

République Algérienne Démocratique et populaire
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche
Scientifique

Ecole Nationale Supérieure agronomique El-Harrach Alger

THESE

Pour l'obtention du diplôme de Doctorat en sciences Agronomiques

Spécialité : Economie rurale

THEME

**Choix des instruments politiques pour la préservation de l'environnement : étude
de cas de la pollution de la nappe phréatique du périmètre de Ahmer-El-Ain
(wilaya de Tipaza)**

Présentée par : Salima SALHI

Président : Mr. Fouad CHEHAT, Professeur, ENSA, Alger

Directeur de thèse : Mr. Mohamed Yassine FERFERA, Professeur, ENSSEA, Alger

Co-Directeur : Mr. Gilles GROLLEAU, Professeur, LAMITA, Montpellier

Examineur : Mr. Abdelmadjid DJENANE, Professeur, Université de Sétif

Examineur : Mr. Abdelhamid KHERBACHI, Professeur, Université de Bejaïa

Examineur : Mr. Abdellah AIDAOUI, Professeur, ENSA, Alger

Examineur : Mr. Slimane BEDRANI, Professeur, ENSA, Alger

Année universitaire : 2012-2013

Remerciements

Dans le cadre du couronnement des années de travaux de recherche pour la préparation et l'élaboration de cette thèse de Doctorat. Je tiens à remercier l'ensemble de mon entourage professionnel, scientifique, administratif et familial pour m'avoir soutenu tout au long des ces années de travail.

Mes remerciements s'adressent plus particulièrement à :

Mr. Mohamed Yassine FERFERA, Professeur à l'ENSSEA et DG du CREAD, directeur de thèse, pour avoir accepté de reprendre le relais de mon ancien directeur de thèse après son désistement. Pour sa sérénité et ses encouragements fructueux, qu'ils soient moraux ou matériels à travers son dévouement, ses orientations scientifiques, sa disponibilité et son sérieux.

Mr. Gilles GROLLEAU, Pr en Economie de l'Environnement, que je dois remercier pour ses orientations, son accueil chaleureux a Montpellier et ses encouragements.

Je remercie **Pr. Bédrani Slimane** de m'avoir intégré dans l'équipe de recherche « Qualiwater » et pour ses orientations durant les 5 premières années d'encadrements ''avant son désistement''.

Mr. Fouad CHEHAT, Professeur à l'ENSA et DG de l'INRA, président du jury, pour avoir accepté de présider le jury de ma soutenance. Il ya lieu de souligner qu'il reste toujours à l'écoute des étudiants, une qualité majeure dont j'ai bénéficié.

Mr. Abdellah AIDAOUI, Professeur à l'ENSA, examinateur, Le mérite lui revient dans mon intégration dans l'équipe de l'hydraulique du département du génie rural, sa disponibilité à répondre à toute mes sollicitations et de m'avoir permis d'assister à des séances de travail à travers ses invitations.

Mes sincères remerciements s'adressent aussi à **Mr. Hamid KHERBACHI, Professeur à l'Université de Béjaia, examinateur, Mr. Madjid DJENANE Professeur à l'Université de Sétif, examinateur** pour avoir accepté d'examiner le travail de notre recherche.

Ma gratitude et mes remerciements sont adressées à Mr **Phillipe TONNEAU**, Professeur à la Maison de Télédétection de Montpellier et **Mr. Amar IMACHE**, Docteur en hydraulique à Montpellier, pour leurs soutiens, leurs encouragements et surtout leurs disponibilités.

Mme Martine PADILLA, Professeur à l'IAM de Montpellier, mes remerciements lui sont adressés pour sa disponibilité, son accueil et ses encouragements ciblés.

Mme Nadia SALHI, Professeur à l'Université l'ISTOM de Paris, mérite des remerciements sincères pour ses encouragements et mon implication dans le domaine de la recherche qui se fait en France en me présentant à des chercheurs français confirmés, qui m'ont orienté dans le processus de ma recherche.

Un grand merci à **Mr. Kemime Samy** pour ses corrections, ses orientations, sa disponibilité et surtout ses encouragements.

Mes sincères remerciements sont adressés à **Mr, Idris**, Délégué communal de la division agricole de Bourkika, pour sa disponibilité, ses déplacements sur terrains à mes côtés et ses encouragements.

J'adresse des remerciements particuliers à **Mr. Fouad SELLAM**, enseignant à l'ENSA, **Mr. Tarik HARTANI**, enseignant à l'INSA, **Mlle. Amel LOUNIS**, Etudiante à l'ENSA, **Mlle. Hamida KHEFFACHE**, Chercheur au CREAD, **Mme. Karima KOUACHI**, responsable au niveau du Ministère de l'Agriculture, pour leurs soutiens et leurs disponibilités.

Mes sincères remerciements et mon respect sont adressés aux deux chauffeurs du CREAD. **Mr. Boubakour Mourad** et **Benghabrit Djemi** qui m'ont accompagné tout le long de la réalisation de mes enquêtes sans me faire sentir leurs fatigues. Mes sincères remerciements sont adressés à mes deux chères collègues en l'occurrence **Mme Taibi Nadia** et **Nora Boudraa** pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Je remercie fortement les différents responsables des institutions, en l'occurrence, **Mr. Ben farés** Le Directeur de l'ONID de Ahmeur El Ain, **Mr le DSA** de la wilaya de Tipaza, **Mr. Le Subdivisionnaire** Agricole de la Daira de Bourkika et ma gratitude et mes respects sont adressés à l'ensemble des agriculteurs du périmètre de Ahmeur El Ain, qui ont fait preuve de bonne volonté et de disponibilité sans retenue aucune.

Des remerciements très sincères et ma gratitude s'adressent à mes parents que je dois citer nommément **Mr Abdelhamid SALHI** et **Mme Fatima SALHI**, qui ont toujours été à mes côtés par leurs encouragements, leurs nuits blanches à mon chevet et leur confiance en mes capacités dans les moments les plus difficiles. J'avoue que mes chers parents ont fait preuve d'une grande sagesse dont je voudrais hériter. Mes sincères remerciements à toute ma famille.

Sommaire

Introduction générale et état de l'art : Intensification agricole et risque de dégradation de la nappe.....	5
<i>Problématique et hypothèses.....</i>	<i>10</i>
<i>Restitution des résultats</i>	<i>14</i>
Chapitre 1 : Pratiques agricoles et pollution de la nappe par les nitrates dans la zone de Ahmer el Ain	15
<i>1.1 État des lieux et caractérisation de la situation environnementale</i>	<i>16</i>
<i>1.1.1 Niveau de pollution de la nappe par les nitrates dans la Mitidja.....</i>	<i>17</i>
<i>1.1.2 Niveau de pollution de la nappe par les nitrates dans la zone de Ahmer el Ain.....</i>	<i>20</i>
<i>1.2 Pratiques agricoles et risque de pollution des eaux par les nitrates.</i>	<i>21</i>
<i>1.3. Facteurs de pollution des eaux par les nitrates à Ahmer el Ain : aspects méthodologiques</i>	<i>23</i>
<i>1.3.1. Type d'assolement.....</i>	<i>25</i>
<i>1.3.2. Période de l'interculture.</i>	<i>26</i>
<i>1.3.3 Stade d'apport d'engrais.....</i>	<i>29</i>
<i>1.4. Relation engrais azoté rendement dans la théorie</i>	<i>30</i>
<i>1.5 Fertilisation azotée minérale pratiquée par les agriculteurs /culture</i>	<i>33</i>
<i>1.5.1Relation engrais azotés-rendement pour la culture de Pomme de terre de saison.....</i>	<i>33</i>
<i>1.5.2 Relation engrais azotés – rendement pour la culture du Poivron sous serre</i>	<i>35</i>
<i>1.5.3 Relation engrais azotés – rendement pour la culture « Agrume vieille plantation ».....</i>	<i>36</i>
<i>Conclusion :</i>	<i>37</i>
Chapitre 2 : Doses optimales d'engrais et préservation des revenus des agriculteurs ...	39
<i>2.1 Analyse de l'évolution des rendements en fonction des engrais par culture.....</i>	<i>39</i>
<i>a/ Blé dur</i>	<i>40</i>
<i>b) Pomme de terre</i>	<i>41</i>
<i>c) Poivron sous serre</i>	<i>41</i>
<i>d) Agrume.....</i>	<i>42</i>
<i>2.2 Estimation des rendements optimaux.....</i>	<i>43</i>
<i>2.3 Part des engrais dans le coût total de la production</i>	<i>43</i>
<i>a) Pomme de terre :</i>	<i>43</i>
<i>b) Poivron sous serre :.....</i>	<i>44</i>
<i>c) Agrume.....</i>	Erreur ! Signet non défini.

2.4 Variation des revenus par variation des quantités d'engrais.....	45
a) Pomme de terre.....	Erreur ! Signet non défini.
b) Poivron sous serre.....	47
c) Agrume.....	47
2.5 Estimation de la « valeur/ coût » pour la culture pomme de terre.....	47
2.6 Analyse des pertes économiques probables dues la fertilisation par culture	49
2.7 Impact de l'intensification sur la concentration des nitrates dans la nappe.....	49
2.7.1 Relation entre quantité d'engrais pratiqués, les revenus des agriculteurs et le lessivage probable des nitrates.....	50
a) Pomme de terre.....	51
b) Poivron sous serre.....	Erreur ! Signet non défini.
2.7.2 Estimation de N en excès	52
2.8 Présentation des scénarios testés par le modèle Apex sur la culture de pomme de terre.....	54
2.9 Présentation des scénarios testés par le modèle SimaPro sur la culture de tomate fraîche en sous serre.	56
2.9.1 Présentation de l'ACV et méthodologie :.....	57
2.9.2 Définition des objectifs et champs de l'étude	58
2.9.3 Phase d'inventaire	58
2.9.4 Phase d'évaluation de l'impact.....	58
2.9.5 Phase d'interprétation.....	58
2.10 Résultats de l'ACV environnementale pratiquée sur la tomate sous serre en Algérie.....	59
2.11 Interprétation des résultats	61
2.12 Les facteurs explicatifs de la demande d'engrais azotés/par les agriculteurs.....	62
2.13 Quelques données sur la Politique agricole.....	62
2.13.1 Les facteurs déterminants de la demande des engrais par les agriculteurs de Ahmer –El Ain.....	Erreur ! Signet non défini.
2.13.2 Evolution de la consommation des engrais en fonctions des prix.....	Erreur ! Signet non défini.
Conclusion :	68

Chapitre 3 : L'irrigation et le goutte à goutte : facteur de pollution de la nappe et système de préservation **Erreur ! Signet non défini.**

3.1. Effets des pratiques d'irrigation sur la pollution de la nappe	70
3.2 Analyse des besoins en eau des cultures.	72
3.2.1 Besoin en eau pour les cultures maraîchères.....	74
3.2.2 Besoins en irrigation de la culture du poivron	74

3.2.3 Besoin en irrigation pour la pomme de terre.....	75
3.2.4 Besoins en irrigation pour les arbres fruitiers	75
3.2.5 Besoin en irrigation pour les Agrumes.....	76
3.3 Les facteurs déterminants l'adoption du goutte à goutte par les agriculteurs algériens.....	77
3.4 Revue de la littérature et intérêt de la question	78
3.5 Variables explicatives et hypothèses.....	79
3.6 Matériel et méthode.....	80
3.7 Caractéristiques des exploitations enquêtées.....	81
3.8-Modèles logit utilisés	81
3.9 Présentation des résultats d'estimation par le modèle Logit.....	81
3.10 Discussion des résultats	82
Conclusion du chapitre 3.	84

Chapitre 4. Recommandation de la théorie de l'externalité face aux choix des instruments de préservation. 86

4.1 Les solutions proposées par Coase	87
4.2 L'intervention d'une autorité supérieure	88
4.3 Ne rien faire ou le laisser faire	89
4.4 Choix de l'instrument de politique.....	90
4.5 Présentation théorique des différents instruments politiques de lutte contre les pollutions.....	91
4.7 Liens avec les principes.....	94
4.8 Avantage et limite des instruments politiques.....	94
4.9 Quelques expériences de l'adoption des différents instruments.....	94
4.10 Comparaison des instruments sur terrain.....	96
4.11 Agriculteur comme acteur se conformant de la réglementation	98
4.12 Informations nécessaires pour la mise en place de l'instrument.	99
Conclusion du chapitre 4	100

Chapitre 5. Scénarios institutionnels pour la préservation de la nappe contre la pollution par les nitrates : Cas du périmètre de Ahmer el Ain.....101

5.1 Spécificité de la pollution des eaux par les nitrates.....	102
5.2 Objectif environnemental à viser par le régulateur	102
5.3 Solutions curatives recommandées dans la littérature ?.....	102
5.3.1. Traitements biologiques (dénitrification).....	102
5.3.2 Traitements physico-chimiques (dénitratation).....	102
5.4. Solutions agronomiques recommandées pour éviter la pollution diffuse	103

5.5	<i>Quelles orientations pour une régulation économique des pollutions diffuses ?</i>	104
5.6	<i>Perception de la pollution par les différents acteurs :</i>	106
5.7	<i>Perception du phénomène de la pollution par les agriculteurs.</i>	107
5.7.1	Résultats des enquêtes individuelles sur la perception de la pollution.....	107
5.7.2.	Des enquêtes collectives, basées sur une approche participative	109
5.8	<i>Préparation et organisation des réunions et les objectifs de chaque étape.</i>	110
5.9	<i>Validation collective des résultats d'enquêtes individuelles par l'approche participative</i>	113
5.10	<i>Discussion et résultats</i>	114
5.10.1	Evolution de la perception de la pollution par les agriculteurs.	115
5.10.2.	Moyens et solutions proposées par les agriculteurs en concertation avec les chercheurs	116
5.10.3	Analyse des scénarios institutionnels préventifs de lutte contre la pollution des eaux	118
5.10.4	Réglementation algérienne en faveur de la protection des ressources en eau	119
5.11	<i>Comparaison en termes de coût et efficacité entre les différents instruments.</i>	121
5.11.1	Coût de la lutte contre la pollution	122
5.11.1.1	Régulation par l'instauration de la norme	122
5.11.1.2	Régulation par la taxation	123
5.11.1.3	Subvention comme solution complémentaire au respect des bonnes pratiques agricoles.	126
	<i>Conclusion</i>	128
Conclusion générale		Erreur ! Signet non défini.
<i>Références bibliographiques</i>		Erreur ! Signet non défini.
	<i>Questionnaire d'enquête : Intensification Agricole et environnement</i>	146
	<i>Annexes</i>	166

Introduction générale et état de l'art : Intensification agricole et risque de dégradation de la nappe

« L'agriculture, c'est-à-dire l'exploitation organisée de ressources naturelles et d'être vivants à des fins alimentaires, reste une activité fondamentale pour la survie de l'homme »

(Bodiguel 1990 p.10)

L'intensification agricole, ces dernières années, a permis l'accroissement de la production mondiale (FAO, 2011). Certes, l'intensification de l'agriculture en irriguée est prometteuse et parfois indispensable pour assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale fortement croissante, tout en sachant qu'elle porte préjudice à la fois à l'environnement et au développement durable. Plusieurs études montrent que l'intensification agricole en irriguée est souvent marquée par une utilisation importante des intrants, particulièrement des engrais azotés, qui sont souvent à l'origine de la pollution des eaux souterraines par les nitrates (Cicho et al., 2010) et de la dégradation de la fertilité des sols (Badraoui et al, 1998, 2000, Soudi et al, 2000). Les dommages causés aux ressources en sol et en eau par l'agriculture, tels que la perte de couches fertiles du sol et la pollution des aquifères par les nitrates, sont parfois irrémédiables (Jolankai, 2003, Rahoui, 2007). A cet effet, une démarche basée sur des actions préventives des dommages environnementaux est nécessaire pour réduire le risque de la dégradation de la nappe.

La problématique de la préservation de la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole est très complexe pour deux principales raisons. La première réside dans sa « multifonctionnalité », elle est en interaction directe avec les ressources naturelles. La seconde raison s'explique par sa multidisciplinarité. Pour cela, trois volets essentiels sont traités dans notre recherche pour pouvoir proposer des éléments de préservation de la nappe contre la pollution nitrique. Le premier volet est basé sur la recherche agronomique, le second est plus économique et enfin le volet environnemental.

Les recherches expérimentales réalisées sur exploitation ont montré que le risque de la lixiviation des nitrates est en étroite relation avec les systèmes de cultures et les caractéristiques pédoclimatiques du milieu (Aghzar et al, 2002, Simon et al, 1992, Bettahar et

al., 2009). Sarr et al., (2009), à travers une étude réalisée sur la culture du maïs, ont clairement montré le lien entre les doses d'engrais apportées aux cultures à l'échelle d'une parcelle, les teneurs de nitrates résiduels post- récolte et le risque de la lixiviation des nitrates vers les eaux. Ces mêmes auteurs définissent la teneur en nitrates résiduels par l'écart entre la dose d'azote apportée et la dose économique optimale. Cette dernière, selon les auteurs, constitue un indicateur qui relie la productivité agronomique à la rentabilité économique. Sebillotte et al., (1990) identifient deux principaux facteurs responsables de la pollution des eaux par les nitrates à savoir la fertilisation azotée et la dynamique de l'eau dans le sol. La contamination de la nappe par les nitrates s'explique essentiellement par le fait que les nitrates sont très solubles et migrent facilement vers la nappe à travers les sols de textures argilo-humique (Gioda et al, 1992, Simon et al., 1992). D'autres auteurs comme Tupin et al, (1999) mettent en évidence que les pratiques les plus polluantes de la nappe par les nitrates sont la fertilisation organique et minérale mais aussi la mauvaise gestion de l'interculture. Il est désormais bien reconnu que les activités agricoles sont à l'origine d'une grande partie de la pollution des nappes souterraines par les nitrates (Jolankai, 2003, Dupuy et al., 1997, Vertès et al., 1992, Berdai et al., 2004, Soudi et al., 2000). Bodson et al (2013) notent que la gestion des risques de la lixiviation des nitrates passe par une meilleure gestion agronomique dite « raisonnée ». De ce fait, il est bien évident que la maîtrise de cette pollution passe par une bonne gestion des pratiques agricoles.

Bodiguel (1990, p. 10) argue que *« l'environnement ne commence à être pris en compte que lorsqu'il se révèle être une valeur non plus seulement esthétique ou symbolique, mais exprimable en termes de coûts et avantages »*. Bodiguel (1990, p. 10) soulève également *« qu'aujourd'hui, les nuisances relatives à certaines pratiques agricoles finissent par se retourner contre la production elle-même et donc contre les intérêts économiques immédiats »*.

A cet effet, les préoccupations exprimées par les chercheurs, au sujet de la pollution nitrique des eaux sont en rapport avec le risque des pertes socio-économiques causées aux agriculteurs et à la collectivité (Simon et al, 1988, Laurant et al, 2004, Stark et al., 2008), mais aussi à cause des conséquences reconnues sur le bien être en général et la santé de la population en particulier (Berdai et al, 2004, Stark et al., 2008). Il y a lieu de souligner que la transformation des nitrates en nitrites dans l'appareil digestif par action microbienne développe des oxydants de l'hémoglobine la changeant en méthémoglobine incapable de transporter l'oxygène (François et al, 2001). Cette méthémoglobinémie provoque une cyanose ou maladie bleue, qui

touche principalement le nourrisson (Avery, 1999, Manassarm et al, 2010). Un autre risque, souvent évoqué, concerne la production de nitrosamines cancérigènes pour le tube digestif (Idrissi, 2006, Gebara et al, 1994, Levallois et al., 1992). Une grande partie de nitrates parvient à l'organisme à travers la consommation d'eau et de légumes, qui peuvent en contenir des doses significatives (Hadjoudj, 2008, Levallois et al., 1992). Un autre dommage touchant le milieu naturel est souvent évoqué ; celui ci est en rapport avec l'eutrophisation des eaux. La réaction chimique entre les nitrates et les phosphates engendrent le phénomène d'eutrophisation qui se manifeste par un développement des algues, souvent néfastes pour l'équilibre de l'écosystème (EL Ghachtoul et al., 2005, Laurant et al., 2007, Keddal et al., 2008, Leblanc, 2010)

Ce sujet a été largement traité dans la littérature, où Comifer (2011) et Duval et al., (2008) considèrent que l'élaboration d'un bilan d'azote prévisionnel constitue la meilleure solution d'ajustement des quantités d'engrais à épandre aux besoins de la plante. Cuny, et al, (1998) proposent un indicateur d'estimation du risque de lessivage des nitrates en mesurant par un tensiomètre le potentiel hydrique et la concentration des nitrates sous la zone racinaire.

Baschet (2009) indique que lorsque la dose d'azote est supérieure aux besoins de la plante, une inefficacité économique et un risque potentiel de pollution nitrique des eaux souterraines sont générés. Par contre, Ramon et al (1998) indiquent que le risque de la surfertilisation qui est à l'origine de la pollution nitrique des eaux revient aux faibles coûts des engrais excédentaires par rapport à l'espérance de gain de rendement.

Berdai et al., (2004) recommandent la maîtrise du risque de lessivage des nitrates par l'adoption des systèmes d'irrigations efficaces (goutte à goutte et pivot). Par contre, Cogels, (1983) conclue que la répartition homogène et uniforme des doses d'irrigation dans une parcelle réduit le risque de lixiviation des nitrates vers la nappe. Keddal et al (2004) confirment que l'hétérogénéité de la répartition des doses d'arrosages dans une parcelle peut constituer un facteur favorable à la pollution nitrique. Pour cela, Gärdenäs et al, (2005) et Blain et al, (2006) montrent dans leurs études, qu'une micro-irrigation accompagnée par une fertirrigation permet de mieux maîtriser les quantités d'eau et fertilisants dans la zone racinaire et de réduire le risque de lixiviation des nitrates. Justes et al, (1999) et Besnard et al, (2000) notent que la mise en culture des pièges à nitrate, durant l'interculture automnale et hivernale, permet de capter les résidus d'azote des cultures précédentes et ainsi réduire le risque de lessivage des nitrates vers la nappe. Gioda et al, (1992) dans leur analyse sur les

mécanismes de la pollution des eaux par les nitrates, ont déduit que seulement les cultures dérobées ou des engrais verts semés en automne peuvent réduire efficacement le surplus d'azote qui se trouve dans le sol. Paz et al, 2004 (cité par Guillaume, 2008) proposent de tenir compte des quantités de nitrates qui se trouvent dans les eaux d'irrigation lors de la fertilisation azotée.

Les outils d'accompagnement de la recherche agronomique sont souvent des modèles qui permettent la compréhension de l'interaction entre le milieu naturel et le développement de la plante et aussi le lien entre les différents scénarios des pratiques agricoles et le risque de lixiviation des nitrates d'origine agricoles vers la nappe. Parmi les principaux modèles de simulation, nous citerons ceux biophysiques et économiques qui permettent de prédire les pratiques agricoles les plus protectrices de la qualité des eaux de la nappe (Hoffmann et al, 1999). Les autres modèles agri- environnementaux, comme EPIC et CROPSYST (Williams et al., 1984), permettent de prédire le risque de pollution en prenant l'ensemble des caractéristiques pédologiques, hydrologiques et climatologiques des différentes zones agricoles. Laurant et al., (2007) proposent une modélisation agrohydrologique en mobilisant le modèle SWAT comme outil d'évaluation des impacts des systèmes agricoles sur la qualité des eaux.

Les résultats de la recherche agronomique permettent de déceler les facteurs de production qui favorisent la lixiviation des nitrates dans les eaux en prenant en considération les différentes interactions avec le milieu naturel. Une fois que les agronomes ont identifié les causes de la dégradation environnementale, il est important d'établir des codes de bonnes pratiques agricoles énoncés sous forme de directives pour les agriculteurs.

Enfin, pour inciter les agriculteurs à adopter ces directives portant sur les techniques de productions rentables économiquement et respectueuses de l'environnement, une harmonisation entre les instruments réglementaires et économiques est recommandée. Certains auteurs comme (Glachant, 2004, Lévêque, 2000, Larrue et al, 2000, OCDE, 2006, Vallée et al, 2002, Bontems et al, 2003) préconisent de recourir aux instruments politiques à travers la réglementation directe dite « commande and contrôle ». Cette dernière veille au respect de la norme de production en définissant préalablement les procédés sous la contrainte de sanctions administratives. Des instruments qui interviennent par le signal « prix » comme la taxe sur les intrants, la subvention des activités moins polluantes, la redevance et autres afin de réduire l'emploi excessif des intrants. En pratique, Lavoux et al, (1992) citent l'expérience

de certains pays de l'OCDE qui ont adopté la taxe sur les intrants comme instrument d'incitation aux changements de comportement des agriculteurs, ils ont conclu que le taux de la taxe appliqué est faible dans la majorité des pays, il n'est pas incitatif pour changer les méthodes culturales. Madelin (1992), dans son article sur « la prise en compte de l'environnement dans les pratiques agricoles » a cité les différents instruments réglementaires et économiques adoptés et leurs limites dans la préservation contre les dégradations d'origine agricole.

