

# CIHEAM



Centre  
International  
de Hautes Etudes  
Agronomiques Méditerranéennes

*International  
Centre for  
Advanced  
Mediterranean Agronomic Studies*

## Thèse / *Thesis*

requis pour  
l'obtention du Titre

*submitted  
for the Degree of*

## Master of Science

**Quelles stratégies de production  
face à la mise en oeuvre d'une nouvelle  
politique hydro-agricole : modélisation  
multicritère des systèmes de culture  
et de production dans la région  
de Marjaayoun (Sud Liban)**

**Didier Berdaguer**

**Série « Master of Science » n° 122  
2012**

**Institut Agronomique Méditerranéen de  
Montpellier**



**CIHEAM**  
IAM MONTPELLIER

**Quelles stratégies de production  
face à la mise en oeuvre d'une nouvelle  
politique hydro-agricole : modélisation  
multicritère des systèmes de culture  
et de production dans la région  
de Marjaayoun (Sud Liban)**

**Didier Berdaguer**

**Série « Master of Science » n° 122  
2012**



**Quelles stratégies de production face à la mise en oeuvre d'une nouvelle politique hydro-agricole : modélisation multicritère des systèmes de culture et de production dans la région de Marjaayoun (Sud Liban)**

**Didier Berdaguer**

**Série « Master of Science » n° 122**

**2012**

## Série Thèses et Masters

Ce Master est le numéro 122 de la série *Master of Science* de l'Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier.

Cette collection réunit les *Masters of Science* du CIHEAM-IAMM ayant obtenu la mention « Publications », ainsi que les travaux doctoraux réalisés dans le cadre des activités scientifiques et pédagogiques de l'Institut et de ses enseignants chercheurs.

Le *Master of Science* du Centre International de Hautes Etudes Agronomiques Méditerranéennes :  
**Quelles stratégies de production face à la mise en œuvre d'une nouvelle politique hydro-agricole : modélisation multicritère des systèmes de culture et de production dans la région de Marjaayoun (Sud Liban)**

a été soutenu par **Didier Berdguer** le 27 février 2012 devant le jury suivant :

M. Pierre Blanc, Professeur associé, CIHEAM-IAMM .....Président  
M. Hatem Belhouchette, Enseignant-chercheur, CIHEAM-IAMM ..... Membre  
Mme Mélanie Requier-Desjardins, Enseignant-chercheur, CIHEAM-IAMM ..... Membre  
M. Salem Darwich, Enseignant-chercheur, Université libanaise ..... Membre

Le travail de recherche a été encadré par **M. Salem Darwich**

**CIHEAM-IAMM**  
**Institut agronomique Méditerranéen de**  
**Montpellier**

**Directeur : Vincent Dollé**

3191 route de Mende – BP 5056  
34093 Montpellier cedex 05  
Tél. : 04 67 04 60 00  
Fax : 04 67 54 25 27  
<http://www.iamm.fr>

**L'institut Agronomique Méditerranéen**  
**n'entend donner aucune approbation ni improbation**  
**aux opinions émises dans cette thèse**

ISBN : 2-85352-491-4 ; ISSN : 0989-473X

Numéros à commander au  
CIHEAM- IAMM  
Bureau des Publications  
e-mail : [tigoulet@iamm.fr](mailto:tigoulet@iamm.fr)  
Prix : 50€  
© CIHEAM, 2010

## **Fiche bibliographique**

Didier Berdaguer - Quelles stratégies de production face à la mise en oeuvre d'une nouvelle politique hydro-agricole : modélisation multicritère des systèmes de culture et de production dans la région de Marjaayoun (Sud Liban) - Montpellier : CIHEAM-IAMM. 116p. (Master of Science - 2012 ; n°122).

**Résumé :** En réponse aux enjeux relatifs au maintien et au développement des zones rurales, à la sécurité alimentaire et au revenu des exploitants agricoles, l'UNDP et l'ONL ont initié un programme de développement hydro-agricole du Sud Liban. Dans ce document, nous nous proposons d'analyser l'impact de cette nouvelle politique d'approvisionnement en eau, sur les systèmes de cultures et sur les enjeux environnementaux, économiques et sociaux de l'agriculture. Cette évaluation a été faite avant la mise en œuvre de la politique.

Ce travail implique une modélisation « ex-ante » nécessitant le couplage d'un modèle agro-météorologique (CropWat) et d'un modèle agro-économique (GamsIDE). Nous avons identifié et caractérisé 19 systèmes de cultures déjà en place et 18 systèmes de cultures dont l'implantation serait envisageable dans le cadre de cette nouvelle politique. Leur caractérisation a porté sur les itinéraires techniques et les coûts de productions, les consommations en intrants et en eau, le temps de travail nécessaire à chaque poste, les rendements et les prix des productions. Afin d'améliorer la compréhension de ces systèmes de cultures et la réponse de leurs rendements au stress hydrique, nous avons modélisé l'impact de 3 régimes d'irrigation, menés sur 3 types d'années climatiques et sur 3 types de sols différents. Nous avons ensuite écrit un modèle de programmation linéaire simulatif et optimisant la réponse des agriculteurs concernant un choix d'assolement. Enfin, la politique de l'UNDP et de l'ONL a été intégrée dans ce modèle afin d'analyser les impacts sur les systèmes de cultures et sur les enjeux de l'agriculture dans cette zone.

Il ressort que la politique mise en place doit être accompagnée d'une refonte des systèmes de cultures en incluant de nouvelles productions et d'un accompagnement technique afin de réduire les pressions sur l'environnement. En effet, l'évaluation de l'impact de la politique sur les systèmes de cultures actuels montre une efficacité et une efficacité faibles à la vue des indicateurs retenus. Dans le cas où la politique est accompagnée d'une restructuration des systèmes de cultures, il apparaît que le revenu des exploitants s'améliore (de 10 à 53% en fonction des exploitations). La consommation de certains intrants tend à décroître et la production de cultures importatrices à vocation alimentaire s'accroît. Cependant, cette augmentation se fait au détriment du blé dont la surface est divisée par 3 mais qui constitue une denrée à l'enjeu majeur au Liban. Une politique d'accompagnement, visant à soutenir la production de blé, devra donc être mise en place.

**Mots-clés :** système de culture ; gestion des eaux ; irrigation ; modèle bioéconomique ; scénario ; indicateur ; évaluation ; projet de développement ; développement agricole ; modèle de simulation ; système de production ; résultat de l'exploitation agricole ; Liban.

**Abstract:** *As an answer to the issues concerning rural areas development, food security and farmers' incomes, the UNDP and the ONL has framing a hydro-agricultural program for the South of Lebanon. In this paper we purpose to assess the impacts of this new policy aimed to supply water, on the cropping systems and on the environmental, economic and social issues of the agriculture. This assessment has been done before the application of the concerned policy.*

*This work involves a modelising "ex-ante", where we have linked an agro-meteorological model (CropWat) and an agro-economic one (GamsIDE). We have identified and characterized 19 cropping systems already cultivated and 18 cropping systems the development of which could be taken into consideration in the framework of this new policy. Their characterization concern the cropping techniques, the costs of production, the pesticides, nitrate and water consumptions, the requested labour force, the yields and the prices of the products.*

*To improve our understanding of those cropping systems and the yields answers to a hydric stress, we have modelised the impacts of 3 irrigations supplies, done on 3 types of climatic years and on 3 different types of soil. Then, we have written a linear programming model simulating and optimizing the farmers' answers concerning the cropping patterns choice. Finally, we have integrated the UNDP and ONL policy in the model to analyze the impacts on the cropping systems and on the main agricultural issues of the studied area.*

*Our work shows that the policy has to be attended with an overhaul of the cropping systems including new productions and a technical support to reduce the environmental pressures. Indeed, the policy assessment based on the current cropping systems, shows a lack of effectiveness and of efficiency regarding the chosen indicators. In the case where the policy is attended to a cropping systems restructuration, it appears that the farmers' incomes improve (between 10 and 53% depending on the type of farm). The consumption of some pesticides and the using of nitrate tend to reduce. Moreover, the production of important crops for the food security increases. However, this increasing is done at the expense of the wheat production: divided by 3. A policy aimed to support the wheat production, which is an essential crop for the food security, has to be implemented in the future.*

**Keywords :** *cropping systems; water management; irrigation; bioeconomic models; scenario, indicators; evaluation ; development ; projects; agricultural development ; simulation models; farming systems; farm results; Lebanon*

## Remerciements

Je tiens tout d'abord à remercier le Dr Nicolas Gharib de l'UNDP, le Dr Salem Darwish de la Faculté d'Agronomie de Beyrouth, le Dr Hatem Belhouchette ainsi que Mlle Imen Souissi, du CIHEAM-IAMM qui m'ont permis de réaliser cette étude.

Je remercie également le Dr Kamal Karaa de l'ONL de m'avoir éclairé et soutenu au long de cette étude.

Je veux remercier Marie-Hélène Nassif pour son aide précieuse, pour les informations qu'elle a pu me donner et pour son encouragement au cours de mon travail.

Je souhaite remercier Mohamed Bahsoun, de son soutien tout au long de ce travail et sans qui la partie « terrain » n'aurait probablement pas pu être faite dans d'aussi bonnes conditions, Tony Rizk de ses nombreux conseils ainsi que tous les agriculteurs et techniciens qui m'ont accordé de leur temps afin de me fournir les informations essentielles à la réalisation de cette étude.

Je tiens encore à remercier le Dr. Kamal Karaa, Marie-Hélène Nassif et Mohamed Bahsoun pour le travail d'enquête qu'ils ont réalisé et qui a constitué un point de départ et un appui essentiel à la réalisation de cette étude.

Je remercie également les chercheurs de l'IRAL, notamment Randa Masaad, de leur soutien et pour les informations qu'ils ont pu me fournir.

Mes remerciements s'adressent également à Monsieur le Ministre de l'Agriculture, Dr. Hussein Al Hajj Hassan pour m'avoir reçu et accordé de son temps, au Dr. Ali Moumen à Solange Matta-Saadé et à Elisa Lorenzon pour la représentation de la FAO au Liban, pour m'avoir accueilli et aidé ainsi qu'à Monsieur le Doyen de la Faculté d'Agronomie le Dr. Tayssir Hamieh qui m'a donné les moyens matériels sur place.

Je remercie enfin les habitants du village de Quella pour leur accueil, les étudiants de l'Université Libanaise, les travailleurs de l'ONG Arc en Ciel et tous ceux qui ont pu participer de près ou de loin à cette étude et qui m'ont donné de leur temps et apporté leur soutien.

# Sommaire

<b>Chapitre I : Synthèse bibliographique .....</b>	<b>6</b>
I. Notions de base à l'évaluation intégrée et au développement de scénarios.....	6
1. Evaluation intégrée.....	6
A. Notions de systèmes complexes .....	6
2. Notion de scénarios .....	8
A. Définitions d'un scénario.....	8
B. Champs d'application et objectifs des scénarios .....	8
C. Construction de scénarios.....	9
a. Identification des forces motrices ( <i>driving forces</i> ) .....	9
b. Scénarios de référence et scénarios politiques.....	10
D. Questions d'échelles.....	10
a. Définition de la notion d'échelles.....	10
b. Prise en compte de l'approche multi-échelle.....	11
E. Méthodes de développement des scénarios .....	11
F. Les indicateurs de mesure.....	12
a. Notions d'indicateur .....	12
b. Constitution et choix des indicateurs .....	13
II. Contexte général de l'étude.....	14
1. Approche du Liban et de la zone de Marjeyoun.....	14
A. Caractéristiques hydrologiques et topographiques .....	15
B. Caractéristiques pédologiques .....	15
C. Caractéristiques climatiques .....	16
2. Situation économique agricole et enjeux de la production au Liban et dans la zone d'étude .	17
3. Programme de développement hydro-agricole Sud Liban : Canal 800.....	20
A. Projet de développement agricole et Canal 800.....	20
B. Projet de développement agricole : Préparation au développement du réseau d'irrigation dans la zone de Marjeyoun .....	20
4. Rôle des principales institutions en lien avec l'étude.....	20
III. Problématique, hypothèses et démarche générale.....	21
<b>Chapitre II. Matériel et Méthodes .....</b>	<b>24</b>
I. Phase de cadrage de l'étude .....	24
1. Identification des partenaires : constitution du groupe de pilotage .....	24
2. Identification des systèmes d'exploitation agricole.....	24
3. Définition du problème, des objectifs et des contours de l'étude.....	25
II. Phases de préparation à l'évaluation et de modélisation / évaluation .....	25
1. Phase de préparation à l'évaluation.....	29
A. Choix d'indicateurs.....	29
B. Enquête technico-économique régionale.....	30
a. Population ciblée.....	30
b. Contenu de l'enquête .....	31
C. Modélisation agro-climatique : modèle Cropwat .....	33
a. Choix du modèle utilisé .....	34
b. Présentation du modèle.....	34
c. Bases de données utilisées et implémentation du modèle.....	34
2. Phase de modélisation/évaluation.....	38
A. Représentation de la diversité des exploitations agricoles : Typologie .....	38
a. Choix du mode de perception .....	39
b. Identification de groupes homogènes .....	39
c. Analyse en composante principale et classification ascendante hiérarchique .....	39

d. Définition d'une exploitation agricole type .....	40
B. Modélisation bioéconomique : programmation linéaire .....	40
a. Contrainte terre .....	41
b. Contrainte eau .....	41
c. Contrainte travail (main-d'œuvre) .....	41
d. Contrainte de rotation.....	42
e. Contrainte de surface des cultures pérennes .....	42
f. Calibration et validation du modèle .....	43
C. Scénarios simulés.....	43
<b>Chapitre III. Résultats et Discussions.....</b>	<b>46</b>
I. Résultats d'analyse de l'enquête « systèmes d'exploitations agricoles » : Identification des enjeux et des contours des scénarios.....	46
II. Choix des indicateurs d'évaluation.....	47
III. Typologie.....	49
1. Elaboration de groupes de niveau 1 .....	49
A. Test de corrélation .....	49
B. Analyse en composante principale.....	49
C. Classification ascendante hiérarchique.....	50
2. Elaboration de groupes de niveau 2.....	522
A. Analyse en composante principale.....	52
B. Classification ascendante hiérarchique .....	54
3. Groupes d'exploitants retenus pour cette étude : conclusion.....	54
IV. Résultats de la calibration du modèle bio-économique.....	55
V. Analyse des scénarios : performances des EA .....	56
1. Scénario de référence.....	56
A. Performances économiques .....	57
B. Performances environnementales .....	57
C. Performances sociales.....	59
2. Scénario politique .....	60
A. Performances économiques .....	61
B. Performances environnementales .....	62
C. Performances sociales.....	63
3. Scénario quotas .....	64
A. Performances économiques .....	65
B. Performances environnementales .....	65
C. Performances sociales.....	65
4. Scénario prix de l'eau .....	65
A. Performances économiques .....	65
B. Performances environnementales .....	66
C. Performances sociales.....	66
5. Scénario innovation : Introduction des cultures à promouvoir.....	66
A. Performances économiques .....	67
B. Performances environnementales .....	67
C. Performances sociales.....	70
VI. Evaluation de l'impact des politiques et scénarios testés : tendances générales et conclusions...	72
<b>Limites de l'étude .....</b>	<b>75</b>
<b>Conclusions générales et perspectives.....</b>	<b>76</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>79</b>
<b>Annexes .....</b>	<b>82</b>

## Liste des tableaux et figures

Tableau 1 : Fréquence d'apparition d'années sèches au Liban (période 1932-1980, source CDR 2001)	17
Tableau 2 : Liste des cultures étudiées .....	31
Tableau 3 : Contenu de l'enquête technico-économique régionale.....	33
Tableau 4 : Textures et réserves utiles des sols de la zone d'étude.....	37
Tableau 5 : Régimes d'alimentation hydrique appliqués et calcul des rendements .....	38
Tableau 6 : Cultures proposées dans le scénario de référence .....	44
Tableau 7 : Variation des quotas de restriction de l'eau disponible.....	45
Tableau 8 : Variations du prix de la ressource hydrique .....	45
Tableau 9 : Objectifs à atteindre et leviers .....	48
Tableau 10 : Leviers, sous-thèmes et indicateurs retenus pour l'étude .....	48
Tableau 11 : Test de corrélation groupes de niveau 1 .....	49
Tableau 12 : Caractéristiques des 2 groupes homogènes .....	52
Tableau 13 : Caractéristiques des 3 groupes homogènes .....	54
Tableau 14 : Synthèse des caractéristiques des 3 groupes d'exploitations agricoles retenus.....	55
Tableau 15 : répartition des surfaces cultivées selon les différents modes d'alimentation hydriques ..	61
Tableau 16 : Comparaison des SAU irriguées entre le Scénario de référence et le scénario politique .	62
Tableau 18 : Assolement des Exploitations.....	67
Tableau 19 : Marges brutes des exploitants .....	67
Tableau 20 : Efficience d'utilisation des intrants pour la production de cultures alimentaires (EA GC et EA Odiv) .....	71
Tableau 21 : Impact des politiques : tendances générales .....	74

# Liste des principaux sigles et abréviations

AFIAL : Association des Amis d'Ibrahim Abdel Al  
AH : Année humide  
AM : Année médiane  
AS : Année sèche  
AUB : Université Américaine de Beyrouth  
CE : Chef d'exploitation  
DD : Développement durable  
EA A : Exploitation arboricole  
EA GC : Exploitation agricole grandes cultures  
EA O : Exploitation agricole oléicole  
EA Odiv : Exploitation agricole oléicole diversifiée  
EA : Exploitation agricole  
ET0 : Evapotranspiration de référence  
ETm : Evapotranspiration maximale  
FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Agriculture et l'Alimentation  
Fd : Fongicides  
GOF : Goal Oriented Framework  
Hd : Herbicides  
Id : Insecticides  
IDE: Indicateur de dimension économique  
ITK : Itinéraire technique  
LARI / IRAL : Institut de Recherche Agricole Libanais  
LL : Livre Libanaise  
MB : Marge brute  
MBS : Marge brute standard  
N : Azote  
ONL : Office National du Lithani  
Otex : Orientation technico-économique d'exploitation  
SAU : Surface agricole utile  
UNDP / PNUD : Programme des Nations Unies pour le Développement

# Introduction

La question de l'eau au Moyen Orient est un enjeu clé du maintien et du développement des zones rurales. Le Sud du Liban, qui a longtemps été le théâtre d'un jeu d'influences contradictoires : à la fois soumis à des pressions pour la non valorisation de la ressource hydrique et à des accusations prétendant que le pays la laisse s'écouler dans la Méditerranée, souhaite maintenant avancer durablement pour son utilisation.

Le programme de développement hydro-agricole Sud Liban, initié par le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et l'Office National du Litani, souhaite donner la possibilité à cette zone d'utiliser la ressource hydrique de surface disponible pour la production agricole. En effet, face à des cultures spécialisées sur des régimes pluviaux et incapables de satisfaire les besoins alimentaires de la population locale et nationale (importation des denrées alimentaires dépassant 80%, selon le Ministère de l'Agriculture, 2011) ou basées sur l'utilisation d'une ressource hydrique souterraine surexploitée (baisse du niveau piézométrique, intrusions salines marines, augmentation des coûts de pompage...), l'utilisation d'une ressource de surface peu valorisée jusqu'alors se pose comme un enjeu essentiel.

L'augmentation de l'utilisation de la ressource hydrique aura pour but de permettre la diversification et l'implantation de cultures nécessaires à la souveraineté alimentaire de la zone et à la sécurisation du revenu des exploitants. Ce changement de systèmes de culture devra être raisonné en mesurant les impacts sur l'environnement et sur la ressource, afin de l'exploiter durablement et de ne pas compromettre ce qui fait la richesse du Liban dans un contexte de tensions hydro-politiques.

Aussi, ce travail se propose de réaliser une réflexion sur les changements de systèmes de culture souhaitables dans la zone de Marjeyoun, suite à la valorisation de la ressource présente. L'étude de l'impact des changements devra être réalisée de façon intégrée, en prenant en compte à différentes échelles, les dimensions environnementales, économiques et sociales et ce, avant même que ces modifications ne soient effectives. L'évaluation intégrée des changements devra être menée en concertation avec les acteurs de la zone et prendra pour support la réalisation et l'évaluation de scénarios quantitatifs. Parallèlement, les outils et leviers politiques permettant ces changements devront être identifiés et leurs impacts, efficacité et efficience, devront être analysés avant leur mise en œuvre.

Dans ce document, nous nous attacherons à décrire les concepts, outils, méthodes et cheminements méthodologiques qui nous ont permis de réaliser ce travail.

Ainsi, nous présenterons tout d'abord une étude bibliographique visant à définir les concepts de base permettant de mener une telle étude. Nous chercherons ainsi à identifier les apports de la littérature sur ce sujet et comment les différents auteurs ont abordé les étapes nécessaires à l'évaluation intégrée de scénarios.

Après avoir identifié les caractéristiques de la zone d'étude et les enjeux qui y sont rattachés, nous replacerons la problématique dans son contexte en la précisant. La redéfinition de la problématique nous permettra de dégager les différentes hypothèses sur lesquelles la méthodologie et ce travail en général reposeront.

La méthodologie présentée ici vise tout d'abord à mener une réflexion sur une trame de travail en décrivant différentes étapes cohérentes et coordonnées. Le long de cette trame, les éléments et outils qui ont été nécessaires pour réaliser chacune des étapes citées seront détaillés.

Enfin, nous présenterons les résultats relatifs à la construction des scénarios et à leur évaluation intégrée.

# Chapitre I : Synthèse bibliographique

## I. Notions de base à l'évaluation intégrée et au développement de scénarios

### 1. Evaluation intégrée

#### A. Notions de systèmes complexes

La notion « d'intégration » renvoie à la prise en compte de l'ensemble des composantes et des relations caractérisant un système complexe. Ainsi l'évaluation intégrée étudie l'impact de systèmes de cultures et/ou de politiques agricoles sur l'ensemble des composantes du système et prend en compte les interrelations existantes.

Depuis les années 70, l'intérêt pour l'approche dite d'évaluation intégrée pour l'orientation des politiques agricoles européennes s'est accru. L'évolution rapide du contexte : la libéralisation des échanges, l'introduction de nouvelles technologies, la demande sociétale concernant la souveraineté alimentaire, l'environnement, l'espace rural... sont autant de facteurs dont la prise en compte s'est avérée de plus en plus essentielle dans la définition des politiques publiques.

Depuis cette période, la modélisation s'est imposée comme outil permettant de prendre en compte les différents facteurs ou composantes d'un système complexe et les interrelations existantes. Ainsi, les modèles développés ont visé à prendre en compte l'intégralité des informations et disciplines scientifiques nécessaires pour orienter des politiques face à des problèmes concrets (Ferenc, Toth, Hizsnyik, 1998).

Jusqu'à présent, l'évaluation de l'impact de systèmes de cultures (Sdc), de systèmes d'exploitation et de politiques agricoles s'est faite consécutivement à leur mise en place, par une démarche empirique visant à l'acquisition d'expérience. Actuellement, l'évaluation de leurs forces et faiblesses, de leur capacité à répondre à un problème complexe ainsi que l'étude des changements qu'ils impliquent, doit se faire avant même leur introduction. La réponse à ce nouvel enjeu de l'évaluation intégrée, alors nommée « ex-ante », apparaît essentielle afin d'atteindre les objectifs fixés à moindre coût et en prenant en compte l'impact sur l'ensemble des facteurs biologiques, environnementaux, économiques et sociétaux. Enfin, l'évaluation intégrée ex-ante constitue un outil visant à améliorer la légitimité et la crédibilité de la politique en permettant aux acteurs d'influencer l'ensemble des étapes de constitution de la politique (Alkan Olsson et al., 2008).

Dans le cadre d'une évaluation intégrée de l'impact de changements en agriculture et de politiques de soutien, nous mènerons une réflexion au niveau de systèmes complexes. Aussi, cette notion nécessite-t-elle d'être définie.

Selon Ewert (2008), les systèmes complexes peuvent être caractérisés par les éléments suivants (cf. figure 1) :

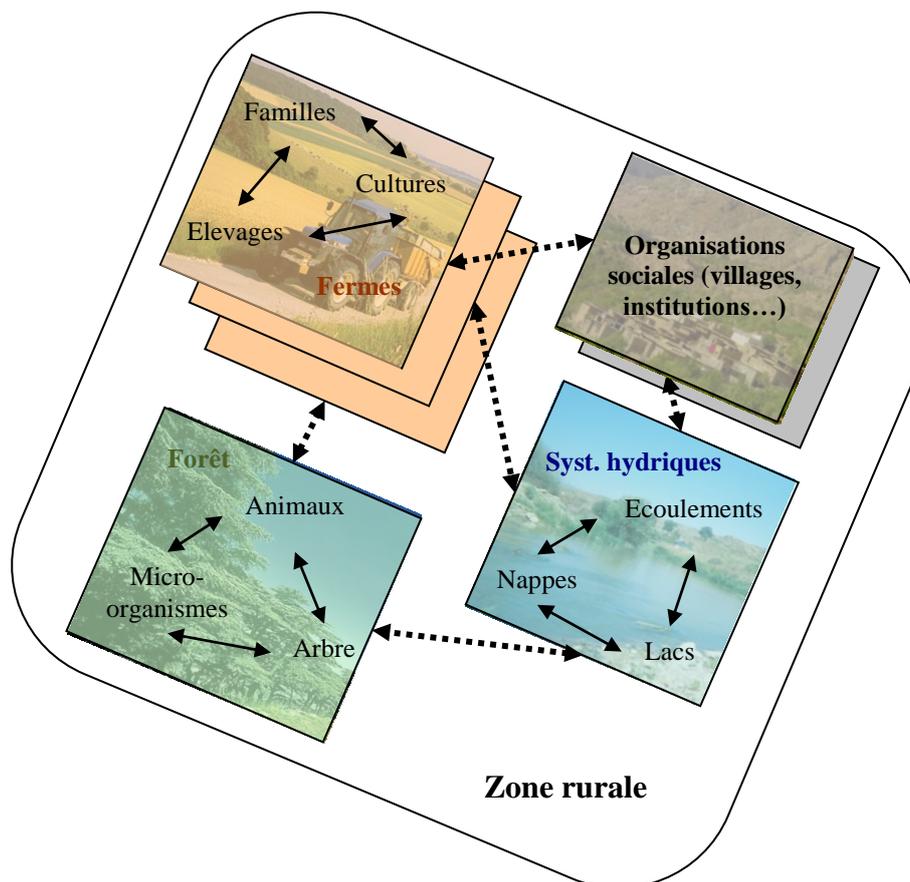
- Un ensemble de composantes en interrelations : composantes cultures, sols, exploitation agricole, village...
- Les composantes sont structurées et imbriquées selon diverses échelles spatiales et temporelles : différentes cultures structurées en un assolement (structuration spatiale), différentes cultures structurées en une rotation (structuration temporelle). Les différentes cultures sont imbriquées au sein d'une exploitation (imbrication d'échelles spatiales), une exploitation dispose de plus ou moins d'eau dans le temps (imbrication d'échelles temporelles).
- Les interactions de flux et de ressources entre les différentes composantes du système doivent être considérées. En effet, du fait de ces interrelations, la somme des composantes prises individuellement est différente de la somme des composantes considérées dans leur intégralité (les interactions sont alors prises en compte). Par exemple, une rotation culturale mono-

spécifique a une productivité inférieure à une rotation culturale diversifiée et complémentaire. Il apparaît donc ici nécessaire de considérer à la fois les différentes composantes du système mais également de comprendre les échanges existants entre elles, afin d'identifier le comportement du système dans son intégralité.

- Ces relations ne sont pas linéaires et supposent des effets de « feedback » : une rotation cherchant à préserver un sol a une productivité accrue, le sol apporte dans ce cas plus aux cultures.

Les systèmes sont ouverts et comportent des bornes difficiles à définir

**Figure 1 : Représentation d'un système complexe (Ewert F., 2008)**



Chaque composante du système est en interrelation avec une autre et est représentée par une superposition d'échelles spatiales et temporelles différentes.

L'analyse de ces systèmes complexes nécessite donc l'intégration de connaissances de différentes disciplines et à différentes échelles. Notamment, considérant la figure 1, la compréhension du système pris pour exemple implique des connaissances alliant agronomie, écologie, sociologie, économie... et ce, à différentes échelles temporelles et spatiales : parcelle, exploitation, écosystème... Aussi, l'approche de modélisation et d'évaluation intégrée de systèmes complexes en agriculture permet-elle l'intégration de ces différentes disciplines à plusieurs échelles. Dans ce travail, nous avons utilisé une approche basée sur le couplage des modèles agronomiques et bioéconomiques afin de représenter les processus du système complexe à différentes échelles. Dans un contexte d'évaluation de décisions politiques, la combinaison de cette approche de modélisation avec la mise en place de scénarios permettra d'anticiper les implications et les risques de ces orientations (Ewert et al.2009).

Selon le même auteur (Ewert, 2009), la modélisation et l'évaluation intégrée présentent différents challenges auxquels il faudra répondre dans cette étude :

- l'analyse intégrée pose le challenge de la définition d'objectifs clairs traçant les contours du système étudié face à la complexité des processus et des interactions entre le sol, la culture et l'atmosphère, la biodiversité, la production alimentaire, la nutrition humaine, la gestion des ressources naturelles...
- l'évaluation des impacts de changements politiques sur différents systèmes (exploitation, écosystèmes...) impliquerait une description large de toutes les composantes et interrelations. Cette démarche étant trop complexe, l'évaluation intégrée pose le challenge du choix et de la focalisation sur un système jugé principal, qui sera modélisé.
- le challenge de la définition et le choix d'indicateurs représentant les différentes composantes et interrelations, qui soient transposables entre les différentes échelles.
- l'interaction avec les acteurs locaux et la discussion des résultats avec ces partenaires constitue également un challenge important concernant l'approche participative qui est au cœur de l'analyse intégrée.
- la constitution d'une base de données combinant différentes disciplines, différentes sources et le transfert de cette base à différentes échelles constitue enfin un autre challenge que cette étude devra relever.

## **2. Notion de scénarios**

L'évaluation ex-ante de l'impact de la mise en place de systèmes de culture et de politiques agricoles passe par la définition de scénarios envisageables dans le futur. Il s'agira donc dans cette approche, d'évaluer l'efficacité et l'efficacités de ces scénarios pour répondre à des problèmes concrets du développement agricole ainsi que d'étudier leurs impacts sur l'ensemble d'un système complexe.

### ***A. Définitions d'un scénario***

Les définitions couramment utilisées pour décrire le concept de scénario sont les suivantes :

- Description archétypique d'une succession d'images du futur, créée à partir de cartes mentales ou de modèles reflétant différentes perspectives du développement passé, présent et futur (Rotmans, 1998)
- Une description cohérente, consistante et plausible d'un éventuel état futur du monde (Porter, 1985, cité par Leney et al., 2004)

Ces descriptions laissent donc percevoir une très large variété de scénarios possibles (Van Notten et al., 2003). Dans ce cadre, bien qu'il apparaisse difficile de dresser un concept type de ce qu'est un scénario, Rotmans et al. (2000) ont soulevé que tous les scénarios répondent aux caractéristiques suivantes :

- ils sont hypothétiques, décrivant un chemin possible dans le futur,
- ils décrivent des procédés représentant des séquences d'événements sur une certaine période,
- ils constituent les états, les événements, les actions et conséquences reliés par la cause,
- ils démarrent d'un état initial (le présent) et dépeignent un état final pour un horizon fixé.

### ***B. Champs d'application et objectifs des scénarios***

Leney et al. (2004) ont décrit les conditions optimales d'utilisation de scénarios dans le cadre d'une évaluation intégrée :

- Un certain degré d'incertitude quant au déroulement des circonstances futures.
- Les décideurs politiques ont des difficultés à mener une réflexion en dehors des nécessités et des problèmes immédiats.
- Les structures organisationnelles sont complexes et prennent en compte les intérêts de nombreuses parties prenantes (agriculteurs, utilisateurs de la ressource hydrique, habitants...).
- Les acteurs et les parties prenantes sont disposés à consacrer du temps et des ressources à la recherche de solutions dans une démarche à la fois stratégique et de long terme.
- Les gestionnaires veulent mettre au point des méthodes de planification permettant d'associer un plus grand nombre de personnes à la prise de décision.

Selon Van Notten et al. (2003), dans un contexte de décision politique et de changements à venir, les scénarios ont pour objectif essentiel de permettre aux acteurs d'explorer les futurs possibles et d'évaluer les conséquences de différentes orientations : systèmes de cultures et stratégies politiques de soutien.

Flörke M., Alcamo J. (2004) ont appuyé ces propos en soulevant que l'analyse de scénario est un outil permettant d'évaluer les tendances futures d'un problème donné, particulièrement quand celui-ci est complexe et faiblement décrit. Cependant, ces mêmes auteurs précisent que le but de l'analyse de scénarios n'est pas de prédire le futur mais d'améliorer la compréhension de systèmes complexes, d'examiner les interactions et d'identifier les principaux problèmes.

Selon Börjeson et al. (2006) (cité par Therond et al., 2009), il existe 3 principales façons d'envisager les scénarios, leurs champs d'application et les objectifs qui y sont rattachés :

- scénario prédictif, dont l'objectif est d'envisager les futurs probables,
- scénario exploratoire, qui a pour but d'envisager les futurs possibles,
- scénario normatif, dont le but est d'envisager les futurs préférables.

Comme leur nom l'indique, les scénarios prédictifs tentent de pressentir ce qu'il va se passer dans le futur. Cet objectif est ici atteint en établissant un ensemble de probabilités qui dessinera les contours du scénario.

La prévision vise ici à répondre à deux questions : que va-t-il se passer sous les conditions que le développement souhaité dévoile ? Que va-t-il se passer sous les conditions internes ou externes spécifiées ?

Les scénarios exploratoires étudient tous les scénarios possibles, en couvrant ainsi une large gamme de développements envisageables. Cette approche est utilisée pour des horizons à long terme, permettant d'intégrer des changements structurels fondamentaux. L'horizon ici lointain ne permet pas de dessiner les contours de ces scénarios par des probabilités concrètes.

Les scénarios normatifs commencent par une situation future désirée et explorent les différentes voies pour atteindre cet objectif. Ils répondent à la question : comment la cible spécifique peut-elle être atteinte ?

### ***C. Construction de scénarios***

#### **a] Identification des forces motrices (*driving forces*)**

Dans le but d'être crédible scientifiquement et politiquement, les scénarios doivent être basés sur un ensemble d'hypothèses et de théories concernant les relations clés et les forces motrices au changement. Ces forces motrices doivent être cohérentes, consistantes, reproductibles et plausibles afin d'identifier les décisions pertinentes pour le futur (Leney et al., 2004). Bush (2006) (cité par Therond et al., 2009), vient appuyer ces propos en soulevant que les scénarios doivent se référer systématiquement aux éléments clés (forces motrices), tels que le développement technologique, l'évolution politique...

En ce sens, il devient important d'identifier les facteurs susceptibles d'entraver ou d'inhiber les moteurs du changement.

Selon Bousset et al. (2007) (cité par Therond et al., 2009), deux types de forces motrices existent :

- les forces motrices internes qui influencent le comportement du système et qui correspondent aux principaux facteurs de changements étudiés. Ce type de force motrice est donc sous le contrôle des acteurs considérés par l'étude. Ces forces motrices peuvent être des soutiens politiques ou des réglementations, des variations de prix de la ressource hydrique, des innovations techniques...
- les forces motrices externes qui se situent en dehors du système, soit ne sont pas modélisées, soit rentrent dans le modèle en tant que paramètre non influençable par les acteurs considérés (marché, quantité d'eau disponible pour l'irrigation...). Ces forces externes influencent donc à la fois le système et les forces motrices internes. Leur évolution n'est pas maîtrisable.

Le fait que les forces motrices soient externes ou internes dépend de l'échelle de temps et d'espace étudiée (MA, 2005, cité par Therond et al., 2009). En effet, dans le cas du marché, il constitue un facteur externe si l'on s'intéresse à l'échelle régionale et un facteur interne si l'on passe à une échelle mondiale. De la même manière, la quantité d'eau disponible pour l'irrigation, par le biais du canal 800, est une force motrice externe si l'on se place au niveau régional et une force motrice interne si l'on se place au niveau national.

Selon Leney et al. (2004), ces moteurs du changement ne sont pas des forces constantes. En effet, selon le scénario envisagé, les moteurs peuvent être modifiés ou supprimés.

#### **b] Scénarios de référence et scénarios politiques**

L'impact des politiques est étudié en comparant les résultats d'un scénario représentant les changements politiques avec les résultats correspondants dans une situation de référence. Cette approche comparative nécessite la définition de 2 principaux types de scénarios : le scénario de référence et le scénario alternatif.

Le scénario de référence comprend les forces motrices externes et internes correspondant à une projection de la situation actuelle dans l'horizon du futur considéré (Flörke M., Alcamo J., 2004). Il est estimé sur les tendances du passé et basé sur les politiques actuelles. Ces scénarios sont utilisés afin de :

- fournir un cas de référence pour les nouvelles interventions politiques,
- évaluer l'impact de changements de systèmes culturels lorsqu'une force motrice externe vient à changer (ressource hydrique disponible dans le cadre de cette étude).

Le scénario alternatif prend en compte les options politiques et les innovations techniques pour lesquelles les décideurs nécessitent une évaluation intégrée. Selon Alcamo (2001) (cité par Therond et al., 2009), les principaux objectifs de scénarios politiques sont :

- analyser l'impact social, économique et environnemental de différentes politiques de développement rural basées sur l'environnement, l'agriculture ou le développement rural,
- identifier les politiques qui permettent d'atteindre des objectifs spécifiques à moindres coûts,
- évaluer et de réduire l'incertitude concernant l'évolution des forces motrices internes et externes et de leurs impacts sur la politique étudiée.

### ***D. Questions d'échelles***

#### **a] Définition de la notion d'échelles**

Pour Döll P. et (2002), la notion d'échelle est reliée à l'étendue spatiale d'un phénomène, à sa durée ou, pour les phénomènes institutionnels ou socio-économiques, à sa dimension sociétale.

Les échelles spatiales et temporelles sont typiquement caractérisées par 2 principaux attributs :

- par l'étendue de l'aire spatiale ou de la période temporelle considérée par l'étude. L'étendue temporelle est bornée par l'année de référence ainsi que par l'horizon temporel (année de démarrage du scénario et année la plus lointaine recouverte par les scénarios). (Ewert, 2004).
- par la notion de résolution, qui est l'étendue ou la durée minimale pouvant être distinguée à une échelle donnée et sur laquelle l'information est quantifiée (Döll et al., 2002).

Selon les mêmes auteurs, le choix de l'échelle doit être fait en fonction de l'étendue ou de la durée sur laquelle la mesure appliquée ou le procédé étudié (mesure politique, système de culture) a un impact.

Les problèmes et questions relatifs aux échelles se posent à toutes les étapes du processus de développement des scénarios. En effet, selon Döll (2002), ces questions apparaissent à la fois lors de la définition des cibles des scénarios, de l'identification des forces motrices et de la modélisation quantitative.

Selon Rothmans (1998), un enjeu majeur de l'utilisation des scénarios pour l'évaluation intégrée est qu'il faille prendre en compte une large diversité de processus intervenant dans les systèmes complexes. Aussi, comme décrit précédemment, les composantes et interrelations concernées dans ces processus

interviennent à différents niveaux spatiaux et temporels (relations entre échelle parcellaire et exploitation... entre échelle cycle cultural et cycle de rotation...). De plus, les scénarios ont pour mission de faire la connexion entre des disciplines en intégrant donc différentes échelles fonctionnelles, spatiales et temporelles.

Concernant les problèmes d'échelles dans le développement de scénarios, la question principale, pour Döll et al. (2002), est comment ces problèmes influencent le transfert de l'information entre scientifiques et décideurs politiques ? Dans ce cadre, les principaux problèmes posés sont les suivants :

**Problèmes de cibles** : A qui s'adresse le scénario ? Est-ce que les personnes concernées sont uniquement des décideurs, ou également des acteurs agricoles (gestionnaires de la ressource, agriculteurs), intervenant à plusieurs échelles à la fois ?

**Problème d'institutions** : Comment la gamme d'échelle des analyses scientifiques peut se caler sur la gamme d'échelle des institutions et des acteurs visés ?

**Problèmes de hiérarchie** : Comment les scénarios peuvent refléter le caractère multi-échelle des procédés de prise de décision ? Par exemple, un scénario devra prendre en compte le niveau de décision régional (acteurs et institutions tel que l'UNDP, Office du Lithani...), de l'exploitation agricole (agriculteurs), le niveau parcellaire (agriculteurs, techniciens...).

**Problèmes de quantification** : Comment aborder le changement d'échelle lors de la modélisation (up et downscaling) ? Par exemple, comment faire passer des données quantitatives du niveau parcellaire, à l'exploitation agricole puis au niveau régional ?

Les trois premiers problèmes posés ici traitent principalement d'échelles institutionnelles alors que le quatrième se rapporte surtout à des problèmes d'échelles spatiales et temporelles, concernant l'impact des changements.

#### **b) Prise en compte de l'approche multi-échelle**

Une possibilité de gérer la diversité des échelles est de construire des scénarios tenant compte de la structure hiérarchique des systèmes étudiés, du comportement des acteurs à travers différentes échelles fonctionnelles, spatiales et temporelles et de prendre en compte les forces motrices à ces différents niveaux (Ewert et al., 2009 cité par Therond et al., 2009, Döll et al., 2008, Kock et al., 2007).

Selon Therond et al. (2009), les méthodes permettant d'intégrer des questions d'échelles dans la réalisation de scénarios différents selon le type de scénario développé : narratif (storylines) ou quantitatif (modélisation) :

- Concernant les storylines, il s'agit de trouver un moyen d'engager les partenaires et experts à différentes échelles, de se focaliser sur des questions pertinentes et crédibles à chaque niveau et de construire un scénario cohérent à travers les différents niveaux (Kock et al., 2007).
- Pour les scénarios quantitatifs, le principal challenge est de construire une chaîne de modélisation numérique ou conceptuelle des procédés clés à différentes échelles spatiales et temporelles. Il s'agit ici de prendre en compte les interactions et feedbacks entre ces procédés à différentes échelles. (Ewert et al., 2006; Therond et al., 2009). Ainsi, en portant sur plusieurs niveaux d'organisation simultanément (intégration de modèles à plus bas niveau dans un modèle de niveau supérieur), la modélisation est capable de représenter les changements survenant en même temps à plusieurs échelles.

#### **E. Méthodes de développement des scénarios**

Plusieurs méthodes ont été développées, elles dépendent du but fixé pour le scénario, des caractéristiques du système étudié et du degré d'implication des partenaires (Westhoek et al., 2006; Börjeson et al., 2006; Van Notten et al., 2003; Greeuw et al., 2000, cité par Therond et al., 2009). Les travaux apportés par Alcamo (2009) et Rotmans (1998), distinguent les méthodes de modélisation (méthodes quantitatives) des méthodes narratives :

- Les méthodes narratives, conduisant à élaborer des scénarios qualitatifs. Ils peuvent être considérés comme décrivant les futurs possibles en utilisant des mots ou des symboles virtuels plutôt que des valeurs quantifiées. Ainsi, les scénarios qualitatifs peuvent être décrits sous forme de diagrammes, de phrases, mais sont le plus souvent faits à partir de textes narratifs ou « storylines ». Cette méthode permet de représenter les visions des différents partenaires et experts en même temps. Elles concernent les

développements possibles et leurs implications selon les dimensions du développement durable. Les scénarios qualitatifs constituent également une description de systèmes complexes facile à comprendre, permettant de sensibiliser des décideurs, étudiants, partenaires... aux impacts futurs d'un changement ou d'un statu quo. Cependant, selon Belhouchette et al. (2007), l'absence d'informations numériques constitue une importante limite dans le cas où des décisions relatives à des externalités (lixiviation des nitrates...) doivent être prises. Egalement, selon les mêmes auteurs, les scénarios complexes, impliquant de nombreuses interactions entre des forces motrices de différentes natures ne peuvent être développés et analysés. Enfin, pour Rotmans (1998), les scénarios narratifs sont utilisés dans le cas où les données manquantes ne permettent pas l'approche quantitative.

- Les méthodes de modélisation, conduisant à élaborer des scénarios quantitatifs. Ces types de scénarios se basent sur l'utilisation de modèles mathématiques (ou sur des tendances passées) et fournissent des résultats numériques concernant les impacts de décisions ou de choix politiques. L'avantage le plus important de cette approche est, selon Belhouchette et al (2007), qu'elle permet de constituer des scénarios complexes avec de nombreuses combinaisons de mesures politiques, interactions entre les forces motrices, entre échelles... Selon Alcamo (2009), les scénarios quantitatifs demeurent plus transparents que les scénarios qualitatifs car les hypothèses sous-tendues sont écrites sous forme d'équations, de coefficients ou de valeurs entrantes et non sur la base de visualisations mentales. Enfin, les scénarios quantitatifs, générés par des modèles informatiques, sont le plus souvent assez facilement publiables dans la littérature scientifique et reçoivent ainsi un certain degré d'examen scientifique. Les limites de ces scénarios sont principalement que les utilisateurs prennent les valeurs numériques comme représentant un futur précis et non comme une tendance. Dans ce cadre, il devient important de disposer d'une information concernant l'incertitude sur les résultats (Belhouchette et al., 2007). Enfin, une autre limite importante est décrite par Alcamo (2009) : les équations développées ne sont pas compréhensibles par des personnes non expertes.

Tandis que dans le passé, des développeurs ont principalement utilisé soit des méthodes de modélisation, soit de narration pour la constitution de scénarios, on assiste maintenant à une tendance à aller vers des approches combinant les deux. Cela nécessite des méthodologies plus complexes intégrant à la fois des informations qualitatives et quantitatives provenant de bases de données, d'études ou de modèles, avec une implication des partenaires et des décideurs. (Börjeson et al., 2006; Van Notten et al., 2003; Toth, 2003; Greeuw et al., 2000, cité par Therond et al., 2009).

