. Par ailleurs, les travaux agricoles nécessitent souvent plus de temps étant donné que l'on cherche à valoriser les ressources propres de l'exploitation plutôt que de recourir à l'achat d'intrants d'origine extérieure. Ce moindre rendement et ce surcroît de travail sont toutefois compensés par des prix de vente des produits « bio » supérieurs en moyenne de 20 à 30 % par rapport aux produits conventionnels.

#### 3-4-9-2- Intérêts de l'agriculture biologique

Une Conférence Internationale ONU/FAO de Mai 2007 sur l'agriculture biologique et la sécurité alimentaire a conclu qu'à échelle mondiale, l'agriculture biologique, si elle est soutenue par une volonté politique, peut :

- ✓ **contribuer à la sécurité alimentaire**, dont des pays riches également menacés par la crise des énergies fossiles, les changements climatiques et certaines faiblesses de la chaîne alimentaire ;
- ✓ **atténuer les impacts de nouveaux problèmes** (dont changements climatiques, grâce à une fixation améliorée du carbone du sol et une meilleure résilience).
- ✓ **renforcer la sécurité hydrique** (qualité de l'eau, moindres besoins en irrigation, restauration humique du sol, meilleurs rendements en cas de stress hydrique dû aux aléas climatique).
- ✓ **protéger l'agrobiodiversité**, et en garantir un usage durable.
- ✓ **renforcer la suffisance nutritionnelle** (diversification accrue des aliments biologiques plus riches en micronutriments).
- ✓ **stimuler le développement rural** (dans des zones où le seul choix est la main d'œuvre, grâce aux ressources et savoirs locaux).

#### 3-4-9-3- Limites de l'agriculture biologique

Les limites de la pratique d'agriculture durable dans le contexte marocain sont les suivantes :

- ✓ capacité technique des agriculteurs à adopter les pratiques d'agriculture biologique ;
- ✓ filière de commercialisation des produits de l'agriculture biologique insuffisamment identifiés et fluctuation de la demande du marché ;

- ✓ absence de législation ou de son contrôle en matière d'agriculture biologique ;
- ✓ absence d'organismes assurant la formation, le transfert technologique et l'encadrement technique des agriculteurs ;
- ✓ absence de subvention en période de conversion ;
- ✓ absence de subvention aux intrants de l'agriculture biologique, très coûteux.

### **3-5- Aspects de développement**

#### **3-5-1- Adoption des techniques conservatoires des ressources naturelles**

Les acteurs de la recherche et de la vulgarisation agricole tendent à ne pas prendre en compte d'une part certaines caractéristiques internes de l'exploitation agricole, et d'autre part l'environnement socioculturel et économique, dans lesquels est sensé se dérouler le processus d'innovation. Pourtant, comme le notent Landais et Deffontaines (1988) cité par Perret (2005), une technologie va devoir s'insérer dans un système que sa complexité rend unique. Elle résulte d'un processus de décision, d'appropriation et d'adaptation expérimentale et progressive de la technique proposée, tenant compte à la fois des contraintes et des atouts propres au système concerné, et au projet de l'agriculteur.

#### **3-5-2- Le problème du temps long dans la recherche sur les technologies conservatoires des ressources naturelles**

Les technologies qui permettent une gestion durable des ressources naturelles dans des processus productifs de type agricole, ou technologies conservatoires, inscrivent typiquement leurs effets sur le temps long. En d'autres termes, leur intérêt comparé à des techniques traditionnelles, et les bénéfices que pourra en tirer l'agriculteur ne seront visibles qu'après plusieurs cycles culturaux, voire plusieurs années. En revanche, les effets négatifs qu'elles pourraient présenter, par exemple en terme de besoins supplémentaires en main d'œuvre ou en baisse de rendement, sont souvent plus immédiats, plus visibles.

Dans ce contexte, les dispositifs expérimentaux habituels, classiquement conduits sur quelques années au mieux, ne sont pas pertinents. Il serait nécessaire de pouvoir les maintenir sur de plus longues périodes, de 10 ans ou plus, de façon à bien appréhender les fluctuations climatiques et les lentes évolutions des horizons superficiels des sols notamment. Cela revient à dire que les dispositifs de recherche sur les techniques visant la durabilité doivent être eux-mêmes durables !