Un autre type de régulation peut intervenir à travers des contrats moraux engageant les pollueurs en les motivant à adopter une attitude volontariste par l'instrument informationnel. Sebillotte (1994), montre que la préservation contre la pollution diffuse des sols agricoles n'est efficace que si les pollueurs sont bien formés, informés et bien conseillés et ce quels que soient les instruments de préservation mis en œuvre, en l'occurrence la réglementation directe et économique.

Enfin, Lacroix et al, (2006), mettent en évidence que la territorialisation des politiques de réduction de la pollution est une stratégie efficace à la régulation de la pollution. Ceci permet de tracer les objectifs et les moyens à mettre en œuvre dans un espace donné.

Ainsi, pour palier ce phénomène de dégradation dû à l'existence d'une relation causale entre les pratiques agricoles et la contamination des eaux souterraines par les nitrates, une panoplie d'instruments a été mise en œuvre, orientée vers la recherche agronomique et les solutions économiques.

En Algérie, le sujet de la pollution des eaux n'a été traité jusqu'au jourd'hui que sous l'aspect quantitatif des niveaux de concentration des nitrates dans les eaux souterraines. Les travaux réalisés par Baali et al, (2007) pour diagnostiquer le risque de pollution de la nappe par les nitrates dans les zones agricoles ont montré par l'analyse hydro-chimique qu'elle présente de fortes concentrations en nitrate, dépassant parfois les 100 mg/l dans les nappes de Chéria. D'autres analyses hydro-chimiques effectuées dans la Mitidja ont permis de déceler des taux de concentration en nitrates assez élevés, évoluant entre 49 et 200 mg/l (Tabet et al, 1993 ; Bélaidi et al, 2005 cité par Bounab, (2009), Hadjoudji, 2008 et Lounis et al, 2010).

Dans notre zone d'étude, les pratiques agricoles inadaptées peuvent générer une pression sur l'environnement. Les résultats sont visibles dans le périmètre irrigué où la teneur en nitrate dans les eaux de la nappe phréatique est élevée (prélèvement effectué sur des puits et des

forages). Dans ce cas, le premier indicateur d'état ou d'impact est le taux de concentration des eaux en nitrate.

En Algérie, peu de travaux se sont intéressés à l'identification du rapport entre les pratiques agricoles actuelles et le risque de pollution et encore moins à l'analyse des instruments de préservation. Probablement, le problème de pollution de la nappe ne constitue pas une priorité immédiate pour l'Etat malgré sa prise de conscience sur les dommages qui peuvent être engendrés par la pollution des eaux. D'où l'intérêt de notre recherche qui a pour objet d'étudier et d'analyser l'impact de l'intensification agricole sur le risque de pollution de la nappe contre les nitrates, à l'effet de proposer des éléments de politiques publiques en terme d'instruments à mettre en œuvre et de pratiques à développer pour préserver la ressource eau.

Notre recherche a pour premier objectif l'analyse de l'interaction entre l'intensification agricole, l'accroissement des rendements et le risque de la contamination de la nappe phréatique par les nitrates dans un périmètre irrigué, en l'occurrence celui de Ahmer-El- Ain. Le deuxième objectif concerne l'analyse de la perception de la pollution par les différents acteurs et ainsi, par une approche participative, proposer des solutions de préservation contre les pollutions des eaux, efficaces économiquement et surtout acceptables socialement.

Problématique et hypothèses

A cet effet, notre recherche se doit de répondre à la question suivante : dans une agriculture intensive où le risque de pollution des eaux par les nitrates est probable, quels instruments institutionnels, les mieux adaptés, doivent être mis en œuvre pour réduire et préserver la nappe contre la contamination par les nitrates d'origine agricole ?

De cette première interrogation découle une série de questions secondaires, qu'il conviendra de traiter analytiquement :

Sq1 : Comment les pratiques agricoles contribuent elles à la dégradation de la nappe par les nitrates?.

Sq2: Comment les agriculteurs perçoivent la pollution des eaux par les nitrates ? Quels sont les moyens à mettre à leur disposition pour préserver la nappe contre la pollution ? Le principal enjeu réside dans l'amélioration de la compréhension des relations entre occupation du sol et qualité des eaux souterraines et de surface.

Pour répondre à nos questionnements, nous tiendrons compte des quatre hypothèses suivantes :

- **Hypothèse 1** : Etant donné le peu d'études locales, il est difficile de déterminer l'impact de l'utilisation des engrais sur le rendement et la pollution des eaux par les nitrates. L'hypothèse stipule que les agriculteurs estiment que le rendement est tributaire des conditions hydriques et des quantités d'engrais à épandre. A ce titre, ils ne se préoccupent pas du problème de la pollution. Si cette hypothèse est vraie, il est important de penser que tous les agriculteurs ne raisonnent pas leur fertilisation de la même façon. Il est probable que certains agriculteurs sur-fertilisent.
 - **Hypothèse 2** : La deuxième hypothèse repose sur l'intuition que l'adhésion volontaire des agriculteurs au programme de lutte contre la pollution diffuse peut constituer une solution efficace et durable. On suppose que si les agriculteurs sont informés de l'interaction entre les pratiques agricoles et le risque de pollution de la nappe par les nitrates et ses conséquences sur leur bien être, ces derniers optent pour des comportements plus respectueux de l'environnement. Dans ce cas, il est légitime d'accepter de recourir aux bonnes pratiques agricoles.
- Hypothèse 3**: On suppose que la subvention accordée aux agriculteurs développant de bonnes pratiques renforce leur adhésion aux programmes de préservation de la nappe contre la dégradation nitrique.
- **Hypothèse 4**: l'hypothèse quatre postule que l'approche participative renforce l'attractivité des agriculteurs pour les bonnes pratiques agricoles. Contrairement aux instruments économiques et dissuasifs.

Méthodologie :

Pour répondre à la problématique du risque de pollution de la nappe par les nitrates d'origine agricole et sur les moyens de préservation, trois volets sont traités à savoir le volet agronomique, le volet économique et le volet environnemental.

Ce travail est relativement difficile et complexe en l'absence de bases de données sur les indicateurs socio-économiques qui mesurent la pression sur les ressources naturelles de la région d'étude. La détermination de l'optimum de rendement pour un optimum d'engrais, estimé par des expérimentations, présente des difficultés qui nous amènent à opter pour la méthode d'expertise ou d'ingénieur basée sur des enquêtes auprès des agriculteurs pour

analyser le double impact des pratiques agricoles sur le risque de perte économique et sur la pollution de la nappe par les nitrates. Un autre problème réside dans la difficulté d'évaluer le coût des dommages, les coûts de dépollution et les bénéfices des politiques de préservation. Ceci est d'autant plus difficile lorsqu'il s'agit d'une pollution diffuse dans une situation d'asymétrie de l'information.

Dans ce contexte, il convient de souligner que l'absence de données de référence sur les coûts à mettre en œuvre et du niveau d'efficacité à atteindre, montre l'intérêt certain de l'élaboration de bases de données du rapport entre l'activité agricole et l'environnement. Il convient surtout, pour palier cet inconvénient, de proposer des scénarios de protection de l'environnement basés sur une étude réelle. La démarche que nous proposons de développer vise à construire un cadre de réflexion qui soit utilisable par le législateur lors de la mise en place d'une politique de protection de l'environnement.

Afin de réaliser cet objectif, plusieurs enquêtes ont été réalisées. La première a été consacrée à l'analyse chimique et la mesure des taux de concentration en nitrate des eaux de 47 forages situés à l'intérieur du bassin versant de Sidi Rached englobant les communes de Sidi Rached et Ahmer el Ain (les prélèvements ont été effectués par les étudiants de l'ENSA¹ dans le cadre du projet Qualiwater²). Une fois prouvée la pollution de la nappe par les nitrates sur 42% des observations, les autres enquêtes ont été orientées vers l'analyse socio-économique de l'activité agricole actuelle, les facteurs explicatifs de la demande des engrais par les agriculteurs, la détermination des facteurs favorisant l'adoption des systèmes d'irrigation économes en eau et protecteur de l'environnement en faisant référence au système du goutte à goutte et une analyse particulière sur la perception de la pollution par les différents acteurs. Ces enquêtes ont été réalisées sur l'ensemble des 107 exploitations de la zone de Ahmer-El-Ain (identifiées à partir d'une carte topographique).

Nos enquêtes ont ciblé les responsables des exploitations et des EAC. Elles ont été menées, avec la collaboration d'un technicien de la subdivision de Bourkika dans la wilaya de Tipaza durant la période 2007-2012, sur la base d'un questionnaire portant identification des exploitants et des structures des exploitations, recensement des problèmes spécifiques à l'utilisation des engrais, impact des engrais sur les rendements et enfin sur la probabilité de

¹ ENSA : Ecole Nationale des Sciences Agronomiques

² Le projet "Qualiwater" a pour objectif d'établir des bilans Entrée - Sortie de l'eau, des sels et d'azote dans des périmètres irrigués représentatifs du bassin méditerranéen, et d'évaluer les effets de la gestion agricole actuelle à l'échelle du champs (salinisation – sodication) et à l'aval du système agricole (lixiviation des sels et nitrates).

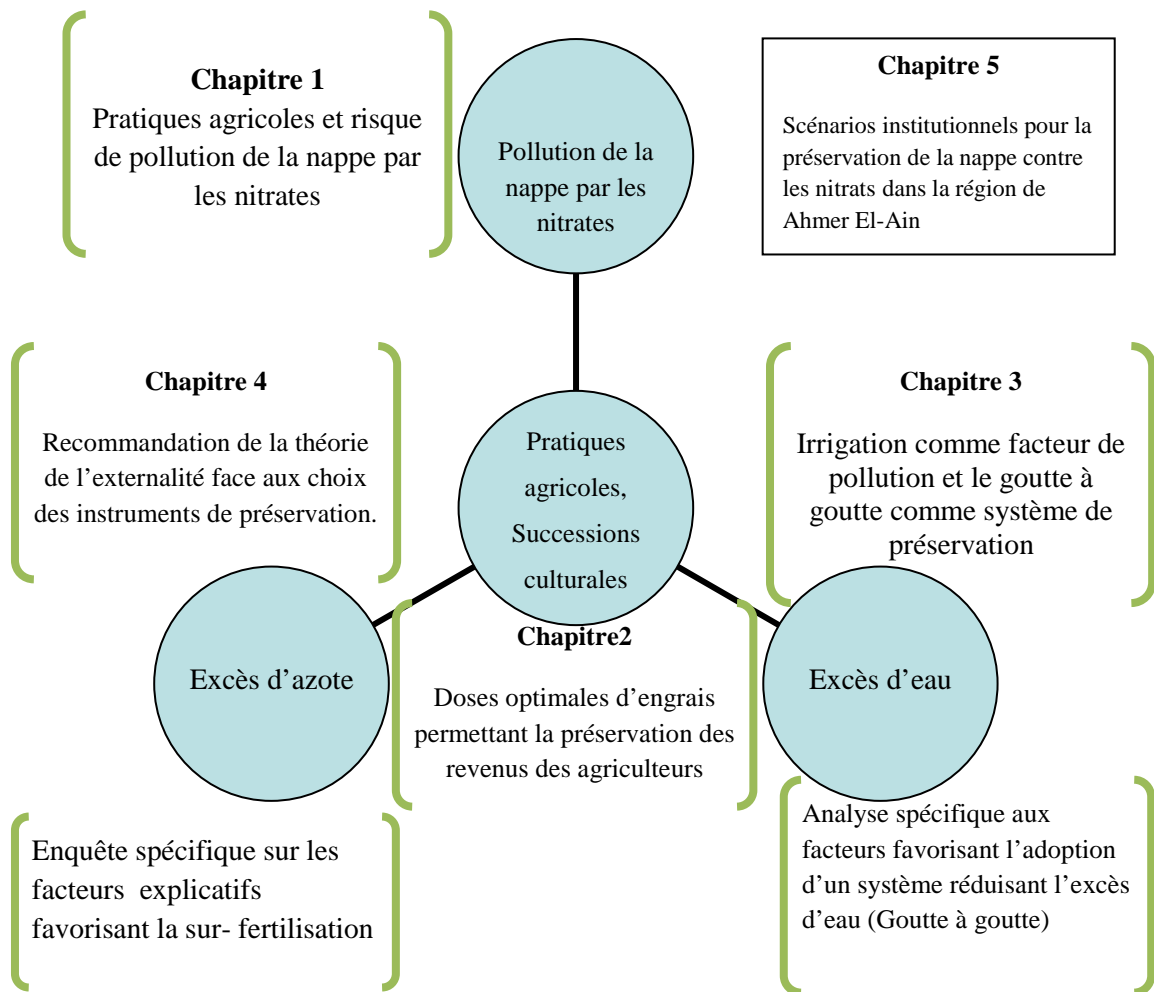
l'utilisation des engrais sur la qualité des eaux souterraines. Un autre volet a été consacré à l'analyse des systèmes d'irrigation et des facteurs d'adoption du goutte à goutte et à la perception de la pollution par les agriculteurs.

Les analyses sur les indicateurs économiques comme les coûts de production et les revenus estimés sur la base des déclarations des agriculteurs, ont fait l'objet d'analyses statistiques réalisées sur Excel.

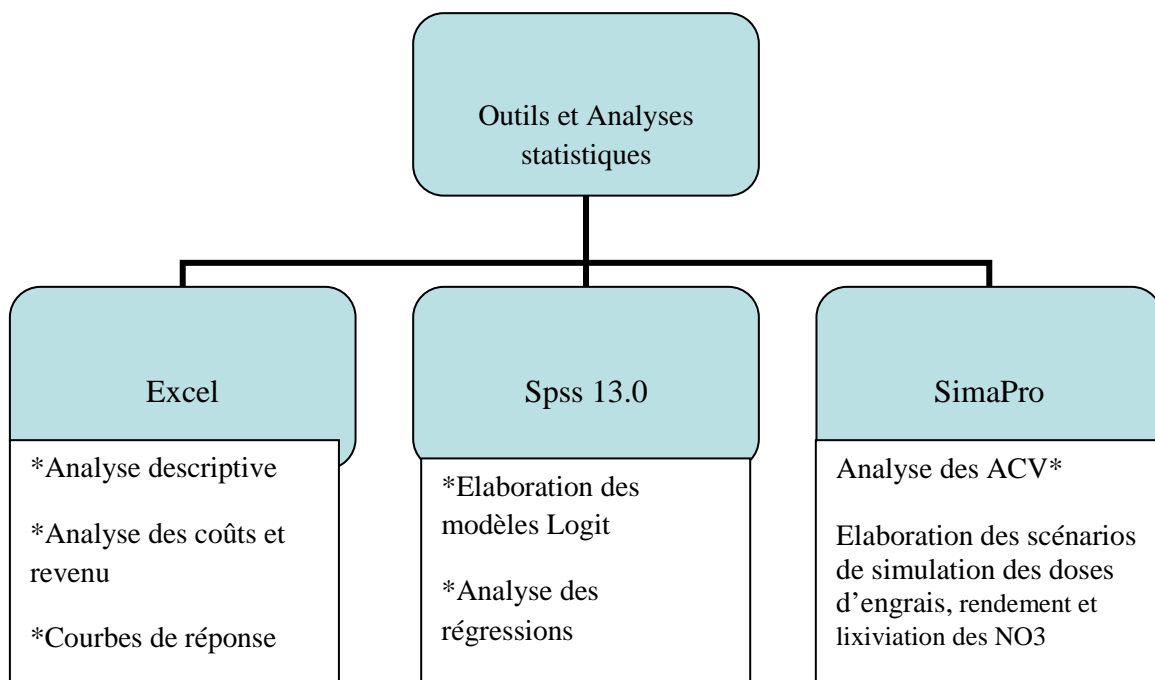
Pour déterminer les facteurs explicatifs de l'adoption du goutte à goutte par les agriculteurs algériens, un modèle économétrique 'logit' est réalisé sur SPSS. Enfin pour répondre à l'hypothèse sur la construction des scénarios institutionnels de protection de la nappe, une recherche bibliographique sur l'expérience des pays européens en rapport avec la protection de la pollution diffuse d'origine agricole est nécessaire afin d'en tirer profit. L'analyse théorique des instruments politiques de protection de l'environnement sera traitée dans le chapitre quatre et par la suite des scénarios politiques seront analysés, comme l'approche participative qui sera testée et qui nous permettra de déterminer l'impact du changement du comportement des agriculteurs sur l'amélioration de l'environnement. Le principal objectif de cette partie sera de développer un consensus entre les agriculteurs et les différents acteurs et de les converger vers un objectif commun correspondant à la protection de la nappe contre la pollution. Le second objectif sera l'évaluation des moyens techniques et financiers à mettre à la disposition des différents acteurs pour la concrétisation des résultats escomptés.

Dans cette recherche, l'instrument qui sera développé et testé de manière plus détaillée et celui du respect des bonnes pratiques agricoles avec l'adoption d'une attitude volontariste, c'est-à-dire sans le recours aux instruments coercitifs ou économiques (taxe).

Restitution des résultats



Deuxième phase est consacrée à la détermination des méthodes d'analyse et outils statistiques mobilisés.



Chapitre 1 : Pratiques agricoles et pollution de la nappe par les nitrates dans la zone de Ahmer el Ain

Introduction

Gosse (1997, p 69) note que « la prise en compte des impacts environnementaux liés aux techniques culturales devient une nécessité pour l'agriculture de demain ». Mignolet et al (2008, p : 3) observe que « l'importance du rôle de l'agriculture dans le développement territoriale est reconnue, alors que le territoire devient un axe majeur des problématiques de développement agricole ». Il insiste par ailleurs que la pollution nitrique diffuse et son accroissement résident principalement dans la façon dont les activités agricoles s'organisent et évoluent dans un territoire et dans le temps.

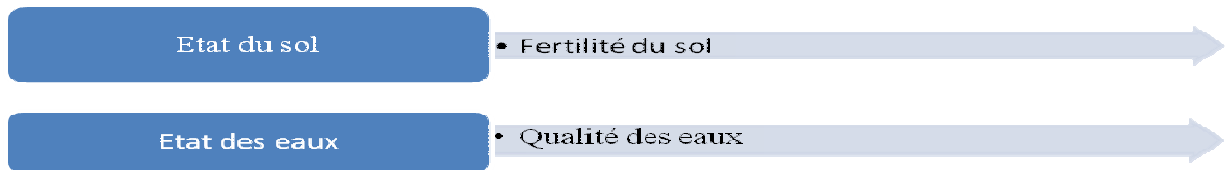
Bodiguel (1990, p :10) dans un ouvrage sur la « production et préservation » met l'accent sur la spécificité de l'agriculture par rapport aux autres secteurs d'activités. Il tient à ce que l'agriculture se définisse à la fois comme « exploitation organisée de ressources naturelles et d'êtres vivants à des fins alimentaires, reste une activité fondamentale pour la survie de l'homme ». Ce même auteur note que "la confrontation entre agriculture et environnement apparaît d'abord comme un conflit de représentations et d'usages entre différentes catégories sociales et les modalités de gestion en seront le reflet" (Bodiguel., 1990, p : 22).

Ainsi, l'agriculture est un secteur d'activité en interaction continue avec les ressources naturelles « sol-eau-atmosphère ». L'agriculture permet de produire un bien agricole mais aussi de rejeter des émissions polluantes dans les ressources naturelles.



Afin de mieux comprendre cette interaction entre l'agriculture et la ressource naturelle « eau », une étude approfondie a été réalisée sur un périmètre irrigué situé dans la Mitidja

Ouest. L'objectif principal est de comprendre de manière explicite cette relation entre l'intensification agricole et la pollution de la nappe par les nitrates d'origine agricole.



Cuny et al, (1998) ont montré que les indicateurs de l'un des flux polluants, comme la lixiviation des ions nitrates, peuvent être estimés à partir des mesures sur parcelle à l'aide d'un tensiomètre tensionic situé dans la zone racinaire, ou de modèles mixte bio-économique (Belhouchette, 2004, Flichman et al, 2000). Dans notre recherche, l'analyse de déduction du risque de lixiviation des nitrates est effectuée à partir des pratiques agricoles et d'un modèle de simulation effectuée sur la pomme de terre réalisé dans la cadre du projet (Qualiwater, ENSA).

1.1 État des lieux et caractérisation de la situation environnementale

Dans cette section, nous allons analyser la situation environnementale en Algérie par l'analyse des niveaux de concentration des nitrates dans les eaux souterraines des différentes zones, un intérêt particulier sera accordé à la zone de la Mitidja Ouest. Une partie des résultats présentés dans ce chapitre est puisée de la bibliographie et des rapports de l'ANRH, alors que les résultats spécifiques à la zone de Ahmer el Ain ont été obtenus par des analyses hydrochimiques effectuées sur des prélèvements d'échantillon prélevés par les hydrauliciens de l'INA d'Alger et l'ADE sur une cinquantaine de forages et puits avec notre participation.

Notre zone d'étude est située dans la commune de Ahmer el Ain. Elle fait partie du périmètre irrigué de la Mitidja Ouest. Elle est comprise entre la barrière du Sahel au nord, les piémonts de la chaîne montagneuse de l'Atlas Blidéen au sud. Elle relève administrativement de la wilaya de Tipaza. Ce périmètre d'une superficie globale de 3350 ha, contient 80 forages, destinés principalement à l'irrigation et en second lieu à l'alimentation en eau potable des ouvriers agricoles et des douars non encore raccordées au réseau AEP.

Figure 1. Situation de la zone d'étude



Cité par G. Mutin : aan.mmsh.univ-aix.fr/volumes/1975/1975/AGRICULTURE-EN-M...

1.1.1 Niveau de pollution de la nappe par les nitrates dans la Mitidja

Les résultats des analyses de concentration des eaux souterraines par les nitrates, effectuées par l'A.N.R.H de Blida durant la période 1985-1993 au niveau de 16 puits, montrent que les échantillons prélevés présentent des teneurs en nitrates variant entre 49 et 200 mg/l, ce qui est nettement supérieur à la norme de potabilité de 50 mg/litre.

Tableau n°1 : Evolution de la concentration des nitrates des eaux souterraines de la Mitidja

Dates des prélèvements	Taux de nitrates en Mg/l
juin-85	49
janv-86	98
sept-86	91
sept-87	83
juin-90	145
nov-91	130
juin-93	200

Source : ANRH, 1985, cité par Tabet et al, 1995

Dans un rapport du PNAE-DD (2002), des analyses du suivi hydro-chimique effectuées dans la Mitidja entre 1985 et 1993 ont révélé de fortes concentrations dans les différentes zones. Un taux de nitrates de 200mg/l est estimé dans la zone de Reghaia, un taux de 270 mg/l est observé dans la zone de haut Cheliff et une concentration entre 60 et 169mg/l est constatée dans la nappe de Sidi bel Abbas.

Une autre importante étude a eu lieu sur la pollution par les nitrates des nappes aquifères dans l'ensemble de la Mitidja (Hadjoudj, 2008), des analyses hydro- chimiques ont été effectuées sur 243 prélèvements des forages utilisés pour l'alimentation en eau potable (AEP) de la région et sur 72 prélèvements des forages réalisés par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH)..

Pour l'ensemble de la Mitidja, des résultats divergents apparaissent pour les deux réseaux (AEP et ANRH). Pendant que la pollution moyenne dans le réseau AEP diminue entre 2004 et 2007, en passant de 57,3 mg/litre à 19,1 mg/litre, la pollution pour le réseau ANRH augmente de 43,07 mg/litre à 69,15 mg/litre.

Tableau n° 2. La pollution des nappes aquifères de la Mitidja

Réseau AEP (n=243)					Réseau ANRH (N=72)			
	Année				NO3 (mg/l)	Année		
	2004	2005	2006	2007		2005	2006	2007
	NO3 (mg/l)	57,3	38,2	35,2		19,1	43,07	64,97

Source : Hadjoudj, 2008, p 227

Les analyses effectuées sur les prélèvements d'eau dans les forages ANRH (non protégés) dans le périmètre de Ahmer el Ain, qui est notre région d'étude, montrent une forte concentration en nitrates, soit 130 mg/l.

Tableau 3: Concentration en nitrates dans les puits et forages de la Mitidja.

N° Point	Teneur e NO3- en Mg/l octobre 2004	Localités
P200/21	135	Sud de Reghaia
P439/42	110	Ouest de Meftah
P688/42	95	Nord Ouest de K. Khechna
P251/62	130	Ahmer el Ain
P333/62	77,5	Nord el Affroun

Source: Belaidi et Rahebaoui, ANRH, 2005, cité par Bounab,2009

Les résultats d'analyses des différentes campagnes (Bélaïdi et al, 2005 cité par Bounab, 2009) révèlent la persistance de taux élevés de la concentration des nitrates dans certains puits, comme particulièrement pour la région de Ahmer el Ain.