Ainsi, selon Alcamo (2009), l'expérience acquise montre que les avantages des scénarios qualitatifs et quantitatifs peuvent être mis en avant, en même temps, dans un seul scénario : approche SAS (Story and Simulation). Dans ce cadre, des scénarios qualitatifs peuvent être obtenus en formalisant des résultats quantitatifs et inversement, des scénarios quantitatifs peuvent être développés en utilisant des estimations chiffrées d'experts. En ce sens, les storylines peuvent être interprétés avec des données numériques.

## **F. Les indicateurs de mesure**

### **a] Notions d'indicateur**

Etant donné la complexité de la notion de développement durable et des interactions entre les systèmes naturels et humains, des mesures directes de durabilité ne sont pas possibles. L'évaluation de la durabilité de politiques par le biais de scénarios nécessite donc des méthodes de mesures alternatives sous la forme d'indicateurs couvrant l'ensemble des dimensions du développement durable (Alkan Olsson, Bockstaller, 2008).

Selon Riley (2001), Girardin (1999), (cité par Alkan Olsson, Bockstaller, 2008) la notion d'indicateur peut être définie comme suit :

- un indicateur est une valeur donnant des informations sur une variable difficile à évaluer ou provenant d'un système plus complexe. Ces informations doivent aider les acteurs à prendre une décision, à développer une politique...
- l'indicateur est basé sur des valeurs initiales ou normées, qui lui donneront une orientation ou une base de comparaison.

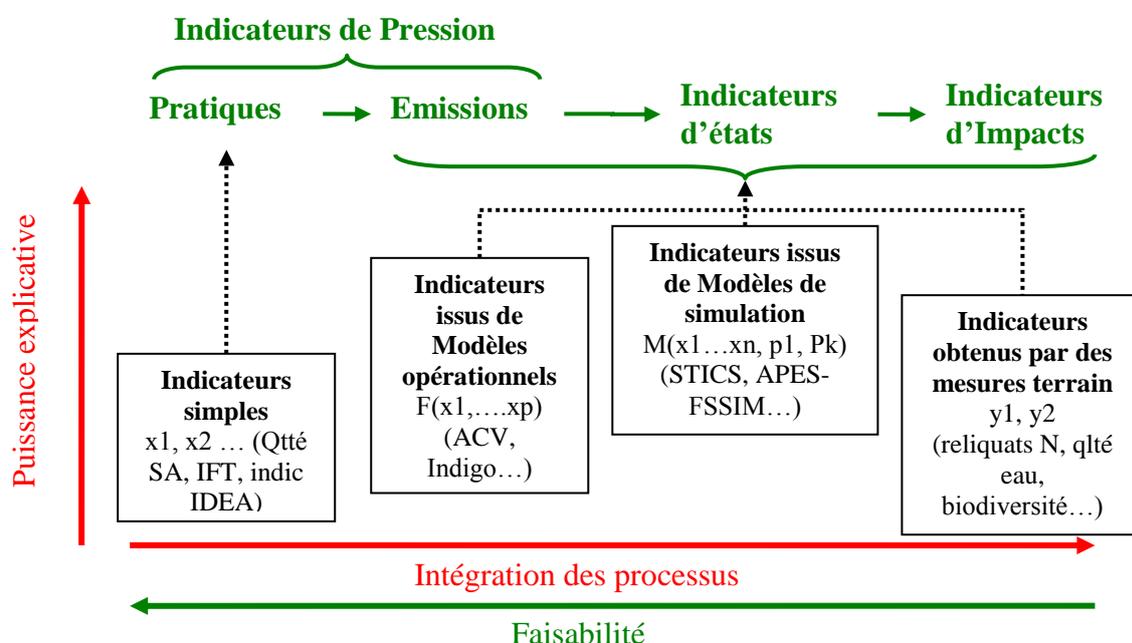
- un indicateur simple pourra être basé sur des mesures, des observations, des calculs statistiques, des sorties de modèle alors qu'un indicateur agrégé sera fondé sur une combinaison de valeurs.

Selon les mêmes auteurs, les indicateurs doivent être capables de :

- mesurer des changements dans des conditions spécifiques sur un temps donné : analyse de l'impact de changements dans les systèmes de cultures et dans les politiques de soutien.
- évaluer les directions et objectifs présents et futurs et positionner la situation actuelle par rapport à ces objectifs.
- focaliser l'attention sur les questions spécifiques et motiver les changements.
- répandre des idées, transmettre des messages.
- relier ce qui est nouveau à ce qui est familier.

Selon Bockstaller et al. (2008), les indicateurs peuvent être classés en fonction de leur niveau de puissance explicative, d'intégration des processus et de faisabilité ainsi qu'en fonction du niveau sur lequel ils interviennent (cf. figure 2).

**Figure 2 : Classement des différents types d'indicateurs (Bockstaller et al., 2008)**



## b] Constitution et choix des indicateurs

Selon Alkan Olsson, Bockstaller (2008), les indicateurs doivent être :

- pertinents : ils doivent donner des informations réellement utiles sur le système,
- facilement compréhensibles pour des personnes non expertes,
- fiables : il est possible de faire confiance dans les informations données par les indicateurs,
- faisables : l'indicateur est basé sur des informations disponibles ou calculables dans les délais.

Egalement, selon Pérez (2005), les dimensions environnementales, sociales et économiques que recouvre la notion de développement durable devront constituer une trame générale pour le choix des indicateurs. Aussi, cet auteur définit-il les notions d'indicateurs environnementaux, sociaux et économiques comme suit :

- indicateurs environnementaux : paramètres ou valeurs dérivées de paramètres qui ont été spécifiés pour décrire un changement dans l'environnement biophysique,
- indicateurs sociaux : valeur évaluant le bien être humain et donnant une image du niveau de développement social et des effets sociaux d'une politique de développement,
- indicateurs économiques : valeur permettant d'analyser les performances économiques dans un système agro-environnemental donné, pour un agent économique donné et de réaliser des prédictions sur les performances futures.

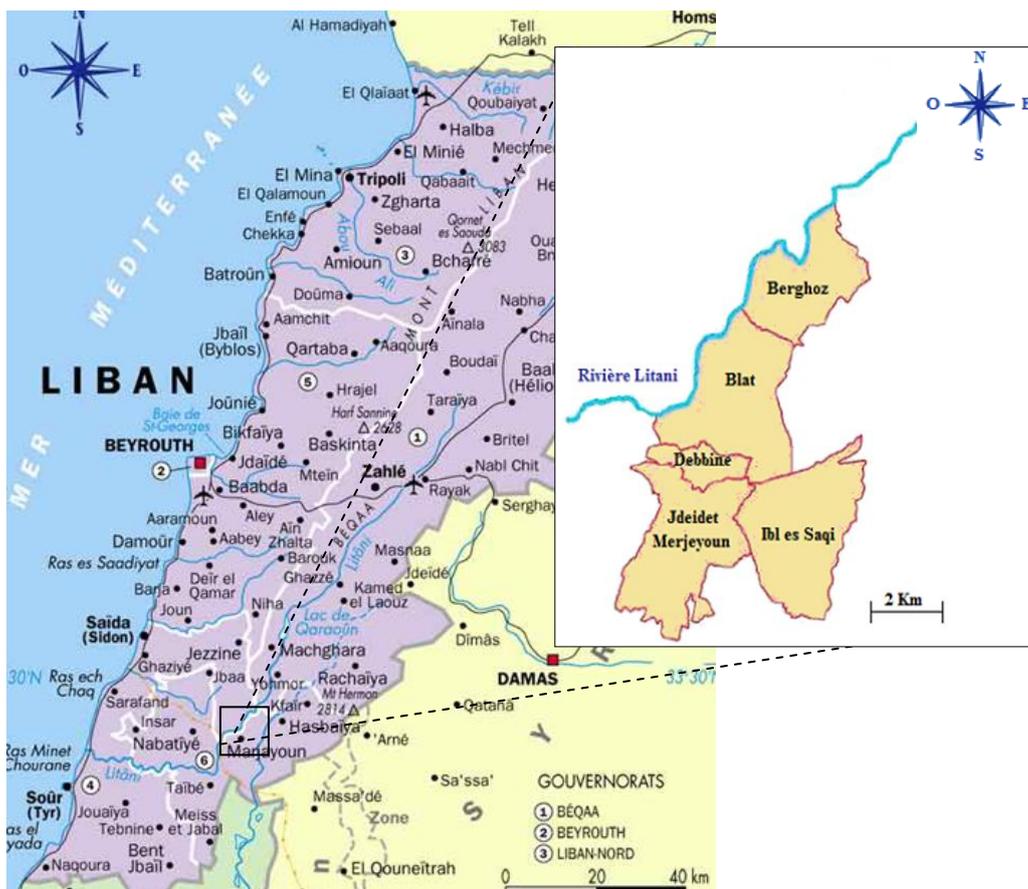
## II. Contexte général de l'étude

### 1 Approche du Liban et de la zone de Marjeyoun

La République du Liban est un pays du Moyen Orient qui s'étend sur 10 452 km<sup>2</sup> (cf. fig.3). Le pays est caractérisé par un système politique démocratique confessionnaliste : le pouvoir politique au sein du gouvernement est distribué d'une façon proportionnelle au poids démographique des différentes communautés religieuses. La langue principale est l'Arabe (dialecte Libanais) et les deux langues secondaires les plus parlées sont le français et l'anglais. La monnaie nationale est la Livre Libanaise notée LL (1€ = 2152 LL). Le Dollar est également utilisé de façon courante (1\$ = 1504,70 LL).

L'unité de mesure de la parcelle agricole est le dunum (noté dn), qui correspond à 1000m<sup>2</sup>.

Figure 3 : Localisation de la zone d'étude (PNUD, 2009)



La zone de Marjeyoun est située au sud-est du Liban (cf. Figure 3), à 10 Km des frontières syriennes et palestiniennes et comprend 5 districts (ou circonscriptions foncières) dont la taille totale est de 30,9 Km<sup>2</sup> : Berghoz, Blat, Debbine, Ibl es Saqi et Jdeidet Marjeyoun. Les coordonnées géographiques de la zone de

Marjeyoun sont les suivantes : 33°21'33° Nord et 35°35'18° Est. Selon le PNUD (2009), la population résidant à l'année est estimée à 32 250 habitants pour les seules communes de Blat, Marjeyoun et Debbine.

### *A. Caractéristiques hydrologiques et topographiques*

Selon Karaa (2012), la rivière Litani, principal apport d'eau de la zone, prend sa source au niveau de Haouch Barada dans la partie moyenne de la Bekaa, à une altitude variant entre 900 et 1000m. D'une longueur totale de 173Km, le Litani couvre la majorité des terres de la Bekaa et une partie du Liban sud pour se déverser dans la mer au niveau de Qasmieh, près de Sour (cf. figure 4). Cette rivière constitue à la fois la source d'alimentation principale du barrage de Qaraoun et son exutoire. Au niveau de la zone d'étude, le Litani borde les districts de Berghoz et de Blat, sur une distance de 8,5 Km (cf. figure 3).

**Figure 4 : Carte des Bassins versants et des principales rivières (Ministère de l'Agriculture 1998).**



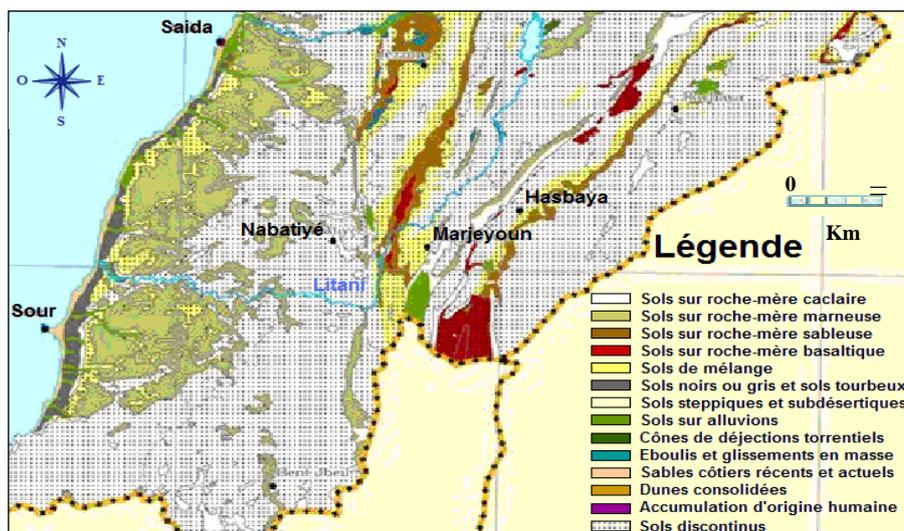
Les reliefs de la zone de Marjeyoun sont caractérisés par des montagnes de basse altitude, allant de 340 à 800m. Le village de Marjeyoun se trouve à une altitude de 760m.

### *B. Caractéristiques pédologiques*

La zone d'étude se caractérise par (Ministère de l'Agriculture, 1998) :

- des sols de mélanges,
- des sols sur alluvions,
- des sols sur roche mère sableuse,
- des sols sur roche mère calcaire.

**Figure 5 : Carte pédologique du Sud-Liban (Ministère de l'agriculture, 1998)**



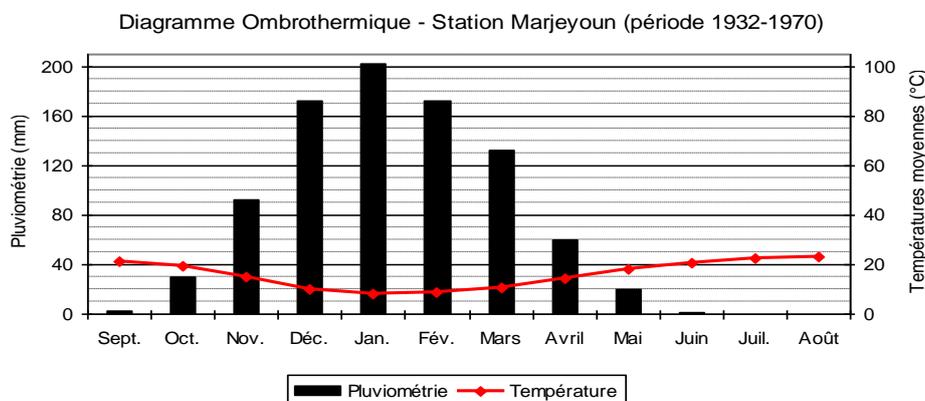
Les sols de mélanges sont constitués d'une succession et d'une alternance de grès, sables, argiles, marnes, calcaires et basaltes anciens (cf. figure 5). La quantité de calcaire peut être forte et peut entraîner des phénomènes de chlorose. Ces sols ont toujours un pH neutre compris entre 6,0 et 7,1. Selon le ministère de l'agriculture, 1998, ce sont des sols « convenables à toutes les cultures mais dont la discontinuité entrave leur exploitation mécanique. Ils constituent les domaines à plantation fruitières par excellence ». Les sols sur alluvions présentent un pH alcalin, une teneur en éléments assimilables satisfaisante mais un taux de matière organique très déficitaire. Les sols sur roche mère sableuse sont pauvres en éléments assimilables et en matières organiques. Ces sols sont très favorables aux cultures fruitières et maraîchères. Les sols sur roche mère calcaire englobent les sols rouges et les sols bruns : sols évolués peu lessivés, riches en matière organique et bien structurés avec présence de fer ferrique.

### C. Caractéristiques climatiques

Selon le Conseil pour le Développement et la Reconstruction, 2001 (noté CDR), le climat de la zone d'étude correspond à un climat typique méditerranéen : une période estivale sèche et une période hivernale humide. Les variations saisonnières sont reliées d'une part à l'influence de deux masses d'air différentes : maritime et continentale eurasiatique et d'autre part au relief montagneux sinueux impliquant des variations locales.

La pluviométrie annuelle de la zone de Marjeyoun est de 900 à 1200 mm. Le diagramme présenté en figure 6 met en évidence une variation intra-annuelle importante : janvier est le mois le plus pluvieux (23% de la pluviométrie annuelle) et les mois de juin à septembre sont marqués par une absence de pluie quasi-totale.

**Figure 6 : Diagramme ombrothermique de la station de Marjeyoun**



Source : CDR, 2001

La fréquence d'apparition d'années sèches est représentée dans le tableau 1. Elle correspond à un déficit de pluviométrie par rapport à une année moyenne. Ainsi, un déficit pluviométrique de 40% sur une année n, signifie que la pluviométrie de cette année sera inférieure de 60% à la pluviométrie annuelle moyenne. D'après le tableau 1, un déficit pluviométrique de 40% apparaîtra 1 fois tous les 10 ans. Enfin, ce tableau s'attache à donner la fréquence d'apparition de périodes sèches s'étalant sur plusieurs années consécutives : une période sèche de 3 ans (30% de la pluviométrie moyenne) pourra survenir tous les 30 ans.

**Tableau 1 : Fréquence d'apparition d'années sèches au Liban (période 1932-1980, source CDR 2001)**

Durée de la période sèche	Fréquence d'apparition, 1 fois tous les :	Déficit pluviométrique
1 an	10 ans	40%
2 ans	20 ans	35%
3 ans	30 ans	30%

A la fois sous influence méditerranéenne, continentale et du fait de son altitude, l'amplitude thermique intra-annuelle de la zone de Marjeyoun est de 14,7°C (cf. figure 6). Dans cette zone, janvier est le mois le plus froid et août est le mois le plus chaud (respectivement 8,3 et 23°C de moyenne mensuelle).

L'humidité relative de la zone de Marjeyoun est influencée par des perturbations provenant de la Méditerranée. Ces entrées maritimes sont suffisantes pour maintenir un niveau d'humidité élevé en été mais pas assez pour provoquer des pluies sur les zones montagneuses pendant cette période. Ainsi, pour la station de Marjeyoun, l'humidité relative observée durant la période 1932-1970 varie de 60% en octobre à 75% en juillet et août.

Selon le Ministère de l'Agriculture (1998), l'évapotranspiration potentielle (ETP) annuelle est de 1300 à 1500 mm dans la zone de Marjeyoun.

## **2. Situation économique agricole et enjeux de la production au Liban et dans la zone d'étude**

Au niveau national et selon le Ministère de l'Agriculture (1998), l'activité agricole représente 6% du Produit Intérieur Brut (PIB). Avec 195 000 exploitants agricoles, 3% de la population active libanaise travaille en agriculture. Une réduction de la part de la population active travaillant en agriculture est cependant observée : -22% entre 1967 et 1998.

La surface agricole utile (SAU hors jachères permanentes) a connu une diminution de 3% sur la période de 1961 à 1998, atteignant 248 000 ha en 1998. Malgré cette faible diminution de la SAU, le nombre d'exploitations a augmenté : hausse de 36% entre 1961 et 1998.

La grande majorité des exploitations agricoles au Liban dispose (en 1998), de superficies faibles : 75% des exploitations libanaises ont moins de 1 ha de SAU. Ces exploitations de petite taille représentent 20% de la SAU du Liban. Dans la zone de Marjeyoun et pour cette même année, la SAU moyenne est comprise entre 0,6 et 1,5 ha, plaçant cette région dans la moyenne nationale.

Toujours pour l'année 1998, 66% des agriculteurs du pays sont des pluriactifs alors que la zone de Marjeyoun en compte 75%.

Les deux tiers des agriculteurs destinent leur production au marché (91% de la SAU), alors que le dernier tiers produit pour l'autoconsommation. Dans la région de Marjeyoun, environ 60% des exploitants produisent pour de l'autoconsommation.

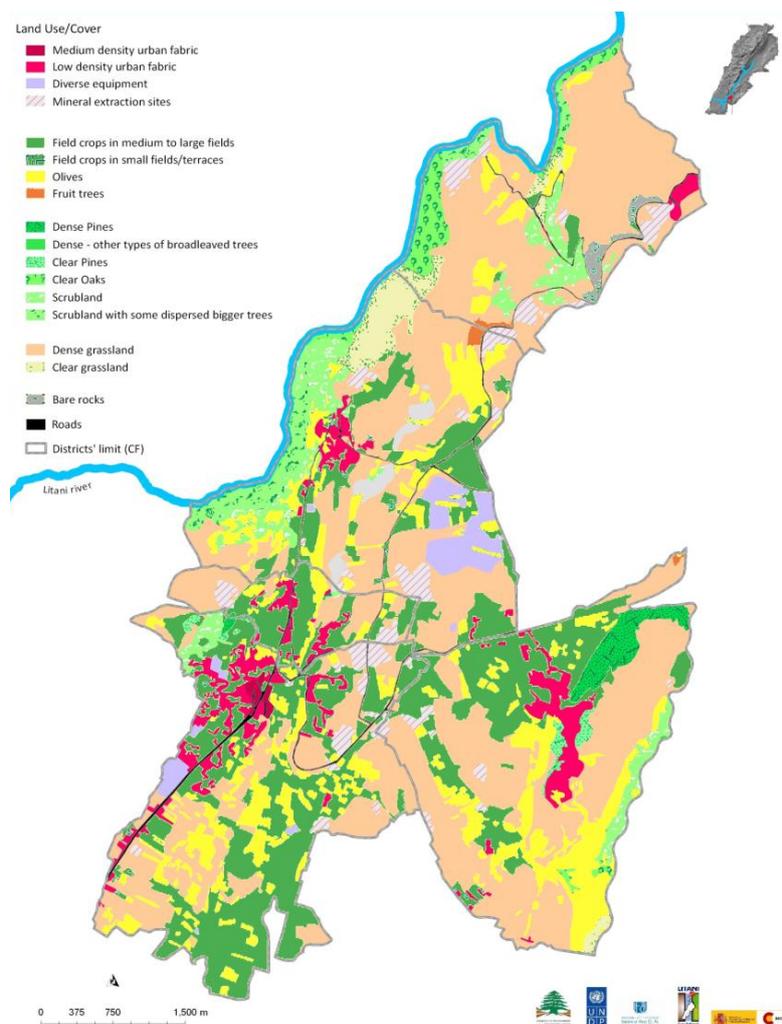
La non utilisation des terres agricoles est, selon le Ministère de l'Agriculture, un fait marquant de l'agriculture libanaise. En effet, selon cette même source, la surface des terres en jachère permanente dépasse largement 100 000 ha en 1998 pour le Liban et représente le tiers de la SAU de la zone de Marjeyoun.

A l'échelle du pays, 42% de la SAU est irriguée en 1998, cependant, ce sont les zones correspondantes à la Béqaa (Nord-Est) et au Liban-Nord qui s'accaparent 80% de cette SAU.

Il apparaît donc que l'agriculture libanaise se caractérise par des exploitations de petite taille (< 1 ha) en nombre croissant, par des exploitants majoritairement pluriactifs mais vendant leur production ainsi que par un nombre très important de jachères permanentes. La région de Marjeyoun présente des tendances globalement similaires mais accentue le nombre de jachères permanentes et la part d'autoconsommation. Selon le ministère de l'Agriculture, l'augmentation du nombre d'exploitants, la quasi-stabilité de la SAU et l'importance de la part des jachères sont indicatrices des difficultés connues par le secteur agricole.

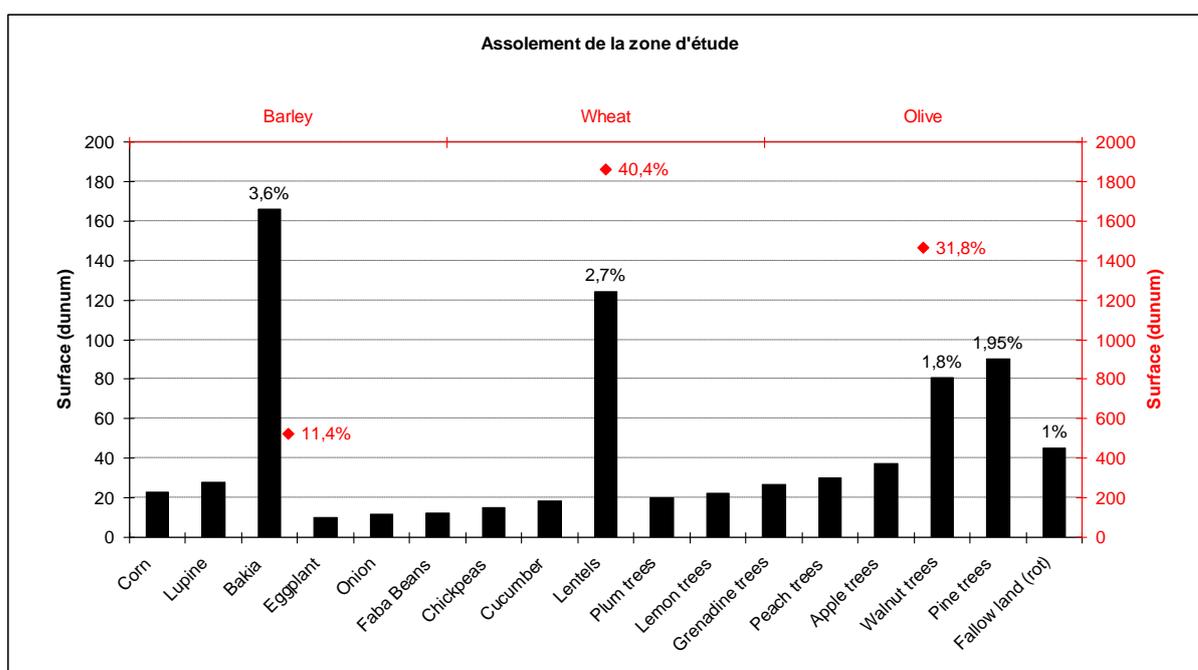
Selon le rapport « Land Use Cover » réalisé par le PNUD (2009), l'agriculture de la région de Marjeyoun est principalement menée en régime pluvial. En effet, les terres cultivées et les prairies occupent 79% de la surface totale : 42% de prairie, 23% de grandes cultures majoritairement en sec, 14% d'oléiculture et 0,2% de fruitiers (irrigués). La figure 7 s'attache à décrire cette occupation agricole des sols dans la région.

**Figure 7 : Utilisation du sol de la région de Marjeyoun (PNUD, 2009)**



La figure 8 décrit l'assolement de la zone de Marjeyoun, selon l'enquête menée dans le cadre du Projet Hydro-agricole de la zone de Marjeyoun (K. Karaa, MH. Nassif, M Bahsoun, 2011) auprès de 75 agriculteurs (41% de la sole agricole de la zone). Les deux axes des ordonnées quantifient les surfaces des différentes cultures (en dunum), l'axe des ordonnées de gauche (noir) correspond aux diagrammes en bâton et celui de droite (rouge) correspond aux points. Un facteur 10 différencie ces deux axes. Les points rouges correspondent à l'axe supérieur des ordonnées (rouge : orge, blé, olive). Il ressort que l'orge, le blé et l'olive sont les cultures les plus présentes sur la zone (83,5% de la sole agricole soumise à l'enquête). Les fabacées telles que l'alfalfa et les lentilles suivent loin derrière en occupant 6,3% de la sole.

**Figure 8 : Assolement de la zone de Marjeyoun (K. Karaa, MH. Nassif, M Bahsoun, 2011)**



Dans un tel contexte agricole régional et national et selon le Ministère de l'Agriculture (2009), le Liban importe plus de 80% de ses besoins alimentaires globaux dont 80% à 90% de ses besoins en viandes, 37% de ses besoins en lait, 54% de ses besoins en légumes et 80% de ses besoins en blé (balance imports - exports : -1034 millions de dollars).

Malgré cette balance fortement déficitaire, les ressources en eau sont très faiblement exploitées. En effet, bien que le déficit hydrique climatique soit relativement faible pour le Moyen Orient (-300 mm), que la région comporte des ressources souterraines et de surface importantes (proximité du Litani), les surfaces irriguées dans la zone de Marjeyoun ne représentent que 9% de la SAU.

Bien que le Liban dispose d'atouts réels concernant la ressource en eau et la production agricole, la sécurité alimentaire de la zone et la sécurité du revenu des exploitants ne sont pas assurées. Ces difficultés sont engendrées par des contraintes d'ordre politique (intérieure et extérieure), structurel et conjoncturel :

- politique et géopolitique : absence de politique nationale concertée concernant l'orientation et la structuration des productions agricoles, instabilité politique de la région (conflits libano-israélien et contexte syrien) impliquant une difficulté à la prise de position à moyen et long terme.
- structurel : faible utilisation d'une ressource hydrique pourtant abondante et liée à des aménagements insuffisants (réseau hydrographique), aménagements insuffisants face à la mauvaise répartition intra-annuelle des pluies (bassins de stockage et lacs collinaires), sole agricole très peu diversifiée et orientée vers des cultures pluviales limitant la sécurité alimentaire et la sécurisation du revenu des exploitants.
- conjoncturel : mévente dans des secteurs comme l'oléiculture et dépréciation des prix des grandes cultures, liées à un accroissement de la concurrence dans les pays voisins.

### **3. Programme de développement hydro-agricole Sud Liban : Canal 800**

#### ***A. Projet de développement agricole et Canal 800***

Au cours des années 70, l'Office National du Litani (ONL) a réalisé la planification et l'exécution du projet de développement hydro-agricole du Sud Liban, en collaboration avec le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD) et l'Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (FAO). Étant toujours d'actualité, la gestion et la mise en œuvre de ce projet ont été transférées au PNUD, en coordination avec l'ONL (Partenaire National), l'Association des Amis d'Ibrahim Abd El Al (Support Technique), le Ministère de l'Énergie et de l'eau, le Ministère de l'Environnement, le Conseil pour le Développement et la Reconstruction ainsi que le Ministère de l'Agriculture (Coordination). Le budget est actuellement de 2 millions de dollars, sur financements internationaux (*Lebanese Recovery Fund*).

Lors de la création de ce Programme, un des points centraux était alors la réalisation du Canal 800, permettant de fournir de l'eau aux zones de Marjeyoun et de Quella, depuis le barrage de Qaroun. Cet ouvrage de 52 km de long, vise à fournir 90 millions de m<sup>3</sup> d'eau par an à ces zones (15 000 ha), réparties en 12 périmètres irrigués au sud du Litani. Le canal 800 doit ainsi permettre d'alimenter en eau des zones allant jusqu'à une altitude de 800m (d'où son nom).

Cependant, la guerre de 1975 a interrompu les projets d'études et l'exécution de ce canal. Ce n'est qu'en 2002 et après une révision du projet que le Gouvernement Libanais a décidé l'exécution du projet, en se basant sur l'approvisionnement pour l'irrigation et l'eau domestique. Le canal 800 se base sur des financements internationaux pour le développement et aurait dû être opérationnel pour la fin de l'année 2011. L'instabilité politique intérieure et extérieure a cependant engendré un blocage de ce projet. Malgré la finalisation des études de conception du Canal 800 et l'avancée des études visant au soutien des communautés rurales pour sa valorisation, le Canal 800 n'est toujours pas entamé.

#### ***B. Projet de développement agricole : Préparation au développement du réseau d'irrigation dans la zone de Marjeyoun***

Le principal objectif est ici de préparer et d'appuyer les communautés locales de la zone de Marjeyoun afin qu'elles valorisent pleinement le canal 800. Il s'agit notamment d'étendre les surfaces cultivables et de fournir une assistance aux agriculteurs de la zone.

Ce programme est ainsi basé sur 5 axes majeurs :

- Etablissement d'associations d'irrigants pour la gestion et le développement de projets d'irrigation (instauration d'un cadre législatif, financier, d'implication des acteurs...)
- Etablissement de plans cadastraux : délimitation des terrains et propriétés à une échelle de 1/2000, définition de l'occupation du sol.
- Classification des sols : topographie, géologie, texture... afin d'évaluer la potentialité des sols à être irrigués ainsi que leur potentialité agronomique. De cette étude, les quantités délivrées à chaque borne d'irrigation pour un ensemble de parcelles et cultures, seront définies. Les autorisations d'irrigation seront calculées sur cette base.
- Travaux d'aménagement et de mise en valeur des parcelles, concernant l'irrigation ou non : définition de la rentabilité d'aménagements parcellaires et réalisation d'aménagements spécifiques (décompactation des sols, construction de terrasses ...)
- Conception du réseau régional sur la base de la classification des sols et des plans cadastraux : positionner les bornes, calibrer le réseau et définir des plans d'expropriation.

### **4. Rôle des principales institutions en lien avec l'étude**

L'**office National du Litani (ONL)** est un établissement public sous la tutelle du Ministère de l'Énergie et de l'Eau. Il s'occupe des questions relatives aux études préliminaires et à la construction des barrages, à l'exploitation des centrales hydro-électriques, aux grands travaux d'irrigation et à leur exploitation ainsi qu'à la gestion des ressources en eau (souterraines et de surface). Malgré sa dénomination, l'ONL n'est

pas seulement une agence de gestion du Litani, son action s'étend sur l'ensemble du territoire libanais, notamment concernant le jaugeage des cours d'eau et des sources.

**Le Programme des Nations Unies pour le Développement (PNUD)** est un réseau mondial de développement. Ce réseau souhaite relier les pays aux connaissances, expériences et ressources nécessaires pour améliorer la vie de leurs citoyens. Il vise à aider les gouvernements et les populations à identifier leurs propres solutions aux défis nationaux et internationaux du développement, en mettant à disposition un personnel et un réseau d'organisation. Concernant le Liban et la zone d'étude, le PNUD est actuellement en charge de la gestion du Programme de Développement Hydro-Agricole du Sud-Liban (qui fut tout d'abord initié par l'ONL).

**L'Association des Amis d'Ibrahim Abd El Al (AFIAL)**, est une association scientifique dont le but est de promouvoir le développement hydraulique et sa planification à une échelle nationale (pour une gestion intégrée des ressources hydriques). L'objectif ultime est de fournir l'élément essentiel qu'est l'accès à la ressource hydrique, dans la stabilité économique du pays et dans l'amélioration du cadre de vie de ses habitants

### **III. Problématique, hypothèses et démarche générale**

Dans un contexte où la ressource hydrique est peu valorisée, l'agriculture de la zone de Marjayoun se présente comme être principalement tournée vers des cultures peu diversifiées et menées en régimes pluviaux. Ces systèmes de cultures ne permettent pas de répondre à des enjeux essentiels tels que la participation à la souveraineté alimentaire locale et nationale et à la stabilisation du revenu des agriculteurs. L'environnement est également impacté par ces systèmes cultureux : pollution des eaux souterraines et de surface, surexploitation des nappes liée à une utilisation non concertée, érosion des sols en pente laissés nus en hiver...

Comme nous avons pu le souligner en Chapitre I. Partie II.2., l'absence de valorisation de la ressource hydrique est rattachée à des contraintes d'ordres politique, structurel et conjoncturel. Aussi, le programme de développement hydro-agricole vise-t-il à répondre à certaines de ces contraintes en développant le réseau hydrographique et en insufflant une dynamique de politique agricole structurée et structurante, considérant l'irrigation comme un moteur de la professionnalisation de l'agriculture et du développement agricole. La professionnalisation de l'agriculture est ici perçue comme une implication totale du chef d'exploitation dans son activité agricole (une seule activité professionnelle), lui permettant d'investir et de développer son activité de production afin de dégager un revenu suffisant pour son foyer.

Dans ce cadre, notre étude s'attache à mener une réflexion concertée avec les acteurs, concernant l'impact du programme hydro-agricole sur l'évolution des systèmes de cultures et sur les enjeux du territoire :

- enjeux environnementaux (utilisation durable de la ressource hydrique, préservation de sa qualité, biodiversité et érosion des sols),
- enjeux économiques (amélioration et sécurisation du revenu des agriculteurs),
- enjeux sociaux (dynamisme rural, souveraineté alimentaire locale et nationale).

Cette étude se propose également de tester certaines modalités et mesures d'accompagnement à la politique qui sera mise en place au travers du programme hydro-agricole. L'étude de leurs impacts portera également sur les évolutions des systèmes de cultures et sur les enjeux environnementaux et socio-économiques du territoire.

La réflexion autour de cette problématique nous amène à dégager différentes hypothèses qui seront au cœur de ce travail :

1. La mise en place du programme hydro-agricole et l'apport d'eau en quantité et à un prix définis impliqueront des changements au niveau des choix faits par les agriculteurs concernant les systèmes de cultures. Ces choix impacteront les enjeux environnementaux, économiques et sociaux des

exploitations et du territoire. Une variation des quantités et des prix fixés impacteront également les choix des agriculteurs et la réponse aux enjeux.

2. La pluviométrie survenant sur la période culturale va impacter l'irrigation et le rendement des cultures, donc le choix des cultures vis-à-vis de leurs sensibilités au stress hydrique.
3. Les agriculteurs choisiront de pratiquer une irrigation déficitaire (en dessous de l'ETm) si la sensibilité du rendement est faible et que leur marge brute globale n'est pas impactée ou si les quantités d'eau disponibles sont insuffisantes. Dans ce cadre, un travail de vulgarisation du raisonnement de l'irrigation sera fait conjointement à la mise en place du programme hydro-agricole.
4. L'introduction et la vulgarisation de nouveaux systèmes de cultures impactera les dimensions environnementales et socio-économiques aux échelles de l'exploitation et du territoire.

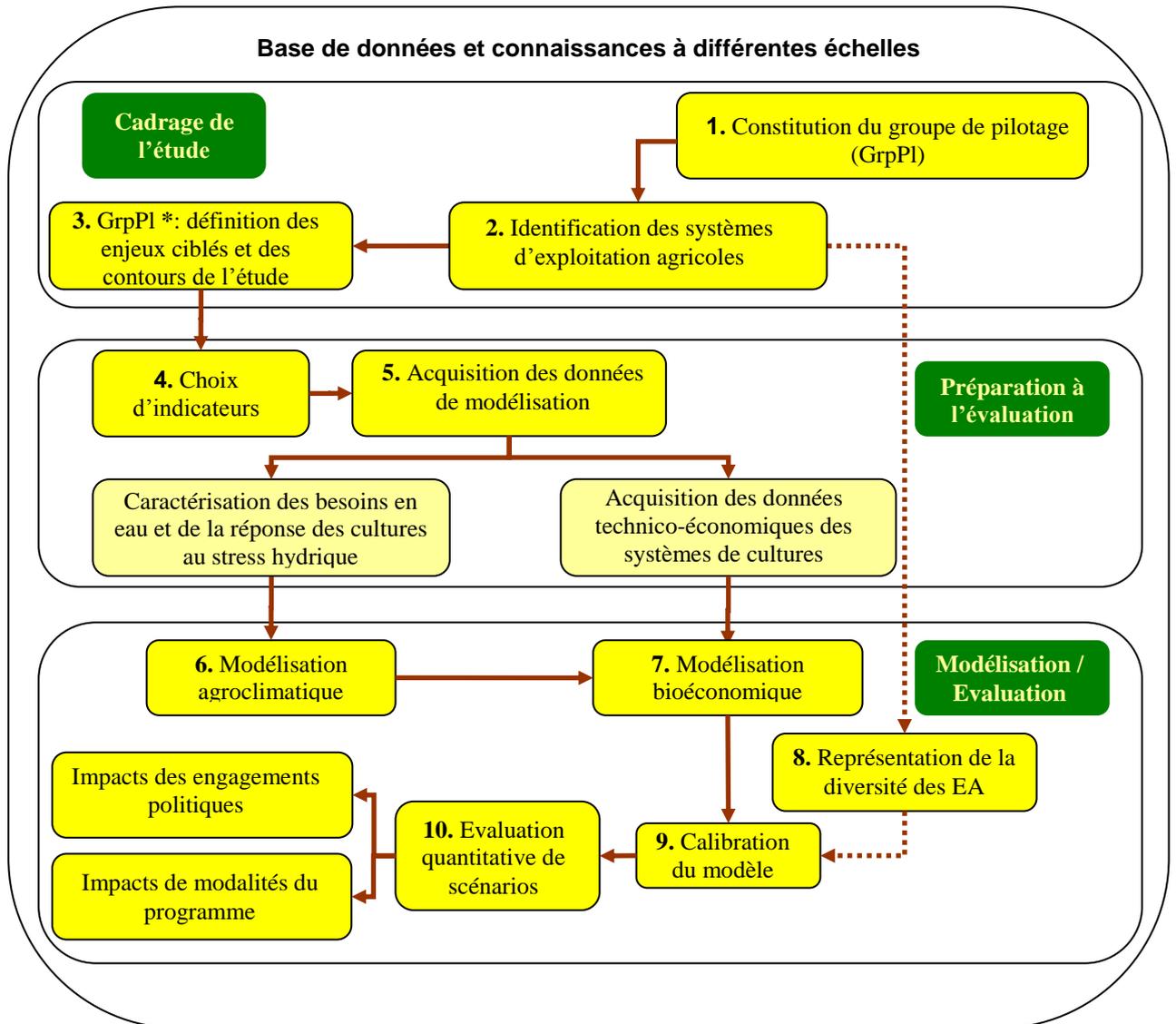
La démarche qui a été utilisée implique une modélisation des systèmes de cultures et de leur changement. En effet, il s'agira ici d'une part de modéliser les besoins en eau des cultures via un modèle agro-climatique et de représenter la décision des agriculteurs concernant le choix de systèmes de cultures. Ces choix impliquent des consommations en eau, en intrants, des rendements et des marges brutes variables à l'échelle des différentes cultures.

La vérification des 3 hypothèses principales que nous avons formulées ici se base donc sur l'élaboration de scénarios prédictifs (cf. Chapitre I, Partie I.2.) impliquant la mise en œuvre du programme hydro-agricole. Ces scénarios sont étudiés de façon quantitative grâce au modèle mis en place.

La figure 9 s'attache à décrire la démarche générale employée pour réaliser ce travail. Trois phases ont été mises en œuvre :

- La phase de cadrage qui vise à cerner les partenaires à identifier les systèmes d'exploitations concernées et à définir les enjeux ciblés par ce travail afin de tracer les contours de l'étude. En effet, comme nous avons pu le voir en Chapitre I. Section I.1. et Section I.2.4., une approche intégrée nécessite la prise en compte de différentes échelles et donc l'implication de différents acteurs, intervenant à différents niveaux d'organisation et de prise de décision.
- La phase de préparation à l'évaluation dont l'objet est la constitution d'indicateurs retraçant l'évolution de la situation au cours des différents scénarios, concernant les enjeux soulevés. Les indicateurs ont été constitués tel que décrits en Chapitre I. Section I.2.6, ils correspondent notamment aux catégories : « indicateurs simples » et « indicateurs issus de modèles opérationnels ». Cette phase vise également à caractériser les systèmes de cultures du point de vue des besoins en eau et des caractéristiques technico-économiques des cultures.
- La phase de modélisation/évaluation : il s'agit ici de l'implémentation des modèles agro-climatique et bioéconomique, de la représentation de la diversité des exploitations agricole (typologie), de la calibration du modèle bioéconomique et de l'analyse des résultats de modélisation quantitative en fonction des scénarios considérés. Considérant les enjeux de l'étude nous avons choisi de constituer des scénarios prédictifs, tel que nous les avons abordés en Chapitre I. Section 2.2. Dans une optique quantitative, nous avons choisi de constituer ces scénarios selon une approche de modélisation plutôt qu'en suivant une approche de narration (cf. Chapitre I. Section I.2.5.). Enfin, nous avons défini les objectifs, les spécificités (scénario de référence et scénario politique ou alternatif) et les échelles des scénarios sur la base de l'étude bibliographique menée en Chapitre I. Section I.2.3 et Section I.2.4.

**Figure 9 : Approche méthodologique générale**



\* GrpPI = Groupe de Pilotage

Nous approfondiront les différents points de ce schéma dans le Chapitre II. Matériels et Méthodes.

# Chapitre II. Matériel et Méthodes

## I. Phase de cadrage de l'étude

### 1. Identification des partenaires : constitution du groupe de pilotage

Un groupe de pilotage a été constitué son rôle est :

- de définir les axes de cette étude,
- de mettre à disposition la logistique nécessaire,
- de procurer des contacts de personnes et d'institutions, sources de données et expertises,
- de constituer un groupe de travail,
- d'identifier des scénarios à mettre en œuvre et de les évaluer,
- de valider les différentes parties de ce travail.

Le groupe de pilotage se compose d'un représentant de l'ONL, de 2 représentants de l'UNDP, d'un représentant de la Faculté d'Agronomie de Beyrouth et de 3 représentants CIHEAM-IAMM.

Une réunion tous les 15 jours a été organisée pendant 6 mois, avec les partenaires sur place (ONL, UNDP et Faculté d'Agronomie) afin de cadrer l'évolution de ce travail et de valider les différentes parties.

Huit semaines de travail à temps plein ont été passées avec un représentant de l'UNDP, afin d'acquérir les données technico-économiques des systèmes de cultures étudiés (enquêtes).

Le cadrage du travail avec le CIHEAM-IAMM a été réalisé par le biais de réunions téléphoniques et d'échanges de mails tous les 15 jours, sur 6 mois.

Un aller-retour en France, pour se réunir avec le CIHEAM-IAMM a été fait au milieu de cette période de 6 mois, cette réunion a eu pour objet le recadrage des objectifs de l'étude en fonction de ce qui est faisable avec les outils de modélisation quantitative retenus.

Enfin, la partie écriture du modèle bioéconomique a été faite en France, après 6 mois passés au Liban, en se réunissant chaque semaine sur 2 mois et demi avec les experts en modélisation du CIHEAM-IAMM.

### 2. Identification des systèmes d'exploitation agricole

L'identification des caractéristiques des exploitations agricoles a été faite grâce à l'analyse de l'enquête « systèmes d'exploitations agricoles » menée par Bahsoun M., Nassif M.H., Karaa K. en 2010, auprès de 75 agriculteurs de la zone d'étude (30% de la SAU).

Les critères d'identification des systèmes d'exploitation agricole que nous avons retenus sont les suivants :

- les orientations technico-économiques d'exploitation (Otex), les assolements et les tailles d'exploitation,
- les surfaces irriguées, les techniques d'irrigation et la provenance de la ressource hydrique,
- les modes de faire valoir,
- l'âge et le niveau de professionnalisation des agriculteurs,
- la localisation de l'exploitation.