Peu d'organisations de recherche ou d'instituts techniques peuvent se permettre cette durabilité des dispositifs aujourd'hui. Par ailleurs, ces expérimentations à long terme sont peu commodes à mettre en œuvre, ni à suivre en milieu paysan, et la station de recherche reste le recours typique, avec tous les biais qui entachent la démarche et les résultats dans ces conditions.

Deux solutions s'offrent à l'agronome pour pallier à ces difficultés : d'une part, certaines technologies et pratiques locales qui ont fait leur preuve sur le temps très long en matière de gestion durable des ressources peuvent être divulguées et promues auprès d'autres groupes sociaux, voisins ou de régions proches; d'autre part, la modélisation (y compris dans des formes mécanistes en matière de croissance et développement des cultures, et de bilan des ressources) constitue un moyen puissant, à la fois



d'investigation sur les variations possibles de résultats agronomiques et économiques sur le temps long.

Seule la dégradation sévère et avérée des ressources constitue souvent l'unique incitation effective pour les producteurs à s'engager dans la conservation. Malheureusement, il est souvent trop tard pour espérer redresser la situation, au moins dans des délais et à des coûts raisonnables. Une démarche de modélisation, suivie de possibilités de simulation et de participation des producteurs, peut permettre d'accompagner ceux-ci dans la prise en compte du temps long, des conséquences futures possibles de décision et d'action d'aujourd'hui.

### **3-5-3- Les incontournables stratégies des producteurs**

On observe chez les producteurs d'une région donnée différents modes de production, objectifs et pratiques. Ces différences reflètent en fait des stratégies différentes mises en œuvre.

Une stratégie peut être définie comme la combinaison de processus (plans, décisions et actions) qu'un individu ou un groupe d'individu (une firme, une famille) développe, et qui vise à changer (ou à maintenir) son environnement social, économique et/ou physique. Ces processus associent des ressources de différentes natures, des techniques, des savoirs et des savoir-faire.

Les producteurs élaborent leurs stratégies en réponse aux incertitudes et aux changements intervenant dans leur environnement, de façon à atteindre ou à maintenir un style et un niveau de vie, que l'individu ou le groupe se donne comme objectif. Le plus souvent, la stratégie mise en œuvre vise non pas la maximisation ou l'optimisation dans la combinaison des processus, mais plutôt la satisfaction (au sens économique), dans le cadre des objectifs fixés.

Les cultures, les itinéraires techniques, les systèmes de culture, les animaux et les systèmes d'élevage, les systèmes de production, les systèmes de revenus et d'activité, en relation ou non avec la production agricole, que les ruraux combinent et mobilisent, reflètent leurs stratégies.

Par exemple, l'association agriculture-élevage dans les zones semi-arides implique souvent le pâturage sur les résidus de culture sur les terres communales. Cette pratique est courante, avec ses règles précises, touchant tant au niveau individuel que collectif, en termes d'accès aux parcelles, de calendrier, de rotation et de priorités des troupeaux. De telles pratiques ne peuvent intégrer des technologies impliquant du mulching par exemple, ou toute autre modification importante des itinéraires techniques, sans des modifications drastiques des règles en vigueur. La question de l'adoption et de l'innovation, est donc déplacée de l'intérêt intrinsèque des technologies, à leur faisabilité au regard des stratégies en vigueur.

Par ailleurs, au sein d'une communauté, des stratégies différentes peuvent se développer, selon l'histoire des ménages, leur composition, leurs objectifs. Dans un objectif de développement, il est difficile de prendre en compte chaque stratégie, pour chaque ménage rural. D'un autre côté, il est impertinent de considérer ces ménages comme homogènes. D'où le développement d'approches typologiques, qui s'attachent à cerner des sous-groupes de ménages avec des stratégies et des caractéristiques similaires, au regard d'un objectif donné ou d'une certaine perspective de développement. Une perspective peut être les besoins et les possibilités d'innovation en matière de technologies conservatoires par exemple.