Tableau n° 4: Minéralisation et évolution des taux de nitrates de quelques puits dans la plaine de la Mitidja

Puits	mai-95	janv-86	sept-86	sept-87
5	64	44	88	50
200	49	98	91	
192	61		130	97
808	65	23	23	78
291	48	51	58	97
193		32	59	52
307		98	56	53

Source : Boudjadja et al, 2003.

Selon Boudjadja et al, (2003) la pollution de la nappe dans la Mitidja a touché la moitié des puits analysés avec des concentrations dépassant les 50 mg/l. Ouahiba et al, (2008) signalent que les résultats des analyses physico-chimiques de 315 échantillons d'eau souterraine prélevés dans la Mitidja relèvent des teneurs en nitrates supérieures à 50 mg/l. Dans un rapport du PNUE (2004) sur le suivi de la qualité des eaux de la nappe de la Mitidja pour la période allant de 1997-2000, marque une variation des teneurs en nitrates avec respectivement de 97 à 125 mg/l et de 51 à 98 mg/l dans la Mitidja Ouest. Meklati, (2009) confirme l'existence des concentrations élevées dans la zone de la Mitidja qui dépasse parfois les 100 mg/l.

Tableau n°5: concentration des nitrates dans zone de la Mitidja

	1985-1991	1997-2000
Mitidja Est	5 à 100 mg/l	51 à 125 mg/l
Mitidja Ouest	8 à 287 mg/l	65 à 190 mg/l

Source : Meklati, 2009

Selon l'auteur, les valeurs réparties ci dessus dépend de la période de prélèvement basse eau et haute eau.

Tableau n°5 bis: La concentration des nitrates dans certains sites algériens

Villes	N-NO3 en mg/l	Année
Mitidja	260	2004
Collo (Oued Mezzouze	570	2004
Sidi Bel Abbess	175	2004
Batna	125	2006
Chéria	80-120	2006
Skikda	47,9	2007
Tlemcen	242	2008

Source : Bougherara, 2010.

Il est à noter que dans certains sites de la plaine de la Mitidja a atteint un taux de nitrate de 260 mg/l en 2004 selon Bougherara (2010).

1.1.2 Niveau de pollution de la nappe par les nitrates dans la zone de Ahmer el Ain

Le niveau de pollution par les nitrates des eaux souterraines dans la zone de Ahmer el Ain commence à devenir de plus en plus important. La teneur en nitrate enregistrée pendant la période de suivi (2008-2009) est très variable dans le diapason 15 - 291 mg/l de NO₃ selon les résultats du suivi effectué sur 50 points d'eau par les chercheurs de l'ENSA (département génie rurale)

Tableau n° 6: Typologie des taux de nitrates dans les forages les périmètres de Sidi Rached et Ahmeur el Ain

Classes	Intervalles (mg/l)	Nombre d'observations	Pourcentage (%)
1	NO ₃ ⁻ < 10	2	1,71
2	10 < NO ₃ ⁻ < 50	65	55,56
3	50 < NO ₃ ⁻ <100	43	36,75
4	NO ₃ ⁻ >100	7	5,98

Résultats d'analyse des eaux de forages, , ENSA, 2008-2010.

36,75 % des mesures diachroniques portées dans ces tableaux montrent que le taux de nitrate dans les points d'eau varie entre 50 et plus de 100 mg/l, ce qui représente une teneur élevée en nitrate dans la nappe de Ahmer el Ain (> 50 mg/l). Lounis et al 2010, indique que 67% des analyses chimiques effectuées sur 50 forages situés dans la bassin de Sidi Rached, Ahmer El-Ain durant la période 2008-2010, la teneur en nitrate dépasse largement la norme de 50 mg/l. Il est à noter aussi que les résultats d'analyses des eaux dans le bassin de Sidi Rached révèlent des taux de nitrates supérieurs à 50 mg/l dans certains puits illicites destinés à la consommation humaine (Lounis et al, 2010).

Tableau n°7 : Concentration des nitrates à Ahmer el Ain

Commune	Nombre de prélèvements (N)	Moyenne (mg/litre)	Ecart-type
Ahmer El Ain	3	112,2	60,22
Sidi Rached	9	74,23	45,71

Source : Hadjoudj, 2008, p 238

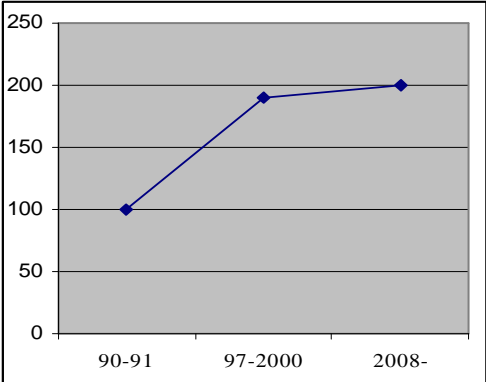
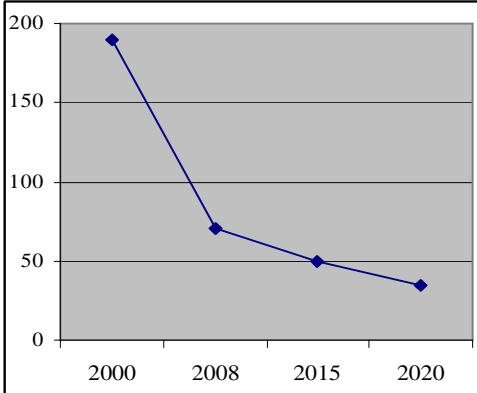
De ce tableau, nous relevons une forte concentration en nitrate dans la zone de Ahmer-El Ain.

Cet état des lieux sur le niveau de la concentration des nitrates dans la nappe de la Mitidja, nous amène à réfléchir sur une méthode de préservation de la nappe qui n'enregistre pas des taux élevés en nitrate.

1.2 Pratiques agricoles et risque de pollution des eaux par les nitrates.

L'analyse du scénario tendanciel, telle quelle a été présentée dans le rapport sur l'indicateur « teneur en nitrates des eaux souterraines » du ministère de l'environnement a montré clairement l'évolution croissante de la teneur en nitrate dans la nappe. L'une des principales explications de cette tendance pourrait être l'utilisation abusive des engrais azotés depuis la révolution agraire. D'autres facteurs peuvent également être à l'origine de cette contamination comme la persistance des pratiques culturales intensives et l'absence quasi-totale d'une réglementation dissuasive. L'analyse du scénario alternatif suppose qu'avec un dispositif et une politique d'encouragement par une approche de sensibilisation et d'information sur les bonnes pratiques en engrais et en irrigation améliore et réduit le taux de nitrate dans les eaux souterraines.

Tableau n° 8: Analyse tendancielle des teneurs en nitrates des eaux souterraines : teneur moyenne en mg/l

Scénario tendanciel	Scénario alternatif	Actions
<p>1990-1991 : 100 mg/l</p> <p>97-2000 : 190 mg/l</p> <p>2008 : 200mg/l</p> <ul style="list-style-type: none"> - Usage abusif des engrais azotés - Persistance des pratiques culturales intensives - Réglementation dissuasive inexistante 	<p>2000 : 190 mg/l</p> <p>2008 : 70 mg/l</p> <p>2015 : 50 mg/l</p> <p>2020 : 35 mg/l</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dispositif et politique en vue de réduire les quantités d'engrais azotés - Sensibilisation et information pour adopter des systèmes d'irrigation 	<ul style="list-style-type: none"> -Promulgation des textes et règlements pour le contrôle de l'usage abusif des engrais azotés. -Promotion des études pédologique des sols - Généralisation du goutte à goutte

Source : Ministère de l'environnement, 2004.p13

Ainsi, la pollution de la nappe par les nitrates est étroitement liée aux pratiques agricoles (Choix des cultures, rotations, irrigation, nature pédologique du sol ...) (Berdai et al, 2004,

Ackerer et al, 1990). Cette déduction montre qu'il faut agir au niveau des systèmes de cultures, où doit se raisonner la relation entre pratiques agricoles et qualité nitrique des eaux souterraines et ainsi élaborer des solutions efficaces pour préserver cette ressource.

Tableau n° 9: Exemples d'effets négatifs produits par l'agriculture

Pratiques agricoles	Effets directs	Effets induits
Non respect des doses et délais homologués des traitements phytosanitaires	Résidus sur cultures dépassant les normes	Risque sur la santé des individus.
Pratiques intensives de la fertilisation des cultures	Contamination des eaux souterraines et de surface, eutrophisation des eaux de surface (nitrates, phosphates)	Santé population, baisse qualité des ressources aquatiques, pertes de valeur récréative des sites
Elevage intensif, pulvérisation des cultures	Pollution atmosphérique	Désertification des zones affectées
Concentration des exploitations, monoculture, suppression des haies,	Dégradation des paysages et de l'habitat des espèces sauvage	Désertification, pertes de la valeur récréative et touristique des sites
Suppression des cultures intermédiaires	Tassement ou érosion des sols	Pertes de productivité agricole, baisse de la qualité des ressources en eau

Source : d'après OCDE, 1992, complété par c. Sérès 2006

Dans la littérature, certains auteurs (Bel et al., 2004, Gareth, 2004) ont montré le rapport entre l'intensification agricole et la tendance à la hausse de la pollution des eaux superficielles et souterraines par les nitrates dans certains pays développés. D'autres auteurs comme (Badraoui et al, 2000, Souidi et al, 2000, Berdai et al, 2004), dans leurs études sur le risque de pollution des eaux dans les pays en développement, ont clairement soulevé le rapport cause à effet des pratiques agricoles et la pollution des eaux par les nitrates, alors que la nécessité absolue est de mettre en œuvre, à la fois, une stratégie de développement agricole et une politique de protection de l'environnement.

Par ailleurs, d'autres chercheurs s'efforcent d'identifier les facteurs favorisant la dégradation de la nappe phréatique, tels que les quantités d'engrais utilisées, les systèmes d'irrigation et le système de drainage pratiqués (Keddal et al, 2008, Berdai el al, 2004). Par contre, Carmona, (2004) a démontré la relation entre l'environnement socio-économique et l'environnement bio-physique à travers la conception d'un modèle de simulation pour aider les pouvoirs publics dans le choix d'une stratégie de développement. Alors que les agronomes s'accordent à dire que le transfert des résidus de nitrates vers la nappe est du à un certain nombre de

facteurs interdépendants, en l'occurrence, les facteurs climatologiques (précipitations, évapotranspiration), les facteurs agrologiques (microbiologie des sols, propriétés physico-chimiques) et les facteurs agronomiques (type de culture, rotation, type de fertilisants, profondeur des racines) (Bel et al. 1999, Hatem, 2008).

Des recherches approfondies sur l'interaction probable entre le milieu et les différents facteurs le constituant permettent de mieux cerner le phénomène de la pollution de la nappe. En pratique, le phénomène de la pollution de la nappe par les nitrates d'origine agricole est très complexe.

Parfois, les chercheurs se retrouvent dans une situation de non maîtrise de certains facteurs, d'où la tendance des agronomes vers l'option du raisonnement en termes de risque de pollution nitrique. Sebillotte et al., (1990) dans leur analyse sur la *grille de risque*, proposent :

1. d'analyser le risque selon le fonctionnement des exploitations, évalué par le degré de capacité du milieu à faire face aux apports d'engrais des différentes pratiques adoptées dans une parcelle et pour le même système de production ;
2. d'évaluer le risque selon les milieux, risque de la lixiviation de l'azote au-delà de la zone racinaire la plus profonde durant le cycle cultural. Ce risque dépend plus au moins des bilans hydriques, des doses d'engrais azotées, et de la profondeur des racines ;
3. d'évaluer le milieu par rapport à la variabilité inter-annuelle des potentialités agricoles qui «*correspondent pour un système de culture donné au meilleur emploi des facteurs de production... Ces potentialités agricoles sont, par définition, supérieures ou égale au rendement*» (Sebilotte et al 1990 p : 299).

Pour mieux orienter les agriculteurs dans le choix des pratiques agricoles les plus adéquates qui garantissent la durabilité économique et environnementale, une évaluation et une analyse approfondie du rapport entre les pratiques agricoles, les rendements, le risque de pollution, de pertes économiques et environnementales sont indispensables.

1.3. Facteurs de pollution des eaux par les nitrates à Ahmer el Ain : aspects méthodologiques

Notre investigation s'est basée sur un questionnaire d'enquête, permettant l'identification des exploitants et de la structure des 107 exploitations. Un volet de ce questionnaire porte sur le

recensement des problèmes spécifiques à l'utilisation des engrais, sur l'impact des engrais sur les rendements et enfin sur la probabilité d'impact de l'utilisation des engrais sur la qualité des eaux souterraines.

Notre étude nous a permis de constater la situation socio-économique suivante de notre échantillon d'agriculteurs :

- Les agriculteurs d'une moyenne d'âge de 51 ans puisent leur main d'œuvre des membres de leurs familles composées en moyenne de huit (08) personnes.
- Le taux d'analphabétisme dépasse les 31 % au sein de cette communauté, alors que les 59 % restants ne dépassent que rarement le niveau collège.
- Plus de 95% d'agriculteurs dépendent exclusivement des revenus de l'agriculture et moins de 10 actinent parallèlement dans des domaines extra agricoles comme le petit commerce et les emplois occasionnels.

Tableau n°10 : Caractéristiques descriptives des agriculteurs enquêtés dans le périmètre de Ahmer el Ain

1a : Age des agriculteurs et importance de la famille dans l'exploitation			
	Valeur minimale	Valeur maximale	Moyenne
Age de l'exploitant	23	80	51
Nombre de personnes de la famille vivant de l'exploitation	2	43	8
Nombre de membres de la famille travaillant à temps plein dans l'exploitation	1	8	2
1b : Niveau d'instruction des agriculteurs			
	Fréquence		%
Analphabète	33		31
Niveau primaire	32		30
Niveau collège (moyen)	30		29
Niveau secondaire	10		10
Niveau supérieur	0		0
Total	105		100
1c : Pluriactivité des agriculteurs			
	Fréquence		%
Ouvrier	5		5
Employés	5		5
Aucune activité	95		90
Total	105		100

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

1.3.1. Type d'assolement.

L'assolement le plus répandu est de type biennal, blé dur / pomme de terre représenté avec 44 % du système de rotation..

La carte d'occupation du sol ci-après montre que les cultures maraîchères et céréalières étaient dominantes durant l'année 2008-2009 dans le bassin versant de Sidi Rached (Henneb, 2009).

Figure 2. Occupation du sol dans le bassin de Sidi Rached

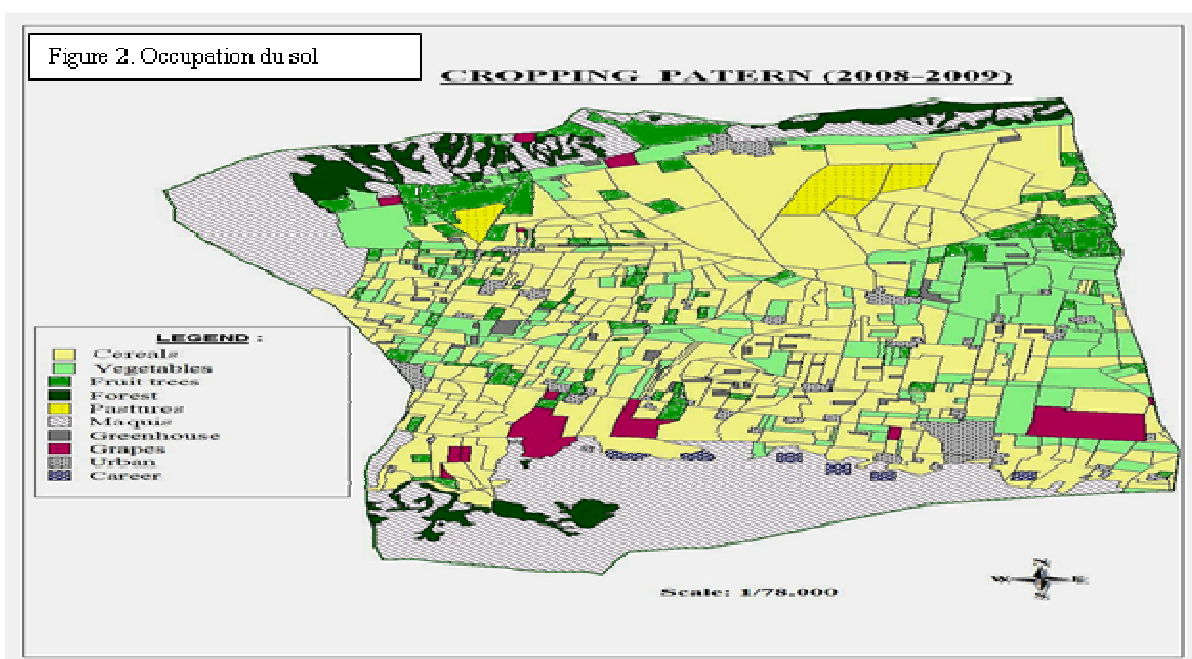


Tableau n° 11. Occupation du sol dans le périmètre de Ahmer el Ain

	Superficie	%
Blé dur-blé dur	190	42
Blé dur- Pomme de terre	197	44
Blé dur-Poivron sous serre	8	2
Blé dur -haricot-laitue	16	4
Blé dur-pois chiche	7	2
Pomme de terre- Pomme de terre	16	4
Pomme de terre- laitue	18	4
Total	452	100

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Les cultures maraîchères sont souvent pratiquées après une culture céréalière et 42 % du blé est cultivé après le blé. Ce dernier est pratiqué par les agriculteurs qui ne détiennent pas de forage pour l'irrigation.

1.3.2. Période de l'interculture.

La période d'interculture correspond au délai entre la récolte d'une culture et le semis de la suivante (Mignolet et al, 2008). Dans la zone d'étude, une moyenne annuelle d'interculture estimée à 114 jours laisse le sol nu, l'exposant ainsi à des risques de pollution de la nappe par les nitrates qui deviennent plus importants avec l'augmentation de cette durée

Tableau n° 12 : Types de rotation et période d'interculture

Poivron sous serre (P1-année 1)						Blé dur (P1 année 1+2)			
Août	Octobre	Novembre	Décembre	Juin	Juillet	Août	Spt-Novembre	Décembre	Juin
Défoncement	Plantation			Récolte		Labour		Semis	Récolte
						Période d'interculture			

Blé dur (Parcelle n°2)			Période d'interculture	PT de saison			
Août	Décembre	Juin	Juillet	Août- janvier	Février	Mai	Juin
Labour	Semis	Récolte		6Mois	Plantation	Récolte	

Pomme de terre de primeur			Période d'interculture	PT de saison			
Février	Mai	Juin	Juillet	Août- Novembre	Décembre	Mars	Avril
plantation	Récolte	Récolte		5Mois	Plantation	Récolte	

Rotation Blé dur -Blé dur ou tendre										
Août	sept	Déc	Juin	Juillet	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Juin
Labour		Semis		Récolte	Labour	Période d'interculture			Semis	Récolte

Blé dur						Pomme de terre arrière saison			Blé dur	
Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Juin	Août	Sept	Déc.-janv	Fév	Juil
Labour	Période d'interculture			Semis	Récolte	Défoncement	Plantation		Récolte	Semis

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

La minéralisation azotée de l'humus résiduel (résidus après récolte) durant la fin d'été et d'automne est un phénomène naturel et permanent qui contribue de manière conséquente à augmenter le stock d'azote minéral au cours de l'interculture. Durant cette dernière, les résidus d'azote seront transférés vers les eaux superficielles et souterraines.

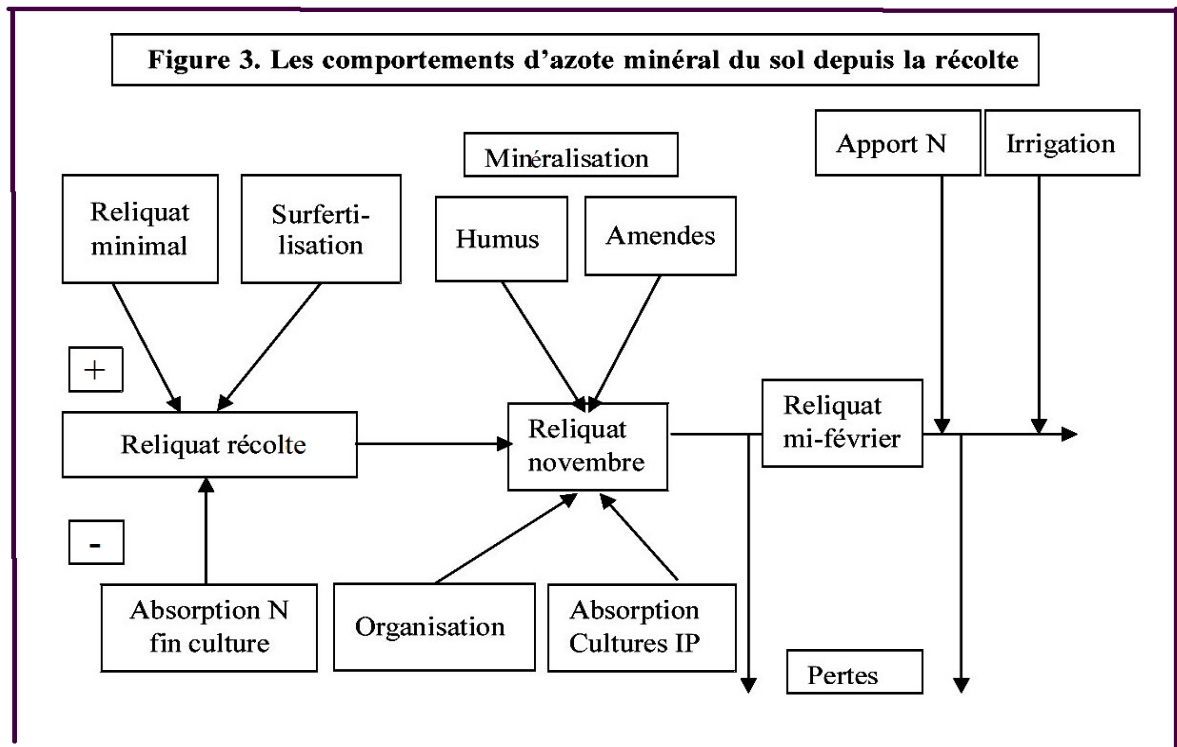


Schéma indiquant les principaux facteurs déterminant l'évolution des stocks d'azote minéral du sol au cours du temps pour les cultures annuelles. (COMIFER 2002)

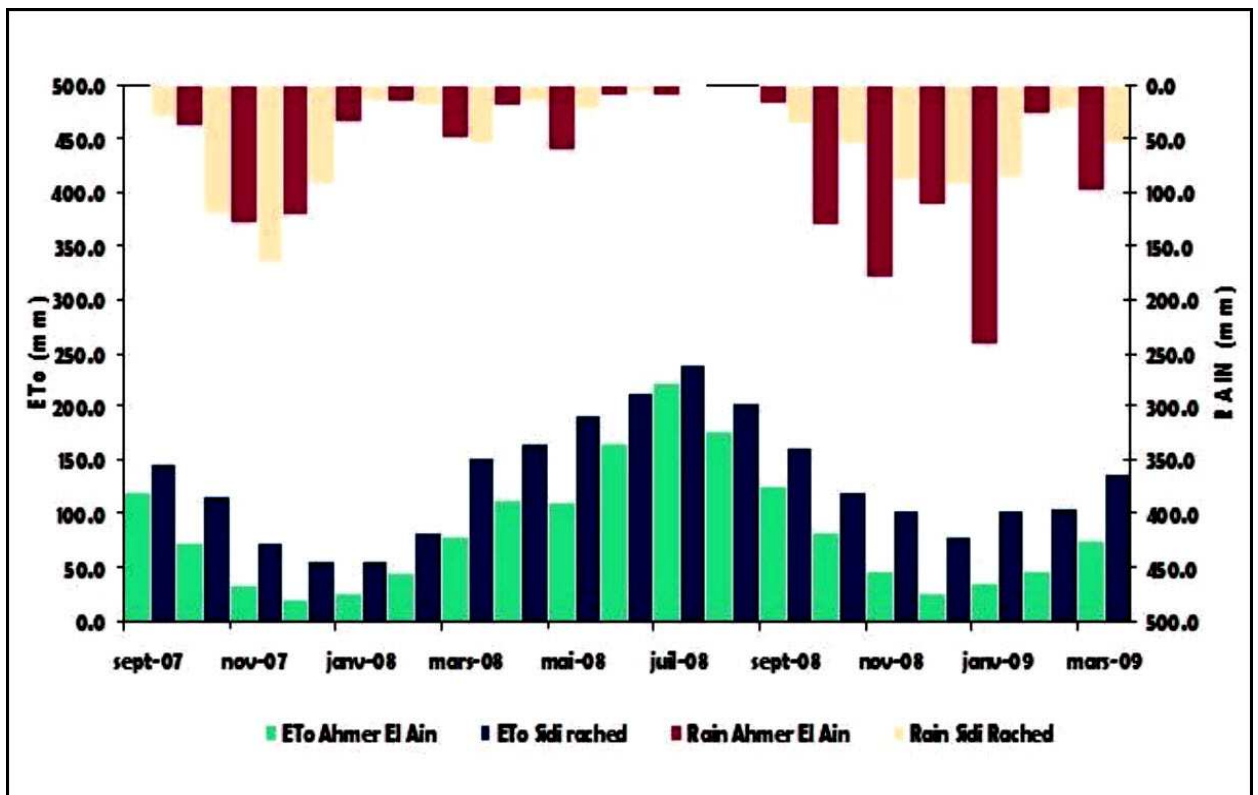
De ce schéma et selon Sébillotte et al. (1990), Ramon et al (1998) et Mignolet (2008), le risque de la lixiviation des nitrates a été attribué à la combinaison de plusieurs facteurs à savoir : i) la présence d'un reliquat d'azote en fin d'automne qui résulte de la minéralisation de l'humus et résidus de récoltes de la culture précédente et de l'interculture et sa durée et par : ii) une faible absorption de l'azote par la culture précédente. Selon Mary (1996), le reliquat d'azote en mi-automne est un bon indicateur pour estimer les risques de pertes des nitrates vers la nappe pour les différents systèmes de culture. De ces résultats, on en déduit que le risque de fuite de nitrates dépend de la succession culturale.