Afin d'identifier les systèmes d'exploitation en comprenant leur fonctionnement, nous avons rattaché des techniques d'irrigation, des modes de faire valoir... avec des structures d'exploitations (SAU, Otex,

niveau de professionnalisation...). Il s'agit donc ici de trouver des correspondances significatives entre différentes caractéristiques, afin de cerner le fonctionnement des exploitations. Ce travail a été mené grâce à une analyse de la variance ou « Test ANOVA ».

Les résultats figurent en Annexe 1, au sein d'un document qui a constitué un premier livrable intitulé « Etat des lieux de l'Agriculture ».

### **3. Définition du problème, des objectifs et des contours de l'étude**

Le premier livrable figurant en Annexe 1 a été soumis au groupe de pilotage qui en a donné son avis d'expert. C'est au cours de cette réunion de validation que les enjeux rattachés aux systèmes d'exploitation sont ressortis.

Ce travail d'identification des systèmes d'exploitation n'a cependant donné que les enjeux relatifs aux exploitations agricoles elles-mêmes. Aussi, 2 travaux complémentaires ont été réalisés :

- un travail de recueil d'informations sur les enjeux de l'agriculture dans la zone d'étude auprès du Ministère de l'Agriculture : part des importations des différentes productions et souveraineté alimentaire.
- un travail d'observation de terrain fait en discutant avec les habitants de la zone d'étude sur leurs constats quant à l'évolution de la qualité des cours d'eau, à la diminution du niveau des nappes, à l'érosion des sols et de la biodiversité. Ce travail a été fait en parallèle de l'enquête technico-économique régionale (cf. Chapitre II. Section II.1.2.) et a porté sur les utilisateurs locaux de la ressource : pêcheurs, baigneurs, agriculteurs.

Les conclusions de ce travail figurent également dans l'Annexe 1 et ont été soumis à l'expertise du groupe de pilotage, afin de compléter la définition des enjeux, des objectifs et des contours de l'étude.

## **II. Phases de préparation à l'évaluation et de modélisation/évaluation**

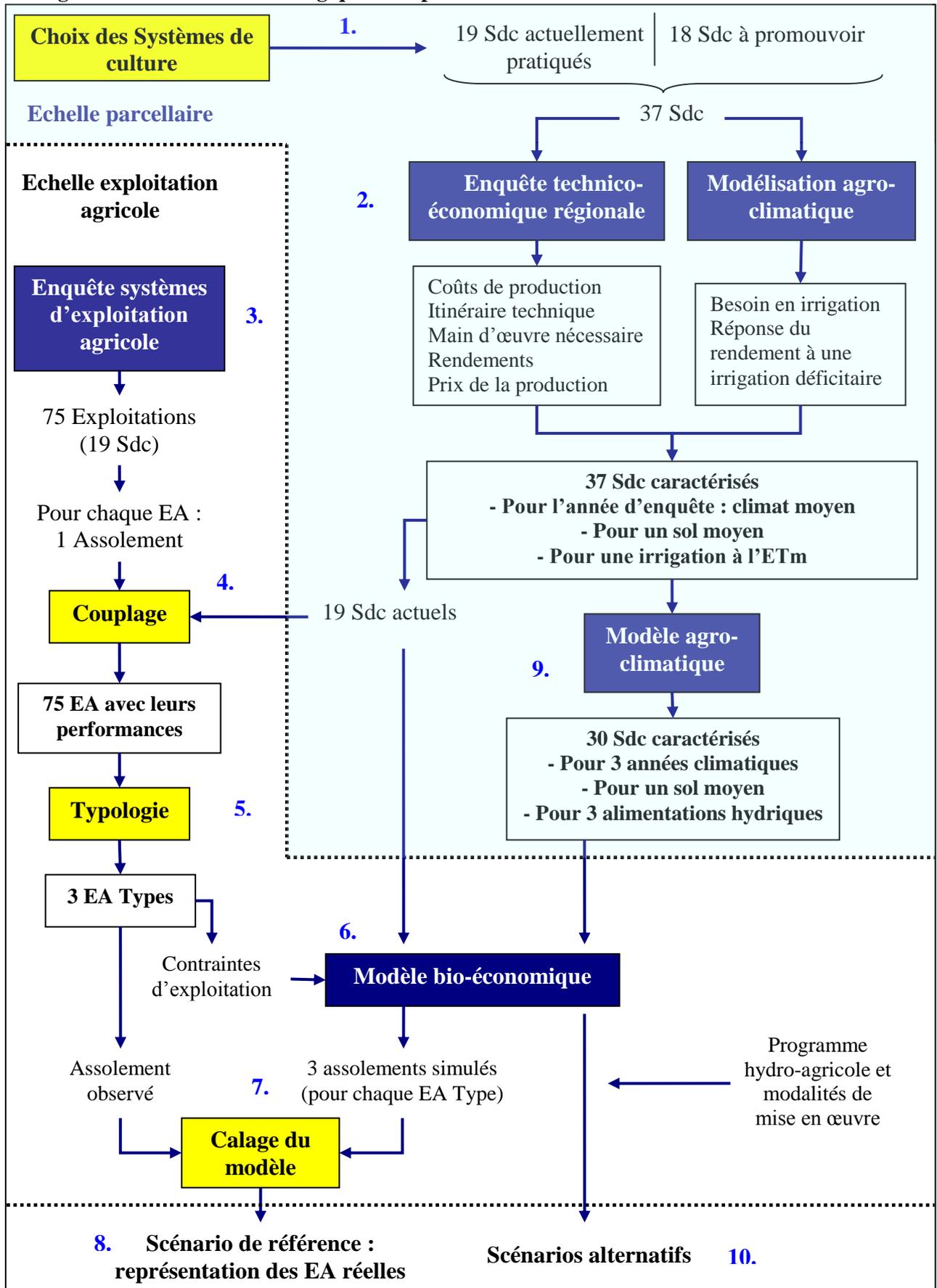
Dans cette partie, nous dresserons tout d'abord un aperçu du cheminement méthodologique mis en œuvre avant d'en décrire les différentes étapes de façon plus complète.

La figure 10 décrit la méthodologie employée pour les phases de préparation à l'évaluation et de modélisation/évaluation. Deux échelles y sont présentées : l'échelle parcellaire (ou culturale) et l'échelle de l'exploitation agricole.

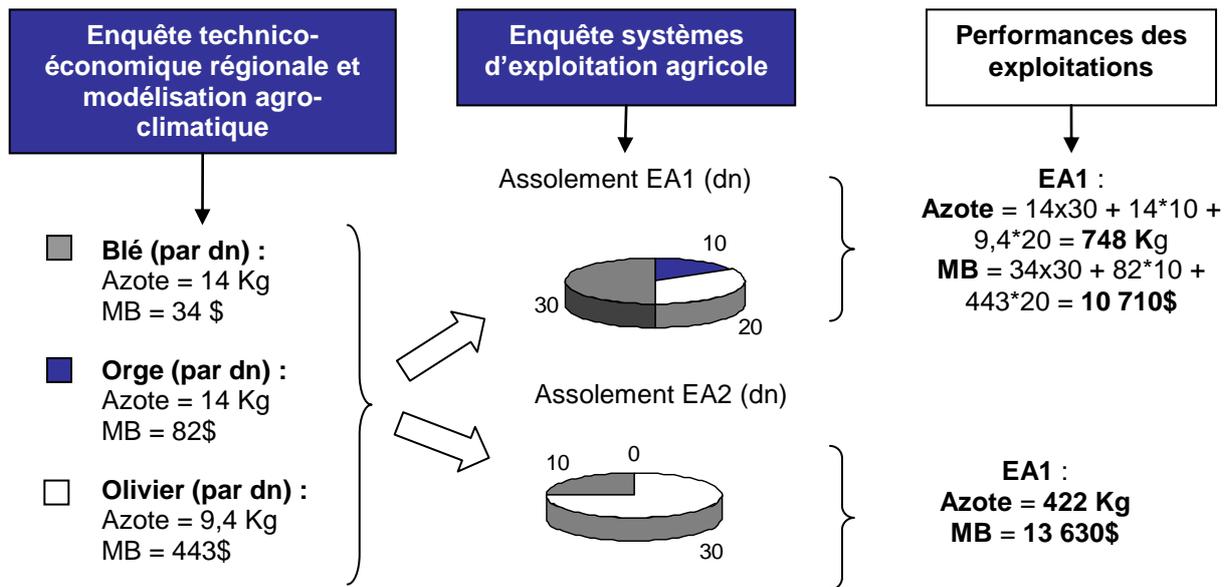
1. Au niveau de l'échelle parcellaire, une première étape de choix des systèmes de cultures a été nécessaire. Elle a constitué à identifier et à sélectionner les systèmes de cultures (noté Sdc) actuellement pratiqués sur la zone d'étude : 19 Sdc sont ressortis. Egalement, nous verrons que l'une des modalités que nous avons testées pour l'accompagnement du programme hydro-agricole est la promotion de nouveaux systèmes de culture (cf Chapitre II Section II.2.3). Aussi, les cultures dont le développement a été jugé envisageable, voire souhaitable, par le groupe de pilotage ont-elles été identifiées : 18 Sdc à promouvoir.
2. Nous avons cherché à caractériser ces 37 Sdc par des coûts de production, des itinéraires techniques (consommation en azote, pesticides, interventions culturales...), une main-d'œuvre nécessaire, des rendements et des prix des productions. Pour se faire, nous avons réalisé une « Enquête technico-économique » qui sera détaillée en Chapitre II. Section II.1.2. Egalement, les besoins en irrigation et la réponse des rendements à une irrigation déficitaire ont été obtenus par une modélisation agro-climatique. En effet, les agriculteurs ne connaissent pas les quantités d'eau qu'ils donnent, n'ayant pas pu inclure cela dans l'enquête, nous avons choisi d'obtenir cette donnée par modélisation. Ces deux approches complémentaires (enquête et modélisation agro-climatique) nous ont donc permis de disposer de données complètes sur les 30 Sdc étudiés, pour un climat moyen correspondant à l'année d'enquête, pour un sol moyen et pour une irrigation à l'ETm (cf. Chapitre II. Section II.1.2. et Section II.1.3.).

3. A l'échelle de l'exploitation agricole, nous avons utilisé une enquête mise à notre disposition : l'enquête « Systèmes d'exploitation agricole » (M. Bahsoun, MH Nassif, K. Karaa., 2010). Cette enquête a caractérisé l'assolement de 75 exploitations agricoles (30% de la SAU de la zone d'étude) regroupant un total de 19 systèmes de cultures. Ces 19 Sdc correspondent aux 19 Sdc « actuellement pratiqués » que nous avons abordés précédemment.
4. Ainsi, d'un côté, nous disposions de l'assolement de 75 EA et de l'autre des caractéristiques technico-économiques des 19 Sdc que ces EA pratiquent. Nous avons donc réalisé un recouplement en appliquant les caractéristiques technico-économiques des 19 Sdc actuellement pratiqués sur les assolements des 75 exploitations. La figure 11 s'attache à préciser ce couplage : l'enquête technico-économique régionale nous a permis d'acquérir des valeurs (marge brute, externalités...) pour chacun des 19 Sdc actuels. Nous avons ensuite fait passer ces valeurs à l'échelle d'une exploitation donnée en les pondérant par la surface de chaque culture au sein de cette exploitation.  
Par cette étape, nous avons dû pu obtenir les performances technico-économiques et environnementales (consommations en intrants et en eau) de 75 EA.
5. Nous avons réalisé une typologie sur la base de ces performances, 3 types d'EA sont ressortis. Nous avons sélectionné 3 EA réelles représentant ces 3 types (cf. Chapitre II. Section 2.1.). Nous sommes allés voir ces 3 exploitants afin d'identifier leurs contraintes d'exploitation.
6. Les caractéristiques des 19 Sdc actuellement pratiqués ainsi que les contraintes des 3 exploitations types ont été implémentés dans un modèle de programmation linéaire (modèle bioéconomique, cf. Chapitre II. Section 2.2.). Ce modèle nous a permis de simuler un assolement pour les 3 exploitations types.
7. L'assolement observé chez ces 3 exploitations types a été comparé avec les assolements simulés, afin de s'assurer que le modèle représente bien la réalité (cf. Chapitre II. Section 2.1.) et de le caler le cas échéant.
8. Cette représentation de la réalité a constitué le scénario de base Scénario de référence.
9. Les 37 Sdc caractérisés pour une année moyenne, un sol moyen et une irrigation à l'ETm ont été déclinés en fonction de 3 années climatiques et de 3 alimentations hydriques différentes (cf. Chapitre II. Section II.1.3.).
10. Le modèle bioéconomique a été implémenté par les données relatives à 30 Sdc (sur les 37 proposés au départ, cf. Chapitre II. Section II.2.2.2) + 3 années climatiques + 3 alimentations hydriques. L'écriture du modèle a enfin pris en compte les contraintes des 4 exploitations types ainsi que l'application du programme hydro-agricole et les modalités de mise en œuvre testées. Cela a été fait en fonction des différents scénarios alternatifs étudiés, présentés en (cf. Chapitre II. Section II.2.3.).

Figure 10 : Schéma méthodologique de la phase de Modélisation/Evaluation



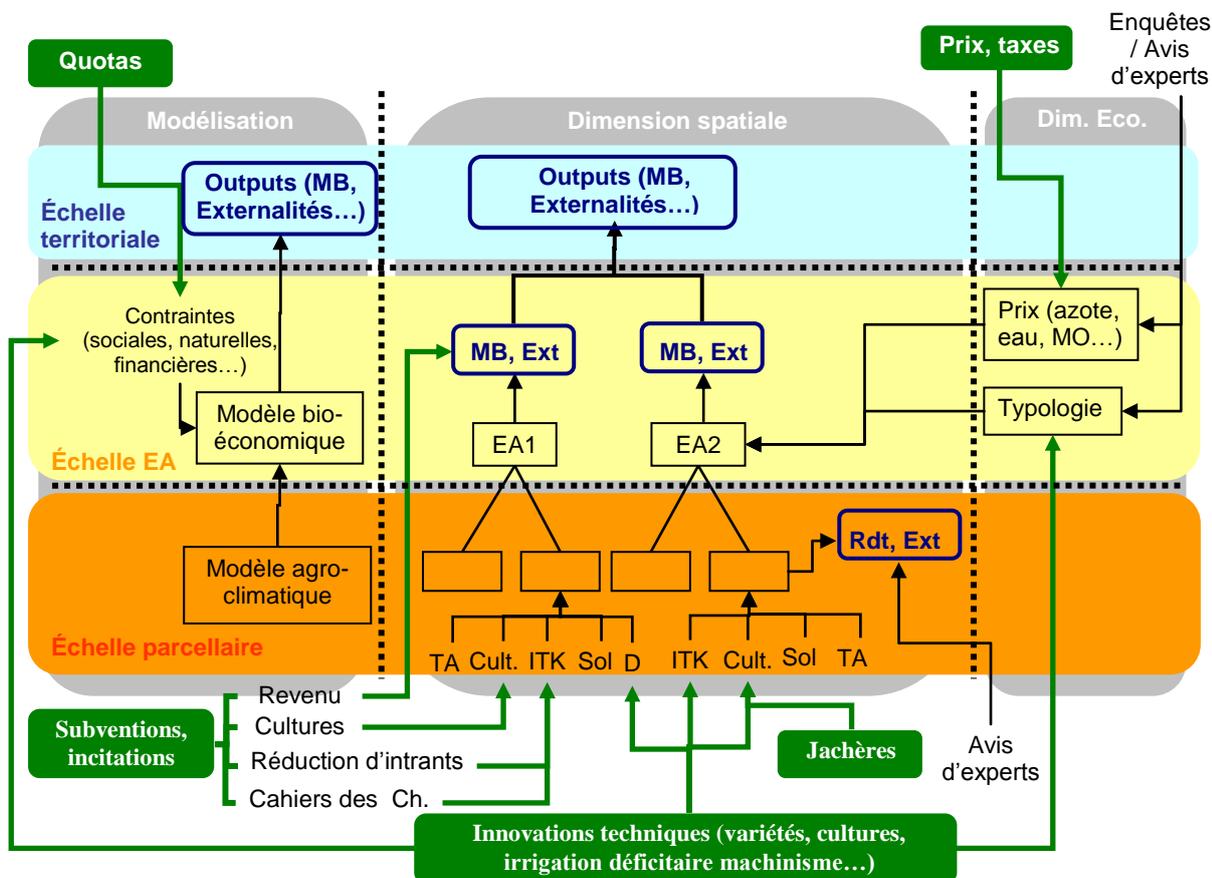
**Figure 11 : Couplage des enquêtes « technico-économique régionale » et « systèmes d'exploitation agricole »**



La figure 12 représente le concept de l'étude d'impact de scénarios politiques sur les systèmes agricoles tel que nous l'avons envisagé dans cette étude. Elle cherche à replacer les processus biophysiques et économiques sur les différentes échelles prises en considération ainsi que selon des dimensions de modélisation, spatiales et économiques. Ainsi, à l'échelle parcellaire, les inputs correspondent à la culture, à un itinéraire technique (noté ITK) au mode d'alimentation hydrique (noté D), au type d'année climatique et au risque parasitaire. Les processus sont représentés par le modèle agronomique CropWat. Les outputs décrits à cette échelle sont le rendement et les externalités (utilisation d'eau, pollution...). A l'échelle de l'exploitation le modèle bioéconomique Gams cherche à décrire les résultats globaux de l'exploitation, en termes d'assolement et d'ITK en fonction des années climatiques et du risque ainsi qu'en termes de revenus et d'externalités. Enfin, l'échelle territoriale vise à agréger les résultats obtenus pour les différentes exploitations et types d'exploitations.

L'introduction de politiques agricoles doit impacter le processus décrit en faisant varier les outputs décrits, à différentes échelles. Comme explicité dans la figure 12, les politiques testées peuvent intervenir sur les cultures utilisées par le biais d'incitations à leur production ou d'innovations techniques, comme elles peuvent intervenir sur le prix des ressources et des intrants, sur les quotas d'eau disponible...

Figure 12 : Schéma conceptuel de l'étude de l'impact de scénarios



Avec : EA est l'exploitation agricole, MB est la marge brute, Ext sont les externalités, Rdt sont les rendements, TA sont les types d'années climatiques, Cult. sont les cultures, ITK sont les itinéraires techniques, D sont les modes d'alimentation hydrique et MO est la main-d'œuvre.

## 1. Phase de préparation à l'évaluation

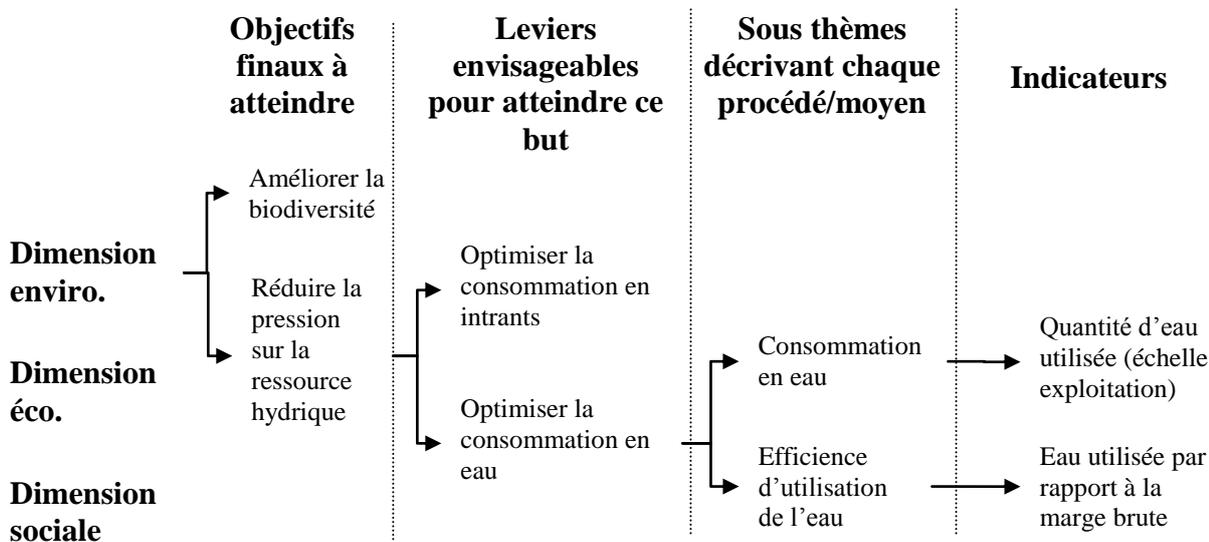
### A. Choix d'indicateurs

Le choix des indicateurs a été fait consécutivement à la définition des enjeux ciblés par l'étude, afin qu'ils montrent l'évolution des problèmes considérés.

L'élaboration et le choix des indicateurs de mesure se sont basés sur la méthode « *Goal Oriented Framework* » (GOF) telle que décrite par Alkan Olsson J., Bockstaller C., Stapleton L M. en 2009.

Nous avons tous d'abord listé les objectifs à atteindre en fonction des 3 dimensions du développement durable : environnementale, économique et sociale (cf. figure 13). Chaque objectif a été rattaché à un ou plusieurs leviers qui devront être considérés pour atteindre les objectifs fixés. Les différents procédés/moyens mis en avant ont ainsi pu être rattachés à un ou plusieurs sous-thèmes. Ces derniers ont permis à la fois de décrire les moyens à mettre en œuvre et d'introduire différents indicateurs décrivant l'évolution de la situation au regard des objectifs fixés.

Figure 13 : Schéma méthodologique pour le choix d'indicateurs



L'ensemble des objectifs finaux, des leviers et des sous thèmes retenus figurent en Annexe 2.

Chaque indicateur a été décrit (objet, équations, échelles concernées) au sein de « fiches descriptives » figurant en Annexe 3.

### B. Enquête technico-économique régionale

#### a] Population ciblée

L'acquisition des références technico-économiques des différentes cultures, de leurs rendements ainsi que des prix payés aux producteurs, s'est basée sur une enquête régionale menée auprès de 10 agriculteurs, de 2 techniciens, d'un conseiller agricole et d'un vendeur de produits phytosanitaires et de fertilisants.

Par manque de temps, nous n'avons enquêté qu'un faible nombre d'agriculteurs, induisant qu'un seul répliquât ait été fait pour chaque culture. Or, les pratiques culturales sont actuellement très hétérogènes sur la zone d'étude (constat réalisé par le groupe de pilotage, 2011), il aurait donc fallu enquêter un nombre important d'agriculteurs pour représenter la réalité. Face à cette diversité, nous avons fait l'hypothèse que les pratiques iront en s'homogénéisant dans le futur, dans le sens des référentiels techniques et des modes de productions actuellement vulgarisés par les conseillers agricoles de terrain. Cela suppose donc une professionnalisation de l'agriculture (qui est un des enjeux défendus par les politiques nationales). Ainsi, nous avons ciblé notre enquête sur les conseillers techniques et les agriculteurs professionnels les plus « performants » d'un point de vue agronomique, dont les pratiques devraient être généralisées dans le futur (ces agriculteurs ont été choisis par l'ingénieur de terrain de l'UNDP, membre du groupe de pilotage). La performance agronomique est ici perçue comme le raisonnement des pratiques phytosanitaires, de fertilisation et d'irrigation en fonction des affections parasitaires et des besoins des cultures.

Le choix des agriculteurs a donc porté sur 4 critères :

- agriculteur professionnel à temps plein, performant d'un point de vue agronomique
- agriculteur disposant de la culture considérée dans son assolement, ayant donc une bonne connaissance de sa conduite.
- agriculteur uniquement tourné vers les productions végétales (cf. Chapitre II. Section II.1.2.2.)
- agriculteur dont les terres sont situées sur la zone d'étude.

Le choix des techniciens et vendeurs a également porté sur un critère de localisation sur la zone d'étude. Notamment les techniciens et conseillers agricoles ont été choisis pour leur travail et leur expérience acquise auprès d'agriculteurs de la zone d'étude.

Cependant, seuls les coûts de production correspondant à la culture de raisin de table ont été collectés sur des exploitations agricoles hors de la zone d'étude (plaine de la Béqaa). En effet, aucune exploitation ne recense actuellement de raisin de table sur la zone d'étude. Nous avons donc fait l'hypothèse que les coûts de production seront les mêmes dans ces deux zones

Enfin, pour assurer la cohérence des données pour chaque culture, l'identification des pratiques, coûts de production, du rendement et du prix de la production d'une même culture a été faite pour un seul et même agriculteur ou technicien.

## b) Contenu de l'enquête

### \*Productions agricoles considérées

Bien que la zone d'étude soit caractérisée par quelques productions animales (élevages caprins et bovins), nous n'avons étudié que les productions végétales. En effet, le programme hydro-agricole visant au développement de l'irrigation, nous avons axé notre étude sur les cultures pluviales et irrigables à destination de la consommation humaine et animale.

La sélection des cultures a été faite de la façon suivante :

- cultures actuellement pratiquées sur la zone d'étude,
- cultures à promouvoir : cultures minoritaires ou absentes de la zone d'étude, dont le développement a été jugé faisable, voir souhaitable suite à l'augmentation de la mobilisation de la ressource hydrique (communication du groupe de pilotage). Ces cultures, sur lesquelles a porté l'enquête technico-économique régionale, sont détaillées dans le tableau 2.

**Tableau 2 : Liste des cultures étudiées**

Cultures actuellement pratiquées		Cultures à promouvoir	
Cultures annuelles	Cultures pérennes	Cultures annuelles	Cultures pérennes
Aubergine	Pêcher	Chou-fleur	Raisin de table, variété Crimpon
Concombre	Abricotier	Choux mulch	Raisin de table, variété Red globe
Oignon sec	Noyer	Choux	Raisin de table, variété Napoléon
Oignon frais	Olivier	Pastèque	Raisin de table, variété Autumn Royal
Tomate	Poire	Ail	Raisin de table, variété Autumn king
Orge	Pommier	Radis	Raisin de table, variété Superior
Blé	Prune	Melon	Cerisier
Lentilles		Pomme de terre	
Lupin		Courgette	
Pois chiches		Carotte	
Haricots secs		Vesce	
Fève			

### \*Questionnaire d'enquête et données recueillies

Dans cette enquête, nous avons tout d'abord quantifié les volumes (de fertilisants, de pesticides...) appliqués et le nombre d'heures de travail de chaque tâche. Notre approche a voulu ne considérer ces différentes opérations en termes de prix que dans un second temps, en appliquant un prix aux volumes et nombre d'heures de travail. Ces montants ont été collectés auprès des vendeurs de produits phytosanitaires et des techniciens de la zone d'étude.

Nous avons privilégié cette approche plutôt que de demander les prix des différents postes de dépenses (intrants, travail...) directement aux agriculteurs car :

- nous avons cherché à identifier les pratiques agricoles engendrant des coûts de production. Ce niveau de détail a été recherché afin de pouvoir calculer des indicateurs de pression environnementale (utilisation d'azote et de produits phytosanitaires) ainsi que des indicateurs sociaux (l'embauche créée par la production),
- nous avons fait l'hypothèse que les agriculteurs auront une meilleure évaluation des quantités appliquées plutôt que des prix totaux, qu'ils peuvent tendre à surévaluer.

Le coût d'achat du petit matériel lié à l'implantation d'une culture annuelle ou pluriannuelle (mulch plastique, tuyaux d'irrigation...) a été évalué directement avec les agriculteurs et techniciens questionnés. Les données recueillies dans ce questionnaire ont été identifiées :

- Pour un sol moyen, les agriculteurs ne différencient en effet pas leurs pratiques en fonction du sol (communication personnelle).
- Pour les cultures traditionnellement irriguées (arboriculture fruitière, aubergines... Cf. Annexe 4) : données recueillies pour une irrigation menée à l'ETm. Comme nous l'avons dit précédemment, les pratiques des agriculteurs varient de façon importante dans la réalité, aussi nous avons fait l'hypothèse que, dans le cadre de la professionnalisation future de l'agriculture, les exploitants se tourneront vers une irrigation raisonnée par un bilan hydrique.
- Pour les cultures traditionnellement pluviales (blé, orge, olive... Cf. Annexe 4) : données recueillies pour des cultures non irriguées.

Le tableau 3 détaille les données demandées lors de l'enquête, ce travail a été fait pour chaque culture.

**Tableau 3 : Contenu de l'enquête technico-économique régionale**

<b>Nom de la culture</b>		
<b>Eau</b>	Installation système Irrigation	
	Location forage (LL)	
	Prix de l'eau (LL/dn)	
<b>Fertilisation</b>	Nb Passages	
	Volume de fertilisant total (Kg)	
	Nom du fertilisant (et composition NPK)	
	Quantité Azote (kg/dn)	
	Quantité Phosphore (kg/dn)	
	Quantité Potassium (kg/dn)	
	Coût total (LL/dn)	
	Quantité totale Calcium (g/dn)	
	Quantité totale Fre (g/dn)	
	Quantité totale Magnésium (g/dn)	
	Quantité totale Acide humique (cc/dn)	
	Coût total Oligo-éléments	
	Coût total fertilisation (LL/dn)	
<b>Herbicides</b>	Nb Passages	
	Pour chaque passage	Nom de l'herbicide
		Quantité (kg/dn)
		Volume (cc/dn)
	Coût total (LL/dn)	
<b>Fongicides</b>	Nb Passages	
	Pour chaque passage	Nom de l'herbicide
		Quantité (kg/dn)
		Volume (cc/dn)
	Coût total (LL/dn)	
<b>Insecticides</b>	Nb Passages	
	Pour chaque passage	Nom de l'herbicide
		Quantité (kg/dn)
		Volume (cc/dn)
	Coût total (LL/dn)	
<b>Opérations techniques</b>	Nom de l'opération	
	Prix (LL/dn)	
	Durée totale (heures)	
<b>Produits des cultures</b>	Rendement Kg/dn	
	Prix (LL/kg)	
	Débouché	

Dans cette enquête, nous avons différencié les coûts de production et les rendements des cultures pérennes en fonction de l'âge du verger.

Enfin, les opérations techniques que nous avons étudiées sont les suivantes : les opérations de préparation du sol, d'installation du système d'irrigation, de mulching plastique, de semis/plantation, de taille, de diminution de la charge fruitière pour l'arboriculture, de récolte/cueillette, de conditionnement (mise en sac des céréales), de tri et d'arrachage des arbres.

### ***C. Modélisation agro-climatique : modèle Cropwat***

Le modèle CropWat a été utilisé pour quantifier les relations entre le climat et les cultures considérées, au travers du calcul des besoins en irrigation à l'échelle de la culture. Ce modèle a également été utilisé pour

quantifier la variation du rendement des cultures considérées en fonction d'un certain niveau de stress hydrique.

### a) Choix du modèle utilisé

Le modèle CropWat a été choisi car il est relativement aisé à calibrer par rapport à des modèles tels que CropSyst, dans un contexte où les données de recherches sont peu disponibles, notamment les paramètres culturaux, pédologiques, de transferts de pollution... Egalement ce modèle présente l'intérêt d'être transparent, participatif et interactif. Cependant, CropWat ne s'intéresse qu'à la relation irrigation/rendement et ne prend pas en compte des facteurs essentiels tels que la fertilisation, la pression parasitaire...

### b) Présentation du modèle

Le modèle Cropwat, développé par la FAO en 2006, présente différents modules à renseigner :

- Le module climat qui servira essentiellement au calcul de l'Evapotranspiration de Référence ( $ET_0$ ) nécessite des données moyennes décennales ou mensuelles : la température minimale et maximale, l'humidité relative, le vent ainsi que la durée d'insolation. Ce module se base sur la formule de Penman Monteith pour le calcul de l' $ET_0$ .
- Le module précipitations qui requiert des données de cumul moyen de précipitations décennales ou mensuelles. Le calcul des précipitations efficaces est basé sur la formule proposée par CropWat applicable aux zones semi-arides :

$$\begin{aligned} P_{eff} &= 0.6 * P_{moy} - 10 / 3 \text{ pour } P_{moy} \leq 70 / 3 \text{ mm/mois} \\ P_{eff} &= 0.8 * P_{moy} - 24 / 3 \text{ pour } P_{moy} > 70 / 3 \text{ mm/mois} \end{aligned}$$

Où :  $P_{eff}$  est la pluviométrie efficace en mm  
 $P_{moy}$  est la pluviométrie moyenne en mm

- Le module cultures nécessitant : la date de semi, les valeurs de coefficients culturaux ( $K_c$ ) pour différentes phases de culture, la durée de chaque phase en nombre de jours, la profondeur d'enracinement initiale et maximale, la fraction d'épuisement maximum du sol (fraction de la réserve utile), la réponse du rendement au stress hydrique ( $K_y$ ) pour différents stades culturaux et la hauteur maximale de la culture.
- Le module sol qui implique les inputs suivants : la valeur de la réserve utile, le taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie, la profondeur maximum d'enracinement et l'épuisement de la réserve utile initiale.
- Le module calendrier d'irrigation et l'option d'alimentation hydrique de la plante : elle permet de choisir une irrigation pratiquée à l' $ET_m$  ou une irrigation déficitaire. Cette option nécessite de choisir une échéance d'irrigation (irrigation à un intervalle de temps fixe ou irrigation à un pourcentage défini d'épuisement de la réserve utile) et un apport d'eau (hauteur d'apport définie ou recharge de la réserve utile à un pourcentage défini de la capacité au champ).
- Le module assolement : part des différentes cultures dans l'assolement total.

Les *outputs* du modèle sont relatifs à l'évapotranspiration de la culture ( $ET_c$ ), à la pluviométrie efficace, à l'évolution de l'épuisement de la réserve utile, aux besoins en irrigation optimums, à la perte de rendement relative à une irrigation déficitaire (en fonction de la sensibilité de la culture au stress hydrique), à l'irrigation brute et nette, aux pertes d'irrigation et d'eau de pluie, à l'efficacité de l'irrigation et des précipitations...

### c) Bases de données utilisées et implémentation du modèle

#### \*Variables climatiques

Les données relatives à l'humidité, à la durée d'insolation et au vent proviennent, respectivement, des stations de Rachayak et Fakar, de Nabatiyeh et de Marjaayoun. Ces 3 stations ont été choisies pour leur

proximité avec la zone d'étude. Elles ont été produites par le LARI (humidité et durée d'insolation) et par la Direction Générale de l'Aviation Civile (vent). Pour notre étude, nous n'avons eu accès à des données complètes que sur une seule année : 2010. Aussi, n'ayant pas fait d'analyse statistique de ces données climatiques, nous avons formulé l'hypothèse suivante : la variabilité interannuelle de l'humidité, de la durée d'insolation et du vent est faible.

Les données relatives à la température et à la pluviométrie proviennent de la station de Marjaayoun (750m d'altitude). Ces données sont produites par l'Université Américaine de Beyrouth. Nous avons disposé, dans cette étude, de valeurs journalières relatives à une période de 30 ans (1947-1975).

Concernant la température, les valeurs utilisées correspondent à la moyenne inter-annuelle sur les 30 ans dont nous disposons.

Concernant la pluviométrie, afin de pouvoir différencier les besoins en eau et les rendements (*outputs* du modèle) en fonction des années climatiques (cf. hypothèses Chapitre I. Section III), nous avons établi 3 types d'années : année sèche, moyennement pluvieuse et humide (notées AS, AM et AH). Pour établir ces 3 types, nous avons suivi la méthodologie suivante : identification d'une année pour laquelle le cumul de pluie est inférieur à 80% des années étudiées (année sèche), d'une année pour laquelle le cumul de pluie est supérieur à 80% des années étudiées (année pluvieuse) et une année pluviométrique médiane (année moyennement pluvieuse). Ainsi, les 3 années types correspondent à des années réellement observées.

Il est à noter que le cumul de pluie n'a pas été le cumul annuel mais le cumul sur la période culturale (détail des cultures en Annexe 4) : les cultures de printemps pour lesquelles le cumul pluviométrique a été fait de la dernière décade de mars à la dernière décade de juin, les cultures d'hiver pour lesquelles le cumul pluviométrique a été fait de la dernière décade de septembre à la dernière décade de juin et les cultures pérennes pour lesquelles le cumul a été fait sur toute l'année. Ainsi, les années retenues comme sèches, humides et pluvieuses ne sont pas les mêmes pour les différentes cultures.

Les rendements observés lors de l'enquête correspondent à une année pluvieuse moyenne, ainsi les variations de rendement, données en % par CropWat, ont été calculées pour les années humides et sèches sur la base des résultats d'enquête. Les besoins en eau d'irrigation ainsi que les variations de rendements ont ainsi pu être modélisés pour les 3 types d'années.

#### **\*Variables cultures**

Les données concernant les paramètres cultureux ont été obtenues selon une méthodologie combinant à la fois recherche bibliographique et enquêtes auprès des agriculteurs, techniciens et conseillers de la zone d'étude.

- Coefficient cultural Kc : Le Kc des cultures a été obtenu par une recherche bibliographique dans la base de données de la FAO (Bulletin n°56) principalement et du LARI. Les valeurs de Kc utilisées figurent en Annexe 5.
- La date de semi et la durée de chaque stade cultural en nombre de jours (cf. Annexe 6) a été déterminée à la fois sur la base des informations fournies par la FAO pour les zones méditerranéennes (principalement maraîchage, blé et maïs) et des questions posées aux agriculteurs, techniciens et conseillers de la zone d'étude (certaines grandes cultures et arboriculture).
- La profondeur maximale d'enracinement, la fraction d'épuisement maximum en eau du sol et la hauteur de culture à mi-saison (cf. Annexe 7) ont été obtenues par étude bibliographique de la base documentaire de la FAO.
- La réponse du rendement au déficit hydrique (coefficient Ky) a été obtenue à la fois par consultation de la base de données de la FAO, par recherche bibliographique plus large et par extrapolation entre cultures proches (cf. Annexe 8). Cette extrapolation d'une culture pour laquelle le Ky est disponible vers une culture où il ne l'est pas, a été réalisée à l'aide d'un expert travaillant sur la zone d'étude.

Deux approches du Ky sont disponibles : une approche étudiant la réponse du rendement à un stress hydrique appliqué à un stade donné du cycle cultural et une approche évaluant la réponse du rendement à un stress hydrique appliqué tout au long du cycle cultural.

Le modèle CropWat nécessite de connaître la réponse du rendement à un stress appliqué à un stade donné du cycle cultural. Or, dans le cas où nous n'avons pu avoir que le Ky relatif à un stress hydrique appliqué sur tout le cycle, nous avons appliqué la méthodologie préconisée par la FAO (Bulletin n°33).

Cette méthode permet d'estimer le Ky de la culture pour un stress appliqué à stade cultural donné à partir : du Ky total, du cumul de l'évapotranspiration maximale de la culture (ETm) pour le stade cultural considéré (en mm) et du cumul de l'ETm pour la totalité du cycle cultural.

L'ETm a été obtenue par la relation suivante :

$$ETm = ETo \times Kc$$

Où, ETo est l'évapotranspiration de référence, calculée par la méthode de Penman Monteith,  
Kc est le Coefficient cultural

Nous avons réalisé le cumul journalier de l'ETm pour chaque stade cultural et pour la totalité du cycle cultural. La relation entre l'ETm d'un stade cultural donné, l'ETm total et le Ky total du cycle cultural est donnée par l'équation suivante :

$$Ky_{stc} = \frac{\sum ETm_{stc} \times Ky}{\sum ETm}$$

Où,  $Ky_{stc}$  est la réponse du rendement pour un stress hydrique appliqué à un stade cultural donné,  
Ky est la réponse du rendement pour un stress hydrique appliqué tout au long du cycle cultural,  
 $\sum ETm_{stc}$  est le cumul de l'évapotranspiration maximale de la culture pour un stade cultural donné,  
 $\sum ETm$  est le cumul de l'évapotranspiration maximale de la culture.

Cette méthode suppose que la somme des pertes de rendement pour des stress hydriques appliqués aux différents stades de la culture pris individuellement, et égale à la perte de rendement pour un stress hydrique appliqué tout au long du cycle cultural. Cependant, dans la réalité, il apparaît que l'un de ces deux facteurs puisse être supérieur à l'autre. Cette approche semble donc présenter une erreur qu'il nous est impossible de quantifier ici.

Une étude bibliographique a permis d'identifier ces 2 types de Ky pour certaines cultures. Cependant, pour d'autres cultures, les informations disponibles sont des données expérimentales ou empiriques concernant le pourcentage de perte de rendement en fonction du pourcentage de l'ETm auquel la culture est conduite. Dans ces cas, le Ky correspond à la pente de la droite de perte de rendement en fonction du stress hydrique (% de rendement en fonction du % de l'ETm disponible à la culture).

#### **\*Variables sol**

Les données relatives aux caractéristiques des sols ont été obtenues sur la base des relevés pédologiques qui nous ont été fournis par l'UNDP et le LARI. : Texture, taux d'infiltration maximum de l'eau de pluie, profondeur.

Seule la variable relative à l'eau disponible totale par mètre de sol (réserve utile notée RU) a été estimée grâce à la texture du sol. Le report manuel des teneurs des sols en argiles, sables et limons dans un triangle des textures nous a permis de connaître la classe texturale du sol. La RU a ainsi été estimée par la classe de texture des sols concernés, selon le modèle proposé par la Chambre d'Agriculture de l'Aisne (France) et disponible sur Internet. Selon Trouche G. et Morlon P., 1999, la modélisation de la texture par la RU tend cependant à surestimer les valeurs réelles.

**Tableau 4 : Textures et réserves utiles des sols de la zone d'étude**

Trois types de textures ont ainsi pu être identifiés, avec des RU différentes (cf. tableau 4).

Texture	Argileux	Argile limono-sableuse	Argile sablo-limoneuse
RU (mm)	185	200	183
Part de la classe de texture dans les 154 prélèvements réalisés	82,43%	10,81%	6,76%

Comme il a été décrit précédemment, nous avons étudié les besoins en eau sur un sol moyen, pour notre étude. Aussi avons-nous pondéré les réserves utiles des différents types de sols par les pourcentages mentionnés dans le tableau 4.

Cela a été possible car les 154 prélèvements réalisés ont été faits sur l'ensemble de la zone d'étude, ainsi, bien que ces prélèvements n'aient pas été géo-référencés, ils la représentent bien.

Nous avons donc réalisé l'équation suivante :

$$\text{RU moyenne} = 185 \times 0,82 + 200 \times 0,11 + 183 \times 0,07 = 187 \text{ mm}$$

#### **\*Variables d'alimentation hydrique de la culture**

Afin de vérifier l'hypothèse formulée (cf. Chapitre I. Section 3) concernant l'impact d'une irrigation déficitaire sur le choix de systèmes de cultures nous avons modélisé 3 alimentations hydriques différentes : une irrigation menée à l'ETm (noté D2), une irrigation déficitaire (noté D1) et une irrigation très déficitaire (noté D0).

Lorsqu'on choisit une irrigation déficitaire dans le modèle CropWat, il nous fournit un pourcentage de réduction de rendement par rapport à une irrigation menée à l'ETm. Aussi, nous avons précédemment dit que les rendements obtenus lors de l'enquête correspondent :

- Pour les cultures traditionnellement irriguées : à une irrigation menée à l'ETm
- Pour les cultures traditionnellement pluviales : à une conduite de culture sans irrigation.

Nous avons donc appliqué les pourcentages de réduction de rendement sur les rendements obtenus dans l'enquête.

Le tableau 5 décrit les différents régimes d'alimentation hydrique testés et les calculs des rendements correspondants. Concernant la catégorie « Cultures annuelles traditionnellement irriguées », l'irrigation D2 (à l'ETm) correspond aux rendements de références obtenus dans l'enquête (la liste des cultures appartenant à cette catégorie figure en Annexe 4). Les irrigations D1 et D2 ont été menées de façon à réduire les rendements de 15 et 30% par rapport au rendement de référence. Ces chiffres ont été choisis par expertise : nous avons fait l'hypothèse que, considérant les charges relatives à ces productions ainsi que les prix payés aux producteurs pour ces produits, les agriculteurs ne peuvent pas admettre plus de 30% de réduction de rendement (D2).

Concernant la catégorie « Cultures pérennes traditionnellement irriguées » (liste des cultures appartenant à cette catégorie en Annexe 4), l'irrigation D2 (à l'ETm) correspond également aux rendements de référence obtenus dans l'enquête. Ici, les irrigations D1 et D2 ont été menées de façon à réduire les rendements de 30 et 50%. Ces chiffres ont également été choisis par expertise : nous avons fait l'hypothèse que, considérant les charges et les prix payés aux producteurs concernant ces productions mais également l'alternativité de certaines cultures fruitières, les agriculteurs peuvent admettre jusqu'à 50% de réduction de rendement.

Enfin, la catégorie « Cultures traditionnellement pluviales » (liste des cultures appartenant à cette catégorie en Annexe 4), le mode d'alimentation hydrique D0 (absence d'irrigation) correspond au rendement de référence obtenu lors de l'enquête. L'irrigation D1 est déclenchée lorsque le cumul de l'ETr (évapotranspiration réelle de la culture) atteint une valeur égale à 1,5 fois la RU. Pour ce groupe de cultures, nous n'avons pas fait comme précédemment, en effet, certaines cultures sont assez sensibles au stress hydrique et d'autres ne le sont pas du tout (il aurait donc été impossible dans ces cas d'atteindre une perte de rendement fixée). Nous avons choisi une valeur égale à 1,5 fois la RU car elle correspond à irriguer 3 fois sur 4, ce qui stresse le végétal sans atteindre le point de flétrissement. L'irrigation D2 correspond à une alimentation hydrique menée à l'ETm. Les rendements correspondants aux régimes D1 et D2 ont été calculé sur la base des rendements de références (en D0) augmentés des pourcentages de variation donnés par le modèle CropWat.