### 3-5-4- L'approche typologique

L'un des objectifs de la recherche-système en agronomie (*farming system research*) est de cibler et d'adapter les travaux à des conditions locales connues et spécifiques. Les recommandations et prescriptions ne peuvent toutefois toucher les agriculteurs individuellement, d'où le besoin d'identifier des groupes d'exploitations ou de ménages ruraux, suffisamment homogènes pour que des recommandations particulières puissent être adaptées et pertinentes. En 1976, Perrin et al. (cité par Perret, 2005) introduisent le concept de domaine de recommandation (*recommendation domain*), défini comme un groupe d'agriculteurs, assez homogène, présentant des conditions similaires, et donc à qui on peut faire le même type de recommandations. Initialement, ces domaines étaient identifiés plutôt selon des critères de conditions externes à l'exploitation (pluviométrie, zone agropédoclimatique) ou structurelles (taille, type de production). L'objectif était dual: identifier les besoins en recherche en fonction de la diversité des conditions locales, et favoriser l'adoption de technologies. Enfin, la définition des domaines peut être basée sur des données statistiques stratifiées et sur des cartes et zonages agropédoclimatiques. Les approches typologiques procèdent de fondements similaires, mais leur développement comme leurs produits sont différents.

Dans le domaine agricole, une typologie est donc une tentative de regroupement d'unités productives (exploitations) selon leurs modes de fonctionnement et leurs caractéristiques, qui reflètent les objectifs et les stratégies des producteurs et de leurs familles. Voilà posée la différence principale entre typologies et domaines de recommandation : les premières reposent sur l'axiome qu'il n'est pas suffisant d'étudier la diversité des exploitations ou des ménages, mais qu'il convient d'étudier la diversité des pratiques et stratégies des exploitants et des ménages ruraux.

Les typologies d'exploitations agricoles furent d'abord appliquées par les agronomes à des contextes de production intensive, à des fins de diagnostic et de ciblage du changement technique. Elles ont été rapidement appliquées à des ménages ruraux et utilisées dans le cadre d'étude des systèmes agraires, dans des zones en développement ou marginalisées, notamment au Sud.

Souvent développée dans le cadre de projet de développement pour un diagnostic ou une évaluation, une typologie implique la constitution de groupes de ménages présentant des caractéristiques et des besoins similaires, les objectifs du projet de développement formant un des facteurs importants de l'exercice de classification.

### 3-5-5- Pourquoi s'intéresser aux pratiques des agriculteurs ?

Landais et Deffontaines (1988) décrivent les relations entre pratique et technique, et soulignent l'intérêt d'étudier les pratiques d'abord dans une perspective d'innovation, d'adoption de technologies. Dans la mesure où les pratiques en cours sont les traductions tangibles, factuelles, du projet de l'agriculteur et de sa famille, mais aussi des contraintes de son système et de son environnement, leur étude peut amener à mieux cerner d'une part les besoins effectifs des producteurs, mais aussi les adaptations nécessaires et le champ effectif d'application d'une technique donnée. Ainsi les pratiques des agriculteurs constituent le point de départ du travail des agronomes, mais aussi le point d'arrivée. On peut estimer que l'analyse des pratiques, éléments factuels, observables, accessibles, constitue un moyen de « remonter » aux motivations qui les sous-tendent, et donc aux stratégies des producteurs.

Mais la relation pratique / technique n'est pas un processus univoque et répétable (c'est à dire limité à la mise en pratique de la technique). Elle est au contraire *a fortiori* unique, caractéristique d'un producteur donné. Il en résulte donc à mon sens deux nécessités méthodologiques :

**i. La traduction des pratiques en techniques.** Il s'agit là de leur formalisation, de leur théorisation, sous forme par exemple de référentiel technique, permettant leur généralisation (Landais et Deffontaines, 1988), et éventuellement leur transmission.

**ii. Le couplage entre analyse des pratiques et typologie d'exploitation;** une typologie pouvant être fondée sur la relative homogénéité de pratiques par groupes d'agriculteurs, dans un secteur donné par exemple.

### 3-5-6- Comment aborder les pratiques des agriculteurs ?

La problématique de l'étude des pratiques agricoles considère les agriculteurs comme des décideurs et des acteurs, et met l'accent sur la manière dont les techniques sont concrètement mises en œuvre dans le contexte de l'exploitation, mais aussi dans celui d'une société locale, caractérisée par son fonctionnement, son territoire, ses normes, son histoire. Partant de là, il n'est plus question de se satisfaire de recherches en station et d'expérimentations contrôlées; les situations agricoles réelles s'affirment comme les lieux de recherche incontournables.