Des auteurs, comme (Machet et al 2007, Jolankai, et al., 2003), démontrent que le risque de forte lixiviation des résidus d'azote stockés dans le sol se passe durant la période d'interculture automnal et hivernal. Une autre source de nitrate, qui est l'azote minéralisé, présente une lixiviation potentielle pendant l'interculture (Addiscott et al., 1991; Laurent et

al., 1992). Pour remédier à cette dégradation nitrique, Beaudoin et al., (2006), Machel, et al (1997) Juste et al., (2012) proposent des solutions de préservation contre le lessivage des nitrates à travers l'implantation de cultures intermédiaires, une meilleure gestion des résidus de récolte et la réduction du travail du sol.

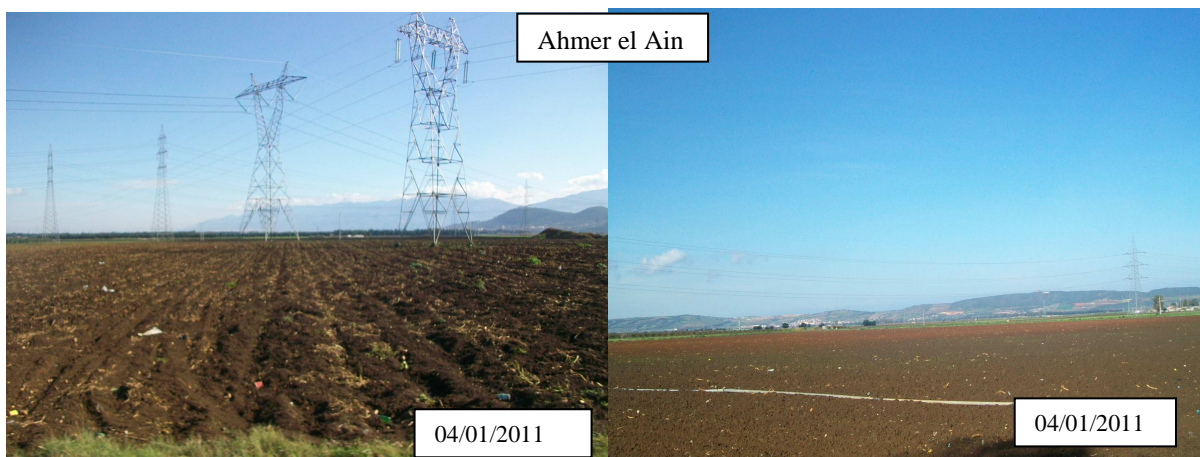
Dans notre zone d'étude la période de l'interculture se situe entre le mois de juillet et de février. Cette période correspond à la moisson du blé durant la période juin - juillet et la plantation de la pomme de terre de saison au mois de février.

Graph 4. Répartition mensuelle de la pluviométrie à Amer el Ain, ENSA, 2009



Source : ENSA, 2009

Ce graphique note que les fortes pluies dans la zone de Ahmer el Ain ont été enregistrées durant la période d'interculture, c'est à dire s'étalant du mois d'octobre au mois de janvier, où le sol est nu et l'évapotranspiration est faible. Durant cette phase, l'excès en eau risque d'entraîner les résidus d'azote dans le sol des cultures précédentes vers la nappe, d'où l'intérêt de réduire la période d'interculture à travers la plantation des cultures pièges à nitrate tout en sachant que cette solution représente un investissement supplémentaire pour les agriculteurs.



1.3.3 Stade d'apport d'engrais.

Les dates d'apport d'engrais ont été exprimées par les agriculteurs enquêtés de la région de Ahmer el Ain. Les céréales et la pomme de terre ne bénéficient que de deux apports. Ils se passent au semi ou à la plantation et à la levée au printemps.

Tableau n°13 : Fractionnement de l'apport en engrais durant cycle cultural

	Semis	apport d'engrais		Récolte	Total
	Décembre	Mars		Juin- Juil	
Blé dur					
Super 46:ql/ha	1			0	1
15-15-15	0-1			0	1
Urée 46:ql/ha		1		0	1

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Tableau n°14: Fractionnement de l'apport en engrais durant la campagne agricole

	Plantation	Récolte		Total
	Février	Mars-Avril	Juin	
Pomme de terre de saison				
Q: (15-15-15)/ql/ha	8	4-6	0	12-14
Urée 46:ql/ha		2-4	0	2-4

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Par contre, un fractionnement périodique est constaté pour les cultures sous serre, où on effectue pratiquement cinq apports, soit un apport par mois durant toute la période allant de la plantation à la récolte.

Tableau n° 15: Fractionnement de l'apport en engrais durant la campagne agricole

Poivron sous serre	Décembre	janvier	Début avril	Juin	juillet	Août	Total
Q: (15-15-15)/kg/serre	25-50-75	25-50-	25-50	25-50	25	0	125
Urée 46 kg :serre					20-25	30	50

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Ces modes d'apport correspondent à une majorité de pratiques et sont en accord avec une efficacité maximale de l'azote sur le rendement de ces cultures. Berrouard et al., (2001) marquent qu'un fractionnement dans l'épandage des doses d'azote selon les besoins de la plante permet une croissance optimale de la plante.

1.4. Relation engrais azoté rendement dans la théorie

Mary et al, 1992 cités par Vercherand, 1996, mettent en évidence la corrélation entre le risque de lessivage et l'objectif de rendement ciblé par les agriculteurs. Les mêmes auteurs considèrent que plus les rendements ciblés sont élevés, plus une politique d'assurance en utilisant davantage d'engrais est mise pour pallier les risques climatiques et techniques. Cette stratégie d'assurance augmente le risque de lessivage des résidus d'ions nitrates qui se trouvent dans le sol. Lacroix et al., (2003) recommandent de cibler un objectif de rendement moyen à atteindre au lieu du rendement maximal, afin de réduire les quantités d'intrants qui sont à la source de la pollution des eaux.

Dans ce qui suit, nous tâcherons de vérifier si les agriculteurs surfertilisent et pour quelle raison ?

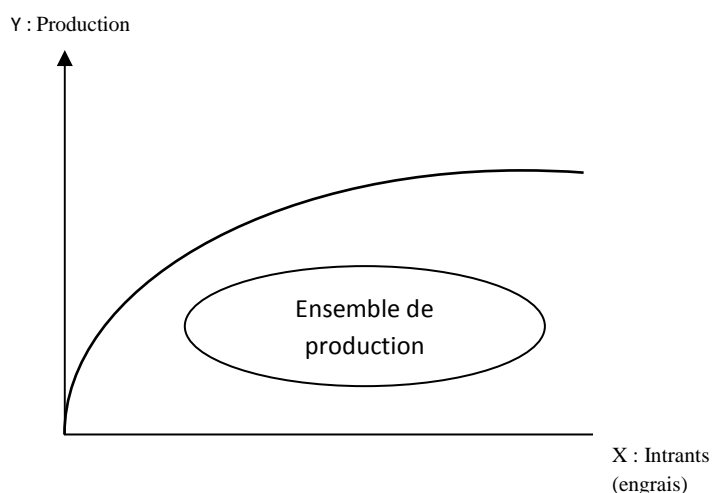
Serès, (2006, p28) montre que « *L'apport d'engrais fait accroître la production de biomasse jusqu'à un certain seuil, nommé seuil de toxicité et qui engendre des effets négatifs sur la production. Au-delà de ce seuil, l'environnement, devient saturé et les rendements deviennent moins proportionnels à l'apport supplémentaire d'engrais* ».

Dans la théorie économique, la fonction de production permet dans notre étude d'élaborer et de comprendre la fonction de réponse du rendement à l'azote d'une culture. En effet, l'azote est considéré comme un facteur de production (Varian, 2005). La fonction de production

mesure la quantité de produit maximum qu'il est possible d'obtenir à partir de quantités fixées d'intrants.

Figure 5. Fonction de la production

$$Y = f(x)$$



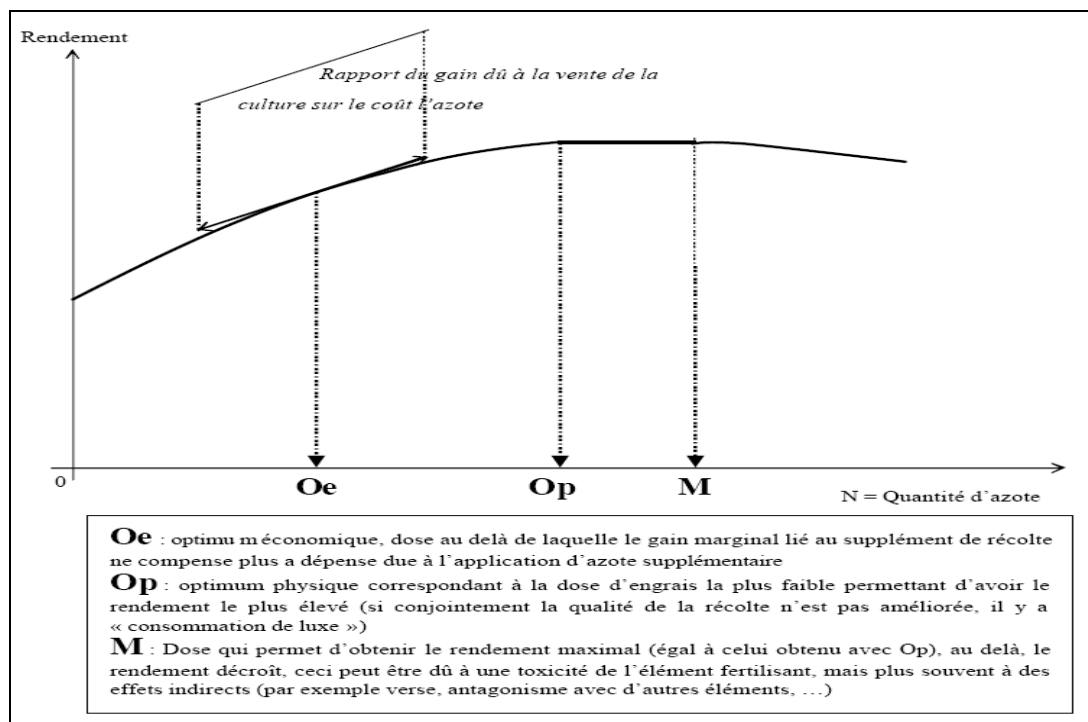
Définition de la fonction de production : « *une fonction de production est une courbe (ou un tableau, ou une équation mathématique) indiquant le niveau maximum de production qui peut être obtenu à partir de tout ensemble spécifié de facteurs de production pour une technologie ou un 'état de l'art' données* » (Gould 1984 p : 145)

La fonction de production dans notre cas représente la relation entre la quantité d'intrants (engrais azotés) épanchée et la quantité du produit obtenu. La proportionnalité entre les quantités d'engrais ou d'éléments fertilisants utilisés et les rendements des cultures a été établie au milieu de XIX^{ème} siècle par les chimistes allemands Von Liebig et Mitscherlich.

La loi du minimum annoncé par Liebig (cité par Godard, 2005) démontre que le manque ou l'absence d'éléments fertilisants limite les rendements des cultures et une sur-disponibilité des autres éléments ne peut équilibrer ce manque. Alors que Mitscherlich, en 1990 a prouvé que l'amélioration des rendements est de plus en plus faible avec l'accroissement des doses d'éléments fertilisants appliquées. Cette loi est appelée « loi des rendements moins proportionnels ». En agronomie, les travaux menés à l'échelle d'un pays, en étudiant la relation des cultures avec leur milieu, s'orientent souvent vers l'étude des rendements (Hatem,

2008). L'objectif agronomique du travail est de générer des courbes de réponse du rendement à la fertilisation azotée.

Figure 6. Courbe de réponse du rendement à l'azote attendue par l'agronome (d'après l'Encyclopédie des techniques agricoles, 1999 cité par Godard, 2005)



Cette forme de courbe reflète le principe de décroissance du rendement physique marginal (c'est-à-dire que les rendements augmentent moins rapidement que l'apport d'azote).

Tout d'abord, le rendement obtenu sans apport en engrais est positif (la fourniture du sol de l'atmosphère, des eaux d'irrigation et les résidus de la fertilisation antérieures sont les sources d'azote pour la plante). Les rendements étant « moins que proportionnels », la courbe s'accroît de manière rapide jusqu'à atteindre une dose optimale (optimum physique Op). Au-delà de cette dose Op, le rendement atteint son pic puis diminue pour des doses d'azote supérieures **c'est le rendement maximum théorique**. Selon Simon (1992) « la dose optimale d'azote est définie comme la plus petite quantité d'azote permettant d'obtenir le rendement maximal ». Au delà de cette dose optimale, l'azote supplémentaire reste stocké dans le sol sans qu'il soit récupéré par la plante.

1.5 Fertilisation azotée minérale pratiquée par les agriculteurs /culture

Dans notre étude de cas, la fertilisation est pratiquée avec deux types d'engrais : le fumier de bovins et les engrais minéraux. Durant les campagnes 2007-2008, 2008-2009, les agriculteurs enquêtés ont utilisé dans leur majorité des engrais azotés minéraux.

L'application des engrais azotés minéraux s'est effectuée pour les céréales au stade de la levée au printemps, tandis que le superphosphate est apporté comme engrais de fond au moment du semis à 46 %. Les doses d'engrais azotés appliquées par les agriculteurs étaient très variables : entre 52 et 540 Kg N/ha.

Tableau n°16 : comparaison entre les doses d'engrais recommandées et réellement pratiquées

	Doses et rendements préconisés par ITCMI*		Doses réellement pratiquées et rendements obtenus	
	Doses en Kg N/ha*	Rendement en q/ha	Dose moyenne appliquée /Kg N/ha (résultats de l'enquête)**	Rd Moyen q/ha
Céréales/25 agriculteurs	60	25-30	52	30
Pomme de terre saison/ 13 agriculteurs	120	280	181	350
Poivron sous serre (100 kg/ha)/9 agriculteurs	200	600	540	550
Haricot	-	-	43	19
Agrumes /13 agriculteur	200	-	205	230

Source : * Institut Technique des Cultures Maraîchères et Industrielles et ITAF

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

** : les données sont estimées par la formule suivante : Ex : 8 q de 15-15-15 = (8x15)N, (8x15)P, (8x15)K. Q engrais épandue X (Composante d'engrais)

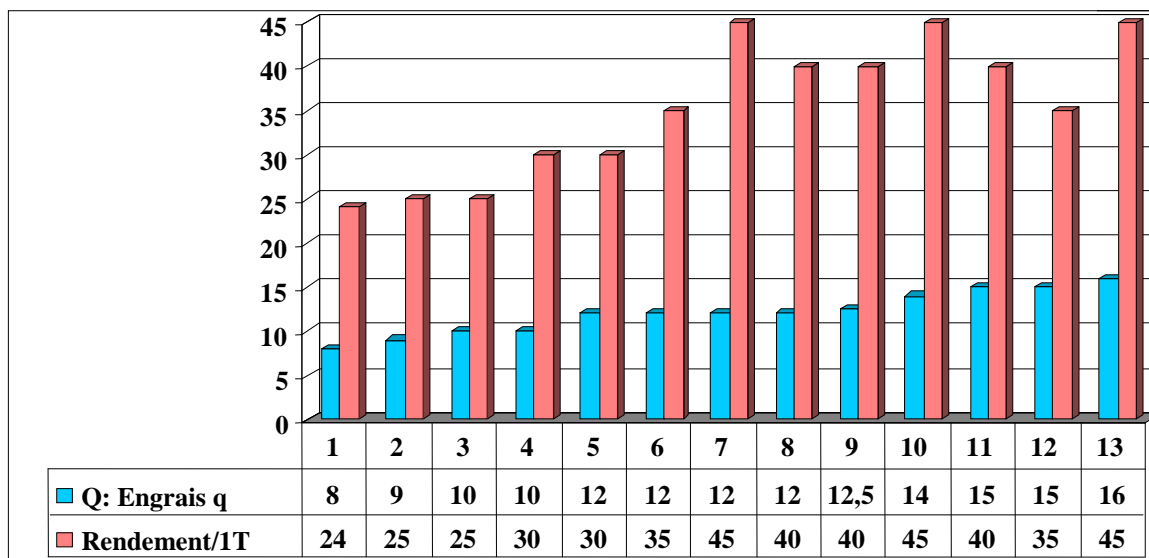
Les doses de la fertilisation azotée minérale des cultures maraîchères, telle qu'elle est pratiquée par les agriculteurs de la région d'étude est nettement supérieure à la dose préconisée par les institutions techniques (cf. tableau ci-dessus).

1.5.1 Relation engrais azotés – rendement pour la culture de Pomme de terre de saison

Pendant que l'Institut technique des cultures maraîchères et industrielles (ITCMI) recommande l'utilisation de 120 kg d'Azote, 120 kg de Phosphate et 120 kg de Potasse pour un ha de culture de pomme de terre pour atteindre un rendement de 250 à 280 q/ha, notre enquête montre que les agriculteurs font un apport moyen de 181 Kg de N, 181 Kg de P et 181 kg de K et obtiennent un rendement moyen de 300 à 350 q/ha de pomme de terre, soit 70 qx en plus du rendement ciblé par l'ITCMI. Par contre les rendements moyens estimés à

partir des données de la subdivision de Bourkika pour la culture de pomme de terre de saison pour les cinq dernières campagnes est de 264.7 q/ha.

Graphe 7. Estimation des rendements par quantité d'engrais 'par agriculteur' pour 1 ha de pomme de terre



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Il y a lieu de constater que durant la campagne 2008-2009, la quantité d'engrais en NPK pratiquée sur 1 ha de culture de pomme de terre varie entre 8 et 16 q pour des rendements variant entre 240 et 450 q/ha selon les déclarations des agriculteurs. Par ailleurs, de cette analyse nous relevons que pour une quantité de 10 q à 16 q de NPK, les rendements en pomme de terre varient entre 300 et 450q. Ce qui montre clairement qu'avec 12q de NPK il est parfaitement possible d'atteindre le même rendement que si l'on utilisait 16q, soit un rendement de 450q, dans une situation où toutes choses étant égales par ailleurs.

Du graphique ci-dessus, nous aboutissons aux conclusions suivantes : Sur 13 exploitations qui cultivent de la pomme de terre de saison sur environ 190 ha, 92,3% épandent plus que la norme proposée par l'ITCMI en 15-15-15/ha, dont 30,7% d'agriculteurs qui pratiquent 8 et 10 qx suivis par 30,7 d'agriculteurs qui utilisent 12q de NPK/ha et 38,4% pour ceux qui pratiquent plus de 12 q du 15-15-15/ha, ces derniers sont majoritairement des locataires de Ain Defla.

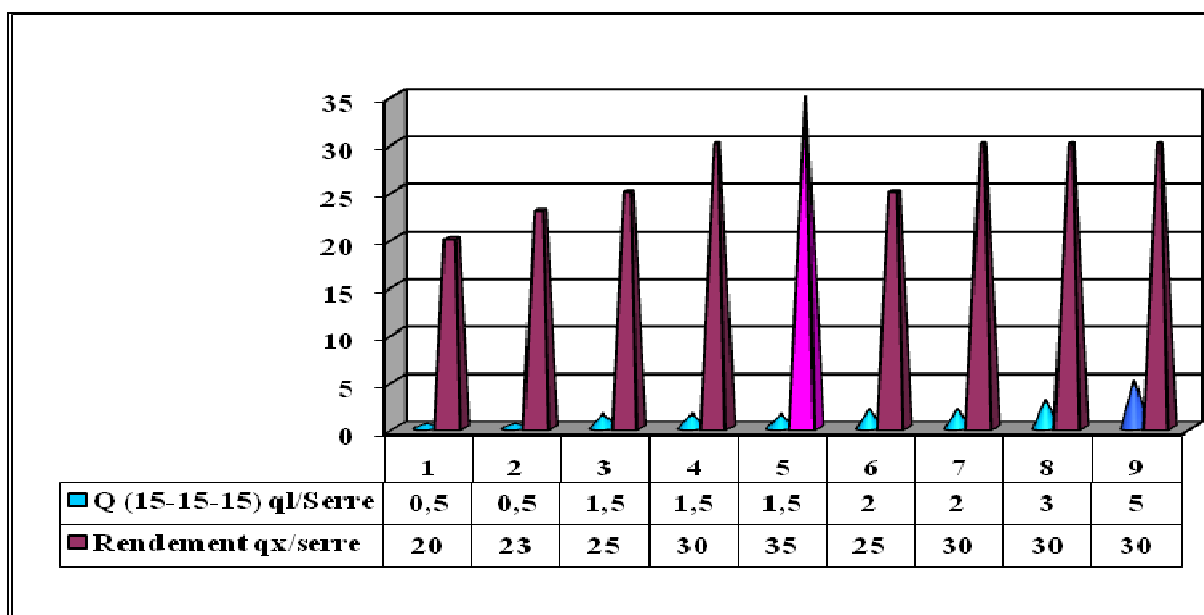
La variation des rendements dans la zone d'étude s'explique par les quantités d'engrais pratiquées, le type d'assolement, les quantités d'eau apportées, la variété de la semence et surtout les traitements phytosanitaires préventifs appliqués sur la pomme de terre. Nous

remarquons que 92% des agriculteurs pratiquant de la pomme de terre utilisent environ 60 kg de N en excès en moyenne.

1.5.2 Relation engrais azotés – rendement pour la culture du Poivron sous serre

Selon notre graphe, les agriculteurs sont loin de respecter la norme de 0,70 q/serre pour un rendement de 30q telle que préconisé par l'ITCMI. Pour atteindre un rendement de 30 q/ serre, soit 600 q/ha, il faut utiliser en moins 1,5q/ du 15-15-15 par serre.

Graphe : 8 Rendement par quantité d'engrais/agriculteur pour une serre de poivron



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Les agriculteurs pratiquant les cultures sous serre apportent 1,5 q d'engrais type 15-15-15 à la serre et récoltent la même quantité de 30 q/serre que ceux qui utilisent 3 ou 5 q / serre, alors que pour le même rendement de poivron, ils utilisent environ 1,5 à 3,5 q de NPK/serre en plus. En termes économiques, ces agriculteurs dépensent entre 10.500 et 24.500DA /serre de plus en engrais. En plus de cette perte économique, 37 kg de N/serre ou 750kg de N/ha sont utilisés en excédent. Cette dernière est considérée comme quantité d'azote résiduelle.