**Tableau 5 : Régimes d'alimentation hydrique appliqués et calcul des rendements**

Catégories de cultures		D2 : Irrigation menée à l'ETm	D1 : Irrigation déficitaire	D0 : Irrigation très déficitaire
<b>Cultures annuelles traditionnellement irriguées (aubergines... Cf. Annexe 4)</b>	<b>Irrigation</b>	Irrigation à l'ETm	Irrigation menée de façon à atteindre une perte de rendement de 15%	Irrigation menée de façon à atteindre une perte de rendement de 30%
	<b>Calcul du Rdt</b>	<b>Rf : Rdt de référence obtenu lors de l'enquête</b>	Rdt = Rf réduit de 15%	Rdt = Rf réduit de 30%
<b>Cultures pérennes traditionnellement irriguées (pêche... Cf. Annexe 4)</b>	<b>Irrigation</b>	Irrigation à l'ETm	Irrigation menée de façon à atteindre une perte de rendement de 30%	Irrigation menée de façon à atteindre une perte de rendement de 50%
	<b>Calcul du Rdt</b>	<b>Rf : Rdt de référence obtenu lors de l'enquête</b>	Rdt = Rf réduit de 30%	Rdt = Rf réduit de 50%
<b>Cultures traditionnellement pluviales (blé, olives... Cf. Annexe 4)</b>	<b>Irrigation</b>	Irrigation à l'ETm	Irrigation déclenchée lorsque l'ETr cumulé atteint une valeur 1,5 fois supérieure à la RU.	Pas d'irrigation
	<b>Calcul du Rdt</b>	Rdt = Rf augmenté du % donné par CropWat	Rdt = Rf augmenté du % donné par CropWat	<b>Rf : Rdt de référence obtenu lors de l'enquête</b>

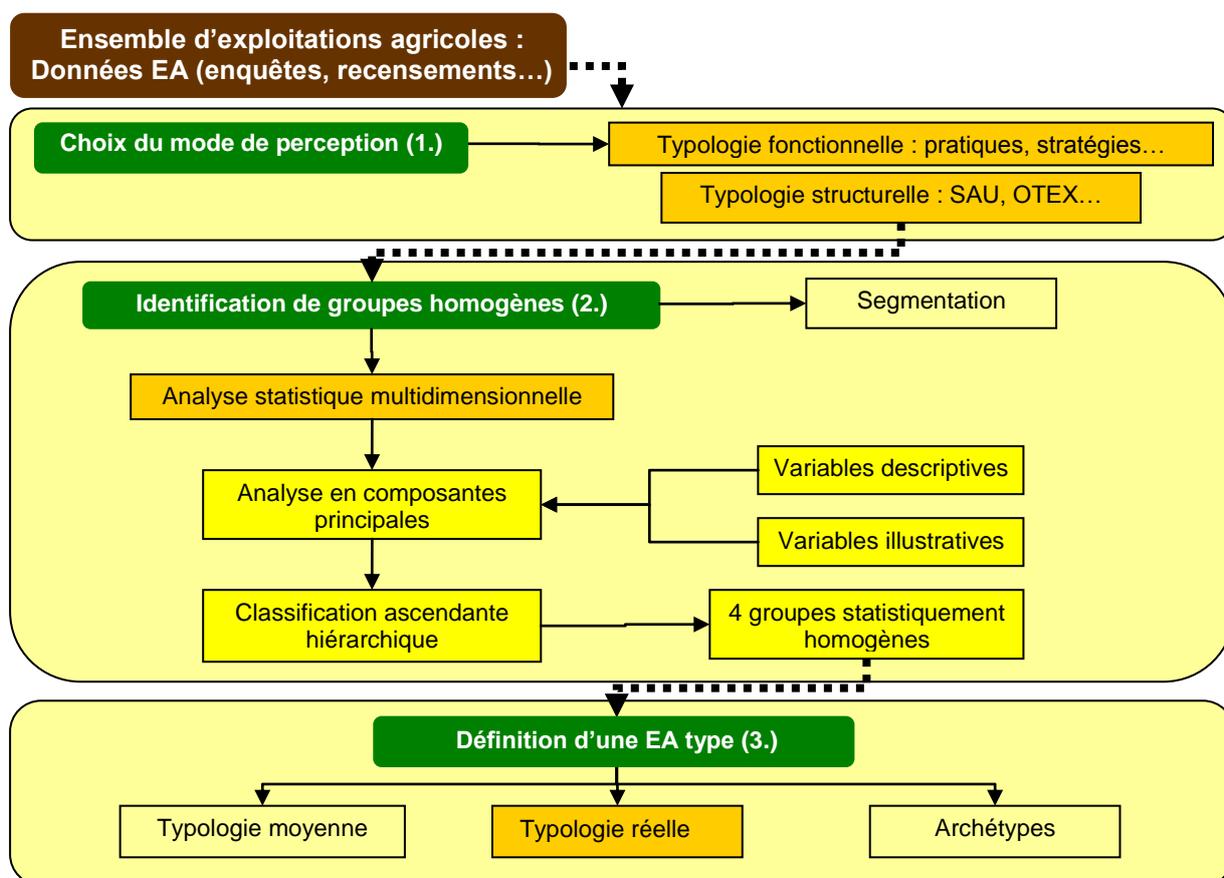
Avec : Rdt est le rendement, Rf est le rendement de référence, ETm est l'évapotranspiration maximale, ETr est l'évapotranspiration réelle de la culture.

## 2. Phase de modélisation/évaluation

### A. Représentation de la diversité des exploitations agricoles : Typologie

La typologie a été faite à partir de l'enquête technico-économique régionale. La figure 14 s'attache à décrire le cheminement méthodologique utilisé.

**Figure 14 : Méthodologie générale d'élaboration d'une typologie (sur la base des travaux de Chenoune R. 2011)**



### a) Choix du mode de perception

La photographie des exploitations agricoles peut être réalisée selon deux approches : par une description structurelle et/ou fonctionnelle. La typologie structurelle se base sur des données quantitatives d'enquêtes relatives à la structure des exploitations (SAU, OTEX...), tandis que la typologie fonctionnelle prend en compte des éléments d'enquêtes relatifs aux stratégies ou pratiques de l'exploitation (pratiques phytosanitaires, filière courte, agriculture biologique...). Dans cette étude, nous avons choisi de combiner mode de perception fonctionnel (pratiques phytosanitaires, fertilisation, irrigation...) et structurel (SAU, OTEX...). Ce choix a été fait afin d'identifier des groupes d'exploitations homogènes à la fois du point de vue de la structure et des pratiques agricoles.

### b) Identification de groupes homogènes

Les critères de différenciation peuvent être choisis selon deux méthodologies : segmentation ou analyse statistique multidimensionnelle.

Dans cette étude, nous nous sommes basé sur une analyse statistique multidimensionnelle, dite en composantes principales. Il s'agit ici d'identifier des groupes d'exploitations statistiquement homogènes en analysant les liaisons entre les variables les plus discriminantes (marge brute, pratiques...). Nous avons utilisé le logiciel libre Tanagra (Rakotomalala, 2005) afin de réaliser ce travail.

### c) Analyse en composante principale et classification ascendante hiérarchique

Deux niveaux de classification ont été faits. Pour le premier niveau, les variables descriptives retenues ont été : Irrigation (mm), coût d'installation du matériel d'irrigation (LL), Coûts de production (LL), Marge brute (notée MB en LL), Consommation en azote (noté N en Kg), Consommation en herbicides (noté Hd en LL), Consommation en fongicides (noté Fd en LL), Consommation en insecticides (noté Id en LL), Travail (h), SAU (ha).

Les variables illustratives choisies ont été l'Otex, l'Indicateur de Dimension Economique (IDE) et la taille des exploitations (SAU).

Pour le second niveau de classification, nous avons retenu les variables descriptives citées précédemment plus la part de la SAU en grandes cultures, arboriculture et oléiculture (en %). Les variables illustratives ont été les mêmes que pour le premier niveau de classification.

L'Otex a été définie par la catégorie de cultures occupant plus de 50% de la SAU de l'exploitation : maraîchage, arboriculture ou grandes cultures. L'IDE a été calculé à partir de la marge brute standard :

$\text{MBS} = \frac{\text{Marge Brute de l'exploitation}}{\text{Marge Brute du blé tendre}} \rightarrow$	<p>IDE « grand » : <math>\text{MBS} \geq 16</math></p> <p>IDE « moyen » : <math>6 \leq \text{MBS} &lt; 16</math></p> <p>IDE « petit » : <math>\text{MBS} &lt; 6</math></p>
----------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Avec : MBS la marge brute standard

Les critères de classification ascendante hiérarchique retenus sont les mêmes que ceux utilisés pour l'ACP. Les axes utilisés ont été choisis selon la formule ci-dessous :

<p>Pourcentage d'explication de la variance</p>	$> \frac{\text{Variance totale}}{\text{Nb de variables descriptives}}$	}	$= \frac{100\%}{10} = 10\%$
			$= \frac{100\%}{11} = 9\%$

#### d] Définition d'une exploitation agricole type

Trois approches permettant de définir une exploitation agricole type sont disponibles (Chenoune R., 2011) : Typologie réelle, typologie moyenne ou typologie par « Archétypes ». Dans cette étude, nous avons privilégié une typologie réelle car elle présente l'avantage de faciliter la concertation entre acteurs, en prenant pour appui les arguments concrets d'une exploitation réelle. En effet, les agriculteurs s'identifient plus facilement à une exploitation réelle, d'un voisin qu'ils connaissent pour la plupart (la zone d'étude étant de taille assez restreinte). Au travers de cette approche, il s'agit de réaliser une moyenne de l'ensemble des critères de sélection choisis, pour toutes les exploitations agricoles appartenant à un même groupe. L'exploitation type sera ainsi une exploitation existant réellement et dont les caractéristiques se rapprocheront le plus de la médiane. Cependant, la principale limite de cette méthodologie est qu'elle rend le passage à une échelle régionale plus difficile et sujette à contestations. En effet, cette exploitation, en dehors des critères discriminants, ne représente qu'elle-même. Cette méthode semble donc être plus pertinente si l'objet de l'étude se situe à l'échelle de l'exploitation ou d'une petite région agricole et si le but de l'étude est la concertation avec les acteurs locaux pour des solutions de terrain.

#### B. Modélisation bioéconomique : programmation linéaire

Dans cette étude, un modèle bioéconomique a été développé afin d'évaluer les impacts environnementaux, économiques et sociaux de la mise en place du programme hydro-agricole sur les systèmes d'exploitation agricole et sur le territoire. Le modèle développé est un modèle statique, d'un horizon temporel de 1 an, optimisant une fonction objectif afin de déterminer quelle décision sera prise en termes de choix de systèmes de cultures.

Ce modèle de programmation linéaire a été écrit en langage GAMS (The General Algebraic Modeling System).

Comme nous l'avons abordé en Chapitre II. Section II, les inputs de ce modèle proviennent à la fois :

- des résultats de l'enquête technico-économique régionale, pour les consommations en intrants des cultures, les coûts de production, les rendements, les prix des produits des cultures et les besoins en main d'œuvre.
- des résultats du modèle agro-climatique pour les besoins en eau et la réponse du rendement au stress hydrique

Les activités agricoles ont été définies comme une combinaison des différents systèmes de cultures C avec un mode d'alimentation hydrique D (ou dose d'irrigation). Ainsi, nous considérons deux décisions : le type de système de culture et le mode d'alimentation hydrique. Le risque est représenté au travers de 3 états de nature (variabilité pluviométrique) : 3 types d'années climatiques TA. La variable de décision est la surface de chaque couple culture / mode d'alimentation hydrique, prenant en compte un état de nature (TA) et une consommation en eau, sur une durée de 1 an.

La formulation mathématique de la fonction objectif a été faite comme suit :

$$\text{Max}Z = \sum_{TA} p_{(TA)} [\text{MB}_{(C,D,TA)} \times X_{(C,D,TA)}]$$

Avec : Z est le revenu espéré de l'exploitation

TA est le type d'année climatique

$P_{(TA)}$  est la probabilité d'apparition des différentes années climatiques

MB est la marge brute de la culture

C'est le type de système de culture

$X_{(C,D,TA)}$  est la surface des couples cultures/modes d'alimentation hydrique en fonction des 3 types d'années climatiques

Le modèle bioéconomique maximise la fonction objectif (revenu espéré de l'agriculteur) afin de représenter son choix de systèmes de cultures et de modes d'alimentation hydrique en fonction des années climatiques. Cette optimisation se fait sous des contraintes de terre, d'eau et de travail disponibles.

#### a) Contrainte terre

L'addition des surfaces des différents systèmes de cultures ne peut pas dépasser la somme de la surface des différentes parcelles. L'écriture mathématique de cette contrainte se fait comme suit :

$$\sum_{C, D} X_{(C,D,TA)} \leq Td$$

Avec : Td est la surface de terre disponible sur l'exploitation.

#### b) Contrainte eau

La somme des consommations en eau des différentes cultures retenues ne doit pas dépasser la ressource hydrique disponible totale. L'écriture mathématique de cette contrainte se fait comme suit :

$$\sum_{C, D} E_{(C,D,TA)} \times X_{(C,D,TA)} \leq Ed$$

Avec :  $E_{(C,D,TA)}$  est la consommation en eau de chaque culture, pour chaque mode d'alimentation hydrique et pour chaque type d'année climatique

Ed est l'eau disponible totale sur l'exploitation agricole

#### c) Contrainte travail (main d'œuvre)

La somme des besoins en volumes horaires de travail des cultures retenues ne doit pas dépasser le volume horaire de travail disponible sur l'exploitation (en fonction du nombre d'unités de travail humain présents sur l'exploitation)

$$\sum_{C,D} W_{(C,D)} \times X_{(C,D,TA)} \leq Wd + AW_{(TA)}$$

Avec :  $W_{(C,D)}$  est la consommation en travail de chaque culture, pour chaque mode d'alimentation hydrique.

$Wd$  est le travail disponible sur l'exploitation

$AW_{(TA)}$  est l'achat de travail pour chaque type d'année climatique

#### d] Contrainte de rotation

Bien que ce travail constitue un modèle annuel, nous avons introduit une contrainte de rotation. Aussi, nous avons émis l'hypothèse que les exploitations réalisent année après année, le même assolement.

Plusieurs méthodes existent pour représenter la rotation d'une exploitation agricole, dans cette étude nous avons considéré les rotations comme des contraintes d'assolement. Ainsi, nous avons représenté une rotation pluriannuelle sur une seule année. Cette méthode consiste à représenter la rotation en pondérant la surface de chaque culture par sa fréquence d'apparition : par exemple nous avons multiplié par 0,5 la surface d'un blé qui revient tous les 2 ans sur une parcelle. La formulation mathématique est la suivante :

$$\sum_D X_{(B,D,TA)} \leq \sum_D X_{(B,D,TA)} \times F_{(B)}$$

Avec :  $X_{(B,D,TA)}$  est la surface de la culture considérée B pour chaque mode d'alimentation hydrique et pour chaque type d'année climatique.

$F_{(B)}$  est la fréquence d'apparition de la culture considérée B

$AW_{(TA)}$  est l'achat de travail pour chaque type d'année climatique

Egalement, nous avons discerné les cultures faisant office de précédent des cultures principales. Par exemple, les légumineuses faisant office de précédent pour les céréales, ainsi la surface de légumineuses L doit être inférieure ou égale à la surface de céréales C :

$$\sum_{L,D} X_{(L,D,TA)} \leq \sum_{C\acute{e},D} X_{(C\acute{e},D,TA)}$$

Avec :  $X_{(L,D,TA)}$  est la surface de chaque légumineuse pour chaque mode d'alimentation hydrique et pour chaque année climatique

$X_{(C\acute{e},D,TA)}$  est la surface de chaque céréale pour chaque mode d'alimentation hydrique et pour chaque année climatique

Cette méthode augmente le nombre de cultures présentes une année n dans l'assolement, au niveau du nombre total de cultures pratiquées sur plusieurs années. Elle permet d'étudier la rotation mais tend ainsi à morceler l'assolement en petites parcelles.

#### e] Contrainte de surface des cultures pérennes

Le modèle réalisé étant un modèle statique sur un horizon temporel de 1 an, nous n'avons pas pu représenter l'aspect dynamique des cultures pérennes : les coûts de production et les rendements évoluent au cours de la croissance de l'arbre. Aussi, nous avons fixé les surfaces de cultures pérennes dans le modèle, pour n'étudier les changements de systèmes de cultures n'intervenant que sur les productions annuelles.

L'écriture mathématique de cette contrainte est la suivante :

$$\sum_{Cp,D} X_{(Cp,D,TA)} = SAU_{arbo}$$

Avec :  $X_{(C_p,D,TA)}$  est la surface de chaque culture pérenne pour chaque mode d'alimentation hydrique et pour chaque année climatique  
 $SAU_{arbo}$  est la surface agricole utile cultivée en arboriculture observée chez les 3 exploitations types

#### **f] Calibration et validation du modèle**

L'objectif principal de cette étape est de vérifier la robustesse du modèle et de décrire la situation initiale. Pour calibrer et valider le modèle, plusieurs méthodes existent.

Dans cette étude, nous avons comparé les assolements simulés, choisis par le modèle, aux assolements réels observés dans les 3 exploitations agricoles types. La comparaison a porté sur des groupes de cultures :

- surface en céréales simulée par rapport à la surface en céréales observée
- surface en maraîchage simulée par rapport à la surface en maraîchage observée
- surface en fabacées simulée par rapport à la surface en fabacées observée

Nous avons estimé que le modèle est calibré dès lors que les écarts entre les surfaces de céréales et de maraîchage simulées et observées sont inférieurs à 30%.

Nous n'avons cependant pas calibré en fonction des surfaces en légumineuses car bien que ce groupe de cultures n'apparaisse pas dans les assolements observés (issus de l'enquête « systèmes d'exploitation agricole, cf. Chapitre II. Section II.), nous avons pu constater qu'il est quand même présent dans la rotation des agriculteurs de la zone d'étude.

#### **C. Scénarios simulés**

Les scénarios ont été traités en Dollars et non pas en Livres Libanaises, afin de réduire les valeurs affichées. Pour rappel, le Dollar est également utilisé au Liban et sa valeur de change est de 1504,70 Livres Libanaises.

Afin d'analyser les différents scénarios proposés dans ce travail, nous avons mis en œuvre l'approche méthodologique suivante : nous avons tout d'abord analysé l'assolement choisi par le modèle et son évolution au cours des différents scénarios. Suite à cela, nous avons analysé les indicateurs économiques, environnementaux et sociaux en les interprétant en fonction des assolements retenus.

#### **Scénario de référence : situation actuelle**

Le scénario de référence correspond à la situation observée lors de l'enquête « systèmes d'exploitations » en 2011. Le scénario de référence présente les caractéristiques utilisées lors de la calibration. Il cherche en effet à modéliser la réalité afin d'analyser les performances environnementales, économiques et sociales actuelles des exploitations. Ce scénario sera utilisé dans cette étude pour étudier l'impact de la mise en œuvre du programme hydro-agricole sur la situation actuelle.

Les 19 cultures proposées dans ce scénario de base sont celles actuellement pratiquées dans la zone d'étude et observées lors de l'enquête « systèmes d'exploitations ».

Elles sont représentées dans le tableau 6.

**Tableau 6 : Cultures proposées dans le scénario de référence**

Céréales	Légumineuses	Maraichage	Pérennes
Blé	Lupin	Tomate	Pomme
Orge	Lentille	Concombre	Pêche
	Pois chiche	Aubergine	Prune
	Fève	Oignon frais	Poire
	Haricot sec	Oignon sec	Abricot
			Olive

Pour ce scénario, représentant la situation actuelle, nous n'avons pas pris en compte qu'un seul mode d'alimentation hydrique. Le mode d'alimentation hydrique pris en compte correspond aux pratiques traditionnellement en place sur la zone, à savoir les modes d'irrigation D0 pour les cultures traditionnellement en sec et les modes d'irrigation D2 pour les cultures traditionnellement en irrigué (liste des cultures en annexe 4).

### Scénario politique

Ce scénario implique la mise en place de la politique de l'UNDP et de l'ONL. Nous chercherons ici à vérifier l'hypothèse formulée en Chapitre I. Section III, concernant l'impact de ce changement politique sur les enjeux environnementaux, économiques et sociaux des exploitations et du territoire. Le programme hydro-agricole prévoit de fournir 750 m<sup>3</sup> d'eau par dunum à un prix de 150 LL/m<sup>3</sup>. L'ONL souhaite que les agriculteurs, en se professionnalisant ne se tournent que vers cette ressource (en arrêtant les prélèvements souterrains individuels). Aussi, pour modéliser cette politique, nous avons fixé la ressource en eau disponible à l'agriculteur ainsi que son prix à hauteur des prévisions de l'ONL et de l'UNDP.

La fonction de revenu a donc la forme suivante :

$$Z = \sum_{C,D} [MB_{(C,D,TA)} \times X_{(C,D,TA)}] - \sum_{C,D} [(PE \times E_{(C,D,TA)}) \times X_{(C,D,TA)}] - AW_{(TA)} \times PW$$

Avec :  $MB_{(C,D,TA)}$  est la marge brute pour chaque culture, pour chaque mode d'alimentation hydrique et pour chaque année climatique  
 PE est le prix de l'eau fixé  
 PW est le prix d'achat du travail

Comme nous avons pu l'aborder dans le cadre des hypothèses figurant en Chapitre I. Section III., afin de représenter le raisonnement de l'irrigation dans un contexte d'approvisionnement restreint et la possibilité de mener une irrigation déficitaire, les 3 modes d'alimentation hydrique ont été pris en compte dans ce scénario.

Par manque de temps et afin de simplifier le travail d'analyse, nous ne présenterons les résultats de ce scénario que pour une année moyenne.

### Scénario quotas

Considérant la variabilité interannuelle de la pluviométrie (400mm d'écart entre la pluviométrie en années sèche et humide types), lors d'épisodes climatiques secs, nous pouvons faire l'hypothèse que la ressource en eau disponible sur le réseau d'approvisionnement soit réduite. Pour faire face à cela, les politiques devront mettre en place des quotas plus restreignant en années sèches. Nous avons donc souhaité étudier dans quelle mesure ces restrictions impacteront les choix des systèmes de cultures et les performances des exploitations pour répondre aux enjeux définis.

**Tableau 7 : Variation des quotas de restriction de l'eau disponible**

Les 3 quotas que nous avons testés sont représentés dans le tableau 7 :

Quota 3 : Restriction sévère	Quota 2 : Restriction	Quota 1 : situation prévue (Scénario politique)
250 m <sup>3</sup> /dn	450 m <sup>3</sup> /dn	750m <sup>3</sup> /dn

Comme pour le scénario précédent, nous avons pris en compte les 3 modes d'approvisionnement hydrique.

Ici, nous avons également intégré les 3 types d'années climatiques (pour étudier notamment les années sèches et moyennes) afin d'évaluer l'impact des restrictions proposées en contexte climatique sec.

#### **Scénario prix de l'eau**

Lors d'épisodes climatiques secs, la variation du prix de l'eau est un moyen d'inciter les agriculteurs à réduire leurs prélèvements, au même titre que la restriction des quotas. Egalement, des difficultés concernant l'approvisionnement en eau (liées à des pannes ou autre) ainsi qu'une augmentation des coûts d'entretien et de gestion du réseau peuvent faire augmenter les prix. Aussi, nous avons cherché à connaître la sensibilité du modèle et de la réponse des agriculteurs en termes de choix des systèmes de cultures au prix de la ressource hydrique.

Tout comme le scénario précédent, celui-ci se base sur la situation actuelle en intégrant la politique de l'ONL et de l'UNDP, mais fait varier les prix de l'eau comme décrit dans le tableau 8 :

**Tableau 8 : Variations du prix de la ressource hydrique**

Prix 1 : Situation prévue (Scénario politique)	Prix 2	Prix 3
150 LL/m <sup>3</sup>	300 LL/m <sup>3</sup>	500 LL/m <sup>3</sup>

Ce scénario a été étudié en fonction des 3 types d'années climatiques et les 3 modes d'approvisionnement hydrique ont été pris en compte.

#### **Scénario innovation**

Dans le cadre de la politique initiée par l'ONL et l'UNDP, l'introduction de nouveaux systèmes de cultures et leur vulgarisation serait envisageable afin de mieux valoriser l'eau disponible. Nous cherchons donc ici à évaluer l'impact de l'introduction de nouveaux systèmes de cultures encore absents ou très peu pratiqués sur la zone d'étude.

Les systèmes de cultures qui ont été proposés en plus de ceux identifiés dans les scénarios précédents sont au nombre de 11, ils sont le chou-fleur, le chou sous mulching, le chou, la pastèque, l'ail, le radis, le melon, la pomme de terre, la courgette, la carotte et la vesce.

Les 3 modes d'alimentation hydrique ont ici été pris en compte.

Enfin, afin de simplifier l'étude de ce scénario, nous avons considéré une seule année climatique : l'année type moyenne.

## Chapitre III. Résultats et Discussions

### I. Résultats d'analyse de l'enquête « systèmes d'exploitations agricoles » : Identification des enjeux et des contours des scénarios

L'analyse de l'enquête « systèmes d'exploitations agricoles » a conduit à rédiger un premier livrable intitulé « Etat des lieux de l'agriculture » (Annexe 1). Grâce à ce document mais également aux informations et observations de terrain ainsi qu'aux données bibliographiques, nous avons pu faire ressortir différents enjeux. Ils nous ont permis de dresser les premiers contours des scénarios et d'orienter le choix des indicateurs. Les enjeux sont les suivants :

#### **Souveraineté alimentaire et production de cultures à vocation alimentaire**

Selon les informations données par le Ministère de l'Agriculture concernant sa stratégie de développement agricole, il s'agit de réduire les importations des cultures alimentaires principales en augmentant les surfaces de production et les rendements : 54% d'importation de produits maraîchers et 80% d'importation de blé. Aussi, nous avons dressé une liste des cultures importatrices à vocation alimentaire pour la population locale et nationale. Nous aborderons ce critère en tant qu'indicateur de performance sociale, dans la suite de ce document. La liste des cultures importatrices à vocation alimentaire est détaillée en Annexe 5.

#### **Développement de l'irrigation et professionnalisation des exploitations**

Selon les conclusions de l'Etat des lieux de l'agriculture, il s'agit de permettre aux exploitations professionnelles d'avoir accès à l'irrigation. En effet, l'irrigation est actuellement réservée en majorité aux agriculteurs non professionnels (jardiniers amateurs) qui utilisent des captages privés et de l'eau domestique. L'amélioration de l'accès à l'eau d'irrigation devra passer par l'utilisation concertée de la ressource publique de surface et notamment l'utilisation prioritaire du Canal 800 (Programme hydro-agricole). Cet enjeu s'inscrit dans l'orientation politique globale concernant le souhait de professionnalisation des agriculteurs (cf. Chapitre I. Section III).

#### **Acquisition de capital et de foncier agricole en propriété**

Il ressort de l'Etat des lieux de l'agriculture que la professionnalisation des exploitations doit s'accompagner d'une augmentation de l'acquisition de terres en propriété. En effet, les agriculteurs à temps plein sont actuellement « acquéreurs de terres en location » alors que les agriculteurs à temps partiels sont « loueurs des terres » qu'ils ont en propriété. On assiste donc à un phénomène d'activité de « rente » empêchant l'achat de terres par les agriculteurs à temps complet (professionnels) et l'investissement à moyen et long terme (acquisition de matériel d'irrigation notamment). Il est à noter que nous avons complété ce constat d'enquête avec des observations de terrain, notamment la vente de terre est également difficile à cause d'une contrainte d'ordre culturelle : du fait des guerres à répétition qui ont marqué (et marquent encore) l'histoire du Liban, les propriétaires de foncier ont un attachement très fort à leurs terres et ont des difficultés à les céder.

Dans ce travail, nous avons utilisé un modèle statique (cf. Chapitre II. Section II.2.2.) dans lequel nous n'avons pas représenté l'achat de terres. Aussi, pour évaluer cet enjeu, nous avons fait l'hypothèse que l'acquisition de matériel d'irrigation et l'investissement sur le long terme que cela nécessite, pousse les agriculteurs à acheter du foncier agricole. Cette hypothèse a été formulée sur la base du constat suivant, ressortant de l'analyse de l'Etat des lieux de l'agriculture : les agriculteurs irrigants sont les agriculteurs qui ont des terres en propriété.

### **Réduction de la pression quantitative sur la ressource souterraine**

Un des constats que nous avons fait sur le terrain est que les agriculteurs observent que le niveau des nappes souterraines a tendance à se réduire fortement, du fait des pompes non concertés. Ce constat a également été fait par le Ministère de l'Agriculture et l'ONL (communication personnelle). Selon l'ONL (2011), cette baisse du niveau des nappes pourrait s'accompagner d'un risque de leur salinisation, du fait des connexions avec la mer. Cet enjeu conduit donc à devoir inciter à l'utilisation du réseau public de surface, notamment l'utilisation du canal 800. Cela devra être fait en mettant cette ressource à disposition, afin de réduire au minimum l'utilisation des captages privés non contrôlables.

### **Amélioration de la biodiversité**

Il ressort de l'analyse de l'état des lieux que les systèmes de cultures sont très spécialisés, il s'agira ici d'améliorer la diversification des assolements afin d'augmenter la diversité des agrosystèmes et des écosystèmes en général. Nous avons fait l'hypothèse que l'augmentation de la diversité des cultures induira une augmentation de la diversité de la faune, la flore et de l'activité biologique. Egalement, dans ce travail, nous avons considéré que la pression d'utilisation des pesticides et des fertilisants impactent négativement la diversité de l'écosystème (système sol, rivières...).

### **Lutter contre la dégradation de la qualité des eaux souterraines et de surface.**

Comme nous avons pu l'aborder en Chapitre II. Section I.3., les usagers observent une dégradation de la qualité chimique des eaux de surface de par les changements survenant dans les écosystèmes fluviaux. Un enjeu environnemental important réside donc dans le raisonnement de l'utilisation des pesticides et des fertilisants par les agriculteurs, afin de réduire ces pollutions ponctuelles et diffuses.

### **Lutter contre l'érosion des sols**

L'érosion des sols en pente est une problématique importante dans la zone d'étude (d'après les observations faites sur le terrain et les avis des agriculteurs locaux). Cette problématique est rattachée à plusieurs phénomènes : le déboisement, la sur-pâture, la non utilisation des terres mais également à la rotation culturale basée sur des cultures de printemps, induisant des sols laissés nus l'hiver. C'est sur ce dernier phénomène que portera notre attention, aussi nous évaluerons la présence de cultures d'hiver dans la rotation.

### **Améliorer le revenu des exploitants agricoles et sa stabilisation**

L'amélioration du revenu des exploitants est un des enjeux implicitement abordé par le programme hydro-agricole Sud Liban. Nous avons pu mettre en évidence lors de l'Etat des lieux de l'agriculture, que les revenus des exploitations très spécialisés, basés sur un faible nombre de productions, dont la concurrence va croissante avec les pays voisins (production d'olives notamment). Dans cette étude, nous évalueront donc l'impact du programme hydro-agricole sur l'évolution du revenu des exploitants et sur la diversification des sources de revenu que cette politique pourrait apporter.

### **Augmenter la valorisation des terres en friches**

Nous avons pu observer, dans l'Etat des lieux de l'agriculture que les terres en friches occupent une part importante de la surface de la zone d'étude. Un enjeu important réside dans la valorisation de ces terres pour l'agriculture ou pour la biodiversité. Cependant, le modèle statique que nous avons développé ne permet pas d'évaluer la réponse du programme hydro-agricole à cet enjeu. Nous ne le traiterons donc pas dans cette étude.

## **II. Choix des indicateurs d'évaluation**

L'ensemble des objectifs à atteindre, leviers et sous-thèmes que nous avons pu identifier sont présentés en Annexe 2. Un nombre important d'indicateurs ont pu être identifiés par la méthode utilisée, ainsi nous en avons sélectionné certains qui ont été jugés principaux, faisables et s'inscrivant dans la politique du programme hydro-agricole. Ces indicateurs, retenus pour l'étude, sont détaillés en Annexe 3 au travers de « fiches descriptives » (catégorie d'indicateur, calcul de l'indicateur, échelles...).

Le tableau 9 décrit les catégories d'objectifs et de procédés pour les atteindre qui ont été retenus dans ce travail, le tableau 10 décrit quant à lui les sous-thèmes et les indicateurs qui y sont rattachés.

**Tableau 9 : Objectifs à atteindre et leviers**

	Objectif à atteindre	Procédés pour atteindre les objectifs (Leviers)	Levier N°
<b>Dim. Enviro.</b>	Biodiversité	Diversification	<b>L1</b>
		Protection des terres : lutte anti-érosion	<b>L2</b>
	Valorisation et préservation de la ressource hydrique.	Optimisation de la consommation en eau	<b>L4</b>
		Optimisation de l'utilisation des intrants	<b>L5</b>
<b>Dim. Eco.</b>	Viabilité des EA	Amélioration de la rentabilité	<b>L6</b>
	Stabilisation du revenu	Diversification du revenu	<b>L8</b>
<b>Dim. Soc.</b>	Sécurité alimentaire	Intensification de la production de cultures alimentaires	<b>L12</b>
		Diversification	<b>L13</b>
	Dynamisation et Maintien des EA	Dynamisation locale	<b>L14</b>

**Tableau 10 : Leviers, sous-thèmes et indicateurs retenus pour l'étude**

	Levier N°	Sous thèmes	Indicateurs	Echelle
<b>Dimension Environnementale</b>	<b>L1</b>	Diversification des cultures	Nombre de cultures dans la rotation	EA
	<b>L2</b>	Couvert hivernal	Part de la SAU couverte en hiver (en %)	EA
	<b>L4</b>	Consommation en eau	Consommation en eau de l'assolement (en m3)	Parcelle/EA
		Efficience économique et alimentaire de l'eau	Consommation en eau par rapport au revenu et à la production de cultures importatrices à vocation alimentaire (en m3/dn) (Cf. Annexe 5)	EA
	<b>L5</b>	Conso. en intrants	Consommation en herbicides, insecticides, fongicides (en LL) et en azote (en Kg)	Parcelle/EA
Efficience économique et alimentaire des intrants		Consommation en intrants par rapport au revenu et à la production de cultures importatrices à vocation alimentaire (en LL/dn et en Kg/dn pour l'azote) (Cf. Annexe 5)	EA	
<b>Dimension économiq.</b>	<b>L6</b>	Marge brute	Valeur de la marge brute (en \$)	EA
		Acquisition de capital	Part de la SAU irriguée (en %)	EA
	<b>L8</b>	Diversité des cultures	Nombre de cultures dans la rotation	EA
<b>Dimension Sociale</b>	<b>L12</b>	Rendements	Rendement des cultures (en volume : Kg ou tonnes)	Parcelle
		Production de cultures à vocation alimentaires et locales	Part des cultures à vocation alimentaire locale et nationale dans l'assolement (en %)	EA
	<b>L14</b>	Main d'œuvre	Quantité de main d'œuvre nécessaire (en heures)	Parcelle/EA

### III. Typologie

Nous avons réalisé différents groupes d'agriculteurs statistiquement homogènes du point de vue des pratiques, des résultats et de l'orientation des exploitations.

#### 1. Elaboration de groupes de niveau 1

##### A. Test de corrélation

Peu de variables sont corrélées entre elles (cf. tableau 11) : le coût d'installation du matériel d'irrigation est positivement corrélé avec la quantité d'irrigation et la consommation d'insecticides est positivement corrélée avec la consommation de fongicides.

**Tableau 11 : Test de corrélation groupes de niveau 1**

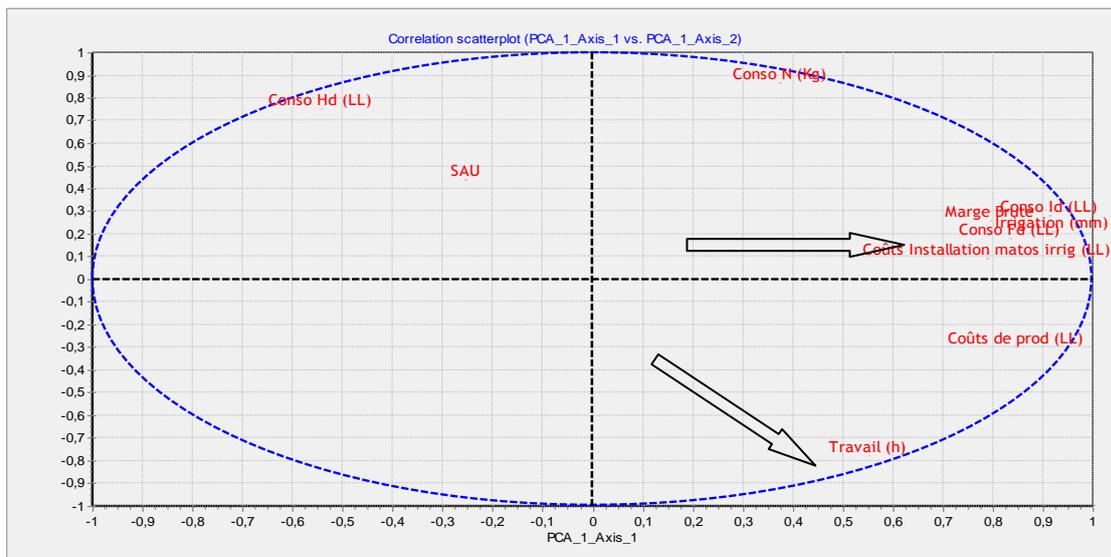
Attribut	Irrigation (mm)	Coûts		MB	Consommations				Travail (h)	SAU	
		Matériel irrigation (LL)	production (LL)		Azote (Kg)	Hd (LL)	Fd (LL)	Id (LL)			
Irrigation (mm)	1	<b>0,942</b>	0,627	0,747	0,458	-0,339	0,736	0,834	0,302	0,159	
Coûts	Matériel irrigation (LL)	0,942	1	0,587	0,270	-0,339	0,520	0,621	0,307	0,168	
	production (LL)	0,627	0,510	1	0,560	-0,606	0,650	0,683	0,815	0,272	
MB	0,747	0,587	0,560	1	0,527	-0,359	0,532	0,777	0,173	0,076	
Consommations	Azote (Kg)	0,458	0,270	0,167	0,527	1	0,513	0,459	0,586	-0,425	0,182
	Hd (LL)	-0,339	-0,339	-0,606	0,359	0,513	1	-0,295	-0,308	-0,844	0,323
	Fd (LL)	0,736	0,520	0,650	0,532	0,459	-0,295	1	0,918	0,347	0,127
	Id (LL)	0,834	0,621	0,683	0,777	0,586	-0,308	<b>0,918</b>	1	0,281	0,094
Travail (h)	0,302	0,307	0,815	0,173	-0,425	-0,844	0,347	0,281	1	0,350	
SAU	-0,159	-0,168	-0,272	0,076	0,182	0,323	-0,127	-0,094	-0,350	1	

Avec : MB = marge brute, Hd = herbicides, Fd = fongicides, Id = insecticides

##### B. Analyse en composante principale

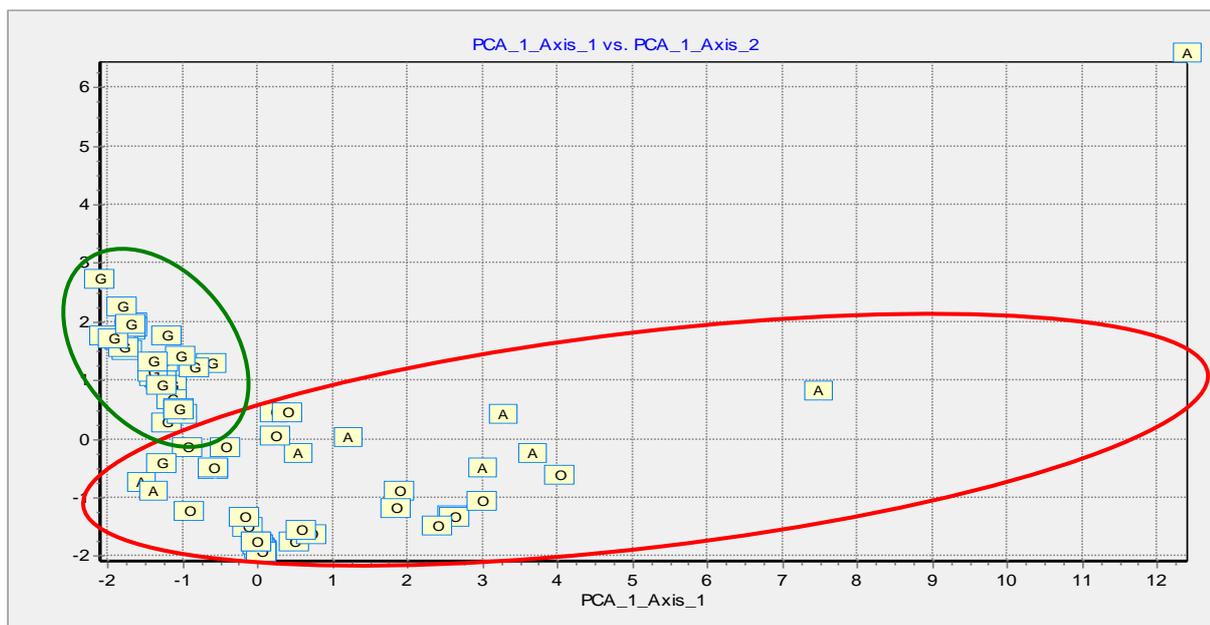
Il ressort dans la figure 15, que l'Axe 2 est positivement corrélé à la consommation en herbicides, à la consommation en azote et est négativement corrélé au temps de travail (opposition entre temps de travail et consommation en azote et herbicides). L'Axe 1 est corrélé positivement à l'ensemble des autres variables : il apparaît sur cet axe un groupe d'exploitations avec des pratiques plus intensives, avec une marge brute plus importante. Egalement, le temps de travail est positivement impacté par l'Axe 1, représentatif des exploitations plus intensives. La SAU est plutôt corrélée à un Axe 3 que nous n'avons pas représenté ici.

**Figure 15 : Analyse en composante principale de la classification de niveau 1**



Il apparaît dans la figure 16, que les exploitations arboricoles et oléicoles se situent majoritairement sur l'axe 1, représentatif des exploitations intensives alors que les exploitations en grandes cultures sont plutôt sur l'axe 2.

**Figure 16 : ACP de la classification de niveau 1, étude des axes principaux 1 et 2**



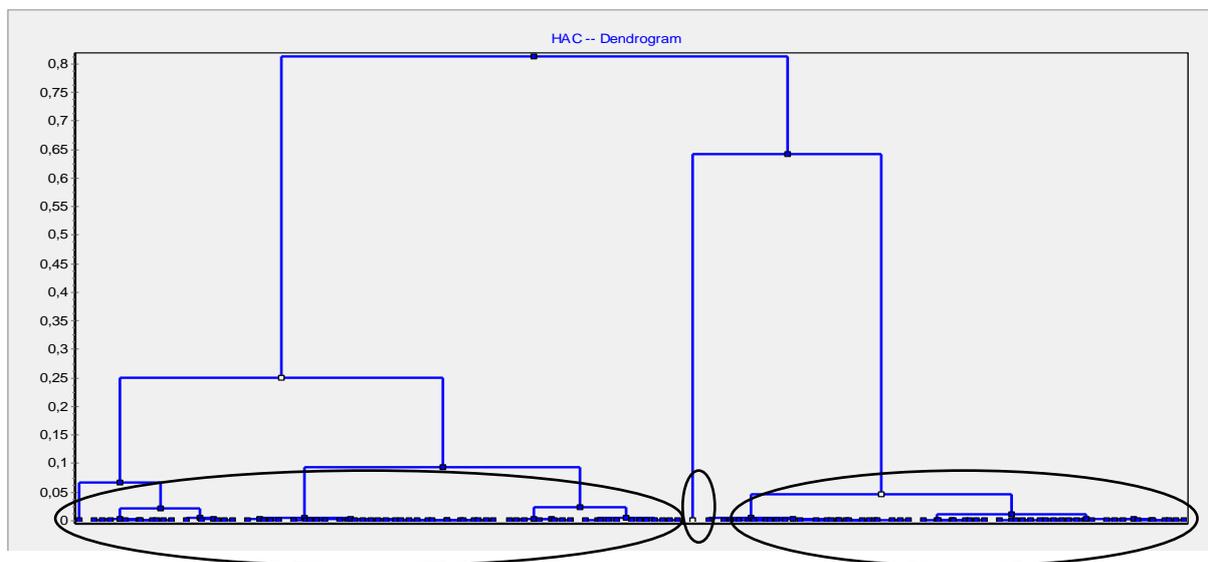
Avec : G = Grandes cultures  
 A = Arboriculture  
 O = Oléiculture

### ***C. Classification ascendante hiérarchique***

Afin de réaliser la classification ascendante hiérarchique, nous avons retenu les axes 1 et 2 (chacun dépasse 10% d'explication de la variance). Ces axes expliquent à eux deux 74,93% de la variance totale. Sur la figure 17, deux groupes majoritaires ressortent, regroupant 98,6% des agriculteurs. Un troisième

groupe très minoritaire apparaît : 1 agriculteur dont les résultats sont très écartés de la moyenne. Aussi, nous avons exclu ce troisième groupe de l'étude.

**Figure 17 : Classification ascendante hiérarchique des groupes de niveau 1**



Le groupe 1 est entièrement représenté par des exploitations en grandes cultures (cf. tableau 12) et présente une SAU significativement plus importante que le groupe 2. Le groupe 1 consomme également plus d'azote et d'herbicides à l'hectare (les agriculteurs utilisent plus d'herbicides que pour les vergers pour lesquels la maîtrise des adventives est faite mécaniquement). Inversement, le temps de travail, les coûts de production, les coûts d'installation de l'irrigation et l'irrigation, les consommations en insecticides et fongicides ainsi que la marge brute sont significativement plus faibles que pour le groupe 2. Enfin, le groupe 1 est significativement représenté par l'axe 2 (axe représentant l'extensivité, cf. figure 15). Dans la suite de notre étude, ce groupe d'agriculteurs sera nommé « groupe Grandes cultures » et sera noté GC.