La position interface des pratiques, entre système de décision et système opérant, délimite les champs de recherche possible sur ces pratiques. Ainsi, Landais (1987) (cité par Perret, 2005) propose trois volets de recherche complémentaires :

**i. l'étude de l'opportunité des pratiques,** en relation avec le système de décision. On s'intéresse ici aux déterminants des pratiques, les objectifs de l'agriculteur, et aux choix de pratiques. A ce sujet, Milleville (1987) (cité par Perret, 2005) évoque la compréhension des conditions et des déterminants de la mise en œuvre des techniques par les agriculteurs.

**ii. l'étude des modalités des pratiques** elles-mêmes, les actes techniques ou de gestion réalisée, en privilégiant l'aspect descriptif, avec un niveau de détail et de quantification qui dépend de l'objectif recherché.

**iii. l'étude de l'efficacité des pratiques,** en relation avec le système opérant. On examine ici les résultats de l'action de l'agriculteur, que Landais (1987) classe en effets ou conséquences, selon que ces résultats concernent les objets directement ou matériellement concernés (sol, plante, animal), ou les éléments du système non directement concernés par l'action. Dans la même logique, Milleville (1987) évoque l'évaluation des conséquences agronomiques des pratiques. Considérant le projet de durabilité, on y ajoutera les conséquences sociales, économiques et environnementales des pratiques.

L'analyse des pratiques doit donc aider à rendre compte des objectifs et des projets de l'agriculteur et à apprécier la nature et l'impact des contraintes qui limitent les possibilités de production. **Toutefois, on ne peut s'en tenir à ce que les agriculteurs disent, le discours n'étant pas dénué d'intérêt mais ne correspondant pas systématiquement à la réalité. La confrontation systématique du "dit" et du "fait", au travers de l'observation, se révèle un moyen efficace pour éclairer les raisons des choix techniques** (Milleville, 1987).

## Conclusion

La durabilité du système de production végétale dans l'exploitation agricole nécessite la mise en œuvre d'un certain nombre de pratiques agronomiques durables qui visent à la fois l'optimisation de la production des cultures, la préservation des ressources naturelles et de la biodiversité et le respect de la santé humaine. Toutefois, la durabilité de l'exploitation agricole est liée à la durabilité des deux systèmes de production de l'exploitation agricole, végétale et animale, à travers un bon équilibre entre les deux composantes cultures et élevages et un équilibre avec l'environnement externe. Si l'élevage bénéficie de divers apports issus des cultures (résidus de récolte, jachère,...) il faut en contrepartie qu'il participe au transfert de fertilité (fumier, purin,...), sans quoi le risque est élevé que le système ne puisse se perpétuer. Aussi, la mise en place d'un système de production durable repose sur la mixité des productions de l'exploitations à travers la diversification des productions végétales (diversification des cultures, des variétés,...) et animales (mixité des espèces animales, des races,...) et l'accroissement de la biodiversité (faune, flore, éléments naturels,...) en favorisant un meilleur fonctionnement des processus naturels se traduisant notamment par la présence d'auxiliaires, d'insectes pollinisateurs et un meilleur recyclage des éléments minéraux,...

Enfin la mise en œuvre des pratiques agronomiques durables doit s'inscrire dans l'approche globale de la mise en œuvre d'une stratégie de développement locale participative impliquant les décideurs, les responsables du développement, les chercheurs, les agriculteurs, les autorités, les élus locaux et la société civile.

## Références bibliographiques

### Documents consultés :

**Aboudrare, A., P. Debaeke, A. Bouaziz, H. Chekli (2006).** Effects of soil tillage and fallow management on soil water storage and sunflower production in a semi-arid Mediterranean climate. *Agricultural Water Management*, 83 pp (183-196).

**Aboudrare, A. 2000.** Stratégies de stockage et d'utilisation de l'eau pour le tournesol pluvial dans la région de Meknès. Thèse de Doctorat d'Etat ès Sciences Agronomiques. IAV Hassan II, Rabat, Maroc. 175 pages et annexes.