La même observation s'applique sur la culture des céréales. L'enquête menée sur les 107 exploitations d'Ahmer El Ain montre que les rendements moyens en blé dur pour la campagne 2007-2008 et 2008-2009 sont pratiquement les mêmes, indépendamment des quantités d'engrais utilisées à l'hectare, qui varient de 0 et 2 quintaux/ ha soit 0 et 46 kg de N et 46 kg de P (1 quintal d'urée 46 % et 1 quintal de superphosphate 46 %), alors que la norme

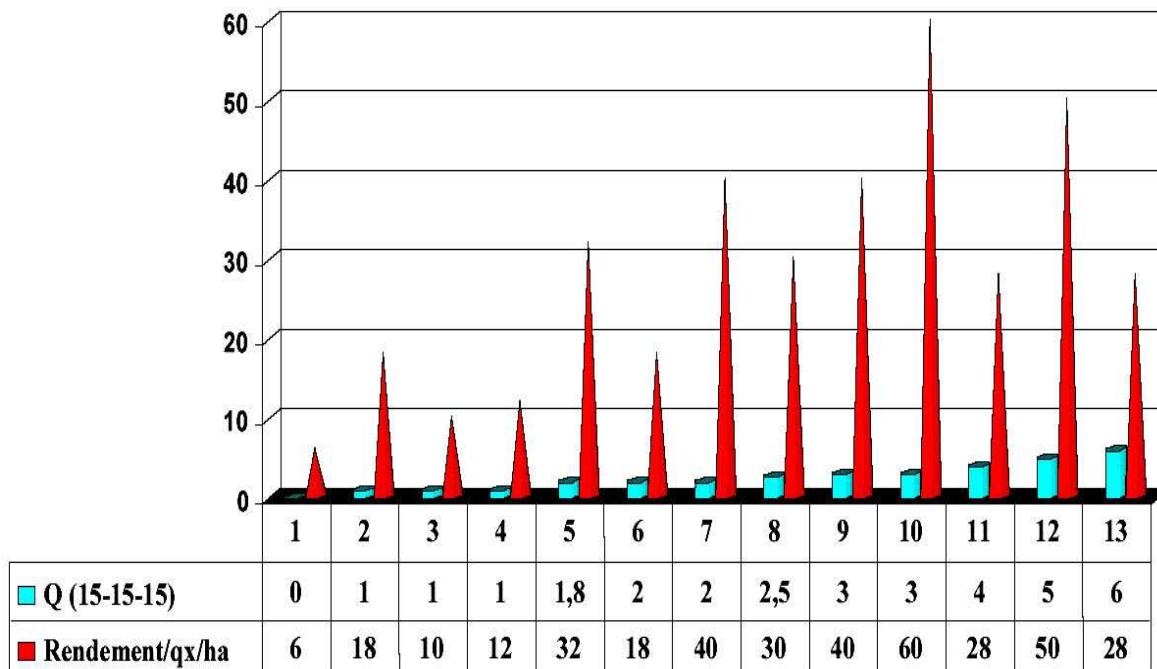
préconisée pour un hectare de blé est de 60 Kg de N. Nous pouvons donc conclure que les agriculteurs utilisent 8 kg d'azote en moins pour un rendement identique (4 tonnes/ha).

1.5.3 Relation engrais azotés – rendement pour la culture « Agrume vieille plantation »

S'agissant des agrumes, la norme de 200 kg de N par hectare est relativement respectée par les agriculteurs ces deux dernières années, suite à l'augmentation des prix des engrais.

La représentation graphique suivante montre une variation dans les quantités pratiquées par les agrumiculteurs. Les quantités du NPK de type 15-15-15 varient donc de 0 à 6 q et 3 q en moyenne de l'urée 46/ha épandus en printemps pour une variation de rendement allant de 60q à 600q/ha. Ce même tableau nous permet d'observer que pour 3 q de NPK et 3 q d'urée 46, le rendement est estimé à 600 q/ha alors qu'avec 6qx de NPK (15-15-15) et 3qq d'urée 46, le rendement est estimé à 280 q/ha. Alors en plus des quantités d'engrais appliquées, les rendements dépendent aussi du l'âge des arbres, de leur entretien (taille), de leur irrigation et du traitement phytosanitaire.

Graphe 9. Rendement par quantité d'engrais/agriculteur pour 1 ha d'agrumes (Vieille plantation)



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009



Conclusion du chapitre 1 :

Les résultats d'analyse du taux des nitrates dans les eaux confirment leur pollution dans la zone de Ahmer el Ain. C'est une situation préoccupante sur laquelle il faudra se pencher afin de déterminer les facteurs potentiels qui l'ont engendrée. A cet effet, une analyse approfondie de l'interaction probable entre les pratiques agricoles actuelles et le risque de pollution des eaux souterraines par les nitrates est souhaitable afin d'évaluer les facteurs favorisant la pollution. Les résultats de cette analyse pourraient orienter la prise de décision quant au choix d'une politique qui permettrait de maîtriser le développement agricole sans porter atteinte à l'environnement en tant que bien commun.

La pollution des eaux par les nitrates s'avère en étroite relation avec les pratiques agricoles. Les quantités d'engrais pratiquées sont arrêtées selon l'expérience des agriculteurs qui considèrent que plus on utilise d'engrais azoté, plus les rendements sont croissants en faisant abstraction des besoins de la plante. L'application d'une dose optimale n'est pas en soit une solution suffisante pour protéger la nappe contre la pollution, il faut qu'elle soit suivie par le fractionnement sur tout le cycle végétatif de la plante et aussi de la période de l'interculture.

La recherche agronomique a montré que plus la durée d'interculture est élevée, plus le risque de lixiviation des résidus de N du sol vers la nappe est important, d'où la nécessité de prendre en considération les facteurs assolement et période d'interculture.

Les agriculteurs algériens sont loin de respecter les normes préconisées par les instituts techniques concernant les doses d'engrais pratiquées pour certaines cultures comme la pomme de terre et le poivron sous serre, d'où l'intérêt d'une étude approfondie sur les doses d'engrais à conseiller aux agriculteurs. Ce sujet sera traité dans le chapitre suivant.

Chapitre 2 : Doses optimales d'engrais et préservation des revenus des agriculteurs

Introduction

Les enquêtes menées et le recueil des déclarations des agriculteurs sur le rapport entre les doses d'azotes pratiquées et les rendements obtenus par culture, durant plusieurs années, nous a permis d'élaborer des courbes de réponse pour les principales cultures. Cette évolution a servi pour déterminer l'optimum de rendement pour un optimum en engrais. En d'autres termes, il s'agit d'aboutir à une fertilisation optimale qui assurerait une rentabilité maximale. Tout au long de cette analyse, nous tâcherons, en premier lieu, de déterminer le rapport entre les quantités d'engrais pratiquées et la variation du revenu.

Par ailleurs, la vitesse de lixiviation des nitrates vers la nappe selon (Levesque, 1982) reste assez lente, leur impact sur la qualité des eaux ne se manifeste qu'après plusieurs dizaines d'années de pratiques agricoles qui sont donc responsables, à moyen et long termes, de la forte teneur en nitrate des eaux. La vitesse dépend de la texture et de la structure du sol, de la profondeur de la nappe et de la pluviométrie.

Des programmes de fertilisation ajustés sur le rendement moyen sont fortement recommandés. Cette approche consiste en l'optimisation de la fertilisation azotée au niveau des rendements moyens des cinq dernières années. Pour cela, nous avons mobilisé la méthode des rendements décroissants sur la base des déclarations des agriculteurs qui nous a permis d'optimiser le rapport entre le niveau de production et la quantité d'engrais.

Dans ce chapitre, nous procéderons successivement à l'analyse des rendements en fonction des doses engrais épandues par culture, la part des engrais dans le coût de production total, la variation du revenu en fonction de la variation des quantités d'engrais et d'analyser les interactions entre l'utilisation des engrais, le rendement et le risque de lessivage des nitrates vers la nappe.

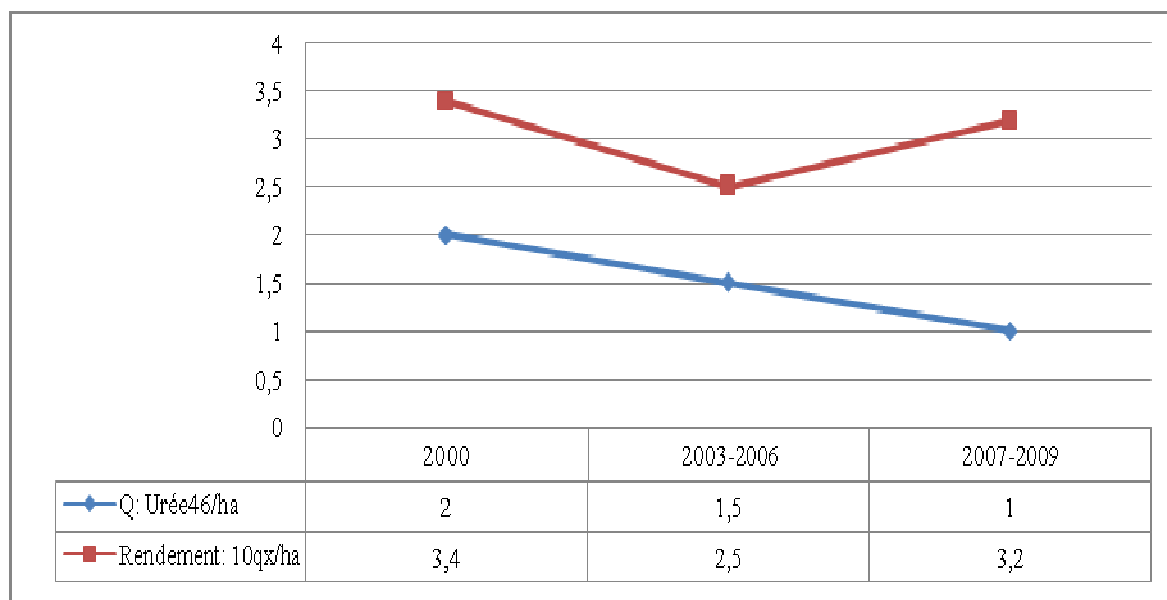
2.1 Analyse de l'évolution des rendements en fonction des engrais par culture

Par ailleurs, une analyse de l'évolution des rendements moyens en fonction des quantités moyennes d'engrais pratiquées par type culture/ha a été effectuée selon des déclarations des agriculteurs enquêtés de la zone d'étude.

L'intérêt de cette analyse est de fixer un objectif de rendement pour estimer les besoins en azote de certaines cultures. Cet objectif de rendement est estimé sur la base des rendements moyens obtenus durant ces cinq dernières années pour les différentes cultures de la zone considérée. Cette évaluation peut s'avérer complexe dans le cas où une forte variabilité interannuelle des potentiels de production est observée. Ce cas ne se présente pas pour notre région étudiée et la faible variabilité des rendements exprimés par les agriculteurs sur une décennie nous permet d'estimer aisément le rendement moyen de la région par culture.

a/ Blé dur

Graph 10. Evolution des rendements moyens en fonction des doses moyennes d'engrais utilisées / 1 ha de blé dur



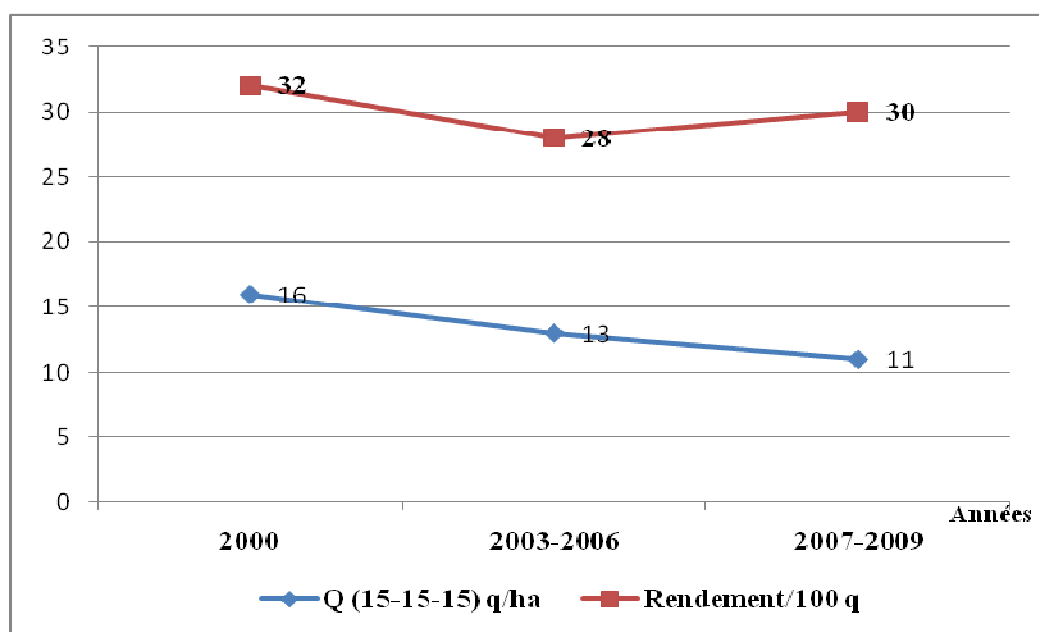
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Les rendements des céréales sont fluctuants. Une baisse significative a été observée entre 2003 et 2006, due sans doute à la baisse des quantités d'engrais épandues, d'une part, et d'autre part à la sécheresse qu'a connue le pays durant cette période. Par contre, entre 2007-2009, la baisse dans les quantités d'engrais utilisées a été accompagnée par une croissance des rendements des céréales. Cet état de fait s'explique essentiellement par la culture des céréales sur les parcelles ayant supporté de la pomme de terre et qui bénéficient ainsi des résidus d'engrais de la culture précédente.

b) Pomme de terre

Le graphe suivant représente nettement une baisse des quantités d'engrais épandues pour un hectare de pomme de terre, passant de 16 q du 15-15-15 par ha en 2000 à 11 q du même type d'engrais pour les années 2007-2009, soit une baisse de 5 q/ha. Par ailleurs, cette baisse d'utilisation d'engrais n'a pas induit une baisse significative du rendement moyen, qui passe de 320 q/ha de pomme de terre en 2000 à 300q/ha en 2007-2009, soit un écart de 20 q/ha.

Graphe 11. Evolution des rendements moyens en fonction des doses d'engrais moyennes utilisées par les agriculteurs pratiquants de la pomme de terre



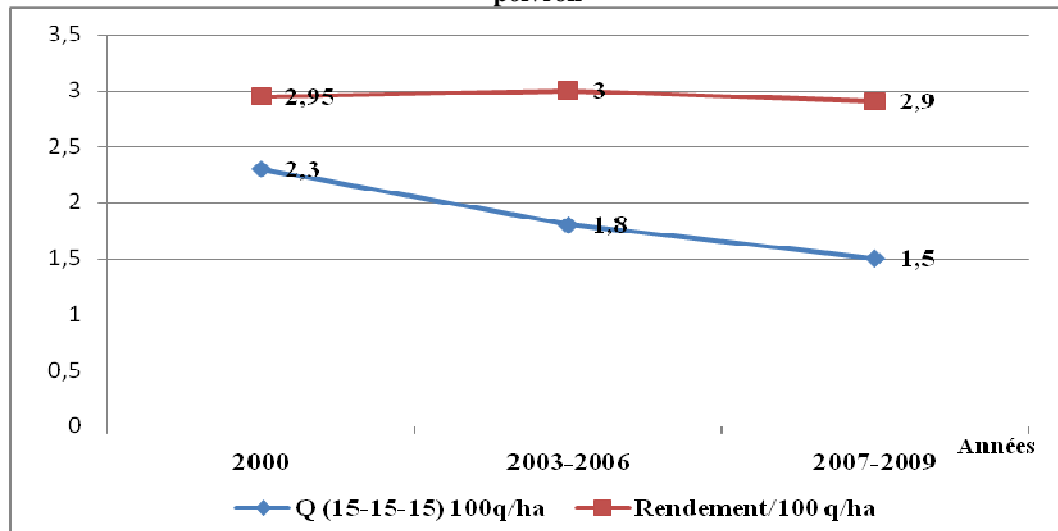
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Ce cas de figure montre bien que les rendements sont moins proportionnels que les quantités d'engrais pratiquées. Ce qui nous amène à conclure que le rendement est plus fonction d'autres facteurs, comme la variété de la semence, le travail du sol, l'irrigation (pluviométrie) et autres que des quantités d'engrais.

c) Poivron sous serre

Ce graphique révèle une très faible variation du rendement en poivron par serre durant ces dernières années en fonction de la variation des quantités d'engrais en NPK pratiquées par les agriculteurs de la région d'étude. Nous relevons une variation de 0,8 q/serre durant cette période pour un rendement de 30q.

Graphe 12. Evolution des rendements moyens en fonction des doses d'engrais moyennes utilisées/Serre de poivron

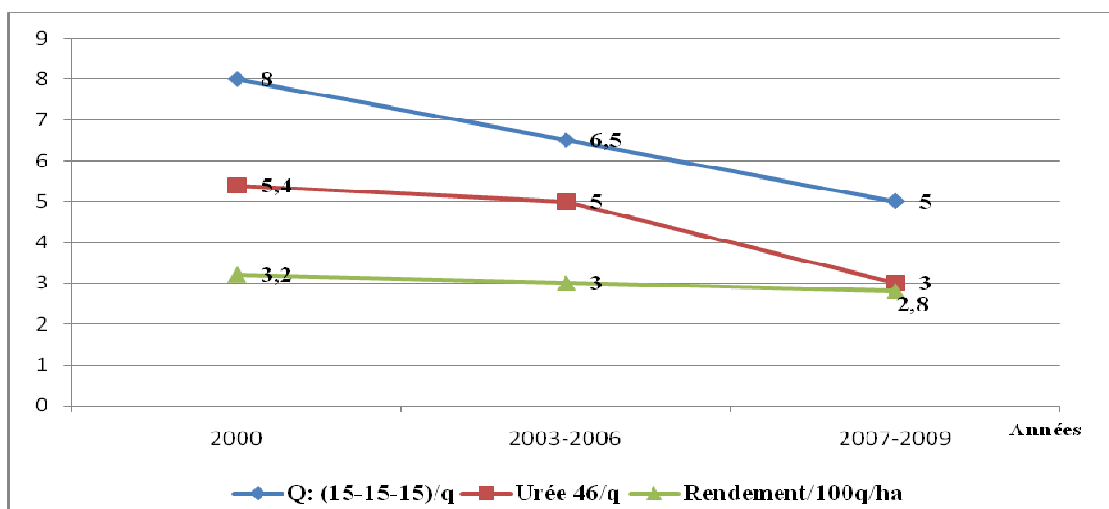


Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

d) Agrume

Du graphe suivant, nous remarquons une baisse importante dans l'utilisation d'engrais azotés par les agrumiculteurs, qui a induit, selon les dires des exploitants, une baisse de la production durant cette période, en passant de 320 q/h en 2000 à 300q en 2006 puis à 280 q/ha en 2009. En réalité, cette baisse s'explique essentiellement par le vieillissement des arbres qui dépasse souvent les 100 ans, les maladies contractées par l'agrumiculture et le manque d'eau qu' a connu la région d'étude ces dernières années. Les statistiques de la subdivision indiquent que le rendement moyen des agrumes dans la région d'étude est estimé à 200q/ha.

Graphe 13. Evolution des rendements moyens en fonction des doses d'engrais moyennes utilisées par les agriculteurs / ha d'agrumes



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

2.2 Estimation des rendements optimaux

L'analyse par la méthode des rendements décroissants nous permet d'arrêter un maximum de production pour une quantité optimale d'engrais utilisée et de définir une norme pratique qui sera préconisée pour limiter les dommages qui peuvent être causés aux eaux par les nitrates.

Tableau n° 17. Estimation des rendements maximaux pour des quantités d'engrais optimales

Rendement maximal pour une quantité d'engrais optimale		
	Quantité d'engrais azoté optimale	Rendement maximal
Céréale/q/ ha (1q urée 46, 1 qlsuper 46)	1	30 à 32
Pomme de terre q/ha (15-15-15)	12	300-450
Cultures sous serre q/serre (15-15-15)	1,5	30-35

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

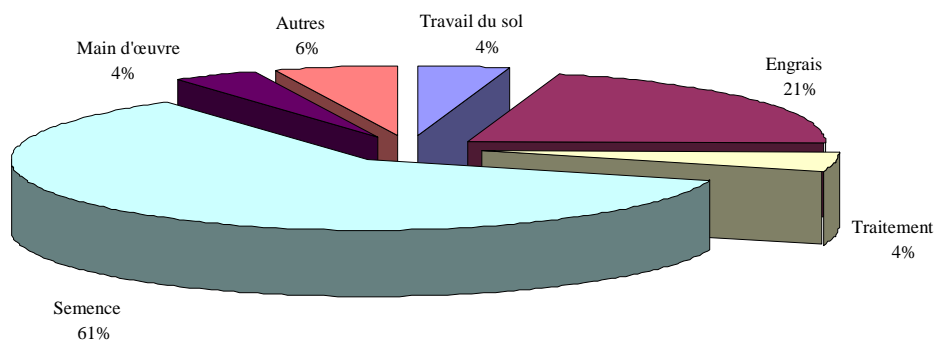
Ce tableau fait ressortir les doses optimales d'engrais à pratiquer par les agriculteurs pour les différentes cultures pour avoir des rendements maximaux et par la même, les revenus des agriculteurs ne peuvent être que relativement maximaux.

2.3 Part des engrais dans le coût total de la production

Au cours des cinq dernières années, parallèlement aux matières premières, les produits fertilisants ont subi de très fortes variations des prix. Parmi les intrants agricoles, le prix des engrais a connu le plus fort accroissement. Compte tenu des prix de vente des céréales (blé dur) très élevés soit 4500 DA/ q à partir de 2008, les engrais à ces prix ont pu être acceptés par la majorité des céréaliers.

a) Pomme de terre :

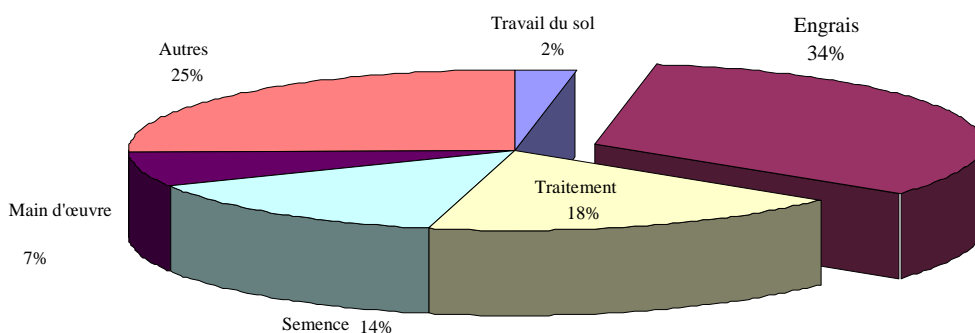
Graphe 14. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales moyennes de 12 agriculteurs



Il est évident que les prix de la semence et des engrais constituent à eux seuls presque 3/4 des charges totales pour un hectare de pomme de terre.

b) Poivron sous serre :

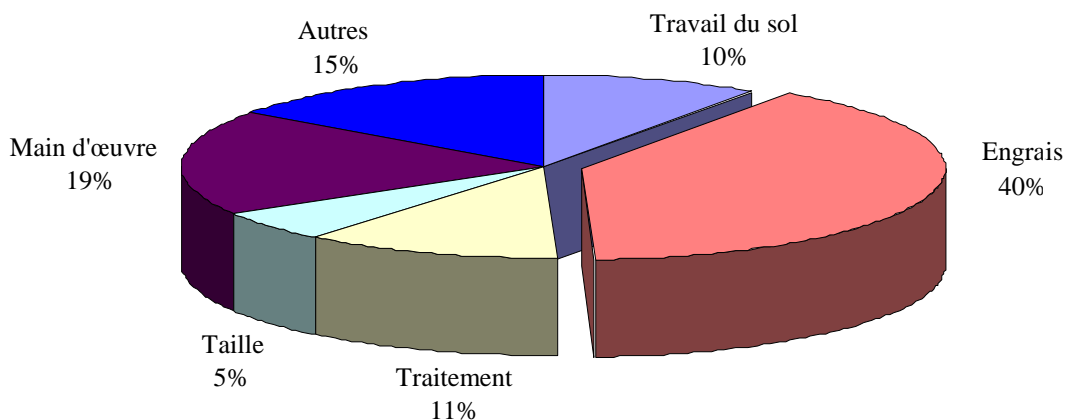
Graphe 15. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales moyennes des 9 agriculteurs pratiquant du poivron sous serre



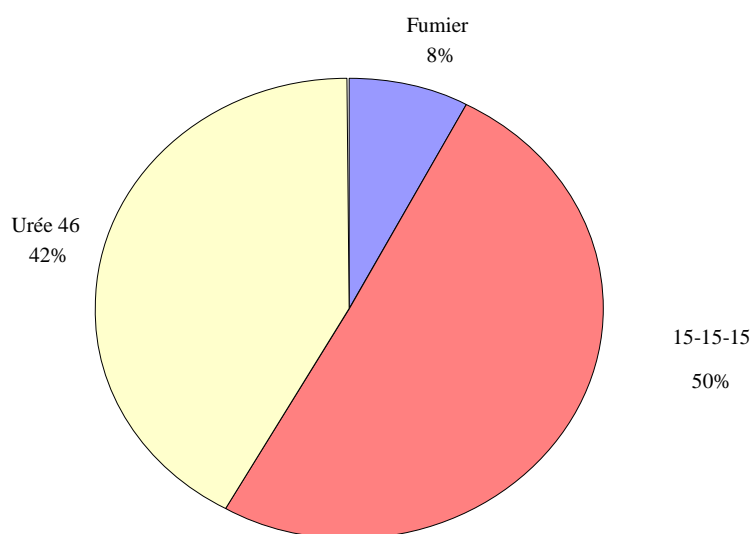
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Les prix des engrais minéraux représentent une part importante des dépenses des agriculteurs algériens. Pour les cultures maraîchères, le poste engrais représente en moyenne 34% des charges totales.