Le groupe 2 est essentiellement représenté par des exploitations arboricoles et oléicoles. Ce groupe présente des coûts de production globaux supérieurs au groupe 1 et est représenté par l'axe 1 (axe de l'intensivité). Nous avons réalisé une sous-classification de ce groupe, afin de voir s'il est possible de séparer les arboriculteurs des oléiculteurs le constituant.

**Tableau 12 : Caractéristiques des 2 groupes homogènes**

		<b>Groupe 1 : 43,8 % de la population</b>	<b>Groupe 2 : 54,8 % de la population</b>
		<b>Grandes cultures (100% des EA)</b>	<b>Arboriculture et Oléiculture (97,5% des EA)</b>
<b>Coûts</b>	<b>Irrigation (mm)</b>	-3,05*	1,76
	<b>de production (LL)</b>	-5,2*	4,39*
	<b>de matériel d'irrigation (LL)</b>	-3,03*	2,08*
<b>Consommations</b>	<b>Fongicides (LL)</b>	-2,62*	1,79
	<b>Herbicides (LL)</b>	7,65*	-7,43*
	<b>Insecticides (LL)</b>	-2,69*	1,31
	<b>Azote (Kg)</b>	3,61*	-4,98*
<b>Corrélations avec</b>	<b>Axe 1</b>	-4,67*	3,38*
	<b>Axe 2</b>	5,86*	-6,8*
	<b>Travail (h)</b>	-6,83*	6,95*
	<b>SAU</b>	3,36*	-3,41*
	<b>Marge Brute</b>	-2,92*	1,06

\*Différences significatives entre les groupes

## **2. Elaboration de groupes de niveau 2**

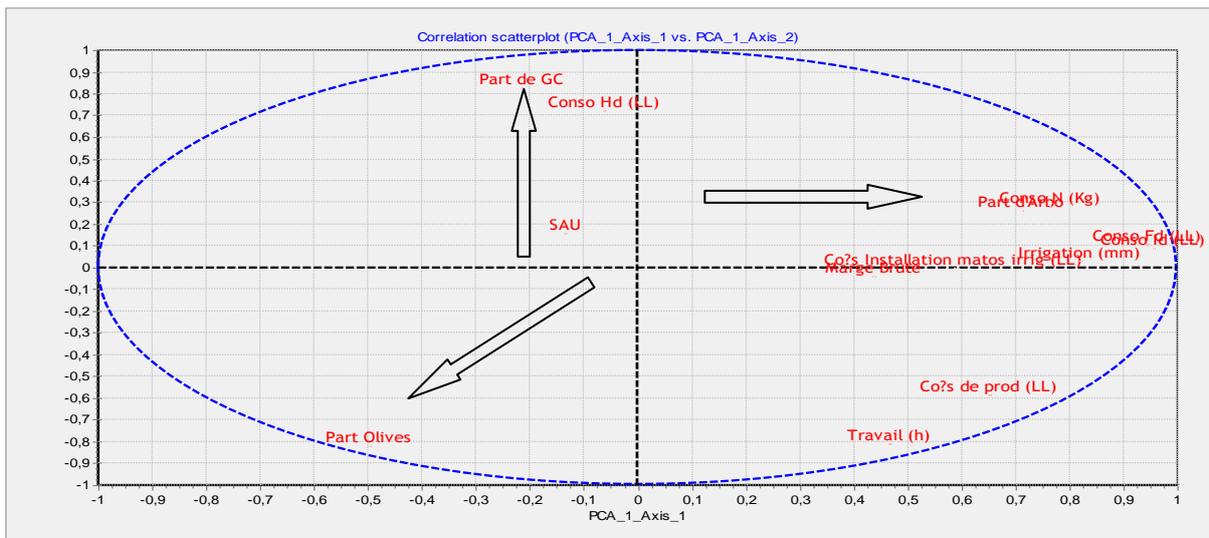
Nous avons réalisé le même type de classification pour les agriculteurs du groupe composé d'arboriculteurs et d'oléiculteurs, que nous avons décrit précédemment.

Les résultats du test de corrélation sont identiques à ceux observés précédemment.

### **A. Analyse en composante principale**

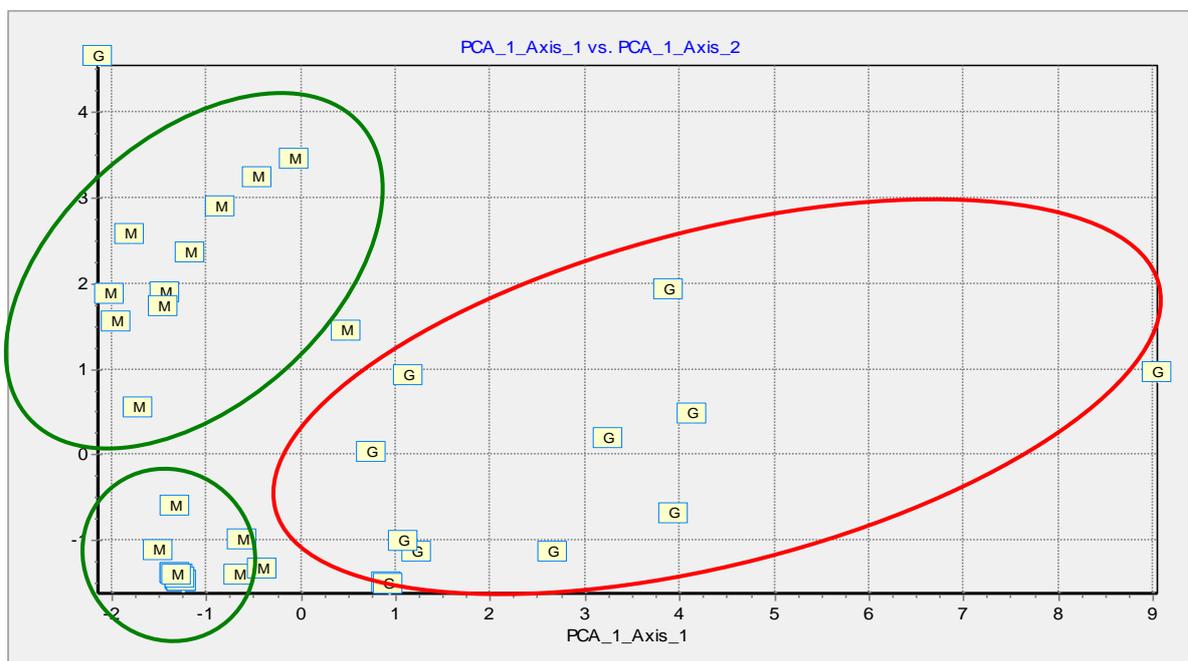
L'axe 1 est positivement corrélé à la part d'arboriculture dans l'assolement (cf. figure 18). La part d'arboriculture influence donc le degré d'intensification (intrants N, Id, Fd, coûts de production et travail). L'axe 2 est positivement corrélé à la part de grandes cultures, consommant beaucoup d'herbicides et de SAU, avec une faible marge brute. Enfin, la part d'olives est à la fois négativement corrélée à l'axe 1 (représentant l'intensification) et à l'axe 2 (consommation en herbicides). La part d'olive est en effet corrélée à un axe 4 que nous n'avons pas représenté ici.

**Figure 18 : Analyse en composante principale de la classification de niveau 2**



Il apparaît sur la figure 19, que les exploitations avec un IDE de grande taille (cercle rouge) soient majoritairement influencées par l'axe 1, représentatif des exploitations les plus intensives. Ces exploitations sont majoritairement orientées vers l'arboriculture. Inversement, les exploitations dont l'IDE est moyen et petit sont représentées par l'axe 1 (cercles verts): exploitations en sec (oléiculture/grandes cultures en sec).

**Figure 19 : ACP de la classification de niveau 2, étude des axes principaux 1 et 2**



Avec : M = IDE Moyen  
 G = IDE Grand  
 P = IDE Petit

### B. Classification ascendante hiérarchique

Nous avons retenu les axes 1, 2, 3 et 4, car chacun explique plus de 9% de la variance. Le cumul de ces 3 axes explique 85% de la variance totale.

Un choix de groupes mené de façon automatique a conduit à identifier 3 ensembles d'agriculteurs distincts (cf. tableau 13) :

- Un groupe d'oléiculteurs spécialisés (noté Os.), ayant des pratiques faiblement intensives, en sec et moyennement demandeuses en main-d'œuvre.
- Un groupe d'oléiculteurs diversifiés (Od.) avec des grandes cultures (en moyenne 55% de leur SAU est en olive et 44% de leur SAU est en grandes cultures). La présence de céréaliculture dans leur assolement fait qu'ils ont des pratiques se rapprochant des céréaliers en sec.
- Un groupe d'arboriculteurs irrigants (noté A.), aux pratiques intensives et dégagant une marge brute élevée. Ce groupe tend à être plus demandeur en main-d'œuvre, du fait de la charge de travail qu'implique la gestion des cultures fruitières.

Tableau 13 : Caractéristiques des 3 groupes homogènes

	Groupe 1 (53% de la population) Oléiculteurs spécialisés (81% d'Otex Olive)	Groupe 2 (18% de la population) Oléiculteurs diversifiés (86% d'Otex Oleicole)	Groupe 3 (30% de la population) Arboriculteurs (33% d'Otex Arbo)
<b>Irrigation (mm)</b>	-3,93*	-0,63	4,81*
<b>Travail (h)</b>	0,58	-2,79*	1,69
<b>Consommations</b>	<b>Azote (Kg)</b>	-3,39*	2,07*
	<b>Herbicides (LL)</b>	-3,35*	5,77*
	<b>Insecticides (LL)</b>	-2,64*	-1,31
	<b>Fongicides (LL)</b>	-2,33*	-1,01
	<b>de production (LL)</b>	-0,83	-1,52
<b>Coûts</b>	<b>de matériel d'irrigation (LL)</b>	-3,79*	4,39*
	<b>Axe 1</b>	-3,1*	-1,3
<b>Corrélations avec</b>	<b>Axe 2</b>	-3,05*	4,02*
	<b>Axe 3</b>	-1,31	-2,41*
	<b>Axe 4</b>	3,29*	-3,24*
<b>SAU</b>	1,23	1,13	-2,28*
<b>Marge Brute</b>	-2,13*	-2,71*	4,57*
<b>Part de Grandes cultures</b>	-3,1*	4,21*	-0,12
<b>Part d'Arboriculture</b>	-0,93	-1,6	2,34*
<b>Part Olives</b>	3,51*	-1,64	-2,46*

\*Différences significatives entre les groupes

Le groupe d'oléiculteurs spécialisé a exclu de cette étude. En effet, comme décrit en Chapitre II. Section 2.2., le modèle statique ne permet pas de représenter le choix de l'agriculteur concernant les cultures pérennes et donc une éventuelle modification de la surface des vergers d'oliviers.

### 3. Groupes d'exploitants retenus pour cette étude : conclusion

Trois groupes d'exploitants agricoles ont donc été retenus pour cette étude, ils correspondent aux types suivants :

- Groupe « grandes cultures » noté GC.

- Groupe « Oléiculture diversifiée » noté Odiv.
- Groupe « Arboriculture » noté A.

**Tableau 14 : Synthèse des caractéristiques des 3 groupes d'exploitations agricoles retenus**

	<b>Groupe GC.</b>	<b>Groupe Odiv.</b>	<b>Groupe A.</b>
<b>SAU</b>	++	+	-
<b>Irrigation (mm)</b>	--	-	++
<b>Coûts</b>	<b>du matériel d'irrigation (LL)</b>	--	++
	<b>de production (LL)</b>	--	++
<b>Consommations</b>	<b>Azote (Kg)</b>	++	+
	<b>Herbicides (LL)</b>	++	+
	<b>Insecticides (LL)</b>	--	-
	<b>Fongicides (LL)</b>	--	-
<b>Importance de l'Otex</b>	<b>Grandes cultures</b>	++	+
	<b>Arboriculture</b>	--	--
	<b>Oléiculture</b>	+	++
<b>Temps de Travail (h)</b>	--	-	+
<b>Marge Brute</b>	--	-	++

Les groupes GC et Odiv comprennent des exploitations n'irrigant globalement pas alors que le groupe A est constitué d'une majorité d'irrigants (cf. tableau 14). Ce constat est expliqué par les assolements présents chez ces différents groupes : des grandes cultures et de l'oléiculture pour les 2 premiers groupes et de l'arboriculture fruitière pour le 3<sup>ème</sup>.

Le groupe A se présente comme plus intensif que les deux autres groupes : le temps de travail, l'irrigation, les consommations en insecticides et en fongicides mais également les coûts de productions globaux sont importants comparativement aux deux autres groupes. La consommation en azote reste élevée, même si elle est plus faible que le groupe GC. Enfin, la marge brute est la plus élevée pour ce groupe, du fait du prix élevé des cultures fruitières. Les exploitations arboricoles sont donc les plus intensives et dégagent des revenus supérieurs.

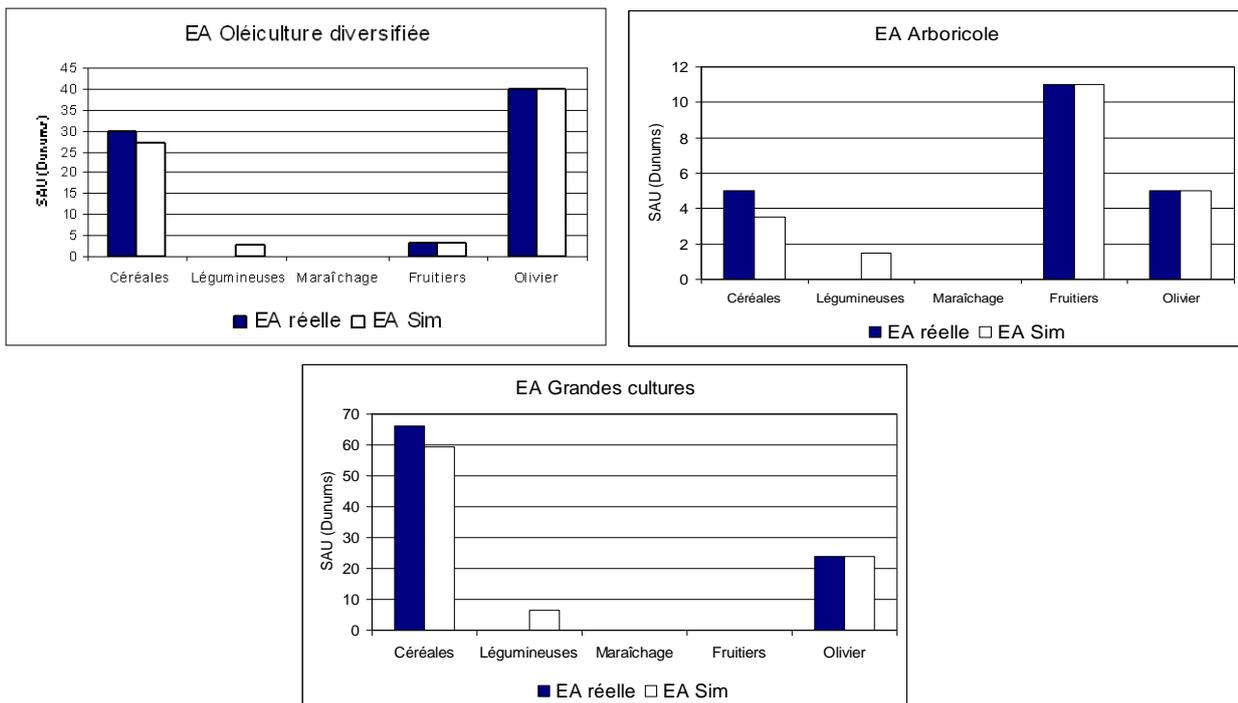
Inversement, le groupe GC est le groupe le moins intensif : les coûts de production sont faibles, ces exploitants n'irriguent pas et utilisent globalement peu d'intrants (seuls les herbicides sont ici significativement plus utilisés que dans les deux autres types). Enfin, ce groupe dégage un revenu assez faible, du fait du prix des céréales, qui est bas comparativement aux cultures fruitières

#### **IV. Résultats de la calibration du modèle bio-économique**

La figure 20 compare les SAU réellement observées chez les agriculteurs types et les SAU simulées par le biais du modèle. Les surfaces de cultures pérennes simulées et observées sont identiques, en effet, comme nous avons pu l'aborder dans le Chapitre II. Section II.2.e., les surfaces de cultures pérennes simulées sont fixes.

Il apparaît sur la figure 20 que les SAU de grandes cultures sont proches : écarts inférieurs au seuil de tolérance fixé de 30% en Chapitre II. Section II.2.2.6. Comme nous avons également pu l'expliquer dans cette Section, le modèle simule plus de légumineuses qu'il n'est observé, cela s'explique par le fait que nous simulons ici la rotation de l'agriculteur sur une seule année.

**Figure 20 : Comparaison des SAU réelles des agriculteurs types et des SAU simulées**



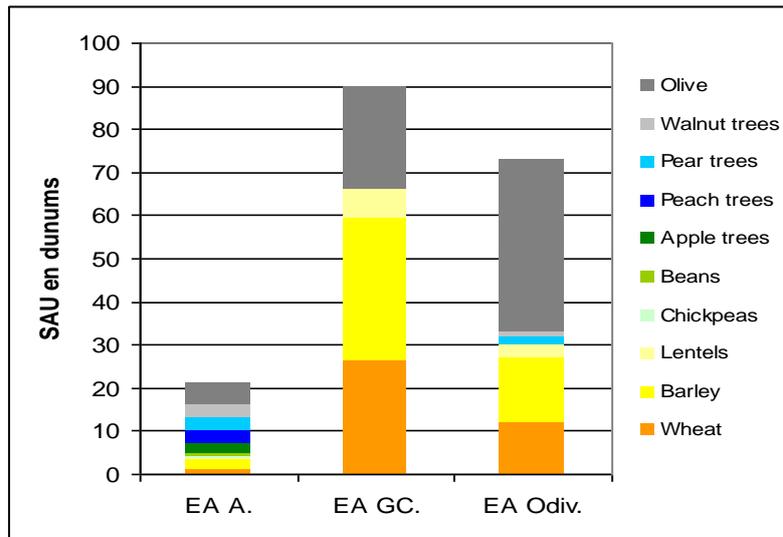
Avec EA sim est l'exploitation agricole simulée

## V. Analyse des scénarios : performances des EA

### 1. Scénario de référence

L'exploitation type arboricole dispose d'une SAU de 21 dunums alors que l'EA GC et Odiv disposent de 90 et 73 dn de SAU (cf. figure 21). Il est à noter que toutes les exploitations produisent de l'olive, en effet cette culture est à la fois un moyen technique de valoriser des terres non irriguées avec peu d'interventions techniques à fournir et un moyen de reconnaissance sociale. En effet l'olive constitue actuellement une production « sociale », certains agriculteurs avouant qu'une famille doit avoir sa production d'huile d'olive et d'olives de table pour être reconnue comme agricultrice.

**Figure 21 : Assolement simulé des exploitations types**

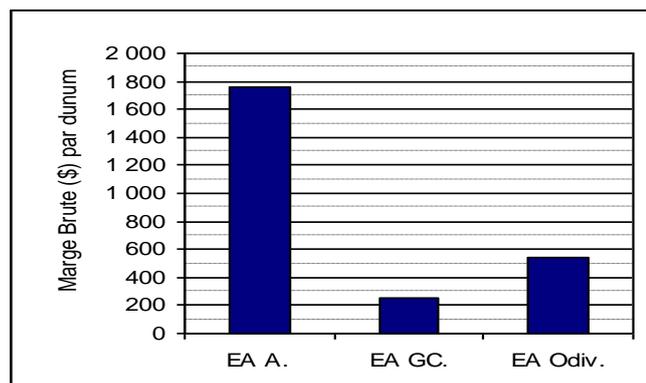


### A. Performances économiques

La marge brute de l'EA A se dégage des 2 autres. En effet, la présence de cultures arboricoles (cf. figure 21) fait nettement monter cet indicateur ramené au dunum. La MB passe de 1 755 \$/dn pour l'EA A à 256 \$/dn pour l'EA GC (6,9 fois inférieur). La MB de l'EA Odiv est de 542 \$/dn, soit 3,2 fois moins que l'EA A. Les marges brutes totales des exploitations A, GC et Odiv, sont les suivantes : 36 849 \$, 22 996\$ et 39 569\$.

Concernant la diversification des productions et des sources de revenu, il est apparu (cf. figure 22) que l'exploitation arboricole a 10 cultures contre 4 pour l'EA GC, qui spécialise plus son revenu. Cette capacité de diversification de l'EA A est rattachée avec la capacité d'irriguer, plus de cultures lui sont accessibles.

**Figure 22 : Marge brute des exploitations**

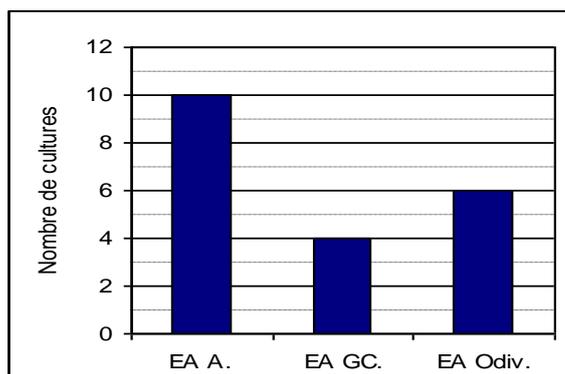


La SAU irriguée est de 56% pour l'EA A, de 4% pour l'EA O div, et de 0% pour l'EA GC, montrant un qu'il y a eu un investissement à moyen ou à long terme sur du matériel d'irrigation, notamment pour l'arboriculture.

### B. Performances environnementales

Il apparaît que l'exploitation type arboricole est la plus diversifiée alors que l'exploitation en grandes cultures est plus spécialisée (cf. figure 23). En effet, l'arboriculture telle qu'elle est pratiquée sur la zone, s'accompagne d'autres cultures (grandes cultures, olivier...).

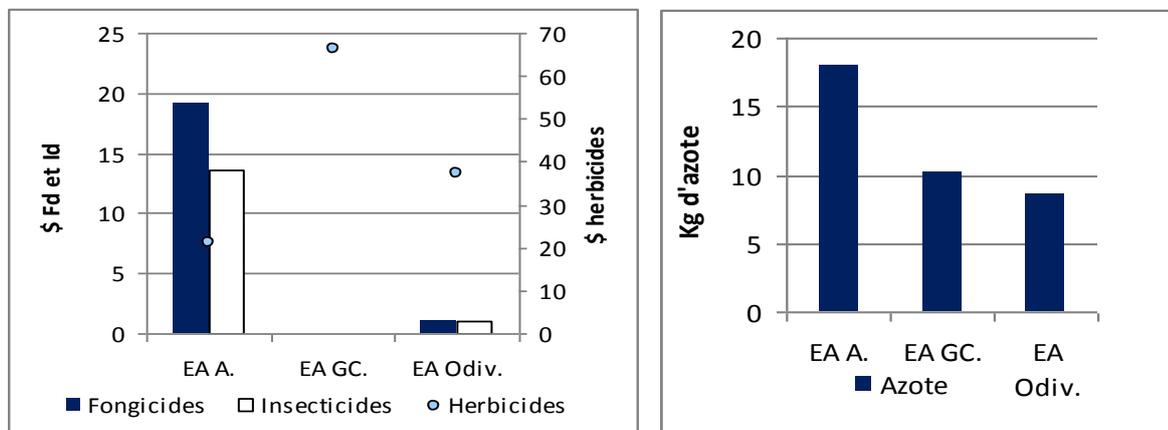
**Figure 23 : Diversité de l'assolement**



La couverture hivernale du sol est globalement bonne pour l'ensemble des exploitations : 100% de SAU couverte en hiver pour les EA GC et Odiv et 95% de couverture pour l'EA A (cf. figure 22). En effet, il n'y a actuellement que très peu de cultures de printemps sur la zone d'étude.

L'EA type arboricole se présente comme avoir les pratiques les plus intensives concernant les fongicides et les insecticides (histogrammes bleus et blancs) alors que les grandes cultures utilisent plus d'herbicides (points bleus clairs). Egalement, ce sont ces derniers qui consomment le plus d'azote (cf. figure 24). Les performances environnementales des exploitations sont donc ici très influencées par leurs Otex : ce sont les céréales qui consomment le plus d'azote et d'herbicides et se sont les fruitiers qui consomment le plus d'insecticides et de fongicides.

**Figure 24 : Utilisation d'intrants par dunum**

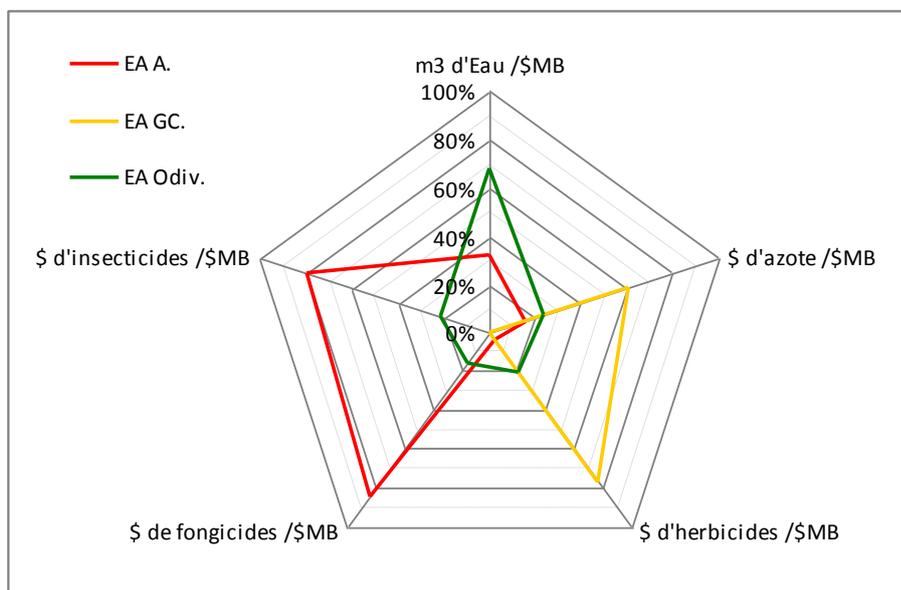


L'exploitation arboricole et oléicole diversifiée (avec de l'arboriculture notamment) sont les seules consommatrices en eau, respectivement de 429 et 279 m<sup>3</sup>/dn.

Les consommations en intrants et en eau des SdC peuvent être relativisées en fonction de leur capacité à dégager de la marge brute (cf. figure 25). Nous avons donc ici pondéré les consommations en intrants par la MB produite. Les valeurs affichées dans la figure 23 représentent les consommations en intrants par unité de MB produite. Ces valeurs sont affichées en pourcentages : consommation d'une EA donnée divisé par la totalité des consommations des 3 EA. Sur la figure 23, plus l'aire est importante, plus l'exploitation consomme d'intrants pour produire une MB faible. L'EA A. est la plus consommatrice d'intrants par unité de MB dégagée.

Il apparaît que l'arboriculture utilise 5,4 et 3,8 fois plus d'insecticides et de fongicides que l'EA Odiv pour dégager 1\$ de MB. De la même manière, l'EA GC dégage du revenu sans utiliser d'insecticides, de fongicides et d'eau.

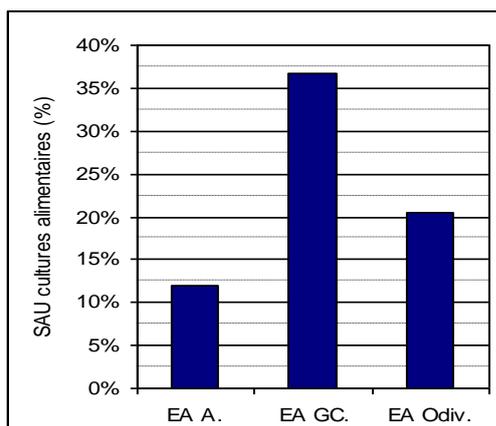
**Figure 25 : Consommations en intrants et en eau par unité de marge brute dégagée (Indicateur d'efficience économique des intrants et de l'eau)**



### C. Performances sociales

L'indicateur de production de cultures importatrices à vocation alimentaire (cf. figure 26) est le plus élevé pour l'EA GC (supérieur de 16 et 25% aux EA Odiv et A.). En effet l'exploitation type GC produit des cultures dont les enjeux sont importants pour la souveraineté alimentaire du pays, tel que le blé tendre panifiable.

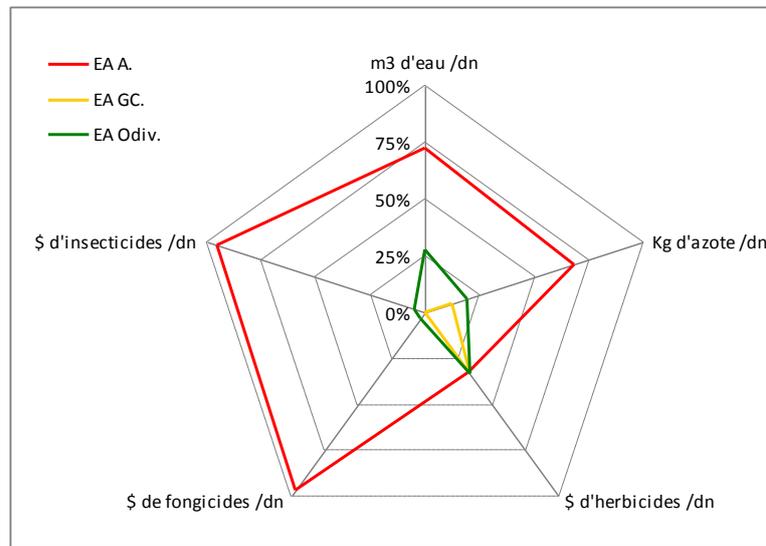
**Figure 26 : SAU de cultures importatrices à vocation alimentaire**



La figure 27 représente la consommation en intrants et en eau, pondérée par la surface cultivée en cultures importatrices à vocation alimentaire. Elle permet de relativiser l'utilisation d'intrants et d'eau par rapport à la capacité des systèmes de cultures à produire des denrées essentielles localement et nationalement. Dans ce graphique, plus la surface est importante, plus il y a une forte consommation d'intrants et d'eau

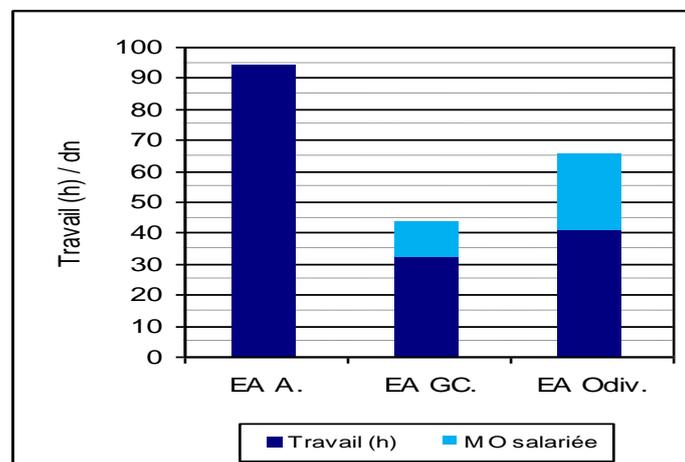
pour une production de cultures à enjeu alimentaire faible. Il apparaît que l'EA type grandes cultures soit la plus performante en ce sens.

**Figure 27 : Consommations en intrants et en eau par dunum de culture à vocation alimentaire (Indicateur d'efficacité alimentaire des intrants et de l'eau)**



Concernant la main-d'œuvre nécessaire (cf. figure 28), l'EA A nécessite 94h/dn, soit une charge de travail supérieure de 2 et 1,4 fois supérieure à l'EA GC et Odiv. L'EA A est donc potentiellement plus génératrice de revenu au dunum. Cependant, sa faible taille fait qu'elle n'embauche pas de salariés (temps de travail total de l'exploitation : 1975h). Les EA GC et Odiv embauchent car elles ont des surfaces plus importantes : temps de travaux totaux de 4978 et 6596 h.

**Figure 28 : Main-d'œuvre nécessaire / dunum - Chef d'exploitation et salariés**

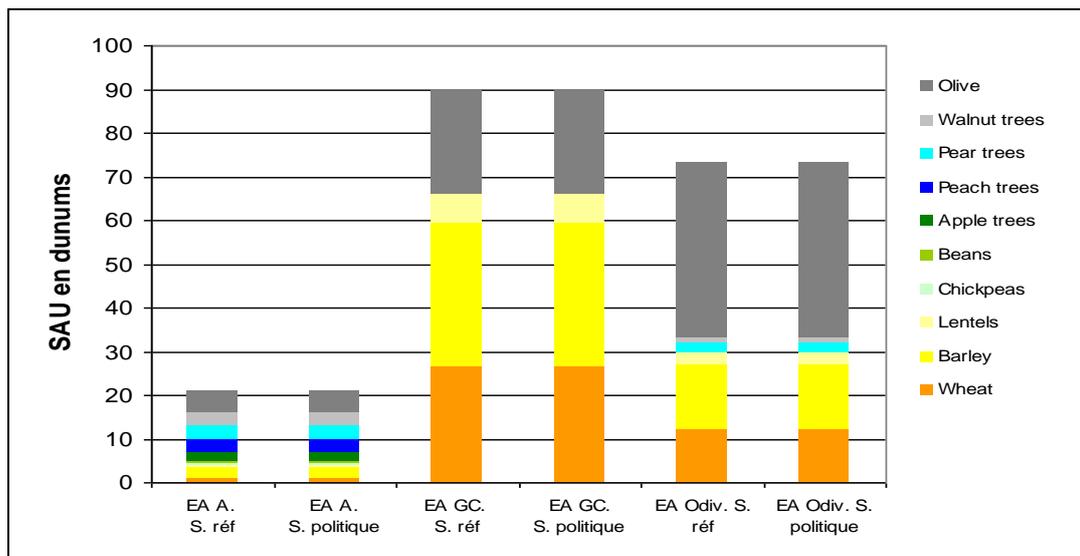


## 2. Scénario politique

La figure 29 compare les assolements proposés par le modèle, avant application de la politique (Scénario de référence) et après (Scénario politique). Il n'apparaît aucun changement significatif dans l'assolement.

Sans l'introduction de nouvelles cultures dans les assolements, la mise en place de cette politique n'aurait donc que peu d'impact sur les assolements actuels.

**Figure 29 : Comparaison entre assolements du Scénario de référence et du Scénario politique**



Avec : S réf est le scénario de référence et S politique est le scénario politique

Cependant, si nous nous attachons à observer les itinéraires techniques pratiqués par les exploitants, certaines modifications apparaissent. Le tableau 15 s'attache à décrire les modes d'alimentation hydriques pratiqués suite à l'application de la politique. Il apparaît que toutes les cultures actuellement en irrigué le restent. Egalement, une partie des cultures actuellement en sec passent en régime irrigué, telle que l'olive (passage en irrigué pour les années climatiques sèches et moyennes uniquement).

Il est enfin à noter que cette absence de modification des assolements, en entraînant un changement dans les modes d'alimentations hydrique, permet d'augmenter le rendement des cultures en place en diminuant le risque climatique.

**Tableau 15 : répartition des surfaces cultivées selon les différents modes d'alimentation hydriques**

EA A	D0	D1	D2	EA GC	D0	D1	D2	EA Odiv	D0	D1	D2
Haricot sec			0,70								
Blé	0,82		0,20	Blé	26,46			Blé	12,03		
Lentilles			0,39	Lentilles	1,31		5,23	Lentilles	0,59		2,38
Orge	2,50			Orge	33,00			Orge	15,00		
Pois chiche			0,39	Olive	4,80		19,20	Noix			1,00
Pêche			3,00					Olive	8,00		32,00
Noix			3,00					Poire			2,00
Olive	1,00		4,00								
Poire			3,00								
Pomme			2,00								

#### A. Performances économiques

Suite à la mise en place de la politique, et selon la modélisation mise en œuvre, les marges de l'EA A et Odiv baissent de 2,3% et 3,8%, alors que la marge de l'EA GC augmente de 8,2% (cf. figure 30). En effet, les exploitations déjà irriguées devraient voir leur marge se réduire, alors que les exploitations actuellement en sec pourront l'augmenter.

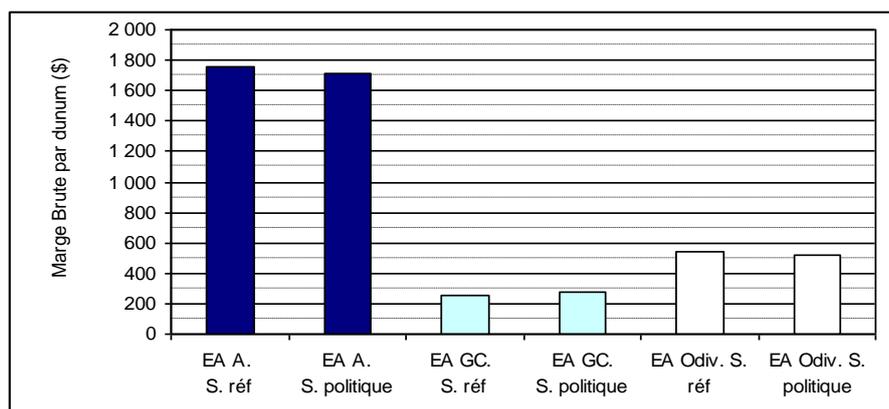
Nous avons pu voir que les systèmes de cultures ne changent pas entre la situation actuelle et ce scénario. Il apparaît donc que cette augmentation de revenu survenant chez les exploitants actuellement en sec soit liée aux changements de pratiques. Les agriculteurs choisissent en effet d'irriguer certaines cultures

comme l'olive ou la lentille, afin d'accroître les rendements. Cet accroissement du rendement compense le surcoût lié au prix de l'eau et fait donc augmenter la marge brute.

Il apparaît donc que cette augmentation des rendements et de la marge brute, survenant chez certains agriculteurs, puisse se faire en maintenant les systèmes de cultures en place avec des itinéraires et des pratiques connus des agriculteurs.

Les marges brutes totales des exploitations arboricole, grande culture et oléicole diversifié sont respectivement de : 36 011\$, 25 055\$ et 38 049\$

**Figure 30 : Comparaison des MB/dn entre le Scénario de référence et le scénario politique**



Avec : S réf est le scénario de référence et S politique est le scénario politique

La SAU irriguée augmente de 24% pour l'EA A et augmente de 27 et 47% pour les EA GC et Odiv (cf. tableau 16).

**Tableau 16 : Comparaison des SAU irriguées entre le Scénario de référence et le scénario politique**

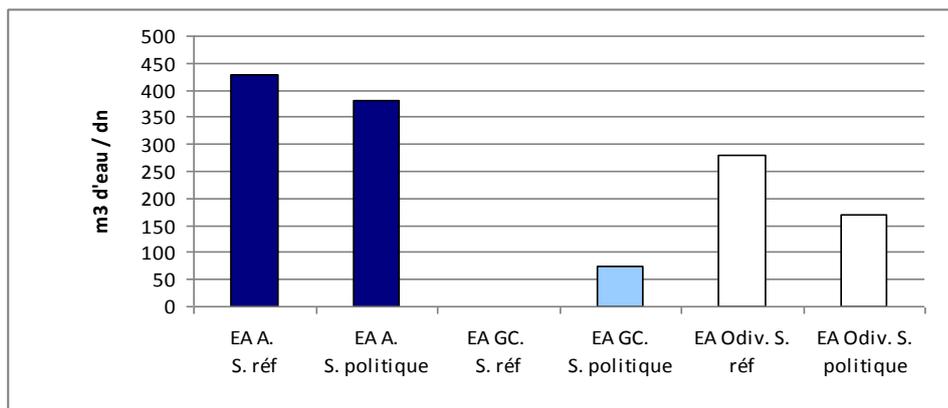
EA A. Scénario de référence	EA A. Scénario politique	EA GC. Scénario de référence	EA GC. Scénario politique	EA Odiv. Scénario de référence	EA Odiv. Scénario politique
56%	79%	0%	27%	4%	51%

### ***B. Performances environnementales***

La diversité des cultures, mais également les consommations en intrants (azote, fongicides, insecticides et herbicides) ne changent pas par rapport à la situation actuelle.

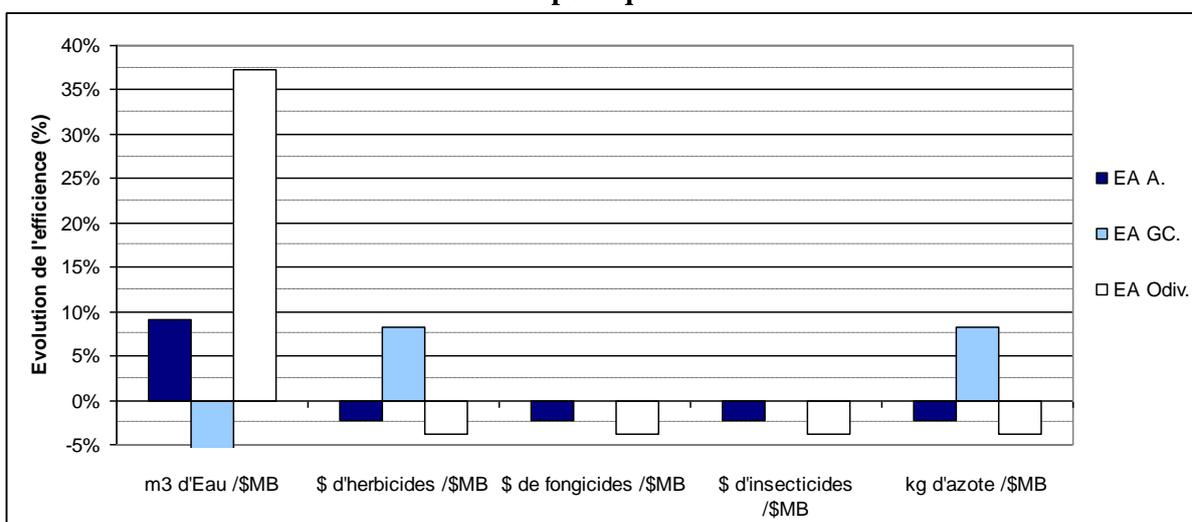
La consommation en eau (cf. figure 30), du fait des modifications intervenant dans les itinéraires techniques, change. Il apparaît, suite à l'introduction de la politique, que les exploitations de type arboricole et oléicole diversifiée (couleurs bleu foncé et blanc) consomment 1,1 et 1,7 fois moins d'eau. Inversement, l'exploitation en grandes cultures, initialement en sec, se mettrait à consommer 74 m<sup>3</sup> d'eau par an par dunum.

**Figure 31 : Comparaison des consommations d'eau entre le Scénario de référence et le scénario politique**



La figure 31 retrace l'évolution de l'efficacité économique. Plus le pourcentage est élevé, plus l'efficacité économique s'améliore entre les 2 situations, lorsqu'il diminue, l'efficacité se détériore (l'utilisation d'intrants et d'eau par Dollar de MB sont plus faibles dans le premier cas et plus importantes dans le second cas). Il apparaît que l'efficacité de l'eau de l'EA Odiv est améliorée de 37%, cependant l'efficacité de l'eau de l'EA GC est détériorée de 100% (en effet, cette exploitation ne consommait pas d'eau dans le Scénario de référence). Les efficacités économiques des intrants sont toutes faiblement détériorées, sauf pour l'EA GC qui améliore l'efficacité des herbicides et de l'azote de 8%.

**Figure 32 : Evolution de l'efficacité économique entre le scénario de référence et le scénario politique**



### **C. Performances sociales**

Les indicateurs sociaux relatifs à la SAU de cultures importatrices à vocation alimentaire et à l'embauche ne sont pas impactés par le changement de politique entre les situations représentées par le scénario de référence et le scénario politique. Cependant, l'efficacité alimentaire de l'eau régresse pour l'EA GC et s'améliore pour les EA A et Odiv (+11 et 40%)

Les rendements de certaines cultures à vocation alimentaire sont améliorés par les changements de techniques d'irrigation : l'EA A améliore ses rendements moyens de blé, de lentilles et de pois chiches de 2%, 3% et 26%. Egalement, les EA GC et Odiv améliorent leurs rendements moyens de lentilles de 2%.

### 3. Scénario quotas

Les assolements ne varient que très peu entre les quotas proposés (cf. tableau 17). En effet, seule l'EAA remplace sa production de pois chiches et de haricots secs par de l'oignon lorsque la restriction atteint 250m<sup>3</sup>/dn. Les assolements des deux autres EA ne changent pas sur une année climatique moyenne.

**Tableau 17 : Assolement des exploitations dans le Scénario quotas**

EA A	Quota 3	Quota 2	Quota 1
Blé	1,01	1,02	1,02
Orge	2,50	2,50	2,50
Lentilles	0,39	0,39	0,39
Pois chiche	0,00	0,39	0,39
Haricot sec		0,70	0,70
Oignon sec	0,70		
Oignon vert	0,40		
Pomme	2,00	2,00	2,00
Pêche	3,00	3,00	3,00
Poire	3,00	3,00	3,00
Noix	3,00	3,00	3,00
Olive	5,00	5,00	5,00

EA GC	Quota 3	Quota 2	Quota 1
Blé	26,46	26,46	26,46
Orge	33,00	33,00	33,00
Lentille	6,54	6,54	6,54
Olive	24,00	24,00	24,00

EA Odiv	Quota 3	Quota 2	Quota 1
Blé	12,03	12,03	12,03
Orge	15,00	15,00	15,00
Lentilles	2,97	2,97	2,97
Poire	2,00	2,00	2,00
Noix	1,00	1,00	1,00
Olive	40,00	40,00	40,00

Cette absence de variation pour les EA A et Odiv s'explique par le fait que leur assolement actuel ne consomme que très peu d'eau. Les restrictions appliquées ne sont donc pas suffisantes pour conduire à une modification de ces assolements. Autrement dit, ces deux exploitations disposent d'assolements à la fois optimums du point de vue de la marge et peu sensibles à la sécheresse et à la restriction en eau. De la même manière, pour une année climatique moyenne, les techniques retenues par ces 2 EA ne changent pas, par rapport au Scénario politique. Il est cependant à noter que le choix des techniques est impacté par l'année climatique considérée : les années humides voient plus de modes d'alimentation hydrique D0 que les années sèches, notamment pour des cultures peu sensibles aux restrictions telles que les lentilles et l'olive. Egalement, en année sèche et pour des restrictions sévères, des cultures telles que le blé deviennent irriguées en dose D2.