**Aboudrare, A. 1992.** Effets du travail du sol, du mode de semis et du désherbage sur l'économie de l'eau et le rendement des blés dur et tendre : cas des terrains en pente de la région de Meknès. Mémoire de fin d'études, Agronomie, IAV Hassan II, Rabat, Maroc 167 pages et annexes.

**Bouaziz, A. and H. Chekli. 1999.** Wheat yield and water use as affected by micro-basins and weed control on the sloping lands of Morocco. *Journal of Crop Production* Vol. 2 n° 2 (#4): 335-351.

**Bouaziz A. et A. Aboudrare. 2008.** Utilisation du rouleau cuvetteur pour le contrôle du ruissellement et de l'érosion et l'amélioration du rendement et de l'efficacité d'utilisation de l'eau d'une culture de blé irriguée sur les terrains en pente dans le Domaine Louata. Rapport. Partenariat Domaines Agricoles IAV Hassan II.

**Bouzza, A. 1990.** Water conservation in wheat rotation under several management and tillage systems in semi-arid areas. *Ph-D. Diss.* University of Nebraska. Lincoln, Nebraska, USA, 123 p.

**Chekli, H. 1991.** Eléments du choix des séquences d'installation de la culture du blé dans la région de Meknès. Modification des états structuraux et aspects énergétiques. *Thèse de Doctorat Es Sciences Agronomiques.* IAV Hassan II, Rabat, 229 p et annexes.

**Dimanche, P.H. 1997.** Impacts de différents itinéraires techniques du travail du sol sur la dégradation des sols argileux dans la région de Meknès (Maroc). *Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques et en Ingénierie Biologique.* Université Catholique de Louvain. Faculté des Sciences Agronomiques. Belgique. 268 p.

**Combe, L. et D. Picard. 1990.** Les systèmes de culture. Institut National de la Recherche Agronomique, France. Edition INRA Publications. 196 pages.

**Debaeke, Ph., A. Aboudrare (2004).** Adaptation of crop management to water-limited environments. *Europ. J. of Agronomy* 21. pp 433-446.

**Fagroud M., E. GrosJean et P. Soloviev. 2005.** Guide des bonnes pratiques agricoles dans la région de Meknès. Ministère de l'Agriculture, du Développement Rural et des Pêches Maritimes. APEFE, CFB-Wallonie-Bruxelles, ENA Meknès, CDU, FUSA-Gembloux. 271 pages.

**FAO., 2007.** International Conference on Organic Agriculture and Food Security. FAO, Italy. 3-5 May 2007.

**Meynard, J.M. 2005.** Agronomie et Développement Durable. Académie d'Agriculture de France. Séance du 9 novembre 2005. 8 pages.

**Mrabet, R. 2008 ;** No-Tillage Systems For Sustainable Dryland Agriculture In Morocco. Institut National de la Recherche Agronomique. Edition Fanigraph. 153 pages.

**Pyrret, S. 2005.** Quelle agronomie pour le développement durable ? Histoires, concepts, pratiques et perspectives. Dossier d'Habilitation à Diriger des Recherches en Sciences Agronomiques. Ecole Doctorale. Institut National Polytechnique de Lorraine. France. 145 pages.

**Soudi, B. et F. Naaman. 1999.** Compostage et valorisation du compost. Pratiques d'une agriculture durable. Bulletin de liaison et d'information du PNTTA. Transfert de Technologies en Agriculture. MADRPM/DERD. N° 54 Mars 1999.

**Kenny, L. et A. Hanafi. 2001.** L'agriculture biologique au Maroc : Situation actuelle et perspectives futures. Bulletin de liaison et d'information du PNTTA. Transfert de Technologies en Agriculture. MADRPM/DERD. N° 82 Juillet 2001.

**Sites web consultés :**

<http://www.wikipedia.org> : L'encyclopédie libre

<http://www.fao.org> : Food and Agriculture Organisation

<http://agroecologie.cirad.fr> : Centre International de Recherche Agronomique pour le Développement

<http://www.vulgarisation.net> : Transfert de Technologies en Agriculture. Maroc

<http://www.inra.fr> : Institut National de la Recherche Agronomique. France