Graphe 16. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales /13 vieux vergers d'agrumes



Graphe 17. Répartition des charges par type d'engrais



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Ce graphe montre que les engrais composites employés se composent de 50% de type 15-15-15 et environ 42% d'engrais de type azoté contenant 46% d'azote (N) (urée 46).

2.4 Variation des revenus par variation des quantités d'engrais.

Les courbes de réponse à l'azote nous permettent de calculer les rendements au cours de l'optimisation du revenu brut. N'étant pas des paramètres fixes, ces rendements seront évalués à l'aide du niveau de fertilisation azotée.

Tableau n°18: Indicateurs économiques /pomme de terre de saison

Q/ engrais/ha	Rendement à l'ha	Coûts de production/ha	CA/Da	Revenu brut/Da
8	240	220 500	540 000	319 500
9	250	168 192	600000	431 808
10	300	398 017	900 000	501 983
12	350	279 100	775 000	495 900
12	400	409 000	720000	310950
12	450	554 900	1 575 000	1 020 100
14	400	358 700	900 000	541 300
15	400	503 600	1 200 000	696 400

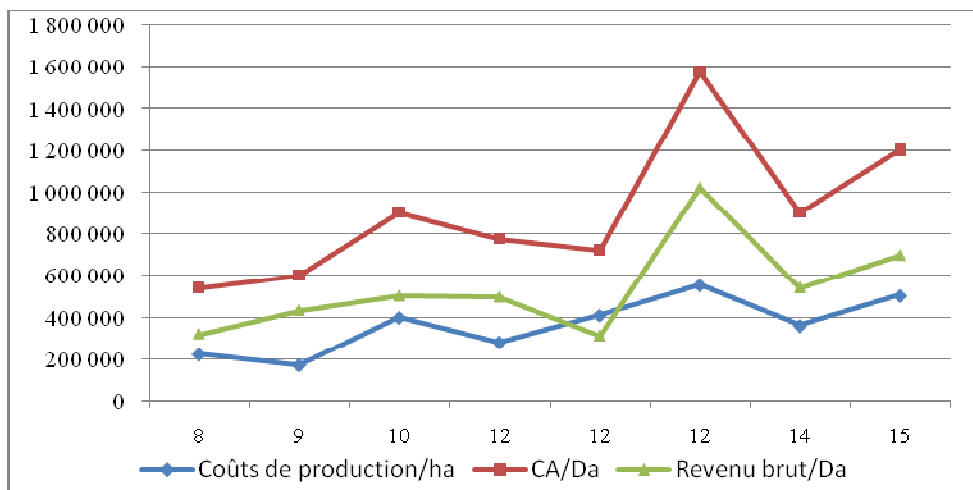
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

L'objectif principal de cette analyse estimative est l'optimisation de la relation entre le rendement et la quantité d'engrais pratiqué pour atteindre un revenu brut maximal. Ce revenu brut sera utilisé pour le calcul de la perte économique supportée par les agriculteurs tout en

fixant les charges variables et le prix de vente, nous procédons à la variation des quantités d'engrais.

a) Pomme de terre

Graphe 18. Variation du revenu et CA en fonction de la variation des quantités d'engrais pour 1 ha de Pomme de terre

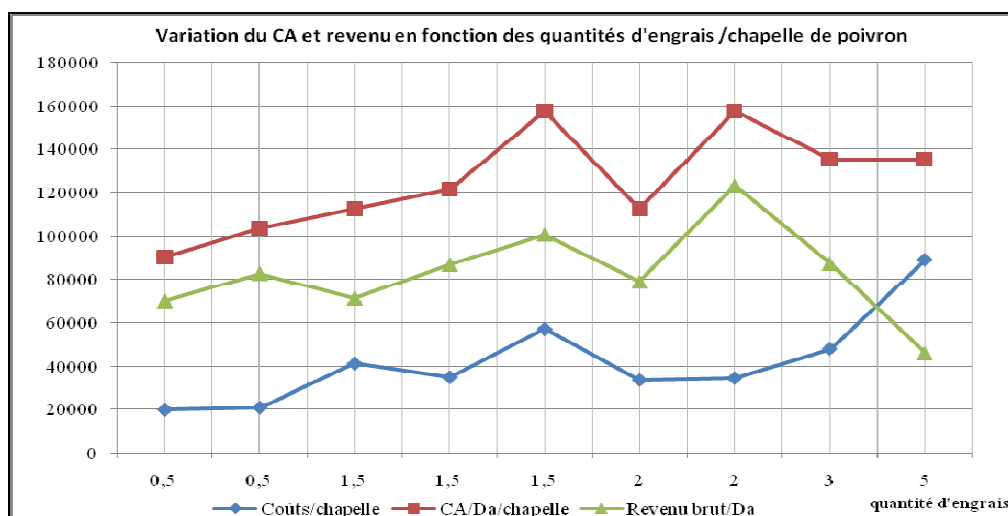


Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Sur ce graphique, il y a lieu de noter que le revenu maximal est obtenu avec 12q/ha de NPK épandus sur une exploitation de pomme de terre, par contre le revenu de 501 745 da correspond à un apport de 10q de NPK.

Nous faisons remarquer que 33% des agriculteurs enquêtés pratiquent plus de 12q/ha, avec un excédent moyen de 45kg de N/ha.

Graphe 19. Variation du CA et revenu en fonction des quantités d'engrais/ serre de Poivron



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

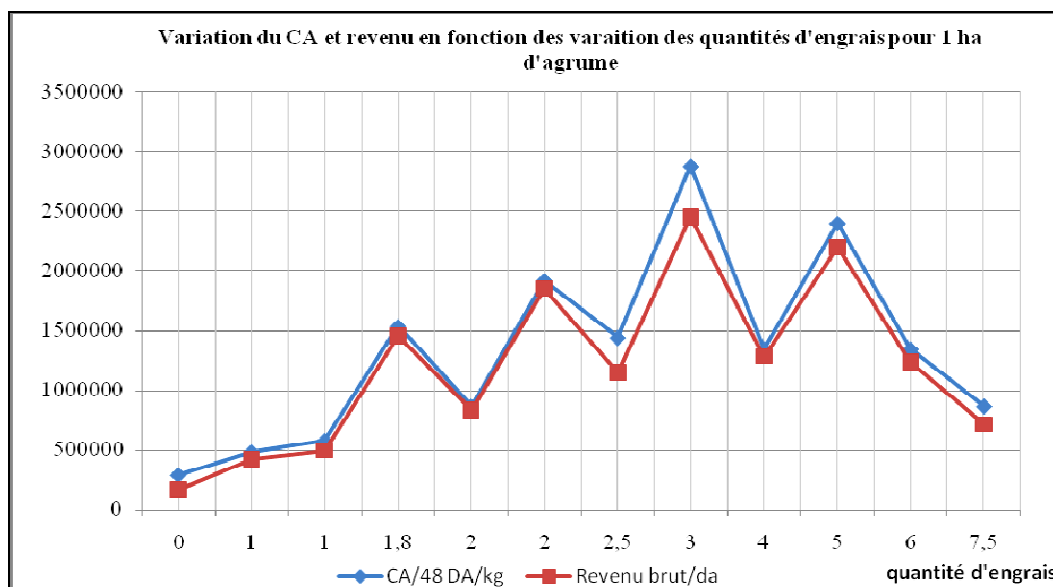
b) Poivron sous serre

Cette figure présente un revenu positif pour l'ensemble des agriculteurs pratiquant le poivron sous serre et ce, indépendamment des quantités d'engrais pratiquées. Le revenu maximal est atteint pour une quantité de 1.5q de NPK.

Dans la culture d'agrumes, la quantité d'engrais utilisée par les agrumiculteurs subit une forte variation ; elle passe de 0 q à 7.5qx de NPK épanchés par /ha. Cette variation répercute sur la variabilité des revenus seulement, au-delà d'une quantité optimale, le revenu subit une décroissance nette. Donc, les agrumiculteurs sont plus rentables à 3q de NPK.

c) Agrume

Graphe n° : 20 Variation du CA et revenu en fonction des quantités d'engrais pour 1 ha d'agrumes/agriculteur



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

2.5 Estimation de la « valeur/ coût » pour la culture pomme de terre

Le rapport valeur/coût représente le rapport de la valeur de l'augmentation du rendement et du coût de l'engrais. Cet indicateur nous donne une idée sur l'incitation économique à l'utilisation des engrais. Pour l'agriculteur, la dépense optimale est limitée par le coût des engrais, cette limite économique sera atteinte lorsque le coût de la dernière unité d'élément nutritif est couvert.

Tableau n° 19: Estimation des indicateurs économique pour 1 ha de pomme de terre/par agriculteur

Unités d'engrais pratiquées (15-15-15)/agriculteur	Rendement q/ha (1)	Rend/unité d'engrais q/ha (2)	Rendement marginal q/ha (3)	Gain marginal DA (4)	coût d'engrais marginal DA (unitaire) 1q(5)	Kg de PT/q (15*3) 6	Valeur/coût*
8	240	30	240	0	0	0	0,0
9	250	28	10	20000	7500	375	2,7
10	300	30	50	100000	15000	750	6,7
12	350	29	50	100000	22500	1225	4,4
12	400	33	50	100000	22500	1225	4,4
12	450	38	50	100000	22500	1225	4,4
12,5	400	32	-50	-100000	33750	1225	-3,0
14	400	29	0	-100000	45000	2250	-2,2
15	400	27	0	-100000	52500	2600	-1,9

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

** Valeur/coût = (4)/(5)*

Ce tableau montre que le rendement marginal est positif jusqu'à une quantité de 12 qx d'engrais de type (15-15-15) utilisées/ha, l'augmentation de la récolte est estimée à 50qha par unité d'engrais supplémentaire. Au-delà de 12q de (15-15-15)/ha, le rendement marginal devient négatif avec un ratio de rentabilité négatif.

L'approvisionnement en 1 q de 15-15-15 nécessite 375kg de pomme de terre, représentant une valeur de 0.75% du rendement marginal. Les engrais contribuent directement au revenu de l'agriculteur et leur coût est suffisamment faible par rapport au gain de rendement, justifiant probablement un surdosage des cultures par l'azote.

Tableau n°20 Estimation des indicateurs économique pour 1 serre de poivron/agriculteur

Unités d'engrais pratiquées (15-15-15)/agriculteur	Rendement q/serre (1)	Rend/unité d'engrais q/ha (2)	Rendement marginal q/ha (3)	Gain marginal DA(4)	coût d'engrais marginal DA (unitaire) 1q (5)	Kg de PT/1q (15*3) (6)
0,5	20	20	20	0	7500	0
0,5	23	23	23	0	7500	0
1,5	25	17	2	8000	11100	0,72
1,5	30	20	7	28000	11100	2,52
1,5	35	23	12	48000	11100	4,32
2	25	13	-10	-40000	14700	-2,72
2	30	15	-5	-20000	14700	-1,36
3	30	10	0	0	22200	0,00
5	30	6	0	0	37200	0,00

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Ce tableau montre que le rendement marginal est positif jusqu'à 1.5 unités d'engrais utilisées, l'augmentation de la récolte varie entre 2 et 12 q/serre par unité d'engrais supplémentaire. Au-delà du 1.5q du (15-15-15)/serre, le rendement marginal devient négatif. L'approvisionnement d'un q de 15-15-15 nécessite 175kg de poivron pour un prix de vente moyen de 40 DA/kg, représentant une valeur de 1.45% du rendement marginal.

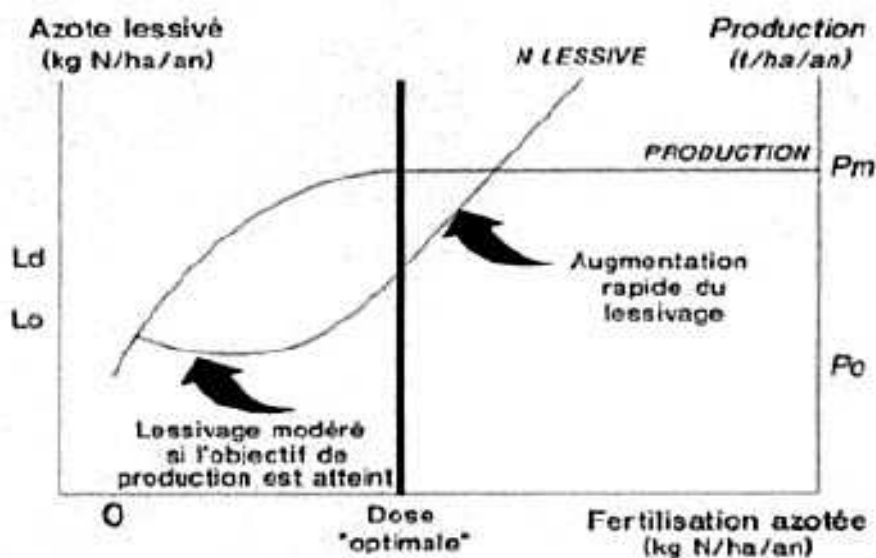
2.6 Analyse des pertes économiques probables dues la fertilisation par culture

Une analyse de rentabilité a été effectuée en estimant le ratio valeur/coût, c.a.d. la valeur de la production additionnelle obtenue en utilisant une unité supplémentaire d'engrais divisée par le coût unitaire d'engrais. Dans cette analyse, nous supposons qu'un ratio $V/C > 2$ peut être considéré comme valeur incitatrice à l'adoption des engrais, cette valeur signifie que les gains financiers en employant des engrais sont deux fois supérieurs à leurs coûts. Dans notre analyse, ce ratio a été calculé pour les deux principales cultures « pomme de terre et céréale », les résultats de la rentabilité des engrais ont montré un ratio très significatif pour la pomme de terre, soit V/C fréquemment supérieur à 3 jusqu' à la 12^{ème} unité d'engrais et une perte économique au delà. Par ailleurs, pour un ha de blé, le ratio de rentabilité V/C avoisine 14 pour une quantité d'engrais d'un quintal à l'ha et 8 pour une quantité de deux q/ ha. Ceci signifie que le gain financier est nettement supérieur en utilisant un quintal d'engrais que quand nous apportons deux q/ha d'engrais pour un ha de céréales. A cet effet, il est plus intéressant d'approfondir l'analyse par des recherches agronomiques sur les réponses des engrais pour les différentes cultures.

2.7 Impact de l'intensification sur la concentration des nitrates dans la nappe

Beaudoins et al, (2010, p : 86) observent que « *la lixiviation est un processus biophysique dont l'intensité est déterminé par l'interaction entre le système de culture, les pratiques agricoles et les facteurs pédoclimatiques* ».

Figure 21 : Relation théorique entre le niveau de fertilisation par rapport à la dose optimale, les pertes d'azote nitrique et la production de matière sèche, pour cultures annuelles (Simon, 1999)



Simon (1992, 1999) propose une courbe théorique pour montrer la relation entre la fertilisation et pertes des nitrates par lixiviation. Au-delà de la dose optimale, la production devient constante avec une augmentation rapide du lessivage.

De ce graphe, on conclut que tant que les doses d'engrais apportées aux cultures ne dépassent pas la dose optimale pour une production maximale, les résidus d'azote restent faibles. Simon (1992), quant à lui, signale que la relation entre la fertilisation et le lessivage reste faiblement connue. Par contre à travers son analyse, en se basant sur une expérimentation, il a montré qu'effectivement le lessivage dépend étroitement de la dose d'engrais apportée. Il note que pour une dose inférieure à l'optimum de fertilisation, le lessivage reste modéré. Par contre, le lessivage est rapide lorsque la dose de fertilisation est au-delà de la dose optimale. Le lessivage des nitrates est en fonction croissante avec la production agricole dans un bassin.

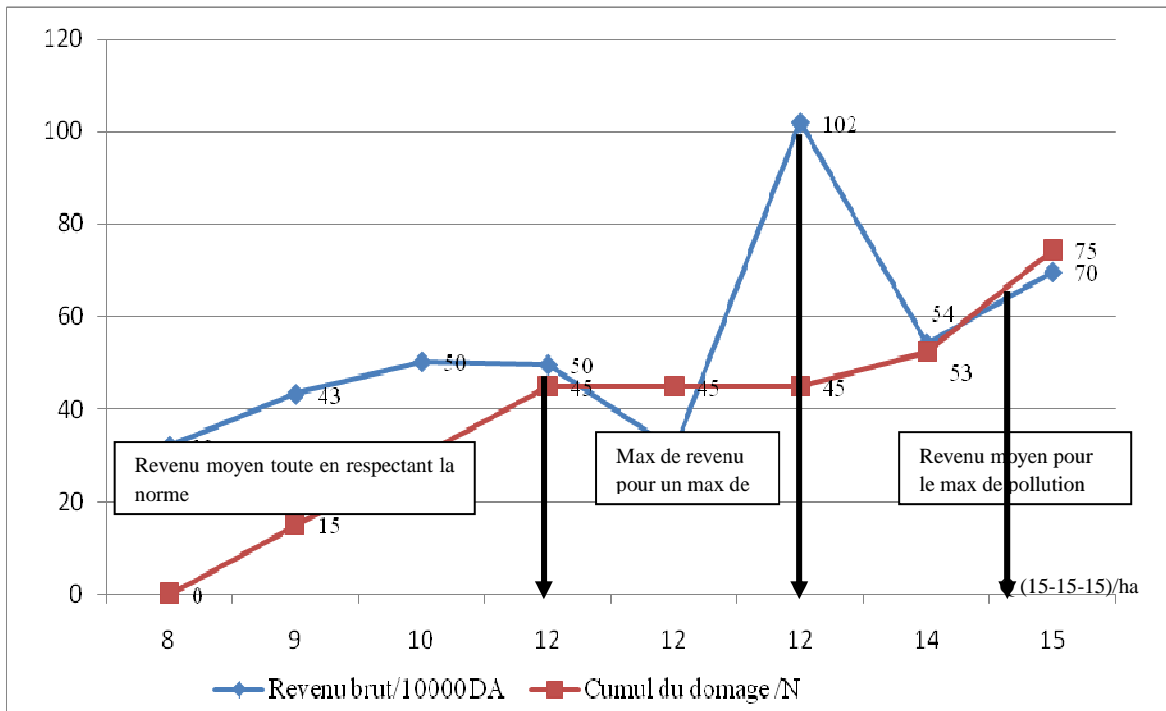
2.7.1 Relation entre quantité d'engrais pratiqués, les revenus des agriculteurs et le lessivage probable des nitrates.

Shepherd et Lord (1996) ont déduit que le transfert des ions nitrates vers la nappe est plus important après une culture de pomme de terre qu'après celle des céréales. Badraoui et al., (2000) confirment dans une étude réalisée au Maroc que l'intensification des cultures maraichères (pomme de terre et tomate) est responsable du lessivage des nitrates.

Dans notre analyse, nous allons estimer le dommage marginal par rapport aux quantités d'engrais pour chaque tranche de revenu.

a) Pomme de terre

Graphe 22. Evolution du revenu et du dommage marginal en fonction des quantités d'engrais azotés utilisées /1ha de Pomme de terre



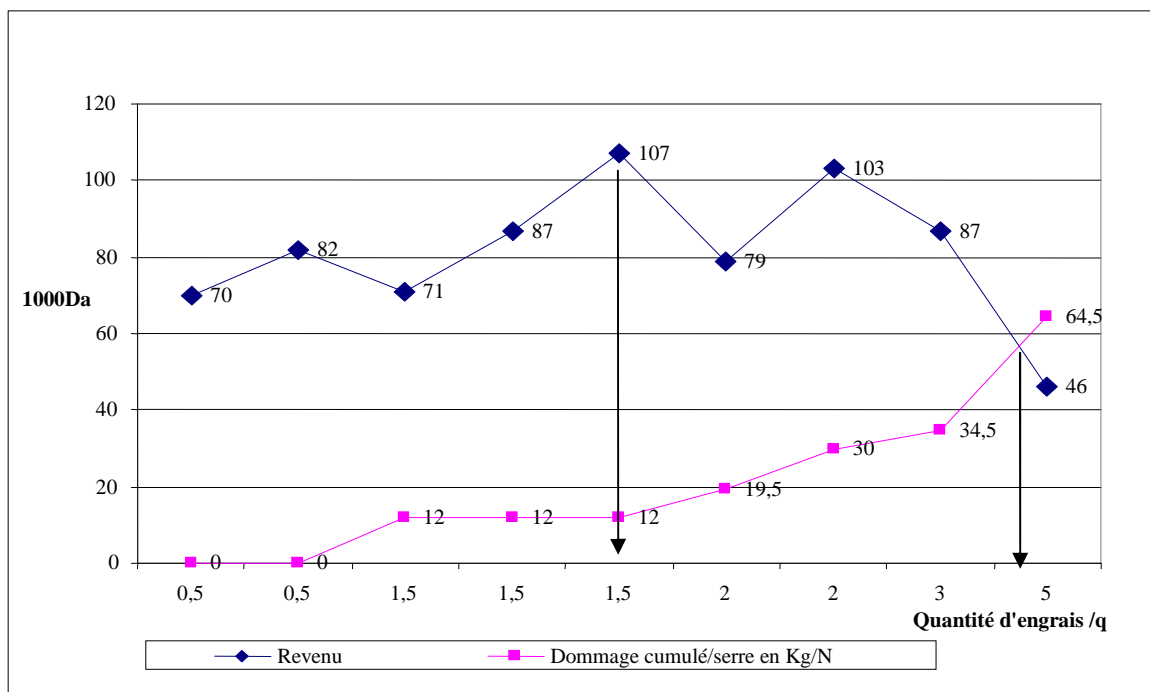
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Ce graphique montre bien l'existence de trois catégories d'agriculteurs, classés selon leur degré de pollution de la nappe et du rendement par ha de pomme de terre cultivée. La première catégorie, la moins polluante de la nappe par les nitrates, concerne les agriculteurs pratiquant moins de 12q de NPK/ 1ha cultivé en pomme de terre de saison pour un revenu moyen de 416 000 DA/ha. La deuxième partie du graphique correspond aux agriculteurs utilisant 12qx du 15-15-15/ha pour un revenu maximal de 610 000 DA /ha avec un excès de 45kg de N. La troisième catégorie d'agriculteurs porte sur ceux qui pratiquent plus de 12q de NPK pour un revenu décroissant générant ainsi un excédent important de N, pouvant atteindre 75 kg/ha.

En termes économiques, les agriculteurs pratiquant plus de 10q (15-15-15)/ha, enregistrent une perte de 20 000 à 50 000da/ ha sur le prix des engrais (selon les prix actuel), cette situation ne présente aucun intérêt économique pour les agriculteurs pratiquant la pomme de terre au-delà de 12 q de NPK/ha d'engrais utilisés.

b) Poivron sous serre

Graphe 23. Variation du revenu et dommage cumulé en Kg de N en fonction de la variation des quantités d'engrais utilisées



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Les pertes moyennes par lixiviation pour une serre de poivron sont de 37.17kg de N, soit 668 kg de N/ha. Alors que la norme édictée par l'ITCMI estimée à 0.70kg de N/serre. Pour une dose de 22.5kg N/ha équivalent à 1.5qx de 15-15-15, la perte de N atteint 12kg, soit 216kg de N/ha. Par ailleurs, les quantités supplémentaires d'azote lixivié par rapport à la dose de fertilisation raisonnée peuvent atteindre 64,5 kg deN/serre, ou 1161 kg de N/ha. La dose de 22.5kg deN/serre de poivron correspond au rendement maximal, ce qui correspond à un revenu maximal. Il est donc clair que les pertes en nitrate sont faibles pour un apport inférieur de 1.5q/serre de 15-15-15 et augmentent au-delà de cet apport.

2.7.2 Estimation de N en excès

Une forte consommation d'engrais engendre une montée régulière des teneurs en nitrates dans les nappes souterraines de 1 à 2 mg/l par an et à ce rythme, la concentration maximale admissible de 50 mg/l risque d'être rapidement dépassée.