Etant donné que les assolements des exploitations Odiv et GC sont globalement identiques au Scénario politique, leurs performances le sont aussi. Nous nous concentrerons donc ici sur l'analyse des performances de l'exploitation arboricole en fonction des quotas proposées.

Concernant les modes d'alimentation hydrique pratiqués par l'EA A, lors d'une restriction sévère de l'eau disponible (quota 3), le modèle s'oriente logiquement vers des modes d'alimentation hydriques consommant peu d'eau. Cependant, il n'y a pas de différence de technique entre le quota 2 et le quota 3, dénotant que l'assolement et les techniques pratiquées peuvent tenir jusqu'à une restriction de 450m<sup>3</sup>/dn au moins, en année moyenne.

#### ***A. Performances économiques***

Il est notable que, lorsque la consommation en eau diminue de 37%, la MB diminue de 7,7% (passant de 36 011\$ à 33240\$ sur la totalité de l'EA entre les quotas 1 et 3). Le pourcentage de réduction de la marge brute est donc supérieur au pourcentage de réduction de la consommation en eau, cela confirme le fait que les systèmes de culture actuellement en place sont bien adaptés à la sécheresse, leurs rendements sont en effet faiblement impactés par une restriction en eau.

#### ***B. Performances environnementales***

Les cultures ne changeant que très peu entre les différents types de restrictions, les performances environnementales ne sont marquées que par une réduction de la consommation en eau pour le quota 3 : -37% par rapport au quota 1 (de 4250 à 6749m<sup>3</sup>/dn). L'année climatique impacte la consommation en eau lorsque les quotas ne sont pas trop restreignant (quota 1 et quota 2) : -22% de consommation entre les années humides et sèches, alors que la consommation stagne entre les différents types d'années pour le quota le plus restreignant. Enfin, l'efficacité économique de l'eau s'améliore lorsque la restriction de l'approvisionnement se fait plus sévère : +34% d'efficacité lorsque le quota passe à 250m<sup>3</sup>/dn. Les exploitants valorisent donc mieux l'eau présente par le choix de leurs pratiques, lorsque cette ressource est moins disponible.

#### ***C. Performances sociales***

Lorsque l'approvisionnement en eau est supérieur ou égal à 450m<sup>3</sup>/dn (quota 1 et 2), les rendements du pois chiche, de la lentille et du blé sont améliorés de 26%, de 3% et de 2% par rapport au quota 3. Ces variations de rendement sont rattachées aux choix d'itinéraires techniques de l'EA A. Inversement, l'efficacité alimentaire de l'eau s'améliore de 34% lorsque le quota d'eau baisse à hauteur de 250m<sup>3</sup>/dn, les agriculteurs valorisent alors mieux la ressource.

### **4. Scénario prix de l'eau**

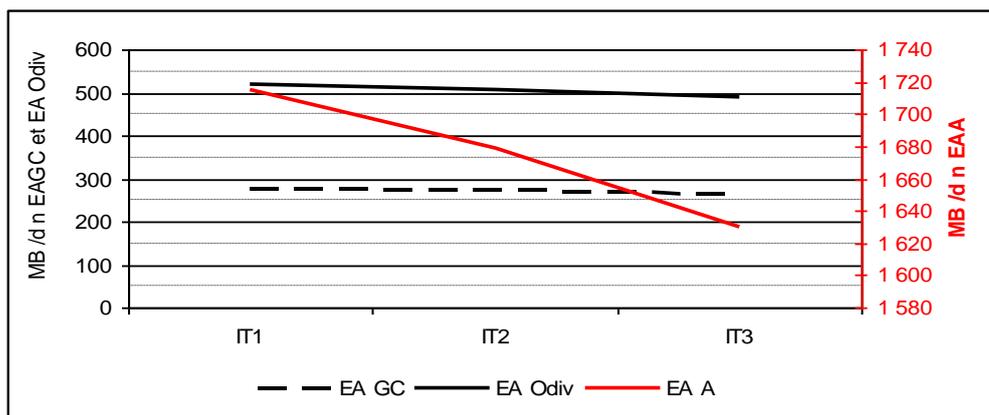
De la même manière que pour le scénario précédent, les assolements sont très rigides face à des modifications du prix de l'eau. En effet, les cultures sont quasiment inchangées pour toutes les exploitations et tous les prix proposés.

Concernant les techniques pratiquées, lorsque le prix de l'eau augmente, les cultures peu sensibles au manque d'eau tendent à passer en sec en priorité : l'olive notamment, dont une partie était irriguée passe en irrigation D0 en année humide, lorsque le prix dépasse 500LL/m<sup>3</sup>. La réduction de l'irrigation des cultures peu sensibles s'observe surtout en années humides.

#### ***A. Performances économiques***

La marge brute est le seul indicateur à connaître une évolution notable entre les différents prix de l'eau (Figure 33) : La marge de l'EA A passe de 36 011\$ à 34 237\$, soit une perte de 4,9% entre les prix 1 et 3. Egalement, la marge de l'EA GC est réduite de 4,9%, passant de 25 055 \$ à 23 830 \$ du prix 1 au prix 3. Enfin, la marge de l'EA Odiv baisse de 6%, passant de 38 049 \$ à 35 742 \$ entre le prix 1 et le prix 3. Ces réductions de marge s'expliquent par l'augmentation du prix de la ressource.

**Figure 33 : Evolution des marges brutes des EA en fonction du prix de l'eau**



### ***B. Performances environnementales***

Les performances environnementales ne connaissent une évolution notable que pour l'eau : pour les EA GC et Odiv, la consommation en eau diminue de 21% lorsque le prix de l'eau atteint 300LL/m<sup>3</sup>. La consommation en eau de l'EA A diminue plus faiblement : -5%. Enfin, l'efficacité économique de l'eau tend à s'améliorer lorsque le prix de l'eau augmente : +6%, +22% et +20% pour les EA A, GC et Odiv.

### ***C. Performances sociales***

L'efficacité alimentaire de l'eau s'améliore lorsque son prix augmente (du prix 1 au prix 3) : +6%, +29% et +25% pour les EA A, GC et Odiv. Le fait que la consommation en eau diminue par unum de culture alimentaire produite s'explique simplement par le fait que les consommations en eau baissent alors que les assolements restent inchangés.

## **5. Scénario innovation : introduction des cultures à promouvoir**

Les assolements optimaux donnés par le modèle (cf. tableau 18) sont caractérisés par une forte part de cultures maraîchères : 100, 70 et 70% des cultures annuelles pour les EA A, GC et Odiv. Cette augmentation se fait au détriment des céréales qui passent de 70% de l'assolement à 0% pour l'EA A et de 90% à 30% de l'assolement pour les EA GC et Odiv, entre le scénario de référence et le scénario innovation.

**Tableau 18 : Assolement des Exploitations**

	EA A.	EA GC.	EA Odiv.
<b>Orge</b>		17,84	8,11
<b>Lentilles</b>		1,96	0,89
<b>Tomate</b>	1,50		
<b>Concombre</b>	0,50		
<b>Aubergine</b>	0,50		
<b>Choux</b>	0,50	6,60	3,00
<b>Pastèque</b>		6,60	3,00
<b>Carotte</b>	0,50	6,60	3,00
<b>Melon</b>	0,50	6,60	3,00
<b>Pomme de terre</b>	0,50	6,60	3,00
<b>Ail</b>		6,60	3,00
<b>Chou-fleur</b>	0,50	6,60	3,00
<b>Pomme</b>	2,00		
<b>Pêche</b>	3,00		
<b>Poire</b>	3,00		2,00
<b>Noix</b>	3,00		1,00
<b>Olive</b>	5,00	24,00	40,00

Concernant les modes d'alimentation hydriques pratiqués, toutes les cultures maraîchères, sont irriguées à l'Etm (D2). Seul le chou, qui d'après la modélisation réalisée à l'aide de CropWat, est peu sensible à une réduction de l'irrigation. Les cultures actuellement en irrigué le restent, alors que les cultures en sec passent pour partie en irrigué : notamment la lentille et l'olive qui deviennent irriguées pour les années climatiques sèches et humides. L'orge reste cependant en régime pluvial car cette culture est insensible à l'absence d'irrigation.

#### **A. Performances économiques**

La marge brute par dunum augmente pour toutes les EA lorsque l'on se place dans le scénario innovation (cf. tableau 19) : +10%, +53% et +19% pour les EA A, GC et Odiv.

**Tableau 19 : Marges brutes des exploitants**

	EA A.	EA GC.	EA Odiv.
Marge brute totale des exploitations	40 748	49 107	48 982
Evolution par rapport au scénario de référence	+10%	+53%	+19%

Cette augmentation du revenu des agriculteurs s'expliquent par les marges importantes dégagées lorsque les agriculteurs s'orientent vers les cultures maraîchères. Notamment, l'EA GC connaît l'augmentation la plus importante car elle dispose d'une surface supérieure aux deux autres.

La part de cultures irriguées augmente pour l'ensemble des EA : de 56 à 93% pour l'EA A, de 0 à 67% pour l'EA GC et de 4 à 74% pour l'EA Odiv.

Enfin, le revenu des exploitants est également plus diversifié car basé sur un plus grand nombre de productions : +1 culture pour l'EAA et + 6 cultures pour les EA GC et Odiv.

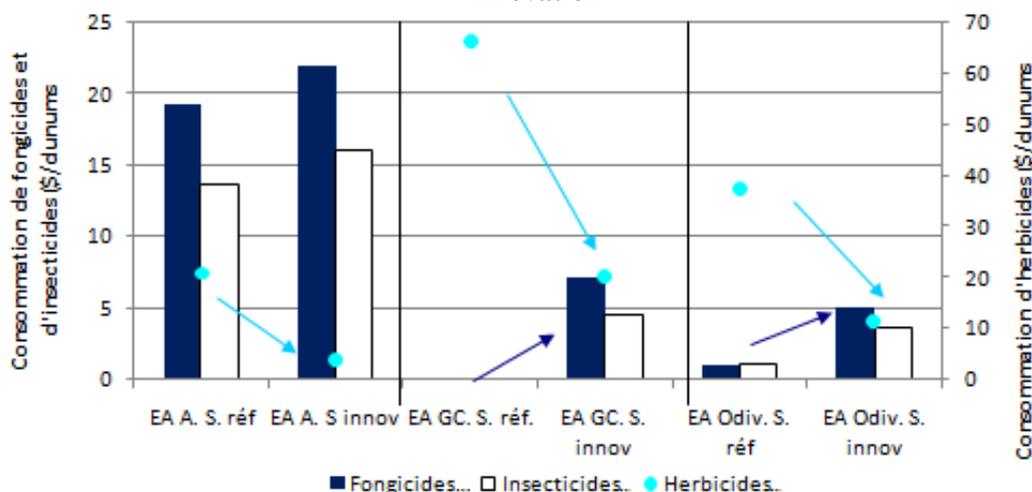
#### **B. Performances environnementales**

La diversité des cultures est très impactée par ce scénario : le nombre de cultures passe de 10 à 11 pour l'EA A, de 4 à 10 pour l'EA GC et de 6 à 12 pour l'EA Odiv.

Concernant la lutte contre l'érosion, le taux de couverture hivernale est pénalisé dans ce scénario. En effet, bien qu'il stagne pour l'EA A, il passe de 100% à 63% pour l'EA GC et de 100 à 79% pour l'EA Odiv, entre la situation actuelle et celle décrite par le scénario innovation.

La figure 35 montre comment l'utilisation des intrants fongicides, insecticides et herbicides évolue depuis la situation actuelle jusqu'au scénario innovation. Il est à noter que l'utilisation d'herbicides (points et flèches bleus clair) est réduite de façon importante pour toutes les EA : -81% pour l'EA A et -69% pour les deux autres. Cependant, les consommations de fongicides et insecticides (représentées par les histogrammes bleu et blanc) augmentent entre les 2 situations pour les 3 exploitations types : +14% en moyenne pour l'EA A, +100% pour l'EA GC et +75% pour l'EA Odiv. Ce constat s'explique par la diminution de la surface emblavée. En effet, les céréales, tels qu'ils ont été décrits dans nos systèmes, consomment beaucoup d'herbicides, la réduction de cette surface implique une réduction des consommations. La hausse des consommations en insecticides et fongicides s'explique quand à elle à l'apparition de cultures maraîchères dans l'assolement, demandeuses en intrants insecticides et fongicides.

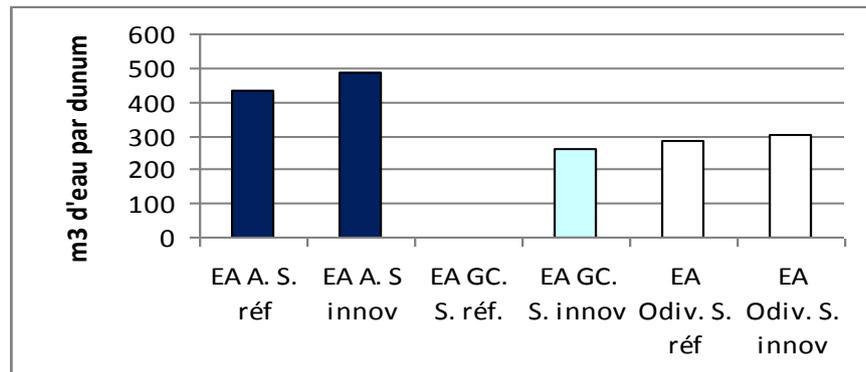
**Figure 34 : Evolution de l'utilisation des intrants entre le scénario politique et le scénario innovation**



La consommation en azote diminue également : -7, -17 et -12% entre les 2 situations, pour respectivement les EA A, GC et Odiv. En effet, les céréales, telles qu'elles sont cultivées dans la zone d'étude consomment beaucoup d'azote. La réduction de leurs surface implique une diminution de la consommation.

La consommation en eau augmente de 11% pour l'EA A, de 4% pour l'EA Odiv et passe de 0m<sup>3</sup>/dn à 244m<sup>3</sup>/dn pour l'EA GC (cf. figure 36). Cette augmentation de la consommation en eau s'explique par la mise en place de cultures maraîchères. L'EA A. est l'exploitation qui voit sa consommation en eau la plus augmenter, du fait des surfaces qu'elle a disponible pour les cultures maraîchères. La consommation de cette dernière reste cependant inférieure au deux autres EA, qui utilisent beaucoup d'eau pour l'arboriculture fruitière.

**Figure 35 : Evolution de la consommation en eau entre le scénario politique et le scénario innovation**

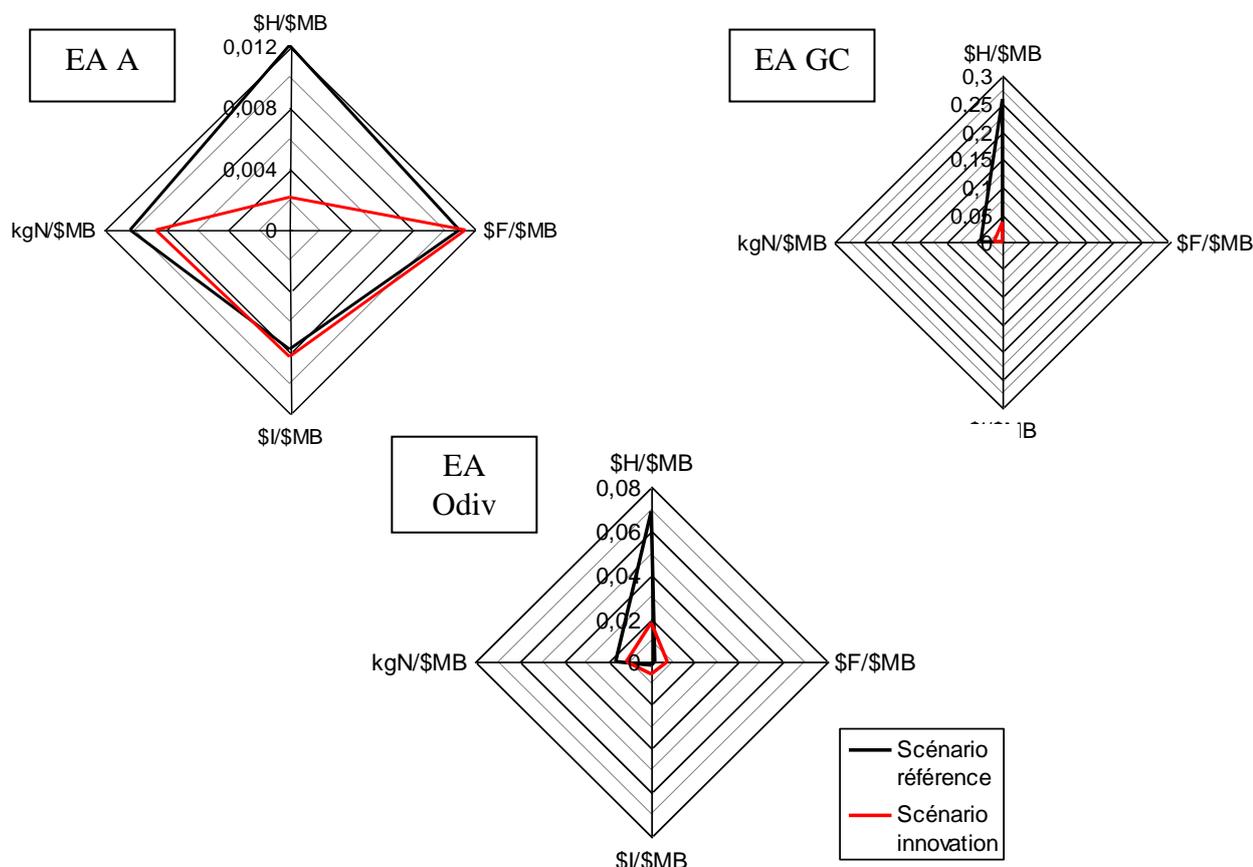


Avec : S.réf est le scénario de référence et S. innov est le scénario innovation

La figure 37 représente l'évolution de l'efficacité d'utilisation des intrants par rapport à la marge brute dégagée, entre le scénario de référence et le scénario politique. Plus la surface décrite par le radar diminue, plus la consommation en intrants par \$ de marge brute produite diminue. Il apparaît que, pour les EA GC et Odiv, l'efficacité d'utilisation des intrants soit meilleure dans le scénario innovation, notamment concernant les herbicides et l'azote (avec la diminution des céréales dans l'assolement). Egalement, pour l'EA A, les efficacités d'utilisation des herbicides et de l'azote s'améliorent entre les deux scénarios : respectivement +83% et + 16% d'efficacité.

Enfin, l'efficacité d'utilisation de l'eau tend à s'améliorer pour l'EA Odiv (+24%) et stagne pour les deux autres EA.

**Figure 36 : Evolution de l'efficace d'utilisation des intrants pour la production de revenu (comparaison entre le scénario politique et le scénario innovation)**



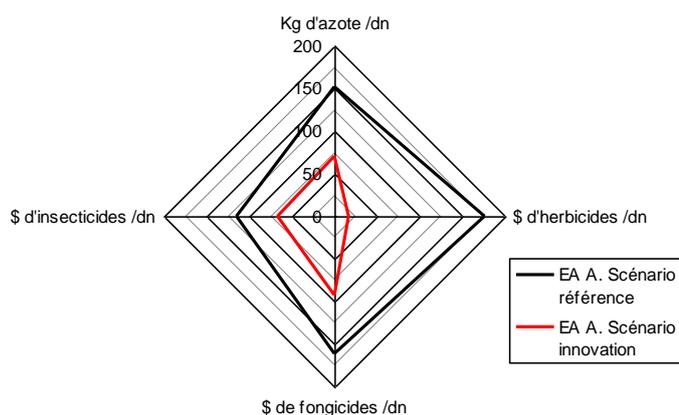
Avec : \$H/\$MB est la valeur des herbicides sur la valeur de la marge brute  
 \$F/\$MB est la valeur des fongicides sur la valeur de la marge brute  
 \$I/\$MB est la valeur des insecticides sur la valeur de la marge brute  
 KgN/\$MB est la quantité d'azote (Kg) sur la valeur de la marge brute

### C. Performances sociales

La SAU de cultures importatrices à vocation alimentaire tend à augmenter entre les deux situations pour les 3 EA : de 12 à 24%, de 37 à 54% et de 21 à 30% pour les EA A, GC et Odiv. Cependant, cette globale amélioration est à relativiser avec la part de blé qui diminue fortement lorsque l'on se place dans le scénario 2 (Cf. Assolements). Or, le blé est une culture à enjeux forts au Liban pour la production de pain, denrée de base.

Pour l'EA A, l'efficace d'utilisation des intrants, pour la production de cultures importatrices à vocation alimentaire s'améliore entre les deux situations (figure 38). Egalement, l'efficace de l'eau passe de 3600 m<sup>3</sup>/dn à 2000m<sup>3</sup>/dn de ces cultures.

**Figure 37 : Efficience de l'utilisation des intrants pour la production de cultures alimentaires (EAA)**



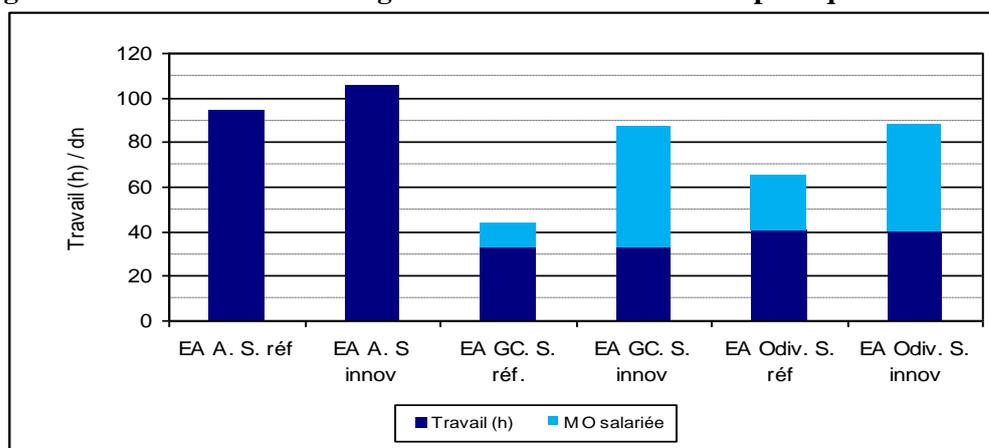
Les résultats observés pour les EAGC et Odiv sont plus nuancés (cf. tableau 20). En effet, les efficacités de l'utilisation d'intrants pour la production de cultures alimentaires se dégradent dans certains cas : l'utilisation d'azote pour l'EA GC et l'utilisation d'insecticide et d'eau pour l'EA GC et Odiv.

**Tableau 20 : Efficience d'utilisation des intrants pour la production de cultures alimentaires (EA GC et EA Odiv)**

	EA GC. Scénario politique	EA GC. Scénario Innovation	EA Odiv. Scénario politique	EA Odiv. Scénario Innovation
<b>Kg d'azote /dn</b>	0	456	1 359	879
<b>\$ d'herbicides /dn</b>	28	16	42	25
<b>\$ de fongicides /dn</b>	181	38	182	39
<b>\$ d'insecticides /dn</b>	0	13	5	17
<b>m3 d'eau /dn</b>	0	8	5	12

Enfin, la charge de travail par dunum (figure 39) augmente globalement pour toutes les exploitations. Il est à noter que les exploitations GC et Odiv ont atteint le maximum de travail possible pour le chef d'exploitation, ainsi chaque surcharge de travail conduit à de l'embauche supplémentaire.

**Figure 38 : Evolution de la charge de travail entre le scénario politique et le scénario innovation**



Avec : S.réf est le scénario de référence et S. innov est le scénario innovation

## **VI. Evaluation de l'impact des politiques et scénarios testés : Tendances générales et conclusions**

Afin de dresser les tendances générales ressortant de cette étude, nous analyseront dans cette Section le tableau de synthèse n°21, présenté ci-dessous.

Selon la modélisation réalisée et sans l'introduction de nouvelles cultures, la mise en place de la politique agricole de l'UNDP et de l'ONL se traduirait par une tendance à un nivellement de la consommation en eau des exploitations : l'EA actuellement en sec (EA GC) augmente sa consommation et les EA en irrigué (EA A et Odiv) les réduisent.

Ces modifications entraînent un nivellement des marges brutes : les exploitations actuellement en sec qui ont des marges brutes plus faibles voient leurs revenus augmenter, inversement pour les exploitations actuellement irriguées.

Nous avons pu constater que la consommation en intrants n'est pas affectée par cette politique. Du fait de ces changements, les efficacités économiques de l'eau et des intrants évoluent :

- amélioration de l'efficacité de l'eau pour les EA en irriguées, qui rationalisent leurs prélèvements,
- détérioration de l'efficacité des intrants des EA irriguées et amélioration pour l'EA en sec.

La production globale de cultures importatrices à vocation alimentaire n'est pas affectée par cette politique, cependant leurs rendements tendent à être améliorés.

Dans le cadre de l'application de cette politique, lorsque la quantité d'eau disponible aux agriculteurs varie, il apparaît que les assolements ne changent que très peu. En effet, les cultures choisies par le modèle sont très peu sensibles au stress hydrique : lorsque l'irrigation augmente fortement, leurs rendements n'augmentent que faiblement. Ainsi, lorsque les agriculteurs disposent d'eau en abondance, ils pratiquent une irrigation « de luxe » n'augmentant pas de beaucoup les rendements. L'indicateur d'efficacité économique de l'eau confirme bien ce constat : il s'améliore lorsque la disponibilité en eau diminue.

La résistance des assolements face au stress hydrique se retrouve particulièrement chez les EA n'irrigués actuellement pas ou peu (EA GC et Odiv), ainsi leurs marges ne sont pas affectées par ces restrictions en eau. Cependant, l'exploitation arboricole voit sa marge décroître de 7,7% lorsque sa consommation en eau baisse fortement (-37%). Il sera nécessaire, dans une prochaine étude, d'évaluer si cette réduction est tolérable pour l'exploitant.

Lorsque le prix de l'eau augmente, le même constat peut être fait : les agriculteurs réduisent leurs consommations de luxe et augmentent ainsi l'efficacité d'utilisation de l'eau. L'incidence sur la perte de marge s'en trouve ainsi amoindrie.

L'introduction de nouvelles cultures, dans le cadre de la mise en œuvre de la politique de l'UNDP et de l'ONL, change quant à elle considérablement les résultats des indicateurs étudiés. En effet, la diversité des cultures, la part des cultures à vocation alimentaire, la quantité de main-d'œuvre nécessaire (donc l'embauche générée) et la marge des exploitants sont améliorées. Également, les consommations en azote et en herbicides sont réduites.

Cependant, la capacité de ce scénario à répondre à la demande en denrées alimentaires actuellement importées doit être relativisée avec la production de blé qui y est réduite. En effet, le blé tendre panifiable constitue une production dont l'enjeu est essentiel au Liban. Il semblerait ici nécessaire d'évaluer l'incidence d'une politique de soutien de ces cultures. Dans ce scénario, la réduction des herbicides et de l'azote est liée à la perte de surface emblavée.

Ce scénario est également plus consommateur en herbicides, en fongicides et en eau. L'assolement proposé comprend également moins de cultures d'hiver, favorables pour la lutte contre l'érosion.

Le phénomène de consommation de luxe, observé pour les scénarios précédents est également réduit. En effet, l'efficacité économique de l'eau stagne ou tend à s'améliorer par rapport à la situation actuelle.

Tableau 21 : Impact des politiques : tendances générales

	Scénario politique	Scénario quotas : baisse des quotas implique	Scénario prix de l'eau : augmentation du prix implique	Scénario innovation : l'introduction de Sdc implique
Nombre de cultures dans la rotation	0	0	0	+
Part de la SAU couverte en hiver	0	0	0	-
Consommation en eau	EA irriguées : -	EA A : -	-	EA A/GC : +
	EA sec : +	EA GC/Odiv : 0		EA Odiv : -
Efficience économique de l'eau	EA irriguées : +	EA A : +	+	EA A/GC : 0
	EA sec : (-)	EA GC/Odiv : 0		EA Odiv : +
Efficience alimentaire de l'eau	EA irriguées : +	EA A : +	+	EA A : +
	EA sec : (-)	EA GC/Odiv : 0		EA GC/Odiv : -
Consommation en Hd	0	0	0	-
Consommation en Fd	0	0	0	+
Consommation en Id	0	0	0	+
Consommation en N	0	0	0	-
Efficience économique des intrants	EA irriguées : -	0	0	Fd et Id : 0/-
	EA sec : 0/+			Hd et N : +
Efficience alim des intrants	0	0	0	EA A : +
				EA GC/Odiv : Hd et Fd : + Id, N : -
Valeur de la marge brute	EA irriguées : -	EA A : -	-	+
	EA sec : +	EA GC/Odiv : 0		
Part de la SAU irriguée	+	0	0	+
Rendement des cultures à vocation alimentaire	0/+	EA A : 0/-	0	
		EA GC/Odiv : 0		
Part des cultures à vocation alimentaire dans l'assolement	0	0	0	+
Quantité de main d'œuvre nécessaire	0	0	0	+

Avec : 0 = absence d'impact ; 0/+ = augmentation modérée ; 0/- = réduction modérée ; Fd = fongicides ; Id = insecticides ; Hd = herbicides ; N = Azote

## Limites de l'étude

Nous avons pu relever différentes limites au travail qui a été effectué, dont la prise en considération s'avère importante lorsque l'on cherche à délimiter la portée d'une telle étude.

Les marges brutes des exploitations types modélisées n'ont pas été validées par les exploitants. Ainsi nous n'avons pas pu réajuster le modèle en fonction de l'appréciation des agriculteurs.

L'erreur n'a pu être calculée sur les valeurs numériques présentées dans ce travail. Ainsi, il est important de n'utiliser les données chiffrées que comme des tendances et non pas des prédictions précises.

Dans ce travail, nous avons fait l'hypothèse que le réseau hydrographique développé dans le cadre du Programme Hydro-agricole, rendrait la ressource disponible toute l'année, sans contrainte de débit. Cette hypothèse se base en effet sur les objectifs du Programme Hydro-agricole (calibration optimale du réseau en fonction des systèmes de cultures qui seront mis en place). Cependant, nous pouvons nous poser la question de l'atteinte de cet objectif avec notamment la survenue de pannes éventuelles en période de pointe.

Les rendements des cultures et les marges brutes des exploitants ne sont dépendants que de l'alimentation hydrique des plantes. L'utilisation de CropWat nous a induit à ne pas prendre en compte les impacts liés à la fertilisation et à la pression parasitaire.

Une partie des données de calibration ont été collectées grâce à des évaluations d'experts, cela par manque de données de recherches. Cette approche génère également une imprécision sur la modélisation.

Dans ce travail, et du fait du caractère non dynamique du modèle, nous n'avons pas remis en question les surfaces de cultures pérennes et notamment d'olive.

L'analyse de l'impact de la politique sur la couverture hivernale des sols et l'érosion a été faite sur les surfaces déjà en cultures, or l'enjeu majeur concernant la réduction de l'érosion est relatif aux surfaces non cultivées qui ont subi une déforestation dans le passé. Un travail important reste à faire sur la valorisation agricole de ces terres et/ou leur reforestation.

Ces surfaces pourront également accroître la SAU des exploitations et ainsi modifier les tendances dégagées ici.

Les limites de ce travail reposent également sur le fait que certains enjeux, qui ont un impact non négligeable sur l'évolution des systèmes de cultures, n'ont pas été traités et engendrant des incertitudes :

- la taille des exploitations étant fixe, cette étude n'a pas considéré l'échange de terres possible via l'achat et la location. Ce transfert de foncier devrait également être impacté par l'arrivée d'eau, le prix des terres (vente et location) devenues irrigables va en effet augmenter.
- la possibilité d'agrandissement des exploitations, impactant les coûts de production.
- l'arrivée possible d'investisseurs lorsque les terres seront irrigables et souhaitant racheter des terres et développer des exploitations de grande taille.
- la professionnalisation des exploitants et l'acquisition de capital d'exploitation (influant les coûts de production)
- l'impact de l'interdiction des captages privés sur les exploitations professionnelles et non professionnelles et sur la ressource souterraine.

Enfin, dans ce travail, nous n'avons pas pris en compte la dimension institutionnelle, impactant fortement la production agricole dans un contexte social et politique tel que celui du Liban.

## Conclusions générales et perspectives

Dans un contexte où l'agriculture est essentiellement menée en régime pluvial, le projet hydro-agricole Sud Liban permettra de mobiliser une ressource hydrique encore très peu exploitée malgré sa relative abondance pour la région. Ce projet, impliquant l'UNDP et l'ONL, visera à améliorer la valorisation de la ressource hydrique en la rendant disponible aux agriculteurs, via le Canal 800. La mise à disposition de cette nouvelle ressource se fera en quantité et à un prix définis. Conjointement à cette nouvelle politique, l'UNDP et l'ONL affichent leur souhait d'inciter les agriculteurs professionnels à axer leur irrigation sur cette ressource et de les conduire, à terme, à arrêter les prélèvements souterrains. Ces derniers se font actuellement via des pompes privés, non maîtrisés et non coordonnés, induisant une surexploitation de la ressource souterraine. Dans ce cadre et afin de structurer les prélèvements et la production, la professionnalisation de l'agriculture est l'un des enjeux se situant au cœur de la politique mise en œuvre.

Dans le cadre de cette étude, nous avons étudié l'impact de la création de cette ressource et de cet accompagnement politique sur les changements induits dans les systèmes de cultures. Cette réflexion a été faite avant même la mise en place de ces changements. La modélisation des exploitations, alors qualifiée de « ex-ante » a été l'outil permettant de se projeter dans cette situation future, via l'élaboration de premiers scénarios prédictifs. L'évaluation des impacts de ces modifications, sur des dimensions environnementales, économiques et sociales a été au centre de ce travail. Il s'agit en effet d'analyser de façon intégrée, les implications qu'aura une telle politique sur les systèmes agricoles et leur environnement naturel et humain en général.

Dans ce cadre, notre étude s'est attachée à identifier et à caractériser :

- les systèmes de cultures actuellement en place dans la zone concernée par le projet hydro-agricole,
- les systèmes de cultures à promouvoir dans le cadre d'une augmentation de l'approvisionnement en eau.

Au travers d'un premier modèle agro-climatique, nous avons pu modéliser l'impact de plusieurs régimes hydriques, étudiés lors de différentes années climatiques et pour différents types de sols, sur les rendements. L'obtention de ces variations de rendements, couplées aux données de coûts et techniques de production collectées pour les systèmes de cultures étudiés, nous a conduits à écrire un modèle de programmation linéaire retraçant la prise de décision des agriculteurs concernant leurs choix d'assolements. Grâce aux données quantitatives recueillies, concernant les impacts environnementaux, économiques et sociaux des systèmes de cultures, les outputs du modèle nous ont fourni une information chiffrée quant aux implications de ces choix. Nous avons enfin pu intégrer les changements qui vont être mis en place par l'UNDP et l'ONL dans le modèle, afin d'étudier leurs impacts sur les choix des agriculteurs et ainsi, sur les 3 dimensions considérées.

Le travail réalisé met en évidence l'importance de l'accompagnement technique des agriculteurs pour la mise en place de nouvelles productions agricoles. En effet, la politique actuelle de l'UNDP et de l'ONL, si elle est appliquée sans remise en question fondamentale des systèmes de cultures, n'aurait que peu d'impacts sur la production de cultures essentielles à la souveraineté alimentaire, sur leurs rendements ainsi que sur la réduction des intrants utilisés.

Cette politique permettrait d'améliorer le revenu des exploitants n'irrigant actuellement pas mais de réduire celui des irrigants actuels. De plus, les systèmes de cultures actuels des exploitants en sec étant bien adaptés aux contraintes climatiques, l'accroissement de l'approvisionnement en eau conduit à améliorer les revenus par le biais d'une irrigation de complément, peu efficiente.

Cependant, il est à noter que l'introduction de cette politique sur les systèmes de cultures actuels peut augmenter les rendements en diminuant le risque climatique et en préservant les systèmes de cultures en place.

La politique qui va être mise en œuvre devra donc s'accompagner d'une refonte des systèmes de cultures en introduisant de nouvelles productions (maraîchères notamment) et en incitant au développement de cultures encore très peu répandues.

Dans ce cadre, il sera nécessaire de mener un accompagnement technique portant sur le raisonnement de l'irrigation et des intrants. Nous avons effectivement pu voir que l'introduction de ces nouvelles cultures impliquerait une augmentation importante des consommations en eau et en intrants (insecticides et fongicides), sur lesquelles un travail technique de vulgarisation devra être mené.

La promotion de nouvelles cultures, choisies en fonction des besoins alimentaires locaux, permettra de réduire les importations en accroissant la souveraineté alimentaire du pays. Cependant, nous avons mis en évidence que cette diversification devrait se faire au détriment de la production de blé panifiable, aliment de base au Liban. Une politique de soutien du blé, dont l'impact pourra être évalué dans un prochain travail, devra être mise en place pour répondre à ce nouvel enjeu.

Le remaniement des systèmes de cultures, cherchant à optimiser le revenu des exploitants, permettra d'augmenter les marges brutes de façon importante, tout en créant de l'emploi local et en augmentant le capital des exploitations concernant le matériel d'irrigation.

Cette restructuration devra nécessairement s'accompagner d'une réorganisation de la filière, donnant aux exploitants plus de visibilité sur les besoins locaux, nationaux et sur les débouchés de leurs productions.

De plus, il ressort que la promotion de nouveaux systèmes de cultures implique une plus grande variabilité des rendements et du revenu de l'agriculteur lorsque la pluviométrie fluctue. Cela engendre une meilleure valorisation de l'eau disponible mais conduit également à rendre la production agricole plus dépendante du réseau d'approvisionnement en eau. Dans cette perspective, il apparaît important d'évaluer l'impact de la mise en place de quotas d'eau sur les systèmes agricoles tels que considérés dans le scénario « Innovation ». Une telle analyse devra être faite dans une prochaine étude complémentaire.

La place de l'oléiculture au Sud Liban devra enfin être réévaluée. En effet, l'approvisionnement en eau concerne également des surfaces actuellement en oléiculture. Or, cette production étant peu sensible au stress hydrique, son irrigation n'impliquera qu'une augmentation restreinte de la productivité et donc une utilisation de l'eau peu efficace. Ainsi, les surfaces cultivables étant limitées, l'augmentation de la production de cultures importatrices à enjeu alimentaire devra se faire au détriment de l'olive. En ce sens, la conversion des vergers d'olivier mais également l'association agroforestière olive/culture annuelle seront des pistes à étudier, vers lesquelles l'ONL juge qu'il serait important de se tourner. Le présent document n'a pas traité cette question qui reste encore fondamentale pour l'avenir de l'agriculture dans cette zone et qui devra faire l'objet d'une réflexion future impliquant une analyse intégrée et participative.

## **Généricité du modèle : perspectives d'exportation de l'outil**

Le travail de modélisation et d'évaluation intégrée que nous avons réalisé est le premier de ce genre au Liban. Aussi, la question de sa généralité dans le pays se pose comme un challenge important pour le reproduire dans d'autres systèmes.

La zone d'étude, du fait de sa situation géographique et politique, est marquée par une instabilité forte et une incertitude importante concernant l'investissement à moyen et long terme (cf. Chapitre I. Section II). Ainsi, l'investissement et notamment la possibilité d'achat de terres que nous n'avons pas pris en compte dans ce modèle, pourrait apparaître comme essentielle dans un autre contexte.

Certaines contraintes des exploitations que nous avons prises en compte sont très spécifiques à cette zone frontalière : la disponibilité de main-d'œuvre n'est ici pas limitante du fait de la proximité avec la Syrie. En se plaçant au sein d'une autre zone géographique autre (moins frontalière), il semblerait nécessaire de réévaluer la capacité de la main-d'œuvre provenant de la Syrie à répondre aux besoins dans des temps

voulus. Cette contrainte pourrait également être impactée dans un contexte politique engendrant une fermeture des frontières avec la Syrie.

Les systèmes de cultures étudiés ont été retenus car ils peuvent potentiellement bien s'adapter à la zone, le transfert de cette étude vers d'autres contextes pédo-climatiques et topographiques devra donc passer par la réévaluation des systèmes de cultures à étudier.

Comme nous l'avons abordé en Chapitre II. Section II.1., les itinéraires techniques ont été obtenus via une enquête menée sur la zone d'étude. Les pratiques des agriculteurs étant très variables entre les zones (communication personnelle) au Liban, il sera nécessaire de refaire ce travail d'enquête. Il en est de même pour les caractéristiques phénologiques et physiologiques des cultures considérées qui sont rattachées au contexte pédo-climatique et topographique de la zone d'étude : durée des stades culturaux, profondeur racinaire, réponse des rendements des cultures au stress hydrique...

L'hypothèse concernant le débit suffisant et l'approvisionnement constant dans l'année que nous avons formulée ici, se base sur les objectifs du Programme Hydro-agricole. L'exportation de cet outil vers d'autres systèmes et d'autres contextes politiques devra prendre en compte le risque de pannes et de débit insuffisant en période de pointe sur le choix des systèmes de cultures.

Les contraintes climatiques sont ici rattachées à la zone d'étude, notamment nous avons exclu le risque de gel et de grêle auxquels certaines zones de montagne au Nord du Liban peuvent être exposées. Ce risque sera donc à réévaluer en fonction d'autres zones.

# Bibliographie

- Alcamo J. (2001).** *Scenarios as tools for international environmental assessments*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. 31 p. (European Environment Agency: Environmental issue report, n°24).
- Alcamo J. (2009).** The SAS approach: Combining qualitative and quantitative knowledge in environmental scenarios. In Alcamo J. (ed): *Environmental futures: The practice of environmental scenario analysis*. Amsterdam: Elsevier. p. 123-150.
- Alkan Olsson J., Bockstaller C. (2008).** Indicators assessing the sustainability of new agricultural and environmental policies [CDRom]. In *Integrated assessment of agriculture and sustainable development*. Wageningen: Université de Wageningen. 36 diapos.
- Alkan Olsson J., Bockstaller C., Stapleton L.M. (2009).** A goal oriented indicator framework to support integrated assessment of new policies for agri-environmental systems. In Briden J. (ed). *Environmental science and policy*. Amsterdam : Elsevier. p.562 – 572.
- Amer K. H. (2011).** Effect of irrigation method and quantity on squash yield and quality. *Agricultural and Water Management*, vol. 98, n° 8, p. 1197-1206.
- Belhouchette H., Therond O., Adenauer M. and al. (2007).** *Documentation of baseline and policy scenarios to be assessed with Prototypes 2 and 3*. System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society (SEAMLESS). p. 1-34. Document disponible à l'adresse suivante : [http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/57787/2/Report\\_33\\_D6.2.3.3.pdf](http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/57787/2/Report_33_D6.2.3.3.pdf) .
- Bergez J.E., Kuiper M., Théron O. and al. (2010).** Evaluating integrated assessment tools for policy support. In Brouwer F.L., Van Ittersum M. (ed). *Environmental and agricultural modelling: integrated approaches for policy impact assessment*. La Hague: Springer. p. 237-256.
- Bockstaller C., Galan M.B., Capitaine M. (2008).** Comment évaluer la durabilité des systèmes en production végétale ? 15 p. [consulté en avril 2011]. <http://agronomie.free.fr/colloque/Exposcolloque/07ColloqExpo7BockstallerGalan.pdf>
- Chambre de l'agriculture de l'Aisne (2011).** *Modélisation de la RU à partir de la texture* : [Consulté en juillet 2011]. [http://www.agri02.com/ Documents/Outil/ru\\_calcul.htm](http://www.agri02.com/ Documents/Outil/ru_calcul.htm)
- Chenoune R. (2011).** Quelle approche pour représenter et évaluer la diversité agricole à l'échelle de l'exploitation et de la région ? Master of Science : Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier. 59 p.
- Döll P., Petschel-Held G., Leemans R. (2002).** *Scale issues in scenario development*. Draft to be published in proceedings of International Workshop Scenarios of the Future: the Future of Scenarios. Center for Environmental Systems Research, University of Kassel (Germany), July 2002. 16 p.
- Ewert F. (2008).** The theory : Complex systems, sustainable development and integrated assessment [CDRom]. In *Integrated assessment of agriculture and sustainable development*. Wageningen: Université de Wageningen. 32 diapos.