Tableau n° 20 : Estimation des quantités de N en excès par culture/ha

Type de cultures	Superficie	Excès de Kg N/ha	Apport en excès en Kg N/ha
Pomme de terre	197	60	11820
Poivron sous serre	8	37,5	300
Céréale	190	0	0
Agrume	170	5	850

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Pour vérifier le rapport entre le type de culture et la concentration en nitrates des eaux de forages, des analyses chimiques ont été effectuées sur environ 20 exploitations spécialisées en production de pomme de terre, poivron sous serre et agrumes. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n° 21: Résultats des analyses des eaux par exploitation et par type de cultures

Poivron sous serre	
EAC	NO3 mg/l
54	72,6
27	36,7
99	43
23	40,84
Pomme de terre	
51	97
54	76,2
147	28,4
70	125,4
65	60,2
35	44,1
20	70
43	31
Agrume	
155	33,5
77	11,52
61	12,67
98	24,19 (62,2)

Résultats d'analyse des eaux, 2008-2009 réalisée par l'ADE et ENSA.

Les résultats portés dans ce tableau montrent bien que la forte concentration en nitrates est enregistrée dans les exploitations pratiquant la pomme de terre et le poivron sous serre ; ces concentrations varient entre 31 et 125 mg de NO₃, ce qui est nettement supérieur à la norme tolérée par l'OMS.

L'utilisation non raisonnée des engrais chimiques dans notre zone d'étude explique la teneur élevée en nitrate dans la nappe phréatique et par conséquent la pression sur l'environnement. Pour remédier à cette situation, une rationalité dans l'utilisation des engrais est plus que souhaitable, tout en prenant en considération les coûts occasionnés à l'agriculteur et la perte de production.

Notre intervention a été articulée sur la présentation des doses d’engrais pratiquées, les rendements et la pollution, résultats du modèle de simulation appliqué à la culture de pomme de terre et ce, dans l’objectif d’inciter les agriculteurs à réfléchir sur l’intérêt de raisonner la fertilisation et de l’ajuster aux besoins de la plante à travers des moyens adéquats de concrétisation des bonnes pratiques agricoles.

2.8 Présentation des scénarios testés par le modèle Apex sur la culture de pomme de terre.

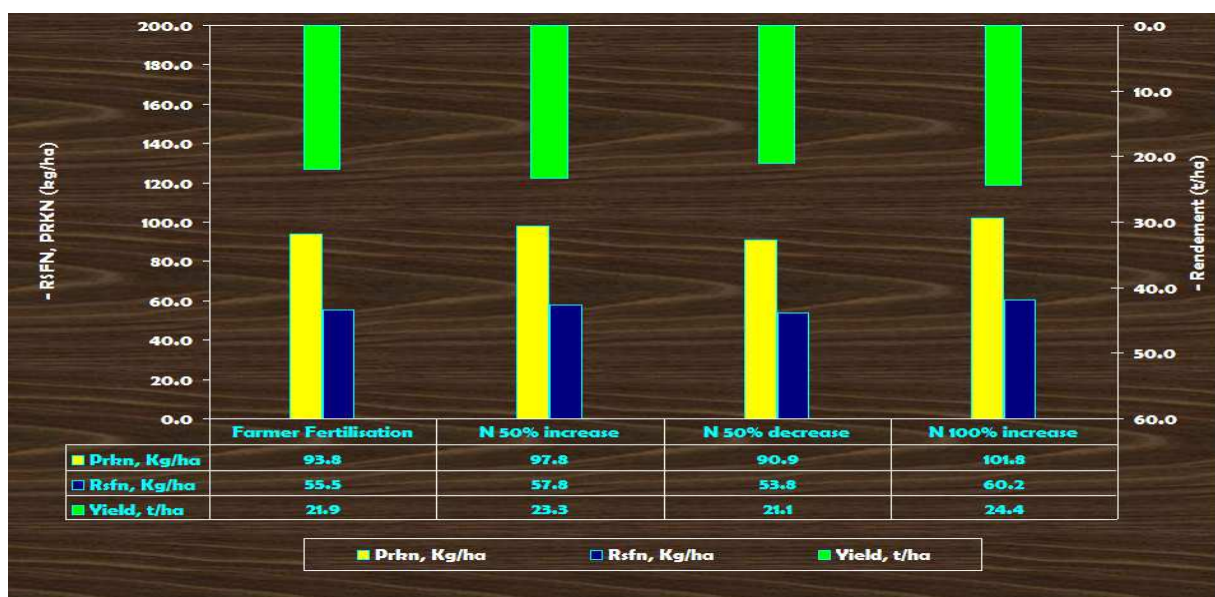
Dans cette analyse de simulation réalisée dans le cadre du projet (Qualiwater, ENSA,2010), trois principaux scénarios ont été simulés et comparés aux pratiques habituelles des agriculteurs d’étude. L’intérêt consiste à la validation des résultats d’enquêtes.

- Scénario 1 : Augmentation des doses de fertilisants de 50 % par rapport aux pratiques agricoles actuelles
- Scénario 2 : Diminution des doses de fertilisants de 50 % par rapport aux pratiques agricoles actuelles
- Scénario 3 : Augmentation des doses de fertilisants de 100 % par rapport aux pratiques agricoles actuelles

L’étude a porté sur la confrontation entre trois variables simulés par APEX :

1. Le rendement (YIELD, t/ha)
2. La quantité de N dans l’eau de drainage (RSN, kg/ha)
3. La quantité de N dans l’eau percolée (PRKN, kg/ha)

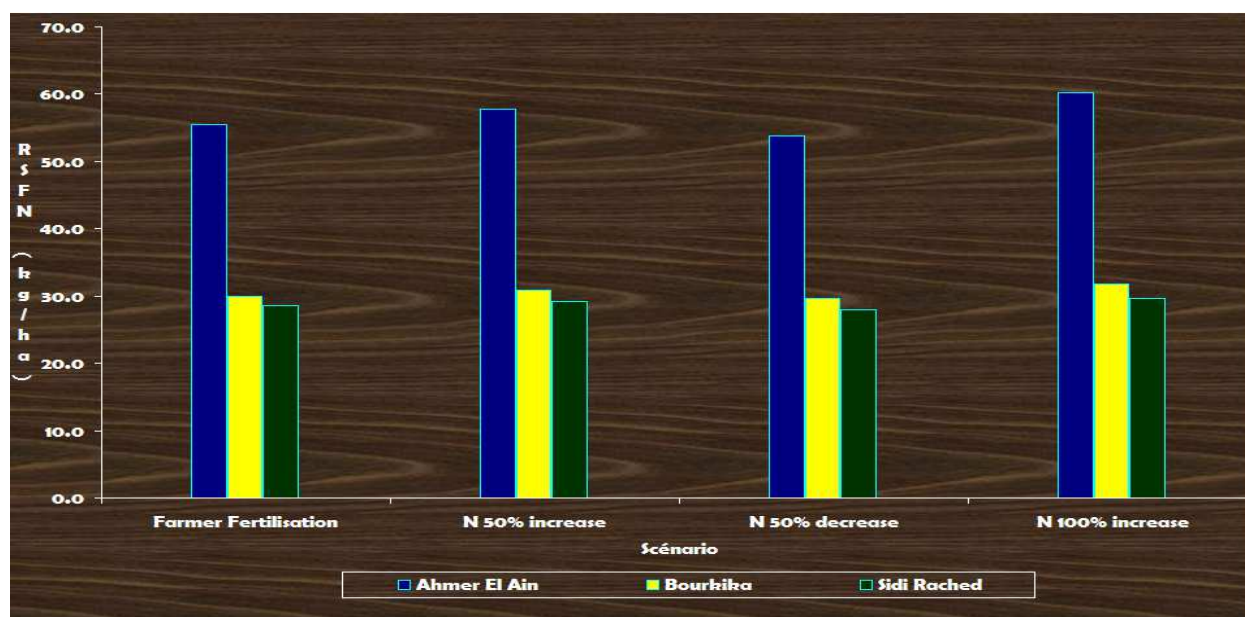
Graphe 24. Simulation des rendements et lixiviation des nitrates Apex (Pomme de terre)



Ce diagramme portant liaison entre les doses d'engrais, le rendement et les quantités d'azotes drainées ou percolées, montre une faible variation des rendements de pomme de terre en fonction des quantités d'azote. Alors, il est évident que les doses d'engrais réellement pratiquées dépassent nettement les besoins de la plante en Azote et donc une sur-fertilisation. Il est important aussi de noter que le rendement reste constant quand la dose d'engrais est réduite de 50% par rapport aux pratiques actuelles et par conséquent la réduction de la quantité de N drainée et percolée. Il est donc important que les agriculteurs prennent conscience que la réduction des doses d'engrais azotés de 50% n'affecte pas forcément leur rendement.

En termes « coût-efficacité », la réduction des quantités d'engrais jusqu'à un certain seuil n'engendre aucune réduction du rendement, par contre les agriculteurs font des économies sur le coût des engrais tout en assurant une efficacité environnementale. Une réduction de fertilisation simulée sur la pomme de terre avec le modèle Apex est un scénario qui engendre une diminution de 3kg N/ha de perte d'azote par rapport aux fertilisations actuelles.

Graph 25. N soluble dans l'eau drainée (culture de pomme de terre)



RSFN	N 50% increase	N 50% decrease	N 100% increase
Ahmer El Ain	4.19 %	-3.08 %	8.44 %
Bourkika	3.15 %	-1.22 %	6.10 %
Sidi Rached	1.78 %	-2.57 %	3.38 %

Résultat : modèle Apex, ENSA, 2010.

Ce tableau montre clairement une réduction du taux de N soluble dans l'eau drainée dans la région d'Ahmer el Ain avec la diminution de 50% des doses d'engrais azoté.

2.9 Présentation des scénarios testés par le modèle SimaPro sur la culture de tomate fraîche en sous serre.

Dans cette section, nous allons discuter des dommages environnementaux autres que la pollution des eaux par les nitrates qui peuvent être causés par les pratiques agricoles. Cette Analyse a été effectuée dans le cadre d'un projet Cread (Projet Tassili). L'étude a été réalisée sur 20 exploitations de la tomate fraîche cultivées en sous serre.

La production d'un bien agricole passe impérativement par plusieurs étapes. Depuis l'approvisionnement en matières premières jusqu'à la récolte en passant par le travail du sol, la fertilisation et les traitements phytosanitaires. Il est évident que dans chaque étape de production, des moyens agricoles en machines et en intrants sont indispensables. Par ailleurs, il est important de savoir que dans chaque étape de production, une utilisation déficiente des intrants entraîne le rejet d'émissions contaminants vers le milieu naturel : lixiviation des nitrates vers les eaux superficielles et souterraine, eutrophisation des lacs, la pollution de l'atmosphère par le dioxyde d'azote et des gaz à effet de serre. Cette externalité négative a un impact sur la santé humaine.

Dans la littérature, la problématique de l'impact de la production agricole sur la qualité de l'environnement est largement traitée. Gomgnimbo et al (2010), ont clairement soulevé le risque de contamination des eaux par les pesticides et les risques d'intoxication pour les êtres humains. Stark et al., (2008) signalent que l'existence des taux élevés de nitrate dans l'eau potable provoquent une toxicité chez les bétails et peuvent provoquer une méthémoglobinémie et avortements chez les bovins. Alors que Cope, (1965) s'est intéressé au risque de contamination des animaux aquatiques par les insecticides. Dans des études réalisées par Tron et al., (1991) et Ferragu et al, (2010), ont évoqué le degré de dangerosité causée par les pesticides sur la santé humaine, comme des troubles de reproduction, des effets cancérigènes et des troubles neurologiques, en plus d'effets sur la qualité des eaux et sur le bien être des humains, Van der werf, (1997) remarque que souvent les traitements des plantes par des pesticides provoquent une écotoxicité de la microflore du sol.

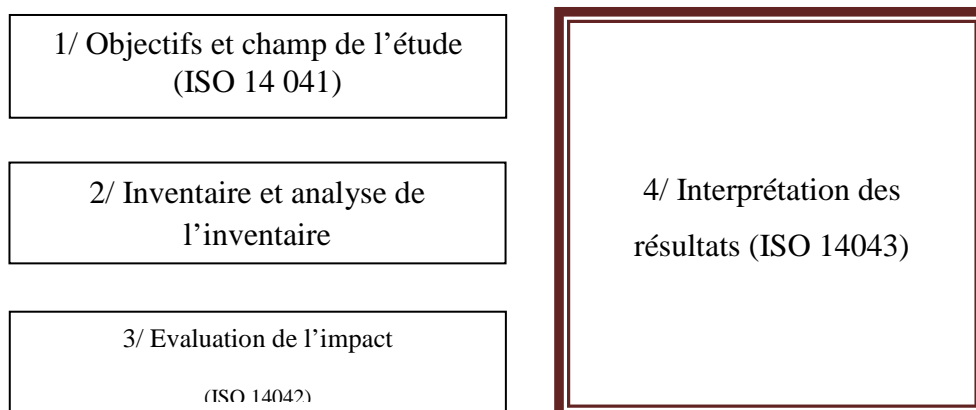
Dans notre recherche, l'analyse par les ACV est mobilisée dans la déduction du risque de pollution sur les trois compartiments (eau, sol et air) de la filière tomate fraîche cultivée en sous serre dans notre périmètre irrigué « Ahmer el-Ain ».

L'ACV est une approche qui permet de quantifier, d'évaluer et d'analyser tous les impacts environnementaux potentiels de l'ensemble des étapes concernant un produit, un procédé ou une activité. Elle permet aussi de mesurer et de diminuer les impacts négatifs sur l'environnement tout au long du cycle de vie d'un produit. L'utilisation de l'analyse du cycle de vie en agriculture permettrait de quantifier et de comparer l'impact environnemental des différents modes de production, de déceler toutes les matières responsables de la dégradation de l'environnement pour chaque phase de la chaîne de production et de proposer des solutions de préservation (ex : élaboration des fiches de codes de bonnes pratiques agricoles, gestion des ressources naturelles...). L'ACV permet de réaliser un inventaire complet sur toutes les substances et les émissions dans l'objectif de présenter une vision globale des impacts générés par les produits. Elle renseigne à également sur l'ensemble des atteintes causées aux ressources, à la qualité des écosystèmes et la santé humaine.

2.9.1 Présentation de l'ACV et méthodologie

L'analyse se fait avec le logiciel SimaPro qui utilise les différentes méthodes de calculs d'impacts qui permettent de transformer les informations d'inventaire du cycle de vie en catégories d'impact sur l'environnement. Dans cette partie de l'analyse, les résultats de la modélisation ont été calculés avec la méthode « Recipe » qui est la plus récente.

La réalisation des ACV doit passer impérativement par quatre étapes essentielles qui sont normalisées par les normes ISO (14041, 14043).



2.9.2 Définition des objectifs et champs de l'étude

Dans le cas de notre étude, le champ de l'étude est choisi sur la base de la faisabilité, et la disponibilité des agriculteurs. La collecte des données est effectuée en trois phases. La première concerne les agriculteurs qui nous ont permis de faire le suivi de l'itinéraire technique pour collecter le maximum d'informations sur les flux entrants (matière premières, énergie et ressources utilisées). La seconde enquête est réalisée auprès des vendeurs de fertilisants, de produits phytosanitaires et matériels agricoles dans l'objectif de collecter les données manquantes sur les composantes physico-chimiques des produits utilisés et enfin la dernière enquête auprès des transporteurs de la tomate qui avait pour objectif de collecter des données sur le type de transport, leurs contenances et l'énergie utilisée.

2.9.3 Phase d'inventaire

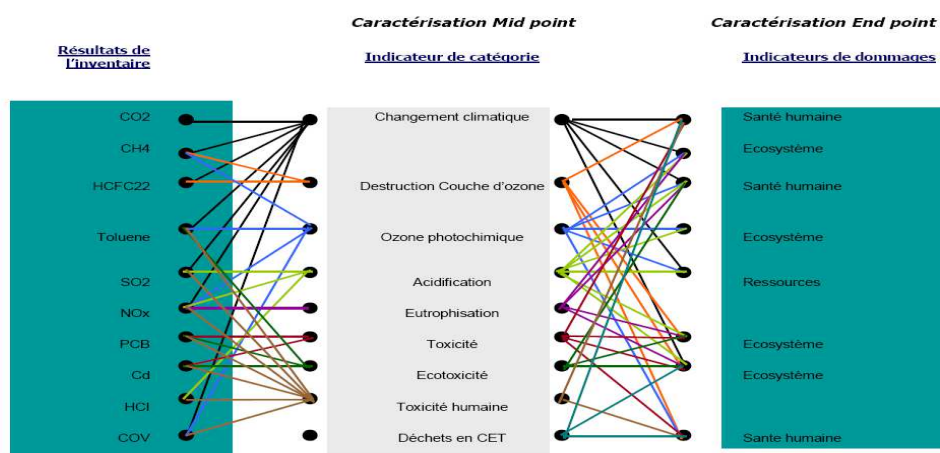
Cette étape constitue la deuxième phase de l'ACV. Elle consiste à quantifier les différents flux de matières, d'énergie et de polluants entrants et sortants du système de production. Pour cela, elle rassemble les quantités de substances polluantes émises ainsi que les ressources extraites au cours du cycle de vie du produit analysé. Cette étape est préparatoire à l'analyse d'impact. Les émissions de l'inventaire du cycle de vie sont classées et assignées à une catégorie d'impacts selon leur influence.

2.9.4 Phase d'évaluation de l'impact

La troisième étape concerne la traduction des flux entrants et sortants en catégorie d'impacts et dommages environnementaux. Cette phase permet de déceler les points critiques et toutes les substances responsables de la dégradation de l'environnement pour chaque maillon de la chaîne de production d'un bien.

2.9.5 Phase d'interprétation

Enfin, la phase d'interprétation des résultats permet de dégager des conclusions et recommandations pour une activité moins impactante sur l'environnement. Les flux entrants et sortants vont être traduits par le logiciel SimaPro en catégories d'impacts et de dommages.



Les différents impacts du cycle de vie d'un produit sont calculés à partir des différentes substances émises, répertoriées pour chaque étape de production. Pour analyser les résultats, nous avons utilisé une méthode de calcul des impacts environnementaux la plus appropriée qui est la méthode Recipe (Mid point et End point). Cette méthode développée permet de transformer la liste des résultats d'inventaire en un nombre réduit d'indicateurs. Ces indicateurs expriment la sévérité relative d'une catégorie d'impact environnemental.

2.10 Résultats de l'ACV environnementale pratiquée sur la tomate sous serre en Algérie

Dans la zone d'étude, la tomate sous serre est cultivée sur environ 10 ha à raison de 20 serres par ha.

Les résultats d'une ACV sont présentés sous forme d'indicateurs d'impacts potentiels (kg d'équivalents CO2 pour l'effet de serre, kg d'équivalents H+ pour l'acidification...) et de flux physiques (MJ d'énergies non renouvelables).

Tableau n° 22 : résultats des principales catégories d'impact en unité équivalente

Catégories d'impacts	Unité	Total	Préparation du sol	Fertilisation	Protection Phytosanitaires
Climate change	kg CO2 eq	0,06533807	0,004643651	0,057747949	0,002946471
Ozone depletion	kg CFC-11 eq	9,30E-09	5,85E-10	4,52E-09	4,19E-09
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	12,355919	12,008985	0,004506583	0,3424276
Terrestrial acidification	kg SO2 eq	0,00209978	8,05E-06	0,002071655	2,01E-05
Freshwater eutrophication	kg P eq	7,82E-05	1,62E-08	7,74E-05	8,32E-07
Marine eutrophication	kg N eq	8,25E-05	1,08E-07	7,61E-05	6,26E-06
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,00088763	0,000849056	6,38E-06	3,22E-05
Freshwater ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,00035368	0,000284935	3,74E-05	3,14E-05
Marine ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0,00777961	0,007386489	0,000173546	0,000219575
Water depletion	m3	0,00098015	5,55E-06	0,00095384	2,08E-05

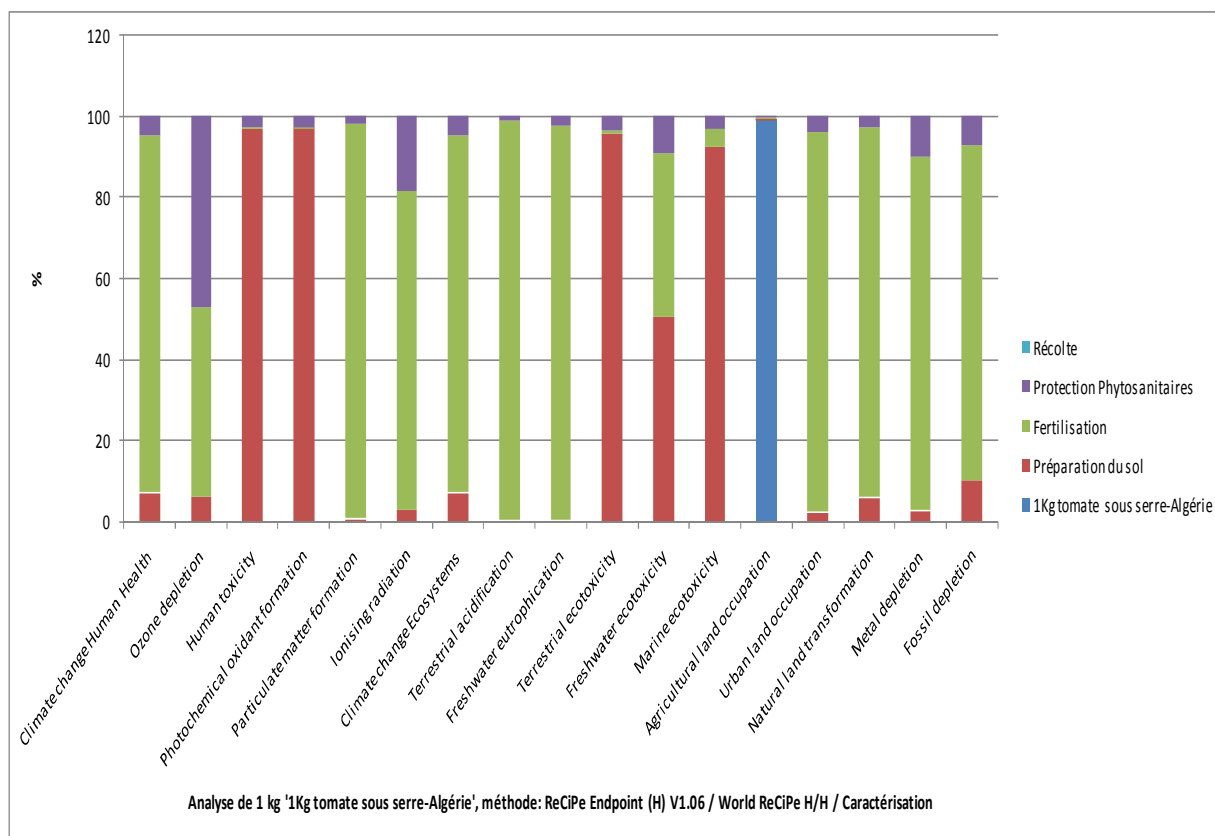
Source : résultats de nos enquêtes, 2010-2011

Tableau n° 23 : résultats des principales catégories d'impact en %

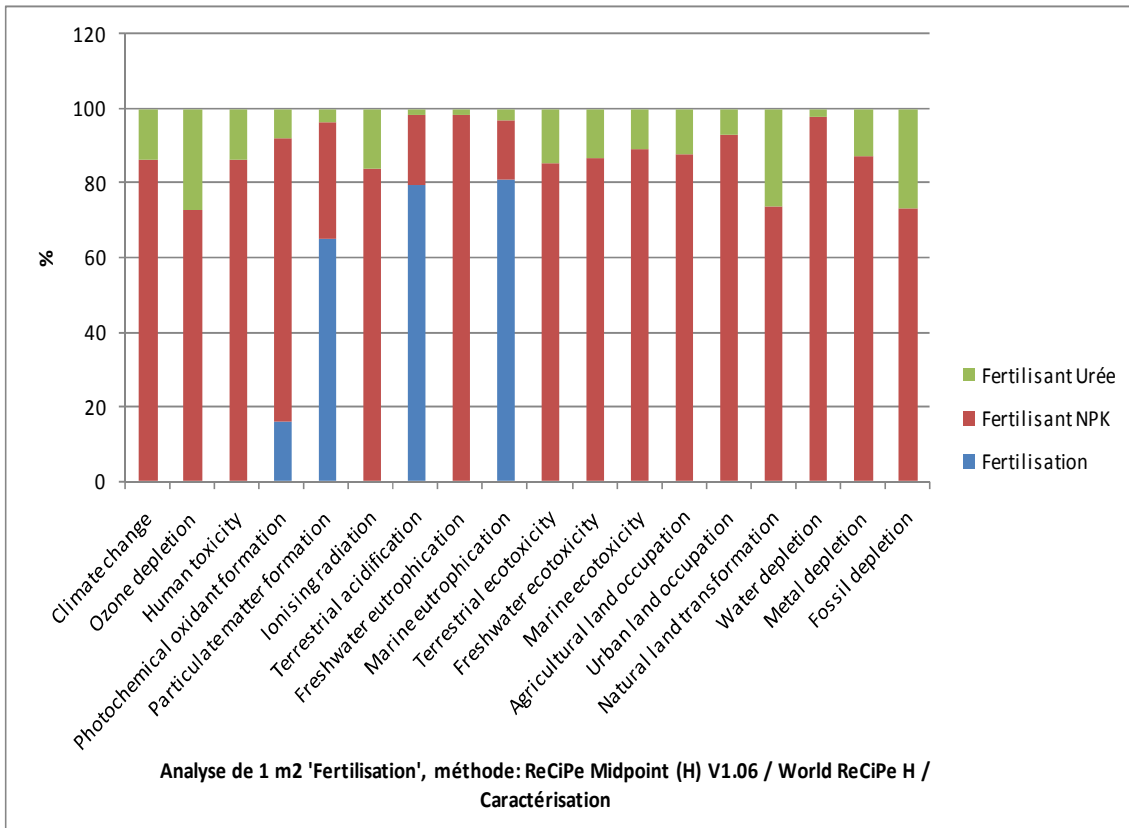
Catégorie d'impact	Unité	Préparation du sol	Fertilisation	Protection Phytosanitaires
Climate change	% CO2 eq	5	88	5
Ozone depletion	% CFC-11 eq	6E+00	5E+01	5E+01
Human toxicity	% 1,4-DB eq	97	0,036	3
Terrestrial acidification	% SO2 eq	4E-01	99	1E+00
Freshwater eutrophication	% P eq	2E-02	1E+02	1E+00
Marine eutrophication	% N eq	1,31E-01	9,23E+01	7,59E+00
Terrestrial ecotoxicity	% 1,4-DB eq	1E+02	7,19E-01	3,63E+00
Freshwater ecotoxicity	% 1,4-DB eq	8E+01	1,06E+01	8,86E+00
Marine ecotoxicity	% 1,4-DB eq	9E+01	2E+00	1E+02
Water depletion	% m3	6E-01	2E+04	2E+00

Source : résultats de nos enquêtes, 2010-2011

Graphe n° 26 : part de la dégradation par phase de production



Source : résultats de nos enquêtes, 2010-2011



2.11 Interprétation des résultats

Les premiers résultats de l'ACV environnementale montrent clairement la part de chaque phase de la chaîne de cause à effet pour chaque catégorie d'impact environnemental.