- Ewert F., Van Ittersum M.K., Bezlepina I. (2009).** A methodology for enhanced flexibility of integrated assessment in agriculture. In Briden J. (ed). *Environmental science and policy*. Amsterdam : Elsevier. p. 546-561.
- Ewert F. (2004).** *Modelling changes in global regionalized food production systems under changing climate and consequences for food security and environment*. Wageningen University. 53 p. (Research Report).
- FAO (1998).** *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome : FAO (FAO Irrigation and drainage, Paper n° 56).
- FAO (1979).** *Yield response to water*. Rome : FAO (FAO Irrigation and drainage, Paper n° 33)
- Flörke M., Alcamo J. (2004).** *European outlook on water use : Final report*. Kassel (Germany): Centre for Environmental Systems Research. 86 p.
- Ghahraman B., Sepaskhah A. R. (1997).** Use of a water deficit sensitivity index for partial irrigation scheduling of wheat and barley. *Irrigation Science*, vol. 18, n° 1, p.11-16.
- Harris G. (2002).** Integrated assessment and modelling: an essential way of doing science. *Environmental modelling and software*, vol. 17, n° 3, p. 201-207.
- Janssen S. (2008).** Pre-modelling: Scenarios and shared design [CDRom]. In *Integrated assessment of agriculture and sustainable development*. Wageningen: Université de Wageningen. 29 diapos.
- Janssen S. Van Ittersum M.K. (2007).** Assessing farm innovation and responses to policies: A review of bio-economic farm models. *Agricultural Systems*, vol. 94, n° 3, p.622-636.
- Karaa K., Nassif M.H., Bahsoun M. (2011).** Hydro agricultural project for Marjeyoun Area. General situation of agriculture in the project area: farmer's perception toward the project and water users association. UNDP, Office national du Litani, Association of Friends of Ibrahim Abdel. Document disponible à l'UNDP Country Office of Lebanon. 28 p.
- Karaa K. (2007).** *Hydro agricultural development project for South Lebanon (Canal 800). Preparation works for irrigation network implementation in Marjeyoun North perimeter*. Beirut: Office National du Litani. 7 p.
- Laney T., Coles M., Grollman P. and al. (2004).** *Trousse d'outils pour la construction de scénarios*. Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes. 88 p.
- Lipinski V.M. Gaviola S. (2010).** Optimizing water use efficiency on violet and white garlic types through regulated deficit irrigation. *ISHS Acta Horticulturae*, n° 889, p. 459-468.
- Louhichi K., Janssen S., Kanellopoulos A. and al. (2010).** A generic farming system simulator. In Brouwer F.L., Van Ittersum M. (ed). *Environmental and agricultural modelling: Integrated approaches for policy impact assessment*. La Hague: Springer. p. 109-132.
- Ministère de l'Agriculture (Liban).** Atlas agricole du Liban. [Consulté en mai 2011]. [http://www.agriculture.gov.lb/ATLAS\\_%20AGRICOLE/atlas.html](http://www.agriculture.gov.lb/ATLAS_%20AGRICOLE/atlas.html)

- Ministry of Agriculture (Lebanon). (2009).** *Strategy advancement of the agricultural sector : Program of action 2010-2014*. Document disponible au Ministère de l'Agriculture, Beyrouth. 43 p.
- Rakotomalala R. (2005).** TANAGRA : un logiciel gratuit pour l'enseignement et la recherche. In : *Actes de EGC'2005, RNTI-E-3*, vol. 2, p. 697-702.
- Republic of Lebanon, Council for Development and Reconstruction, Dar Al-Handasah consultants. (2001).** Hydro agricultural development of South Lebanon. Irrigation and water supply. Scheme conveyor 800: Part II Update of technical report, Volume 1 Main report. Document disponible à l'UNDP, Beyrouth. 169 p.
- Rotmans J. (1998).** Methods for IA: the challenges and opportunities ahead. *Environmental Modelling and Assessment*, n° 3, p. 155–179.
- Senyigit U., Kadayifci A., Ozge Ozdemir F. and al. (2011).** Effects of different irrigation programs on yield and quality parameters of eggplant (*Solanum melongena* L.) under greenhouse conditions. *African Journal of Biotechnology*, vol. 10, n° 34, p. 6497-6503.
- Thérond O. Taverne M., Wery J. and al. (2007).** *Proposals from WP6 for revision of SEAMLESS-IF procedure in Prototype 2. Deliverable n° D6.5.4.2. System for Environmental and Agricultural Modelling; Linking European Science and Society (SEAMLESS)*. Wageningen: Université de Wageningen. 58 p.
- Thérond O., Belhouchette H., Janssen S. (2009).** Methodology to translate policy assessment problems into scenarios: the example of the SEAMLESS integrated framework. In: Briden J. (ed). *Environmental science and policy*. Amsterdam: Elsevier. p. 619-630.
- Thoth F.L., Hizsnyik E. (1998).** Integrated environmental assessment methods: Evolution and applications. *Environmental Modelling and Assessment*, n° 3, p.193–207.
- Thoth F.L. (2003).** State of the art and future challenges for integrated environmental assessment. *Integrated assessment*, vol. 4, n° 4, p. 250-264.
- Tüzel H.Y., Tüzel Y., Öztekin G.B. (2009).** Response of cucumber to deficit irrigation. *ISHS Acta Horticulturae*, n°807.
- UNDP (2009).** *Hydro agricultural development for Marjeyoun Area: Land use/Cover report*. Beirut: UNDP Country Office. Document disponible à l'UNDP Country Office of Lebanon. 15 p.
- UNDP (2009).** *Project document: Hydro agricultural development for Marjeyoun area*. Beirut : UNDP Country Office. Document disponible à l'UNDP Country Office of Lebanon. 20 p.
- Van Ittersum M., Ewert F., Alkan Olsson J. and al. (2006).** *Integrated assessment of agricultural and environmental policies: toward a computerized framework for the EU (SEAMLESS-IF)*. 6 p. [consulté en avril 2011]. [http://www.iemss.org/iemss2006/papers/s10/280\\_vanIttersum\\_1.pdf](http://www.iemss.org/iemss2006/papers/s10/280_vanIttersum_1.pdf)
- Van Notten P.W.F., Rotmans J., Van Asselt M.B.A. and al. (2003).** An updated scenario typology. *Futures*, n° 35, p. 423– 443.



# Annexes

**Annexe 1 :**

Analyse de synthèse de l'enquête « Systèmes d'exploitations agricoles » : Etat des lieux de l'agriculture dans la zone de Marjeyoun

**Annexe 2 :**

Goal Oriented Framework

**Annexe 3 :**

Fiches descriptives des indicateurs de mesures

**Annexe 4 :**

Liste des Cultures menées en régime pluvial et irrigué dans la zone d'étude

**Annexe 5 :**

Liste des coefficients culturaux (Kc)

**Annexe 6 :**

Liste des dates de début de cycle et des durées de chaque stade cultural

**Annexe 7 :**

Liste des profondeurs maximales d'enracinement, des fractions d'épuisement maximums en eau du sol et des hauteurs de culture à mi-saison

**Annexe 8 :**

Liste des coefficients de sensibilité au déficit hydrique (Ky)

**Annexe 9 :**

Liste des Cultures importatrices à vocation alimentaire

## **Annexe 1**

### **Rapport intermédiaire :**

### **Analyse de synthèse de l'enquête « Systèmes d'exploitations agricoles » : Etat des lieux de l'agriculture dans la zone de Marjeyoun**

*Sur la base du travail réalisé par Kamal Karaa- Marie-Helene Nassif – Mouhammad +Bahsoun*

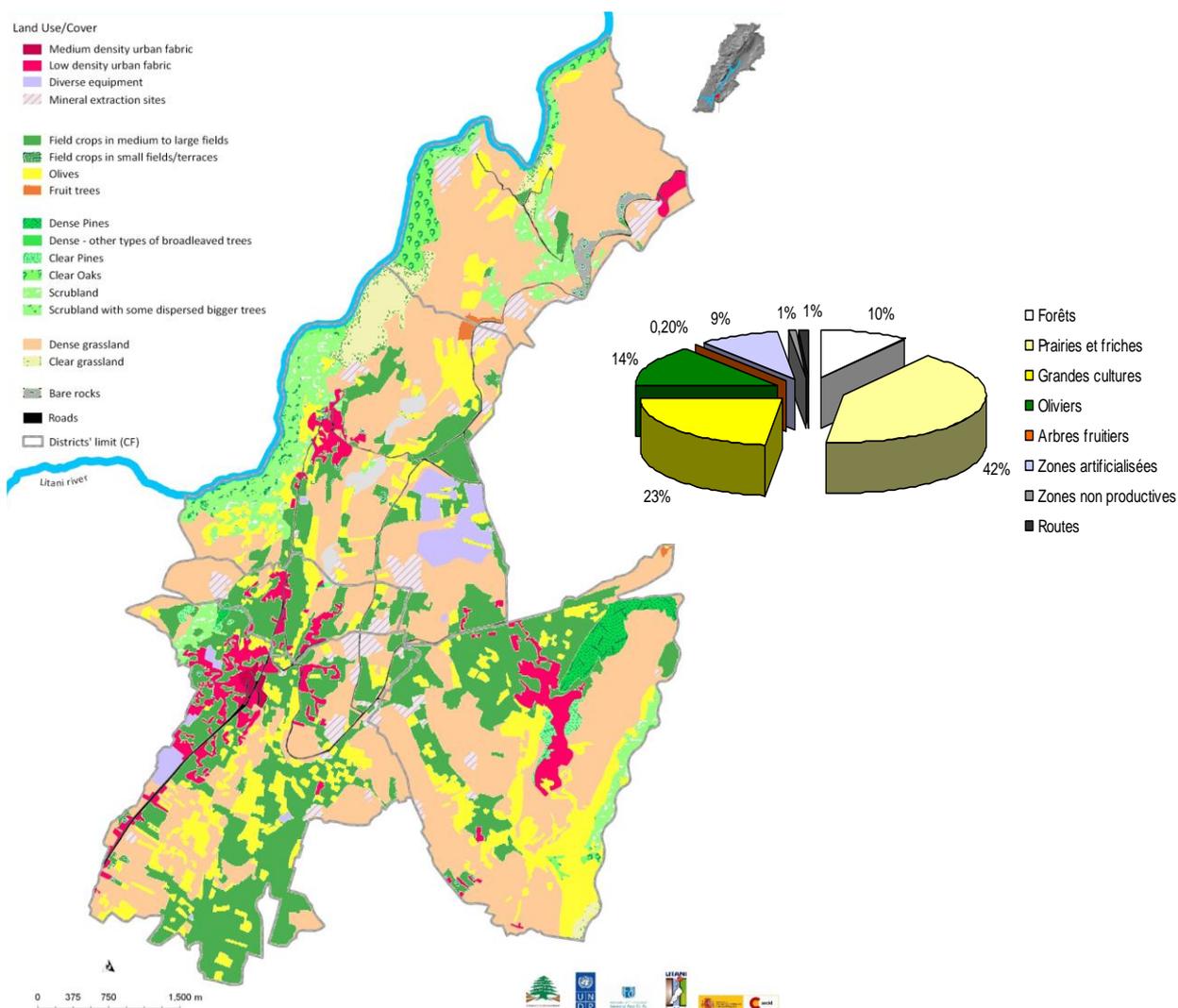
### **Plan**

1. Occupation du sol et surface agricole utile
2. Répartition des cultures en sec et irriguées
3. Taille des exploitations
4. Pluriactivité des agriculteurs
5. Orientations technico-économiques d'exploitation (Otex)
6. SAU irriguée
7. Ressources hydriques
8. Modes de faire valoir

# 1. Occupation du sol et surface agricole utile

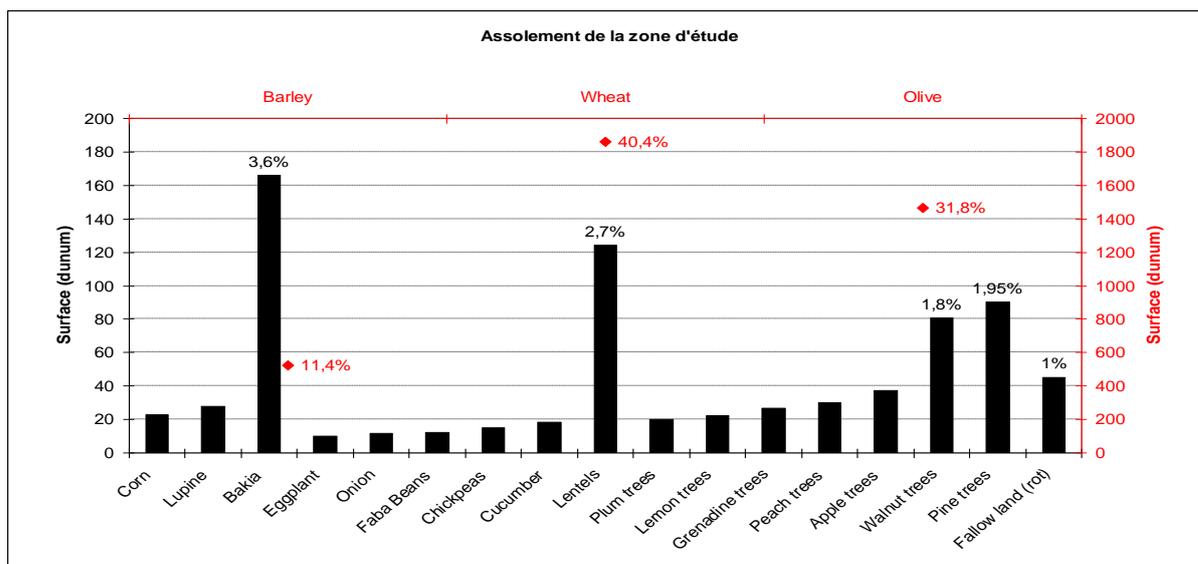
Selon le rapport « Land Use Cover » réalisé par le PNUD (2009), les terres cultivées et les prairies occupent 79% de la surface totale, dont 42% sont en prairie et/ou friche, 23% correspondent à des grandes cultures majoritairement en sec, 14% à des oliviers et 0,2% sont des fruitiers (irrigués). La figure 1 s'attache à décrire l'occupation des sols de la région, notamment pour l'agriculture. Il ressort ici que la non exploitation de certaines terres et notamment la mise en friche soit un fait important dans la région de Marjeyoun.

**Figure 1 : Utilisation du sol de la région de Marjeyoun (PNUD, 2009)**



La figure 2 décrit l'assolement de la zone de Marjeyoun, selon l'enquête menée dans le cadre du Projet Hydro-agricole de la zone de Marjeyoun (K. Karaa, MH. Nassif, M Bahsoun, 2011). Les deux axes des ordonnées représentent les surfaces des différentes cultures (en dunum), l'axe des ordonnées de gauche (noir) correspond au diagramme en bâton et celui de droite (rouge) correspond aux points. Un facteur 10 différencie ces deux axes. Les points rouges correspondent à l'axe des ordonnées supérieur (rouge : orge, blé, olive). Il ressort que l'orge, le blé et l'olive sont les cultures les plus présentes sur la zone (83,5% de la sole agricole soumise à l'enquête). Les fabacées telles que l'alfalfa et les lentilles suivent loin derrière en occupant 6,3% de la sole.

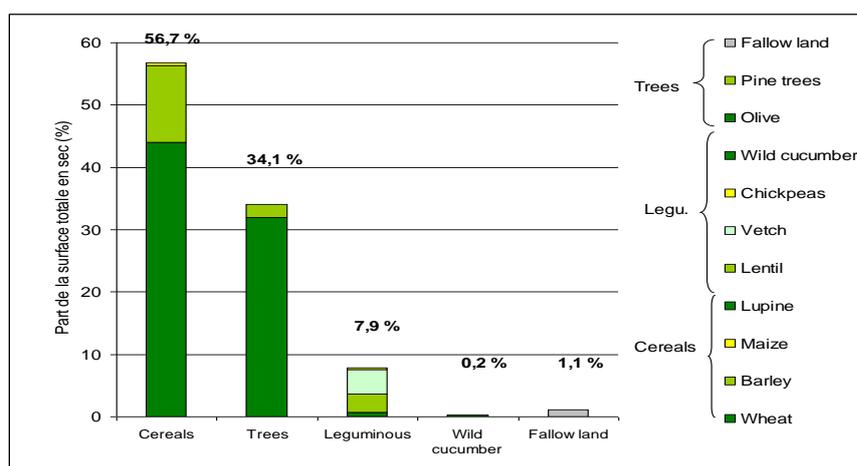
**Figure 2 : Assolement de la zone de Marjeyoun**



## 2. Répartition des cultures en sec et irriguées

La figure 3 s'attache à décrire la ventilation des différentes cultures dans la sole menée en régime pluvial de la zone d'étude. Les céréales constituent les cultures prépondérantes dans la SAU en sec (cf. tableau 1) : 57%, avec majoritairement du blé (44% de la SAU en sec). Les oliviers viennent en deuxième position et occupent 32% de la surface en sec.

**Figure 3 : Répartition des cultures en sec**



**Tableau 1 : SAU des différentes cultures pluviales**

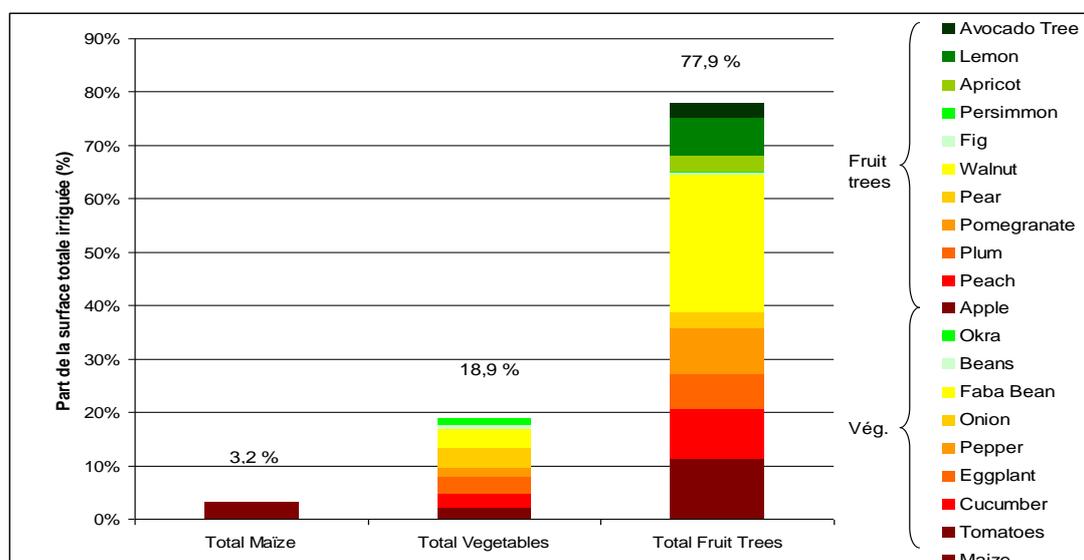
	SAU en Dunums	% de la surface en sec
Blé	1910,42	44 %
Orge	538,43	12,4 %
Maïs	13,42	0,31 %
<b>Céréales</b>	<b>2462,27</b>	<b>56,71 %</b>
<b>Olive</b>	<b>1388,61</b>	<b>31,98 %</b>
Pin	91,6	2,11 %
Lupin	28,9	0,67 %
Lentille	127,55	2,94 %
Vesce	170,83	3,93 %
Pois chiche	15,48	0,36 %
<b>Légumineuses</b>	<b>342,76</b>	<b>7,9 %</b>
Concombre sauvage	10,32	0,24 %
<b>Jachères</b>	<b>46,44</b>	<b>1,07 %</b>
<b>TOTAL</b>	<b>4342</b>	<b>100 %</b>

L'étude de la répartition des cultures irriguées (cf. tableau 2 et figure 4) montre que 56% de la sole est détenue par des cultures fruitières, avec majoritairement, la culture de noyers (19% de la SAU irriguée). Les oliviers occupent également une part importante de la sole irriguée : 24%. Tandis que les cultures maraîchères irriguées représentent une part de la surface relativement faible (une étude de l'importance économique et sociale de cette culture, par rapport aux autres cultures devra être faite pour étudier le poids réel de cette culture dans la région).

**Tableau 2 : SAU des différentes cultures irriguées**

	SAU en Dunums	% SAU irriguée
<b>Maïs</b>	<b>10</b>	<b>3,20%</b>
Tomate	6,38	2,04%
Concombre	8,38	2,69%
Aubergine	9,88	3,17%
Poivron	4,88	1,56%
Oignon	11,5	3,69%
Fève	12	3,85%
Haricot	2	0,64%
Okra	4	1,28%
<b>Légumes</b>	<b>59,02</b>	<b>18,92%</b>
Pomme	35,2	11,28%
Pêche	29	9,29%
Prune	20,2	6,47%
Grenade	27	8,65%
Poire	9	2,88%
Noix	80,7	25,86%
Figue	1,5	0,48%
Persimmon	0,7	0,22%
Abricot	8,7	2,79%
Citron	22,5	7,21%
Avocat	8,5	2,72%
<b>Fruitiers</b>	<b>243</b>	<b>77,88%</b>
<b>TOTAL</b>	<b>312,02</b>	<b>100,00%</b>

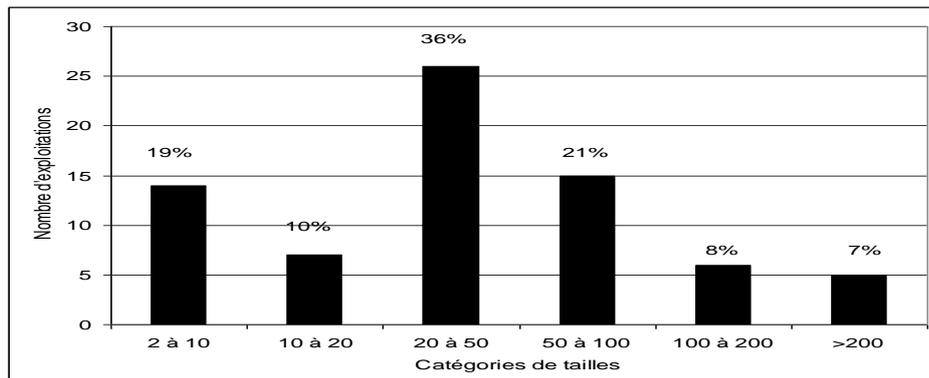
**Figure 4 : Répartition des cultures irriguées**



### 3. Taille des exploitations

La zone de Marjeyoun est caractérisée par des exploitations d'une taille moyenne de 63 dunums avec des écarts de taille très importants entre exploitations et des niveaux de professionnalisation très différents : SAU allant de 3 à 375 dunums. La figure 5 expose la répartition du nombre d'exploitations par classe de taille. Cette répartition suit une courbe gaussienne avec un pic se situant à la médiane : catégorie de 20 à 50 dunums. Il est cependant notable que les tailles inférieures à 50 dunums représentent 65% du nombre d'exploitations et représentent 21% de la SAU totale.

Figure 5 : Répartition des tailles d'exploitations

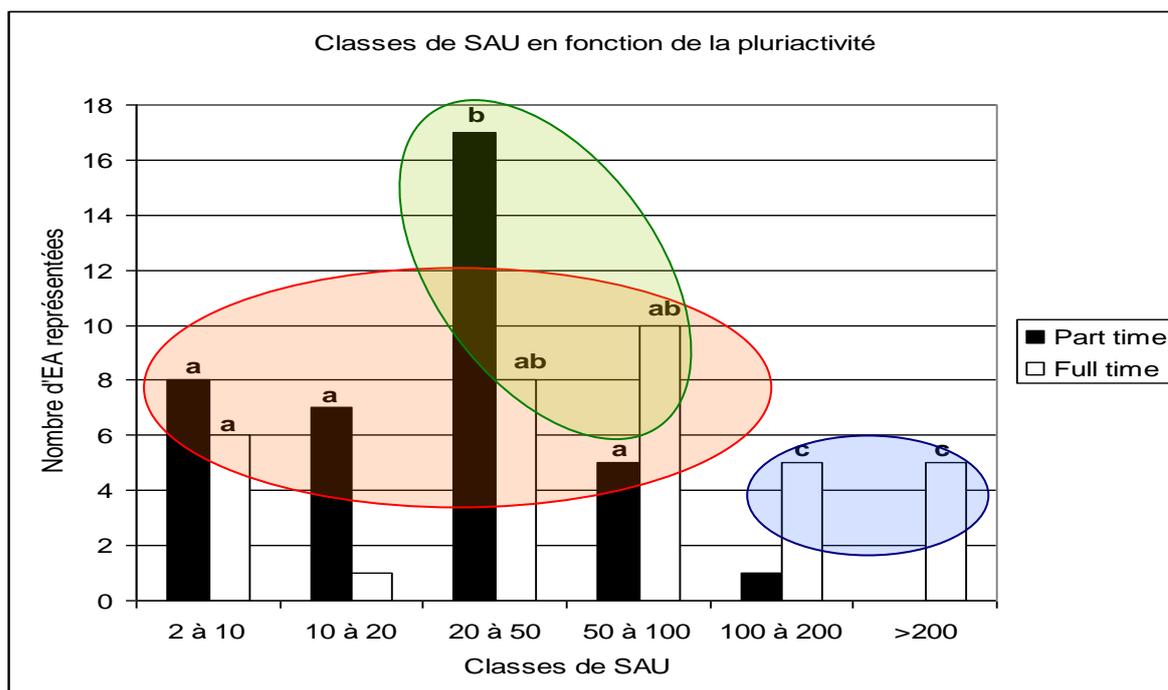


#### A. Taille et pluriactivité du Chef d'exploitation

La figure 6 met en avant le niveau de pluriactivité du chef d'exploitation (CE) en fonction des différentes tailles d'exploitation. Il ressort que trois groupes statistiquement homogènes peuvent être dégagés :

- Un groupe c (bleu), composé d'exploitations de taille supérieure à 100 dunums et comprenant significativement plus d'agriculteurs à temps complet qu'à temps partiel.
- Un groupe b (vert) représenté par les deux pics des courbes gaussiennes tracées par les nombres d'EA à temps complet et partiel. Ainsi, bien qu'il n'y ait pas de différences significatives concernant l'emplacement de ces pics sur l'axe des abscisses, il apparaît que les temps complets se situent plus du côté des exploitations de 50 à 100 dunums alors que les temps partiels sont plus du côté des EA de 20 à 50 dunums. Cette observation est justifiée par la différence significative existant entre les temps partiels de 20-50 dunums et de 50-100 dunums.
- Un groupe a (rouge) comprenant toutes les exploitations de 2 à 100 dunums mais dont les EA temps partiels se dégagent pour la classe 20-50 dunums et dont les EA temps complets tendent à se démarquer, notamment pour la classe 50-100 dunums.

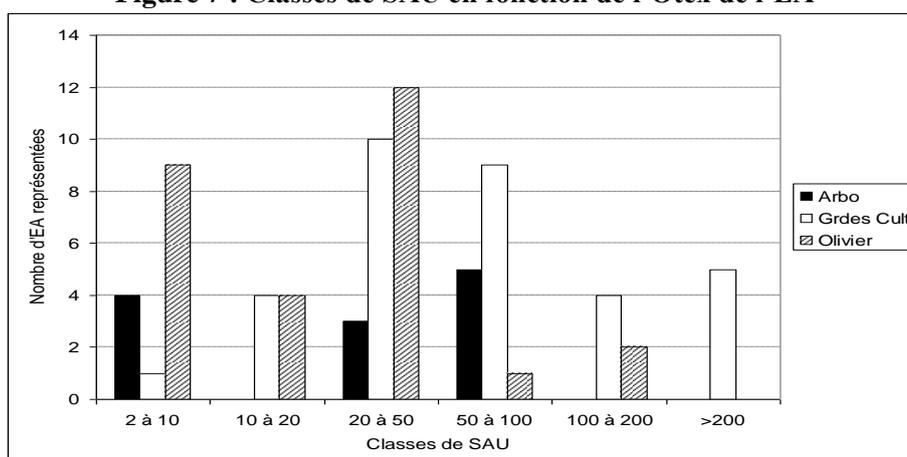
**Figure 6 : Classes de SAU en fonction de la pluriactivité du CE**



### B. Taille et classes d'Otex

Aucune différence significative n'est observée entre les différentes classes de tailles d'exploitations et leurs Otex. Cependant, considérant les résultats obtenus lors de l'étude de l'Otex en fonction de la SAU totale (cf. figure 7), il est possible d'étudier ici les tendances moyennes globales. Il ressort ici que le pic de la courbe gaussienne tracée par le nombre moyen d'EA grandes cultures se situe plus du côté des grandes exploitations que celui des EA oléicoles. Il apparaît également que la totalité des exploitations à dominante arboricole se situe dans les classes de SAU inférieures à 100 dunums et que la grande majorité des EA oléicoles sont dans les catégories inférieures à 50 dunums.

**Figure 7 : Classes de SAU en fonction de l'Otex de l'EA**



### C. Taille et âge de la CE

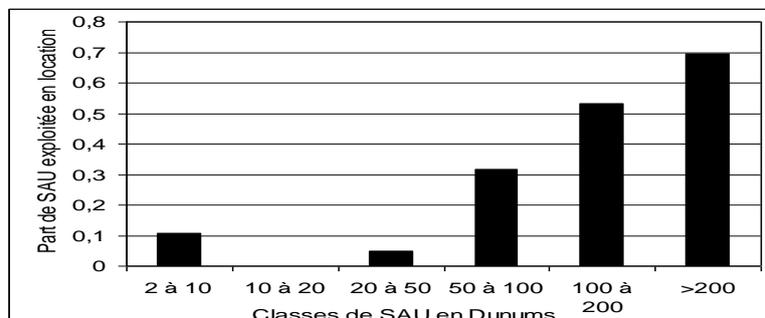
Aucune différence significative n'a pu être dégagée concernant l'âge du CE pour les différentes classes de SAU.

### D. Taille et location de terre pour leur exploitation

Aucune différence significative n'a pu être dégagée, cependant, la part moyenne de SAU exploitée en location tend à augmenter de façon régulière avec la taille de l'exploitation :

0% - 5% - 32% - 53% - 70% pour des classes d'EA croissantes de 10 à plus de 200 dunums.

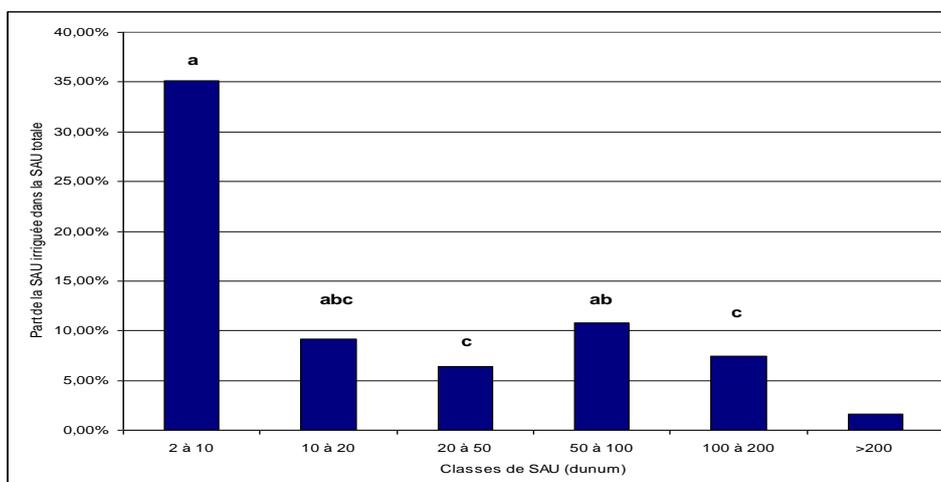
Figure 8 : Classes de SAU en fonction de la Part de SAU louée



### E. Taille et surface irriguée (hors olivier)

Il est tout d'abord notable que les grandes exploitations font partie du groupe dont la part de surface irriguée est la plus faible (groupe c). De la même manière, le groupe a, correspondant aux exploitations ayant la plus grande part de SAU irriguée, est principalement représenté par des SAU petites à moyennes. La plus forte part d'irrigation apparaît pour les très petites exploitations, mettant en avant une activité se rapprochant du jardinage.

Figure 9 : Classes de SAU en fonction de la part de surface irriguée



### G. Taille et assolement

#### Grandes cultures :

SAU emblavée : Aucune différence significative n'a pu être dégagée, cependant il est notable qu'aucune des exploitations de moins de 10 dunums ne produit du blé

SAU grandes cultures : Aucune différence significative n'est observée cependant, les parts moyennes de grandes cultures dans la SAU tendent à augmenter lorsque la surface de l'exploitation augmente

#### Arboriculture :

SAU olivier : Aucune différence significative mais l'étude des moyennes montre une tendance à une part de SAU plus faible pour les grandes exploitations.

SAU arboriculture : Pas de différence significative mais les parts moyennes d'arboriculture tendent à décroître au fur et à mesure que la SAU augmente. 84% de la SAU moyenne des exploitations de moins de 10 dunums correspond à de l'arboriculture alors qu'elle est de 20% pour les exploitations de plus de 200 dunums.

#### 4. Pluriactivité des agriculteurs

La zone d'étude se caractérise par un fort taux de pluriactivité : la moitié des agriculteurs ont une activité annexe à celle de Chef d'Exploitation (CE).

##### A. Pluriactivité et taille des EA

Une différence significative apparaît entre les deux niveaux de pluriactivité concernant la taille moyenne des exploitations. Les exploitations dont le CE est à temps partiel ont une surface moyenne de 35 dunums alors que les exploitations dont le CE est spécialisé ont une taille de 95 dunums.

##### B. Pluriactivité et âge

Aucun lien significatif n'a pu être dégagé entre la pluriactivité du CE et son âge.

##### C. Pluriactivité et part de la SAU irriguée (hors olivier)

Aucune relation significative, les pluriactifs et les CE spécialisés irriguent en moyenne 11% et 15% de leur sole.

##### D. Pluriactivité et location de terre pour exploitation

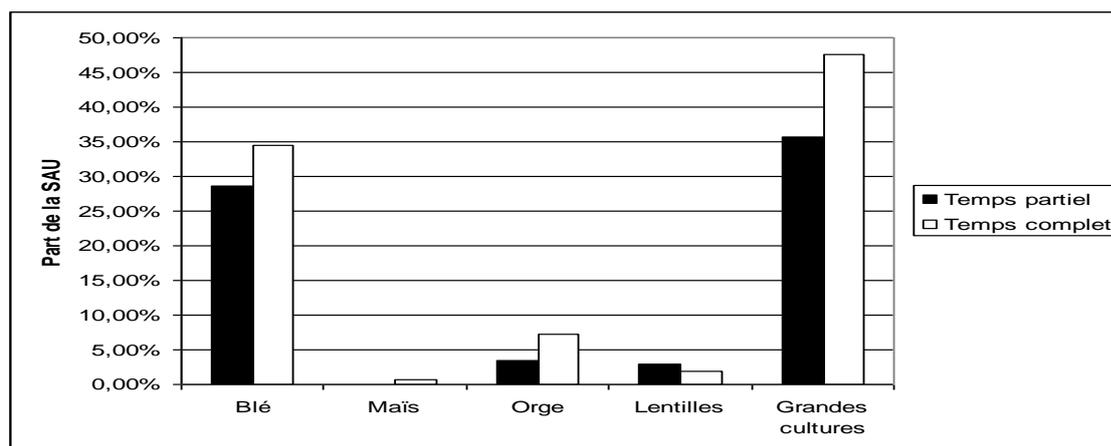
Les agriculteurs spécialisés exploitent significativement plus de terre en location que les agriculteurs à temps partiels : 3% de la SAU moyenne des temps partiels est louée tandis que les temps complets louent 37% de leur sole.

##### E. Pluriactivité et assolement

###### Grandes cultures :

Les exploitants spécialisés ou non ne réalisent pas significativement plus de blé ou d'orge que les pluriactifs (cf. figure 10). Aucune relation significative n'est démontrée entre la part de grandes cultures et la pluriactivité.

Figure 10 : Assolement en fonction de la pluriactivité du CE



En considérant les moyennes, nous constatons cependant que les exploitants à temps complet exploitent une part de grandes cultures toujours plus importante que les temps partiels (à l'exception des lentilles).

###### Maraîchage :

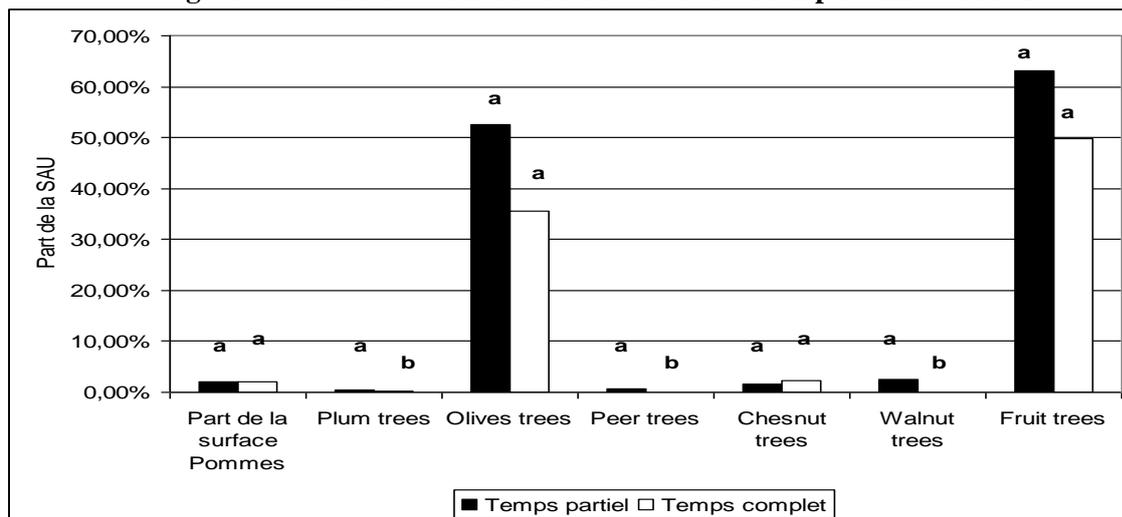
La surface en maraîchage est significativement plus élevée chez les CE à temps partiel : 1,9% en moyenne chez les temps partiels et 1,3% en moyenne chez les temps complets. Cependant, considérant

le faible nombre d'agriculteurs maraîchers, il nous est impossible de mener une analyse de la variance à un niveau inférieur à la surface maraîchère globale.

### Arboriculture :

La figure 11 représente la part moyenne des différentes cultures arboricoles dans la SAU totale. L'analyse de la variance n'a porté ici qu'à un niveau intra-culture, entre temps complet et partiel. La comparaison inter-cultures n'est ici donc pas appuyée par une analyse de la variance. Ainsi, des différences significatives entre temps complet et partiel sont observées pour les pruniers, les poiriers et les noyers, qui sont plus cultivés par les temps partiels. Concernant les autres cultures, les moyennes tendent à être plus fortes pour les temps partiels, restant dans la logique de l'observation précédente.

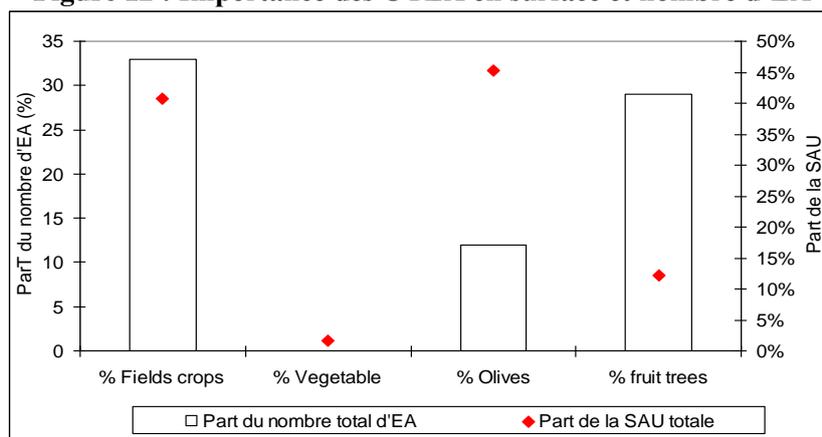
**Figure 11 : Assolement arboricole en fonction de la pluriactivité du CE**



## 5. Orientations technico-économiques d'exploitation (Otex)

L'Otex Maraîchage n'est pas suffisamment représentée pour faire l'objet d'une analyse de variance. Nous nous attacherons donc à décrire les exploitations arboricoles hors oléiculture, oléicoles et grandes cultures (cf. figure 12).

**Figure 12 : Importance des OTEX en surface et nombre d'EA**



### A. Otex et SAU totale

Les exploitations en grandes cultures ont des surfaces significativement plus importantes que les arboricoles : en moyenne 97 contre 42 et 33 dunums pour les EA grandes cultures, arboricoles (hors oliviers) et oléicoles.

### B. Otex et âge des exploitants

Aucune relation significative n'a pu être démontrée.

### C. Otex et SAU irriguée

Les exploitations arboricoles (hors olivier) irriguent significativement plus que les grandes cultures : 22% de la SAU est irriguée chez les arboriculteurs et 3% l'est chez les céréaliers.

### D. Otex et location de terres pour l'exploitation

Les exploitations en grandes cultures louent significativement plus (27% de la SAU) que les exploitations oléicoles (5% de la SAU). Cependant, les exploitations à vocation arboricole hors oléiculture louent autant que les EA grandes cultures (29% de la SAU).

### E. Niveau de spécialisation des Otex étudiées

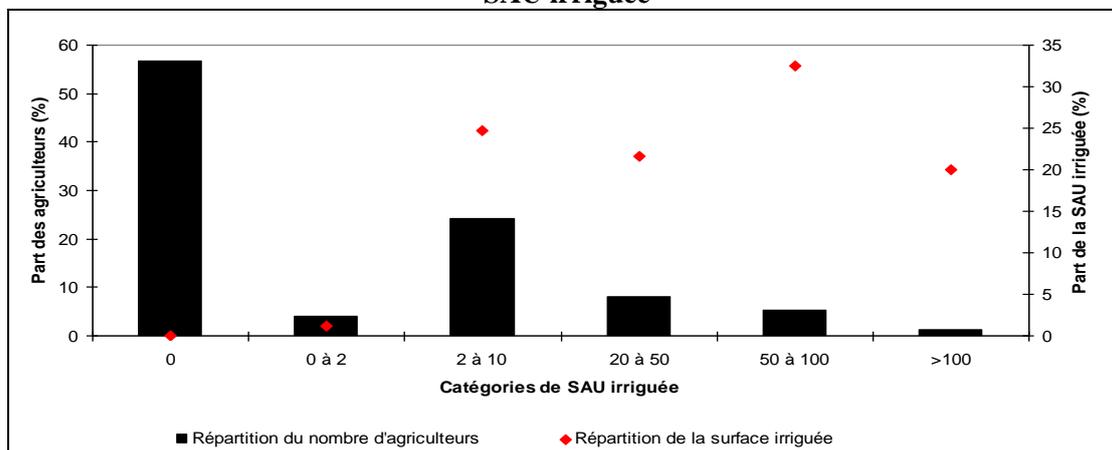
Les exploitations oléicoles ont en moyenne 5% de leur sole en grandes cultures alors que les exploitations en grandes cultures sont moins spécialisées : 18% de leur sole est en oléiculture. Les exploitations arboricoles hors oléiculture sont cependant moins spécialisées que les producteurs d'oliviers, mais un peu plus que les céréaliers : les arboriculteurs ont en moyenne 16% de leur sole en grandes cultures.

## 6. SAU irriguée

La SAU irriguée occupe actuellement 9% de la surface agricole de la zone d'étude.

La figure 13 étudie la répartition du nombre d'agriculteurs et de la surface en fonction de différentes catégories de surface agricole irriguée. Il ressort tout d'abord que plus de la moitié des agriculteurs n'irriguent pas du tout leur exploitation (ces agriculteurs représentent 91% de la surface de la zone d'étude). Et 85% des agriculteurs ont moins de 10 dunums irrigués. Dans ce cadre, la catégorie comprenant le plus d'agriculteurs est celle dont la SAU irriguée se situe entre 2 et 10 dunums (23% des agriculteurs). Cette catégorie d'exploitations représente 26% de la surface irriguée.

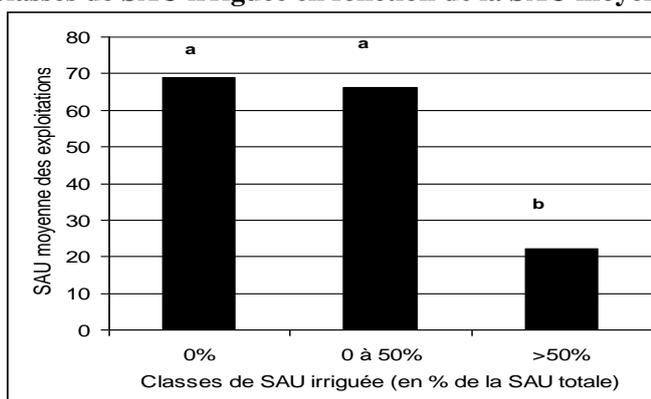
**Figure 13 : Répartition du nombre d'agriculteurs et de la surface pour différentes catégories de SAU irriguée**



### A.SAU irriguée et SAU totale

La figure 14 représente les SAU moyennes des exploitations pour différentes classes de SAU irriguées. Il ressort que les exploitations de 0 à 50 dunums sont homogènes en taille (69 et 66 dunums) tandis que les exploitations irriguant plus sont plus petites (22 dunums de moyenne).

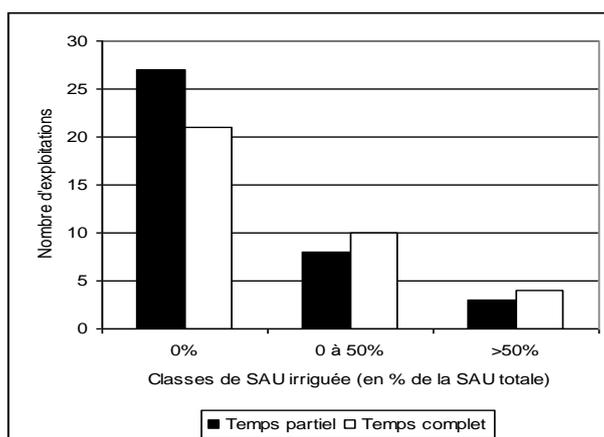
**Figure 14 : Classes de SAU irriguée en fonction de la SAU moyenne**



**B.SAU irriguée et pluriactivité du CE**

Aucune différence significative n'a pu être dégagée concernant le taux de pluriactivité des différentes classes de SAU irriguées. Cependant, l'étude de la moyenne fait ressortir une tendance à avoir plus de temps partiels dans les catégories d'exploitation n'irrigant pas et plus de temps complets dans les catégories irriguantes (cf.figure 15).

**Figure 15 : Répartition du nombre d'exploitations en fonction des catégories de SAU irriguée**



**C.SAU irrigué et âge**

Pas de différences significatives.

**D.SAU irriguée et part de terre en location pour exploitation**

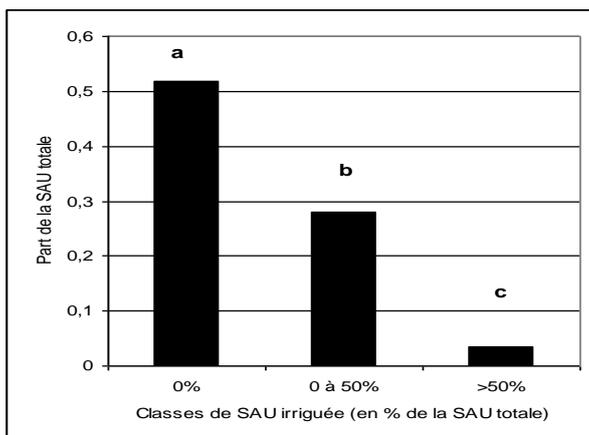
Aucune différence significative n'est ressortie, cependant les moyennes montrent une tendance à avoir de plus faibles surfaces en location pour les exploitations n'irrigant pas.

**E.SAU irriguée et assolement**

**Grandes cultures :**

Des différences significatives apparaissent pour tous les types de grandes cultures : les surfaces de céréales et de lentilles diminuent avec l'augmentation de la SAU irriguée (cf. Figure 16).

**Figure 16 : Répartition de la part de grandes cultures pour différentes classes de SAU irriguée**

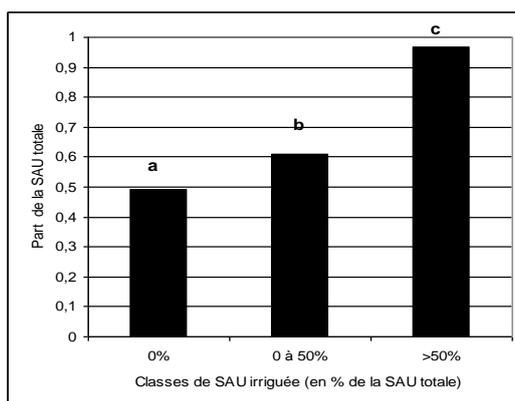


≡

**Arboriculture :**

La surface arboricole augmente significativement avec l’augmentation de la part de la SAU irriguée (cf. figure 17).

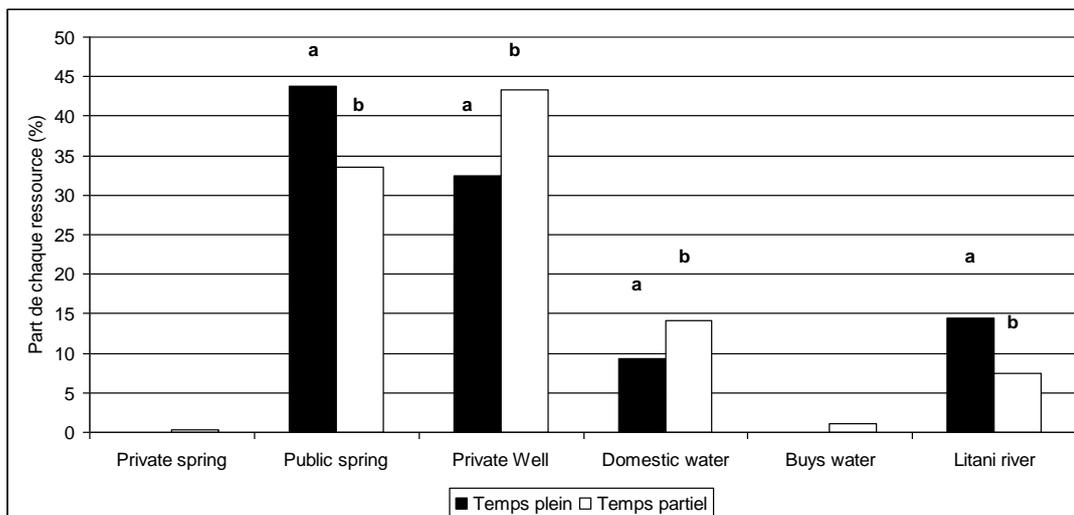
**Figure 17 : Classes de SAU irriguée en fonction de la sole arboricole**



**7. Ressources hydriques**

L’eau d’irrigation provient majoritairement de sources publiques et de forages privés (77% de la ressource hydrique totale pour l’irrigation). La figure 18 souligne que les agriculteurs à temps plein utilisent significativement plus la ressource publique que les agriculteurs à temps partiel, qui utilisent également plus d’eau domestique.

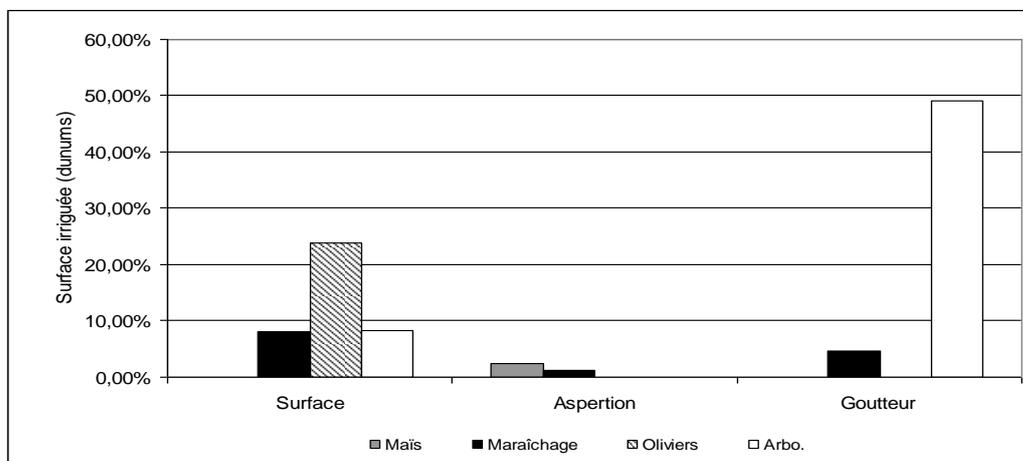
**Figure 18 : Origine de la ressource en eau**



**A. Techniques d'irrigation**

La figure 19 démontre que 54% de la surface irriguée est équipée de goutteurs, cela concerne majoritairement l'arboriculture (hors olive). L'irrigation de surface vient en seconde position, avec 40% de la surface irriguée concernée. L'olivier représente la principale culture en irrigation de surface. Enfin, l'aspersion représente 3,6% de la surface irriguée et concerne majoritairement la maïsiculture.

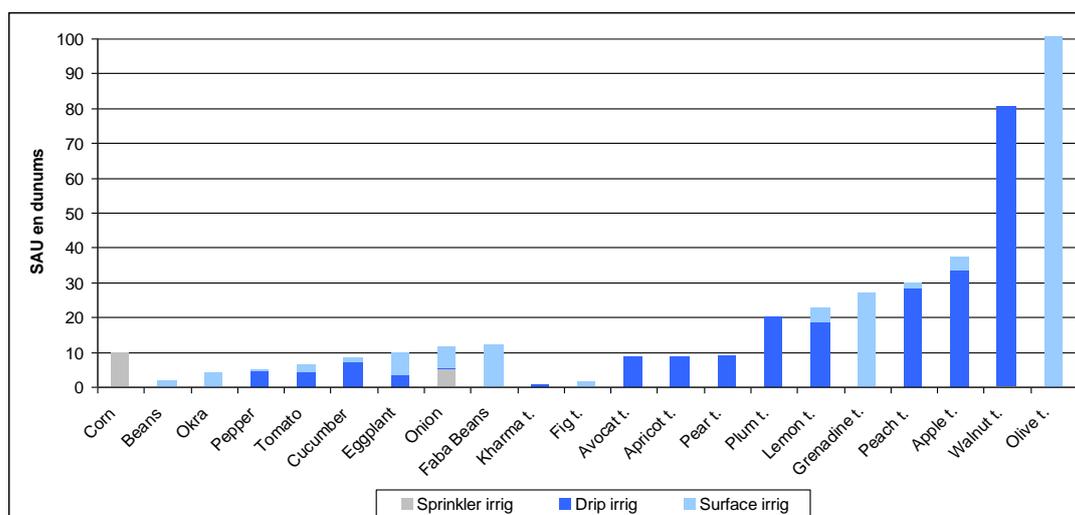
**Figure 19 : Répartition des surfaces irriguées par techniques**



**B. Techniques d'irrigation et assolement**

Des différences significatives ont pu être identifiées par culture, concernant la prépondérance d'une technique ou d'une autre. Il ressort que l'irrigation de surface et localisée apparaissent dans les 2 types de cultures principales irriguées (cf. figure 20) : le maraîchage et l'arboriculture. Egalement, l'arboriculture (avocats, abricots, poires, prunes, citrus, pêches, pommes, noix) utilisent majoritairement de l'irrigation en goutte à goutte.

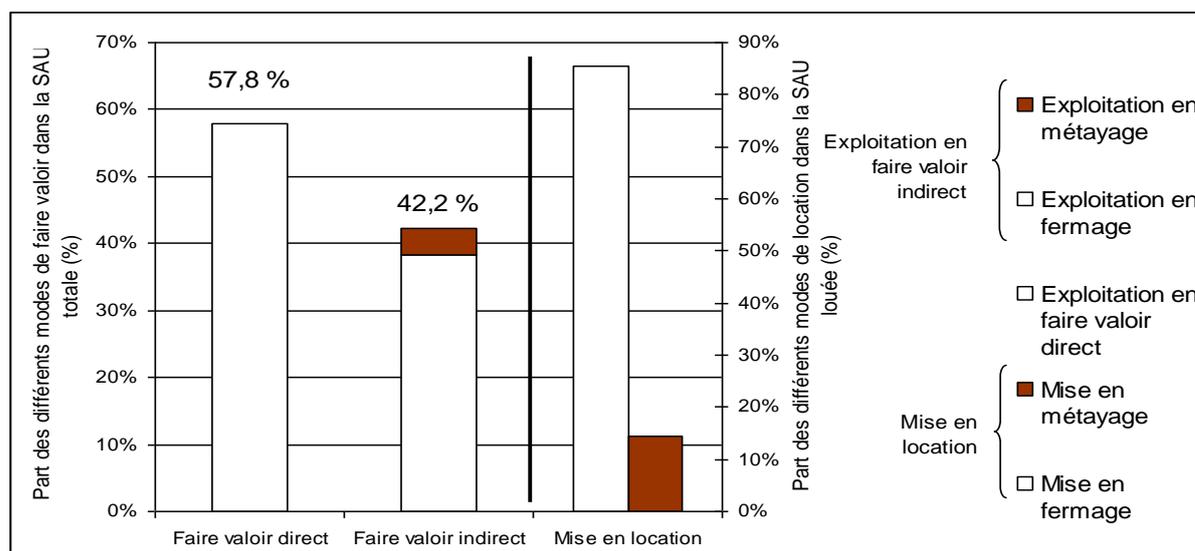
**Figure 20 : Cultures en fonction des techniques d'irrigation**



## 8. Modes de faire valoir

La figure 21 présente la répartition des modes de faire valoir. La prise en ferme ou métayage de terres par un agriculteur faisant partie de l'étude (calcul de la part de location sur la SAU totale) est représenté sur l'axe des ordonnées de gauche. L'axe de droite s'attache à représenter la mise en ferme ou en métayage (mise en location) par un agriculteur faisant partie de l'étude, vers un agriculteur compris ou non dans l'étude. Cette surface mise en location représente 347 dunums (en partie comprise dans la SAU étudiée).

**Figure 21 : Répartition des modes de faire valoir**

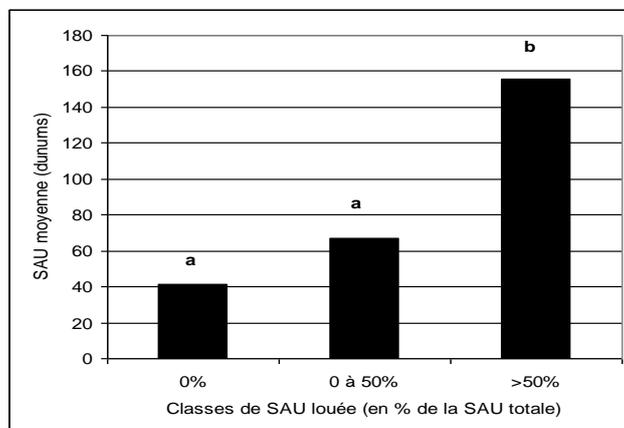


Le faire valoir direct occupe une majeure partie de la SAU de la zone d'étude : 58%, tandis que le faire valoir indirect, représenté en grande partie par du fermage, représente 42% de la SAU. La mise en location est majoritairement représentée par de la mise en fermage (86% de la SAU louée).

### A. Faire valoir et SAU totale

Il apparaît que les exploitations louant plus de 50% de leur sole sont significativement plus grandes que celles louant moins de 50%.

Figure 22 : Classes de SAU louée et taille des exploitations

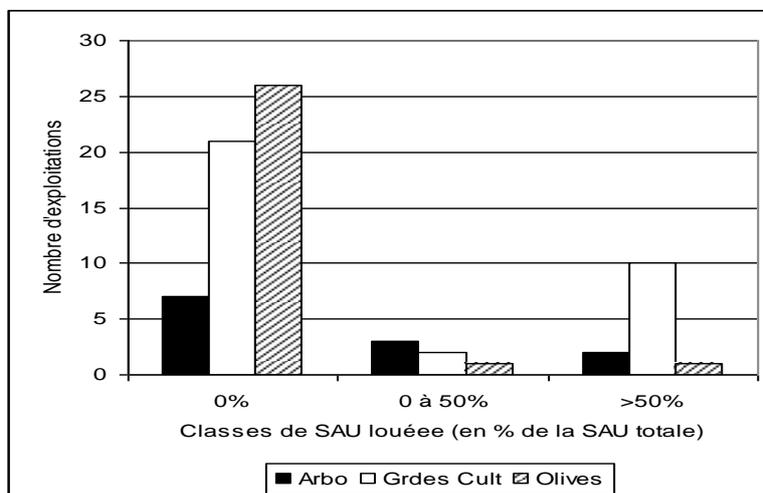


### B. Faire valoir et classe d'Otex

Aucune différence significative entre les Otex, concernant le mode de faire valoir.

Cependant, l'observation des moyennes montre une tendance à avoir plus d'exploitations en grandes cultures dans la classe « location >50% de la SAU ». Egalement, les cultures d'olives sont prépondérantes chez les agriculteurs ne louant pas.

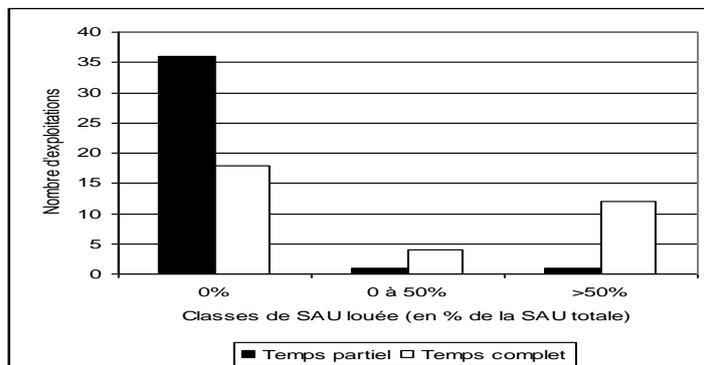
Figure 23 : Répartition du nombre d'exploitations par classe de surface louée et par OTEX



### C. Faire valoir et pluriactivité

Aucune différence significative entre les modes de pluriactivité et le mode de faire valoir

**Figure 24 : Répartition du nombre d'exploitations par classe surface louée et par niveau de pluriactivité**



Cependant, l'analyse des moyennes fait ressortir que la grande majorité des exploitations ne louant pas de terres sont des pluriactifs, alors que la majorité des exploitants louant des terres sont spécialisés. Enfin, les agriculteurs à temps partiels tendent à louer plus de terres à d'autres agriculteurs que les temps complets. Sur la zone d'étude, 280 dunums sont loués par des temps partiels contre 67 dunums par des temps complets, cependant le faible nombre d'agriculteurs louant des terres à d'autres ne nous permet pas de mener d'analyse de la variance.

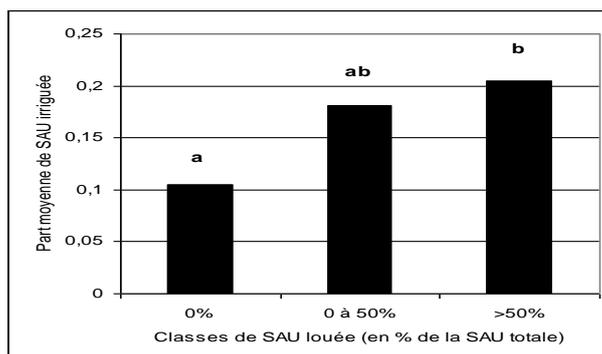
#### **D.Faire valoir et âge**

Aucune différence significative n'a pu être dégagée

#### **E. Faire valoir et part de la SAU irriguée**

La part de SAU irriguée est significativement plus importante chez les exploitants louant plus de 50% de leur surface que chez ceux ne louant pas : les agriculteurs louant plus de 50% ont une moyenne d'irrigation de 20% de la SAU tandis que les agriculteurs ne louant pas ont une moyenne d'irrigation de 10% de la SAU.

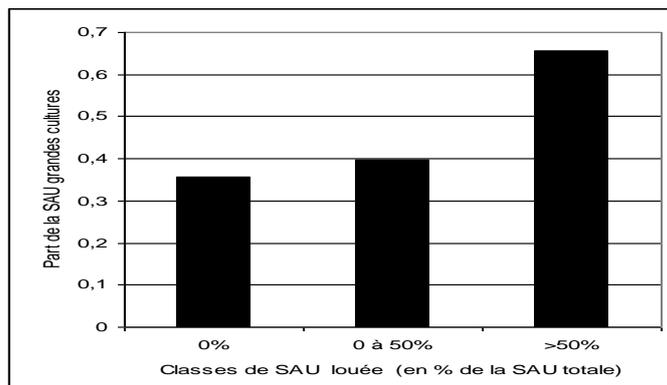
**Figure 25 : Part de SAU irriguée en fonction du taux de SAU louée**



#### **F.Faire valoir et assolement**

- Grandes cultures :

**Figure 26 : Part des grandes cultures en fonction des classes de SAU louées sur l'exploitation**

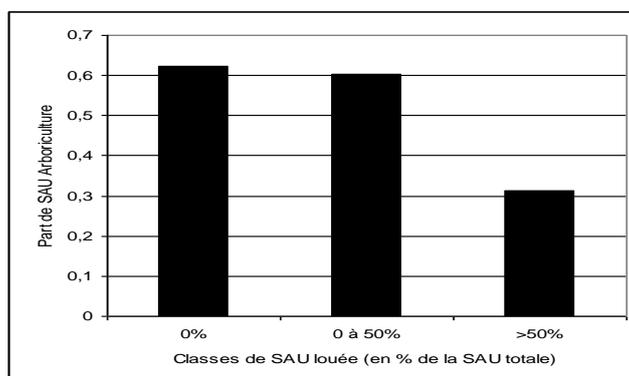


Aucune différence significative n'a pu être démontrée entre la part de grandes cultures sur l'exploitation et la part de SAU exploitée en location. Cependant, l'observation des moyennes permet de mettre en évidence une tendance à avoir une augmentation de la part de location lorsque la SAU en grandes cultures augmente.

- Arboriculture

Aucune différence significative n'a pu être démontrée entre la part d'arboriculture et la part de SAU exploitée en location.

**Figure 27 : Part de l'arboriculture en fonction de classes de SAU louées sur l'exploitation**



Cependant, l'observation des moyennes fait ressortir une tendance à avoir une diminution de la part de SAU louée, lorsque la part de SAU arboricole augmente.

## Conclusion

### **Occupation du sol :**

La majorité de la surface de la zone d'étude est occupée par des prairies et des friches (42%), viennent ensuite les grandes cultures en sec (principalement orge et blé) et l'olivier. Les cultures irriguées (9% de la SAU) sont principalement de l'arboriculture (noix, pommes...)

### **Taille des exploitations :**

Les exploitations sont dans l'ensemble de taille restreinte : 55% d'entre elles ont une SAU de moins de 50 dunums. Les exploitations les plus grandes sont les plus professionnalisées et disposent de chefs d'exploitations plus spécialisés en agriculture que les plus petites. Egalement, lorsque la SAU des exploitations augmente, la part d'arboriculture décroît, au profit de la part de grandes cultures. La part de SAU liée à des grandes cultures tend également à augmenter lorsque la taille des exploitations augmente, les plus petites ne font pas de céréales. De la même manière, la part de l'arboriculture et de l'olivier notamment, tend à diminuer lorsque la taille de l'exploitation augmente. Cette tendance s'accompagne d'une diminution de la part de l'irrigation lorsque la SAU augmente.

### **Pluriactivité du CE :**

Les CE à temps partiels disposent d'exploitations 2,7 fois plus petites que les CE à temps complet. Les temps complets tendent à avoir plus de grandes cultures tandis que les temps partiels ont plus de maraîchage et plus d'arboriculture. Enfin, ces derniers exploitent moins de terres louées mais louent plus de terres aux autres agriculteurs que les temps complets.

### **OTEX :**

Les exploitations en arboriculture irriguent 7,3 fois plus de SAU que les exploitations en grandes cultures. Egalement, les exploitations arboricoles et notamment oléicoles sont plus spécialisées : cette OTEX dispose d'une part de grandes cultures moins importante que la part d'arboriculture dans l'OTEX grandes cultures. L'arboriculture et l'oléiculture pourraient-elles donc être considérées comme une source d'apport financière supplémentaire chez les céréaliculteurs ? Enfin, les OTEX oléicoles louent moins de terres en provenance d'autres agriculteurs mais mettent plus de terre à louer pour les autres agriculteurs, que les OTEX grandes cultures.

### **SAU irriguée :**

Les exploitations en sec représentent 60% du nombre d'agriculteurs total et 90% des agriculteurs irriguent moins de 10 dunums. L'irrigation est majoritairement présente chez les exploitants les plus petits et tend à se trouver principalement chez les agriculteurs à temps partiel. Egalement, les EA irriguantes sont majoritairement en arboriculture alors que les non irriguantes sont en grandes cultures. Enfin, les agriculteurs non irriguants tendent à louer plus de terres à d'autres agriculteurs.

### **Utilisation de la ressource :**

Les exploitants à temps plein utilisent principalement la ressource publique et le Litani alors que les temps partiels se servent de captages privés et d'eau domestique.

### **Techniques d'irrigation :**

50% de la SAU est en irrigation localisée (goutteurs) et concerne l'arboriculture. L'irrigation de surface est retrouvée majoritairement chez les maraîchers. Enfin, l'aspersion (très faiblement représentée) n'est retrouvée que chez un maïsiculteur

### **Mode de faire valoir :**

Le faire valoir direct occupe 58% de la SAU totale. Cependant nous avons pu mettre en évidence que les EA louant le plus de terre sont celles qui sont soit, en grandes cultures, soit avec une SAU importante ou dont le CE est spécialisé en agriculture. De la même manière, l'augmentation de la part d'irrigation est corrélée à une prise de terre en location moindre. Enfin, les pluriactifs sont les

agriculteurs louant en majorité des terres aux autres agriculteurs. Activité de rente de la part des pluriactifs ?

Suite au recouplement des informations acquises, il est possible de dégager deux principaux types d'exploitations et de stratégies de production (cf. tableau 3) :

**Tableau 3 : Résumé des caractéristiques de 2 principaux types d'exploitations**

<b>Exploitations peu professionnelles : jardiniers dont l'agriculture est une activité complémentaire (financière et alimentaire)</b>	<b>Exploitations professionnelles</b>
SAU de petite taille (<50 dunums)	SAU médiane et grande
Orientation arboriculture et maraîchage dominante	Orientation grandes cultures, l'arboriculture et l'oléiculture viennent en compléments de revenu
CE pluriactif	CE spécialisé
Activité de location de terres aux autres exploitants : activité de rente complémentaire à un revenu	Demandeur de terres à exploiter
Irrigation prépondérante avec utilisation principale de captages privés et d'eau domestique	Faible irrigation, basée sur de la ressource publique.

Cet état des lieux constitue une base pour discuter des problèmes et enjeux des systèmes de cultures actuels (discussion des points abordés ci-dessus et compléments), des facteurs expliquant les raisons de ces problèmes et pour identifier les leviers d'action et forces motrices au changement.

## Annexe 2

### Goal Oriented Framework

**Tableau 1 : Dimensions considérées, buts à atteindre et leviers correspondants**

	But Final	Procédés pour atteindre les objectifs (Leviers)	N°
<b>Dim. Enviro.</b>	Biodiversité	Diversification	<b>L1</b>
		Protection des terres et des cours d'eau	<b>L2</b>
	Valorisation et préservation de la ressource hydrique.	Agriculture intégrée	<b>L3</b>
		Optimisation de la consommation en eau	<b>L4</b>
		Optimisation de l'utilisation des intrants	<b>L5</b>
<b>Dim. Eco.</b>	Viabilité des EA	Amélioration de la rentabilité	<b>L6</b>
		Processus de commercialisation	<b>L7</b>
	Stabilisation du revenu	Diversification du revenu	<b>L8</b>
		Acquisition du revenu sur base stable	<b>L9</b>
<b>Dim. Soc.</b>	Qualité de vie individuelle et en société	Paysage	<b>L10</b>
		Vie sociale	<b>L11</b>
	Sécurité alimentaire	Intensification de la production	<b>L12</b>
		Diversification des cultures alimentaires	<b>L13</b>
	Dynamisation et Maintien des EA	Dynamisation locale	<b>L14</b>
Maintien		<b>L15</b>	

**Tableau 2 : Dimensions considérées, leviers et sous-thèmes correspondants**

Sous-thèmes			
<b>Dimension Environnementale</b>	<b>Diversification: L1</b>	<b>Protection des terres et cours d'eau: L2</b>	<b>Agriculture intégrée : L3</b>
	des cultures	Ralentissement des écoulements	Durée de rotation
	des habitats	couverture des sols	Pratiques innovantes (mulch, binage...)
	des espaces ruraux	lutte anti-érosion	Couverts végétaux
		protection des berges	Agroforesterie
		Utilisation raisonnées des intrants	Utilisation raisonnée des intrants
	<b>Optimisation de la conso en eau : L4</b>	<b>Optimisation de l'utilisation des intrants : L5</b>	
	Consommation en eau des cultures	Consommation en intrants	
	Origine de la ressource	Efficacités de l'utilisation des intrants	
	Efficiences éco et alim de l'eau		
<b>Dimension</b>	<b>Rentabilité des EA : L6</b>	<b>Processus de commercialisation: L7</b>	
	Marge brute des exploitations	Vente directe	
	Acquisition de capital et mécanisation	Transformation	
	Professionnalisation des EA	Agro-tourisme...	
	Irrigation		

	<b>Diversité du revenu : L8</b>	<b>Acquisition du revenu sur base stable : L9</b>
	Diversité des cultures	Taux de vente en local
	Diversité des sources de revenu (agrotourisme)	Sensibilité du rdt à la sécheresse
	<b>Paysage : L10</b>	<b>Vie sociale : L11</b>
	Diversité et attrait du paysage	Embauche et capital humain
	Structuration et organisation du paysage	Desserte locale et vente directe
	<b>Intensification de la production de cultures alimentaires : L12</b>	<b>Diversification : L13</b>
	Augmentation des rendements	Diversification des cultures alimentaires
	Utilisation des terres en friches	
	Production de cultures à vocation alimentaire et locales	
	<b>Dynamisation locale : L14</b>	<b>Maintien : L15</b>
	Choix de cultures (activités aval de transformation: cultures industrielles, panification...)	Encouragement installation des jeunes agriculteurs
	Vente directe	Acquisition de foncier
	Professionnalisation	Transmissibilité des EA
	Main-d'œuvre	Acquisition de capital

## Annexe 3

### Fiches descriptives des indicateurs de mesures

#### Indicateurs Environnementaux

<b>Indicateur : Diversification des cultures au sein des EA</b>	
<b>Impact évalué</b>	Diversité des êtres vivants
<b>Echelle</b>	Exploitations Agricoles
<b>Hypothèses sous tendues</b>	L'augmentation de la diversité des assolements augmente les habitats et la diversité biologique
<b>Equation</b>	Somme des types de cultures à l'échelle de l'EA
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	Nb cult EA1 x Poids EA1 + Nb cult EAn x Poids EAn
<b>Indicateur : Couverture hivernale</b>	
<b>Impact évalué</b>	Erosion des sols et pollution des eaux
<b>Echelle</b>	Exploitations Agricoles
<b>Hypothèses sous tendues</b>	Présence d'un couvert végétal hivernal diminue l'érosion des sols et le transfert des éléments polluants
<b>Equation</b>	$(SAU \text{ cultures hivernales} / SAU \text{ totale}) \times 100$
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	$\% \text{ couv EA1} \times \text{Poids EA1} + \% \text{ couv EAn} \times \text{Poids Ean}$
<b>Indicateur Consommation en eau pour l'irrigation</b>	
<b>Impact évalué</b>	Pression quantitative sur la ressource hydrique
<b>Echelle</b>	Culture, EA
<b>Hypothèses sous tendues</b>	Une plus faible irrigation préserve en quantité la ressource souterraine et de surface
<b>Equation</b>	$(Irrigation \text{ Culture } 1 / dn \times \text{Surface} + Irrigation \text{ Culture } n / dn \times \text{Surface}) / SAU \text{ totale}$
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	$Irrigation \text{ EA1} \times \text{Poids EA1} + Irrigation \text{ EAn} \times \text{Poids EAn}$
<b>Indicateur : Pression d'utilisation : azote et pesticides</b>	
<b>Impact évalué</b>	Pression qualitative sur la ressource hydrique
<b>Echelle</b>	Culture, EA
<b>Hypothèses sous tendues</b>	L'utilisation accrue d'azote et de pesticides augmente la probabilité de pollution ponctuelle et diffuse
<b>Equation</b>	$(Conso \text{ d'intrants Culture } 1 / dn \times \text{Surface} + Conso \text{ d'intrants Culture } n / dn \times \text{Surface}) / SAU \text{ totale}$
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire

**Type d'algorithme** Conso d'intrants EA1 x Poids EA1 + Conso d'intrants EAn x Poids EAn

---

**Indicateur : Efficience économique et alimentaire de l'N et des Pd**

---

**Impact évalué** Pression de pollution N diffuse : Pression qualitative sur la ressource hydrique par rapport au gain économique et/ou de souveraineté alimentaire

**Echelle** EA

**Hypothèses sous tendues** Une pression N et Pd accrue peut être tolérable pour un gain économique et/ou alimentaire donné

**Equation** Conso d'intrants / Marge brute  
Conso d'intrants / SAU cultures importatrices à vocation alimentaire

**Possibilité de changement d'échelle** Agrégation au territoire

**Type d'algorithme**  $(\text{Conso d'intrants EA1} \times \text{Poids EA1} + \text{Conso d'intrants EAn} \times \text{Poids EAn}) / (\text{MB EA 1} \times \text{Poids EA1} + \text{MB EAn} \times \text{Poids EAn})$   
 $(\text{Conso d'intrants EA1} \times \text{Poids EA1} + \text{Conso d'intrants EA 2} \times \text{Poids EA2} \dots) / \text{SAU régionale de cultures importatrices à vocation alimentaire}$

---

**Indicateur : Efficience économique et alimentaire de l'eau**

---

**Impact évalué** Pression quantitative sur la ressource hydrique par rapport au gain économique et/ou de souveraineté alimentaire

**Echelle** EA

**Hypothèses sous tendues** Une pression d'utilisation de l'eau accrue peut être tolérable pour un gain économique et/ou alimentaire donné

**Equation** Irrigation / Marge brute  
Irrigation / SAU cultures importatrices à vocation alimentaire

**Possibilité de changement d'échelle** Agrégation au territoire

**Type d'algorithme**  $(\text{Irrigation EA1} \times \text{Poids EA1} + \text{Irrigation EAn} \times \text{Poids EAn}) / (\text{MB EA 1} \times \text{Poids EA1} + \text{MB EAn} \times \text{Poids EAn})$   
 $(\text{Irrigation EA1} \times \text{Poids EA1} + \text{Irrigation EA 2} \times \text{Poids EA2} \dots) / \text{SAU régionale de cultures importatrices à vocation alimentaire}$

---

## Indicateurs Sociaux

<b>Indicateur : Part des cultures importatrices à vocation alimentaires dans les EA</b>	
<b>Impact évalué</b>	Contribution des EA à la sécurité alimentaire du pays
<b>Echelle</b>	Exploitations Agricoles
<b>Hypothèses sous tendues</b>	La mise en place de cultures rentrant dans l'alimentation locale et nationale diminue les importations et améliore la souveraineté alimentaire du pays
<b>Equation</b>	$(\text{Somme des surfaces orientées vers ces cultures} / \text{SAU totale}) \times 100$
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	$(\text{Somme des surfaces régionales orientées vers ces cultures} / \text{SAU totale régionale}) \times 100$
<b>Indicateur : Augmentation de la production / Rendement</b>	
<b>Impact évalué</b>	Production de cultures alimentaires pour satisfaire la demande locale et nationale
<b>Echelle</b>	Cultures par EA
<b>Hypothèses sous tendues</b>	Le choix d'un mode d'alimentation hydrique induisant de forts rendements améliore la réponse à la demande locale et nationale en denrées alimentaires
<b>Equation</b>	Rendement des cultures
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	$\text{Rdt Culture 1 EA1} \times \text{Poids de l'EA1} + \text{Rdt Culture 1 Ean} \times \text{Poids de l'Ean}$
<b>Indicateur : Main d'œuvre nécessaire</b>	
<b>Impact évalué</b>	Contribution de l'EA dans la création d'embauche locale
<b>Echelle</b>	EA
<b>Hypothèses sous tendues</b>	L'augmentation du temps de travail nécessaire dans l'exploitation implique la création d'emplois agricoles
<b>Equation</b>	$(\text{Travail nécessaire Culture 1} \times \text{Surface Culture 1} + \text{Travail nécessaire Culture n} \times \text{Surface Culture n}) / \text{SAU totale}$
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	$\text{Travail nécessaire EA1} \times \text{Poids EA1} + \text{Travail nécessaire EAn} \times \text{Poids EAn}$

## Indicateurs Economiques

<b>Indicateur : Diversification des cultures au sein des EA</b>	
<b>Impact évalué</b>	Diversité du revenu
<b>Echelle</b>	Exploitations Agricoles
<b>Hypothèses sous tendues</b>	Augmentation de la diversité des assolements augmente la diversité de sources de revenu et sa stabilité
<b>Equation</b>	Somme des types de cultures à l'échelle de l'EA
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	Nb cult EA1 x Poids EA1 + Nb cult EAn x Poids EAn
<b>Indicateur : Marge Brute</b>	
<b>Impact évalué</b>	Impact de la politique agricole et des assolements proposés sur la marge brute de l'EA
<b>Echelle</b>	Exploitations Agricoles
<b>Hypothèses sous tendues</b>	L'augmentation de la Marge Brute améliore le niveau de vie des agriculteurs et leur implication dans l'économie locale
<b>Equation</b>	(Prix cultures x Rdt cultures) - Charges opérationnelles
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	MB EA1 x Poids EA1 + MB EAn x Poids EAn
<b>Indicateur : Irrigation et acquisition de capital</b>	
<b>Impact évalué</b>	Part de cultures irriguées et acquisition de capital de l'exploitation
<b>Echelle</b>	Exploitations Agricoles
<b>Hypothèses sous tendues</b>	L'irrigation nécessite l'investissement et l'augmentation du capital
<b>Equation</b>	(SAU irriguée / SAU totale) x 100
<b>Possibilité de changement d'échelle</b>	Agrégation au territoire
<b>Type d'algorithme</b>	% cultures irriguées EA1 x Poids EA1 + % cultures irriguées EAn x Poids EAn

## Annexe 4

### Liste des Cultures étudiées, menées en régime pluvial et irrigué dans la zone d'étude

Cultures traditionnellement menées en régime irrigué		Cultures traditionnellement menées en régime pluvial	
Cultures annuelles	Cultures pérennes	Cultures annuelles	Cultures pérennes
Aubergine	Pêcher	Ail	Olivier
Chou-fleur	Abricotier	Fève	
Choux mulch	Noyer	Oignon sec	
Choux	Poirier	Oignon vert	
Concombre	Pommier	Blé	
Pastèque	Prunier	Lentilles	
Haricots secs		Lupin	
Tomate		Orge	
Melon		Vesce	
Pomme de terre		Pois chiches	
Courgette		Radis	
Carotte			

## Annexe 5

### Liste des coefficients cultureux (Kc)

Stades	Initial	Développement	Mi saison	Arrière-saison
<b>Aubergines</b>	0,40	0,0	1,05	0,9
<b>Ail</b>			1	0,7
<b>Carotte</b>	0,7	0,00875	1,05	0,8
<b>Choux Fleur</b>	0,7	0,00583333	1,05	0,9
<b>Choux</b>	0,5	0,01	1,1	1
<b>Concombre</b>	0,4	0,02	1	0,75
<b>Courgette</b>	0,4	0,01833333	0,95	0,75
<b>Fève</b>	0,5	0,01	1,15	1,1
<b>Melon</b>	0,4	0,02	1,05	0,75
<b>Oignon Sec</b>	0,7	0,014	1,05	0,85
<b>Oignon frais</b>	0,7	0,01	1	1
<b>Pastèque</b>	0,4	0,02	1	0,75
<b>Pois chiches</b>	0,4	0,025	1,15	0,35
<b>Pomme de terre</b>	0,4	0,02	1,1	0,8
<b>Radis</b>	0,7	0,02	0,9	0,85
<b>Tomate</b>	0,4	0,02	1,2	0,65
<b>Haricot blanc</b>	0,4	0,025	1,15	0,35
<b>Blé</b>	0,3	0,00607143	1,15	0,25
<b>Lentilles</b>	0,4	0,025	1,15	0,3
<b>Lupin</b>	0,4	0,02666667	1,2	1,15
<b>Orge</b>	0,3	0,034	1,15	0,25
<b>Vesce cultivée</b>	0,4	0,02666667	1,2	1,15
<b>Pêches</b>	0,55	0,005	0,9	0,65
<b>Abricotier</b>	0,55	0,005	0,9	0,65
<b>Noyer</b>	0,5	0,055	1,05	0,65
<b>Olivier</b>	0,65	0,00055556	0,7	0,7
<b>Poirier</b>	0,6	0,005	0,95	0,75
<b>Pommier</b>	0,6	0,005	0,95	0,75
<b>Prunier</b>	0,55	0,005	0,9	0,65

Source : Base de données FAO et LARI, 1998

## Annexe 6

**Liste des dates de début de cycle et des durées de chaque stade cultural**

	Durée de chaque stade (en jours)					Date de début de cycle
	Initiale	Croissance	Mi-saison	Arrière-saison	Total	
<b>Aubergines</b>	30	45	40	25	140	01-juin
<b>Ail</b>	15	162	30	10	217	15-oct
<b>Carotte</b>	30	40	60	20	150	01-mars
<b>Choux Fleur</b>	35	50	40	15	140	15-août
<b>Choux</b>	20	30	20	10	80	01-nov
<b>Concombre</b>	20	30	40	15	105	15-juin
<b>Courgette</b>	25	35	25	15	100	01-mai
<b>Fève</b>	20	30	35	15	100	01-févr
<b>Melon</b>	25	35	40	20	120	01-mai
<b>Oignon Sec</b>	15	25	70	40	150	15-oct
<b>Oignon frais</b>	25	30	10	5	70	15-oct
<b>Pastèque</b>	20	30	30	30	110	15-mai
<b>Pois chiches</b>	15	40	30	35	120	01-mars
<b>Pomme de terre</b>	25	30	35	30	120	15-mars
<b>Radis</b>	5	10	15	5	35	01-avril
<b>Tomate</b>	30	40	45	30	145	01-mai
<b>Haricot blanc</b>	15	25	35	20	95	15-juin
<b>Blé</b>	30	140	40	30	240	15-nov
<b>Lentilles</b>	20	85	15	20	140	01-janv
<b>Lupin</b>	30	135	45	30	240	01-nov
<b>Orge</b>	10	120	45	30	205	20-nov
<b>Vesce cultivée</b>	15	100	30	20	165	10-déc
<b>Pêches</b>	239	60	46	20	365	21-juin
<b>Abricotier</b>	239	60	46	20	365	21-juin
<b>Noyer</b>	121	60	153	31	365	01-nov
<b>Olivier</b>	91	91	137	46	365	01-nov
<b>Poirier</b>	203	61	82	19	365	11-août
<b>Pommier</b>	202	61	82	20	365	11-août
<b>Prunier</b>	239	60	46	20	365	21-juin

*Source : données FAO et expertises agriculteurs et techniciens*

## Annexe 7

### Liste des profondeurs maximales d'enracinement, des fractions d'épuisement maximums en eau du sol et des hauteurs de culture à mi-saison

	Profondeur maximal d'enracinement (m)	Fraction d'épuisement maximum en eau du sol	Hauteur de la culture à la mi-saison (m)
<b>Aubergines</b>	0,95	0,45	0,8
<b>Ail</b>	0,4	0,3	0,3
<b>Carotte</b>	0,75	0,35	0,3
<b>Choux Fleur</b>	0,55	0,45	0,4
<b>Choux</b>	0,65	0,45	0,4
<b>Concombre</b>	0,95	0,5	0,3
<b>Courgette</b>	0,8	0,5	0,3
<b>Fève</b>	0,6	0,45	0,8
<b>Melon</b>	1,15	0,4	0,4
<b>Oignon Sec</b>	0,45	0,3	0,4
<b>Oignon frais</b>	0,45	0,3	0,3
<b>Pastèque</b>	1,15	0,4	0,4
<b>Pois chiches</b>	0,8	0,5	0,4
<b>Pomme de terre</b>	0,5	0,35	0,6
<b>Radis</b>	0,45	0,3	0,3
<b>Tomate</b>	1,1	0,4	0,6
<b>Haricot blanc</b>	0,75	0,45	0,4
<b>Blé</b>	1,65	0,55	1
<b>Lentilles</b>	0,7	0,5	0,5
<b>Lupin</b>	1,5	0,55	0,5
<b>Orge</b>	1,25	0,55	1
<b>Vesce cultivée</b>	1,5	0,55	0,4
<b>Pêches</b>	1	0,5	3
<b>Abricotier</b>	1	0,5	3
<b>Noyer</b>	1	0,5	4,5
<b>Olivier</b>	1,5	0,65	3
<b>Poirier</b>	1	0,5	4
<b>Pommier</b>	1	0,5	4
<b>Prunier</b>	1	0,5	3

Source : base de données FAO, expertises d'agriculteurs

## Annexe 8

### Liste des coefficients de sensibilité au déficit hydrique (Ky)

	<b>Période Végétative</b>	<b>Floraison</b>	<b>Formation rendement</b>	<b>Maturation</b>	<b>Total</b>
<b>Aubergines</b>	0,05	0,005	0,44	0,32	0,81
<b>Ail</b>	0,42	0,42	0,47	0,69	2
<b>Carotte</b>	0,8	0	0,7	0,2	1,1
<b>Choux Fleur</b>	0,2	0	0,45	0,6	0,95
<b>Choux</b>	0,2	0	0,45	0,6	0,95
<b>Concombre</b>	0,66	0,66	1,22	1,22	1,5
<b>Courgette</b>	0,16	0,01	0,43	0,20	0,81
<b>Fève</b>	0,2	1,1	0,75	0,2	1,15
<b>Melon</b>	0,4	1,1	0,8	0,4	1,1
<b>Oignon Sec</b>	0,45	0	0,8	0,3	1,1
<b>Oignon frais</b>	0,45	0	0,8	0,3	1,1
<b>Pastèque</b>	0,4	1,1	0,8	0,4	1,1
<b>Pois chiches</b>	0,2	0,9	0,7	0,2	1,15
<b>Pomme de terre</b>	0,8	0	0,7	0,2	1,1
<b>Radis</b>	0,8	0	0,7	0,2	1,1
<b>Tomate</b>	0,4	1,1	0,8	0,4	1,05
<b>Haricot blanc</b>	0,2	1,1	0,75	0,2	1,15
<b>Blé</b>	0,2	0,6	0,5	0	1
<b>Lentilles</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>Lupin</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>Orge</b>	0,047	0,05	1,17	0,24	1,5
<b>Vesce cultivée</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>Luzerne</b>	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
<b>Pêches</b>	0	0,52	0,7	0,7	1,92
<b>Abricotier</b>	0	0,52	0,26	0,26	1,04
<b>Noyer</b>	0,13	0,01	0,63	0,062	0,8
<b>Olivier</b>	0	0,48	0,3	0,3	1,08
<b>Poirier</b>	0	0,52	0,53	0,19	1,24
<b>Pommier</b>	0	0,52	0,53	0,19	1,24
<b>Prunier</b>	0	0,52	0,7	0,7	1,92

Source : FAO, expertises d'ingénieurs et publications (Lipinski and al., 2011 ; Tuzel 2009 ; Kamal and al., 2010; Ghahraman and al., 1994)

## Annexe 9

### Liste des Cultures importatrices à vocation alimentaire

Cultures importatrices alimentaires	Autres cultures
Aubergine	Pêcher
Chou-fleur	Abricotier
Chou mulch	Noyer
Chou	Poirier
Concombre	Pommier
Pastèque	Prune
Haricots secs	Olive
Oignon	Lupin
Oignon	Orge
Ail	Vesce
Radis	
Tomate	
Melon	
Pomme de terre	
Courgette	
Carotte	
Blé	
Lentilles	
Fèves	
Pois chiches	