Le premier graphe, nous pouvons constater que l'étape ayant le plus d'impact sur le changement climatique est la fertilisation. Le méthane (CH₄) dégagé par le fumier de bovin, qui est un fort gaz à effet de serre, est donc assigné à la catégorie « changement climatique ». La dénitrification des nitrates en nitrite ensuite en protoxydes d'azote qui est aussi un gaz à effet de serre. Par contre les produits phytosanitaires ont plus d'impact sur la dégradation de la couche d'ozone avec la fertilisation. Il est important aussi de signaler que la toxicité humaine, l'écotoxicité terrestre est due essentiellement à la combustion du diesel utilisée dans le matériel agricole pour la préparation du sol. Par contre, l'eutrophisation des eaux est due essentiellement à l'utilisation des produits phytosanitaires.

Après avoir analysé la relation de l'utilisation des engrais sur la qualité environnementale, il est important de déterminer les facteurs explicatifs de la demande des engrais par les agriculteurs.

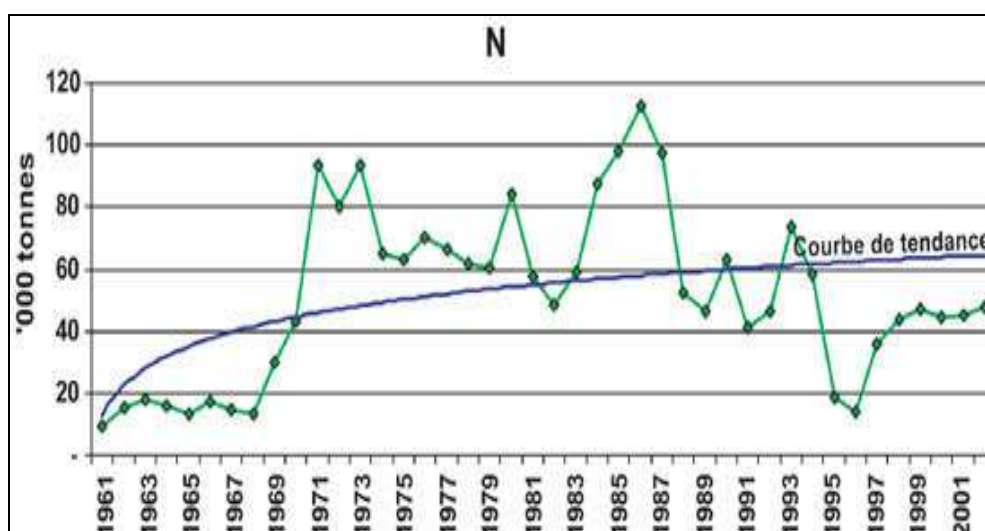
2.12 Les facteurs explicatifs de la demande d'engrais azotés/par les agriculteurs

La dotation des agriculteurs en engrais est tributaire de plusieurs facteurs, socio-économiques (solvabilité des agriculteurs), prix des engrais et la disponibilité du produit sur le marché... A cet effet, une analyse spécifique des facteurs favorisant ou limitant l'utilisation des engrais par les agriculteurs de la région d'étude est recommandée pour définir les priorités que doit prendre en considération l'Etat pour rationaliser le comportement des agricultures à l'égard de l'un des principaux facteurs de la pollution de la nappe par les nitrates qui est « l'engrais azoté ». Avant d'entamer notre analyse, un bref historique sur l'utilisation des engrais permettra d'éclaircir la situation.

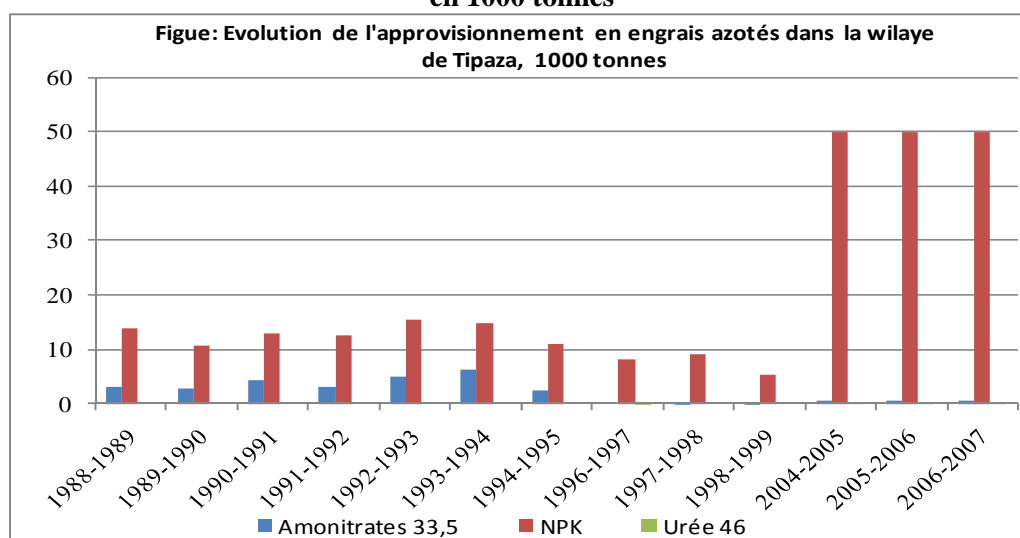
2.13 Quelques données sur la Politique agricole

Historiquement, l'utilisation des engrais en Algérie a connu trois phases (FAO, 2005): la première période allant de 1961 à 1970, période de faible consommation d'engrais qui s'explique par la dominance de l'agriculture de subsistance. La seconde, quant elle, est marquée par une forte consommation d'engrais, s'étalant de 1971 à 1986, elle correspond à la période du développement de l'industrie chimique où les engrais produits en Algérie étaient subventionnés. Selon le rapport de la FAO, 2005 cette période a vu une utilisation importante d'engrais sans pour autant accroître la production. Enfin, la période allant de 1998 à 2008, où la consommation des engrais azotés a diminué suite à la libéralisation du marché et à l'augmentation des prix des engrais due à la dévaluation de la monnaie.

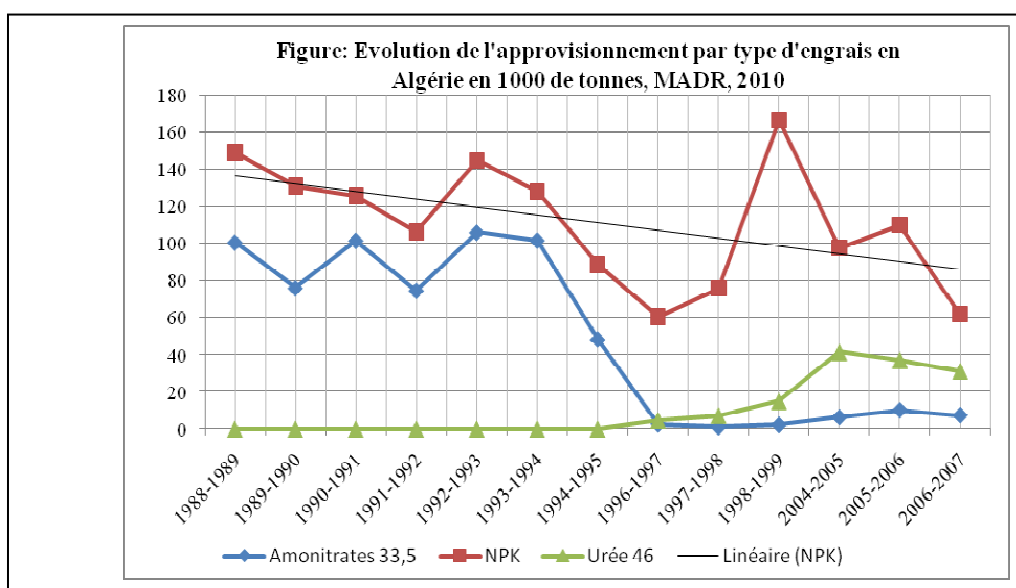
Graph 28. Evolution de la consommation d'engrais azoté en Algérie, FAO, 2005



Graphe 29. Evolution de l'approvisionnement en engrais azotés dans la wilaya de Tipaza, en 1000 tonnes



Graphe 30. Evolution de l'approvisionnement par type d'engrais en Algérie, 1000 tonnes, MADR, 2010



La politique de relance de l'économie agricole par la mise en application du PNDA en 2000 qui est venu consolider l'intensification agricole et qui a fait que la fertilisation est devenu un peu plus intense avec un soutien de l'Etat pour l'adoption d'un itinéraire technique approprié (conduite de la culture, utilisation d'intrants ...). Du graphique n°29, nous relevons la tendance à la hausse en approvisionnement d'engrais azotés dans la wilaya de Tipaza. Cette progression s'explique par la forte demandes des engrais par les agriculteurs suite à des reconversions des systèmes de production céréalières vers le maraîchage et l'arboriculture. Cette reconversion rentre dans le programme de relance de l'agriculture dans le cadre du PNDA.

2.13.1 Les facteurs déterminants de la demande des engrais par les agriculteurs de Ahmer –El Ain

En général, la demande en engrais est liée à certaines variables socio-économiques, qui seront déterminées et traitées à travers une étude de corrélation entre les quantités d'engrais pratiquées et les variables explicatives ci-dessous. Une analyse de corrélation bivariée est effectuée dans l'objectif d'apprécier la relation entre la variable à expliquer « consommation des engrais par les agriculteurs » et les variables explicatives, comme l'âge, le niveau d'instruction, le prix des engrais...

La demande en engrais est représentée par la fonction suivante :

$$Y = f(X_n) = a + b x_1 + c x_2 + d x_3 + \dots + e x_n,$$

Y: demande en engrais,

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$: représentent les variables explicatives comme le prix des engrais, les rendements, type de culture, l'âge, niveau d'instruction ...

b, c d...e se sont les coefficients de corrélation entre la demande en engrais et les variables explicatives reportées dans le tableaux ci dessous.

Tableau n° 24: estimation des coefficients de corrélation de la consommation d'engrais en fonctions des différents variables

Pomme de terre	Corrélation
Age	0,088
Niveau d'instruction	-0,071
Formation	-0,022
Superficie	-0,258
Assolement	-0,259
Prix des engrais	-0,999
Rendement	0,788
Coût du traitement	0,688
Consommations intermédiaires	0,847
Revenu /ha	0,808
Poivron sous serre	Corrélation
Age	-0,074
Niveau d'instruction	0,034
Formation	0,015
Nb de serre	-0,416
Assolement	0,228
Prix des engrais	-0,863
Rendement	0,407
Coût du traitement	-0,078
Consommations intermédiaires	0,903
Revenu /ha	-0,231

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

La demande en engrais est fortement corrélée avec son prix. Les coefficients de corrélation - 0,99 pour la culture de la pomme de terre et -0,86 pour les cultures sous serres expliquent la diminution de la consommation d'engrais quand les prix augmentent. D'un autre côté, la consommation des engrais pour la culture de la pomme de terre est moyennement corrélée avec les rendements, avec un coefficient de corrélation de 0,788. Le rendement du poivron sous serre reste faiblement corrélé avec les quantités d'engrais pratiquées avec un coefficient de 0,407, ce qui indique que la variation des rendements en fonction de la consommation d'engrais est relativement faible.

La demande d'engrais est un peu plus sensible au prix des pesticides, particulièrement pour la culture de la pomme de terre. En plus du prix des engrais et du rendement, la consommation des engrais est étroitement liée à la consommation intermédiaire (Traitements phytosanitaires, main d'œuvres...). Il faudra souligner aussi que les agriculteurs dotés de matériels agricoles consomment plus d'engrais pour différentes cultures.

Le revenu est un paramètre important expliquant la tendance vers la consommation des engrais azotés par les agriculteurs. Au risque de pertes économiques, les agriculteurs qui pratiquent de la pomme de terre utilisent fortement des engrais azotés pour parer aux aléas causés par les maladies, les conditions climatiques (pluviométrie) et la chute des prix de vente, tandis que, les agriculteurs qui pratiquent du poivron sous serre sont moins exposés aux risques de perte de rendement et à la fluctuation des prix de leurs récoltes.

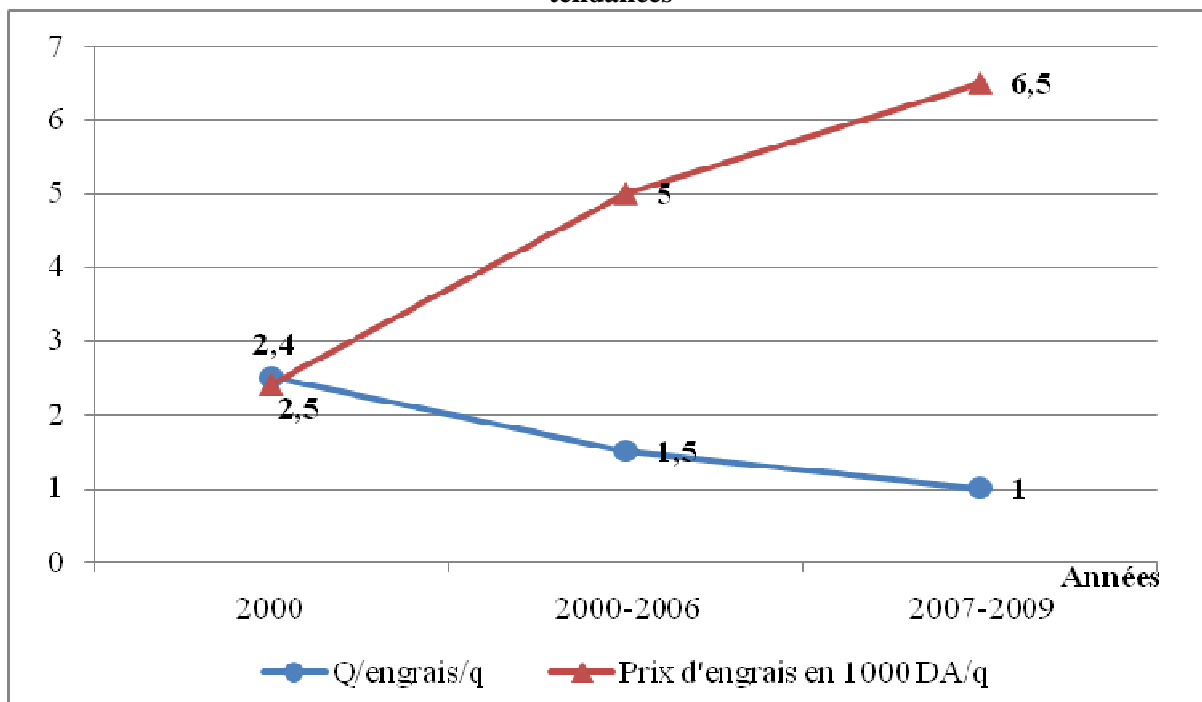
Par ailleurs, les facteurs âge, niveau d'instruction, niveau de formation et superficies exploitées ne sont pas explicatifs de la consommation des engrais par les agriculteurs algériens.

2.13.2 Evolution de la consommation des engrais en fonctions des prix

Une autre analyse de la demande en engrais en fonction de leurs prix a été réalisée pour montrer l'élasticité de la consommation d'engrais par rapport aux prix.

Blé dur

Graph 32. Evolution des quantités d'engrais utilisées/ ha de blé dur. Coûts des engrais et leurs tendances



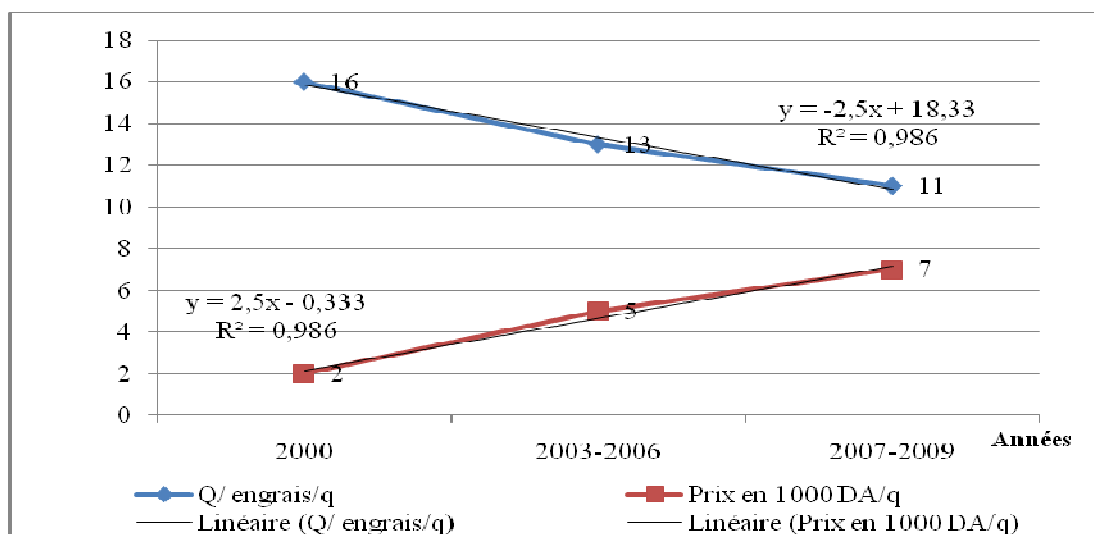
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Du graphique ci-dessus, établi sur la base de données estimées par les agriculteurs enquêtés, pratiquant la céréaliculture depuis les années 90, il paraît évident que la quantité d'engrais consommée en céréaliculture diminue quand les prix augmentent ; cette consommation est passée d'une moyenne de 2,4 q/ha en 2000 DA à 1,5q/ha en 2003-2006 puis 1q/ha en 2007-2009 pour des prix d'achat moyens des engrais allant de 2500 DA/q à 5000 DA/q puis 6300 DA/q .

Pomme de terre

La baisse de la consommation des engrais dans la culture de la pomme de terre est fortement liée à l'augmentation des prix. Pour un prix des engrais évoluant de 2000 DA/q à 5000DA, la quantité d'engrais consommée baisse de 3q/ha, alors qu'en 2007-2009, on enregistre une baisse de 5q/ha par rapport à l'année 2000. La diminution d'utilisation de 3 q d'engrais à l'ha induit une baisse moyenne de rendement estimée à 20 q de pomme de terre à l'hectare.

Graphe 33. Evolution des quantités d'engrais utilisées/ ha de pomme de terre. Coûts des engrais et leurs tendances

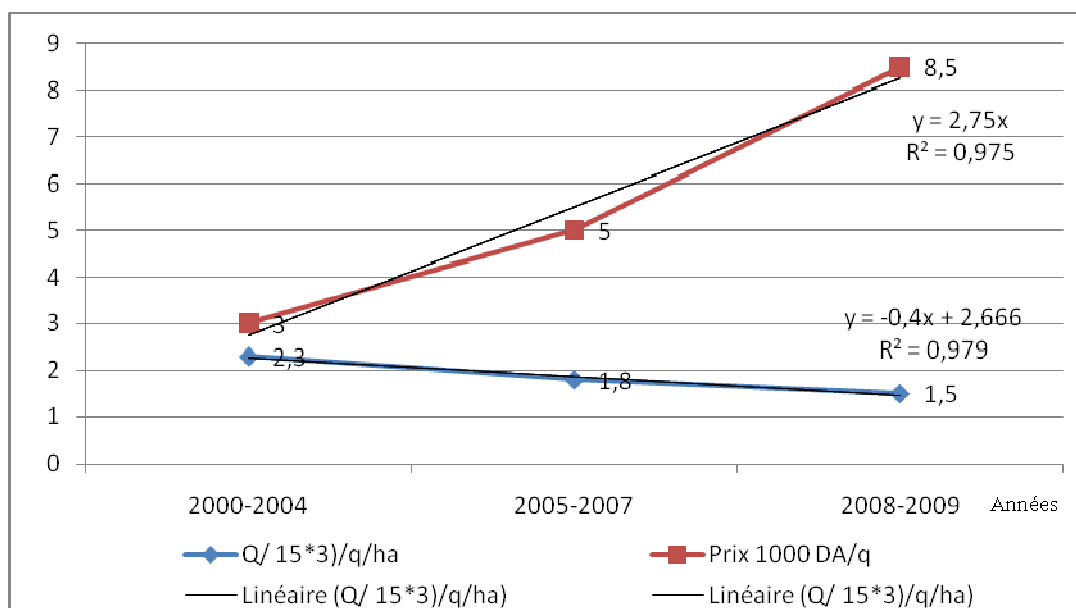


Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Poivron sous serre

L'analyse de la consommation des engrais pour une serre de poivron en fonction des prix des engrais montre clairement que la réduction est significative durant la période 2000-2007, passant de 2,3q d'NPK/serre en 2000-2004 à 1,6q en 2005-2007 pour des prix d'engrais allant de 3000 DA/q à 5000 DA/q.

Graphe 34. Evolution des quantités d'engrais utilisées/ 1 serre de poivron. Coûts des engrais et leurs tendances



Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Par ailleurs, une très faible diminution de la quantité d'engrais épandue/ serre de poivron en 2005 -2009 a été enregistrée, dont les prix sont passés de 5000 DA/q à 8500 DA/q du 15-15-15. Les exploitants considèrent qu'une consommation inférieure à 1,5q de NPK/ serre n'est pas sans risques et réduit la production à 20q/serre, Ce qui n'est pas rentable pour ce genre d'exploitation, d'où la nécessité absolue de mener une étude économique pour déterminer l'impact de la réduction de la consommation d'engrais sur le revenu des agriculteurs.

Tableau n° 24: Variation des quantités demandées en fonction de la variation des prix des engrais (année de référence, 2000)

	Céréale	
	Prix des engrais azotés (année de référence, 2000) % ↗	Quantité d'engrais demandée % ↘
2006-2000	+50	-40
2009-2000	+62,5	-60
	Pomme de terre	
2006-2000	+62,5	-30,7
2009-2000	+87,5	-36,25
	Poivron sous serre	
2006-2000	+41,65	-35,75
2009-2000	+70,82	(-) 38,25

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Par contre, on constate que l'augmentation du prix des engrais fait baisser la demande, mais cette baisse reste moins proportionnelle que l'augmentation des prix particulièrement pour la culture poivron sous serre.

Conclusion :

Dans notre zone étudiée, l'utilisation non raisonnée des engrais chimiques explique la teneur élevée en nitrate dans la nappe phréatique, ce qui représente une pression sur l'environnement. Pour remédier à cette dégradation, une rationalité dans l'utilisation des engrais est souhaitable, tout en prenant en considération les coûts engendrés et la diminution de la production.

Les engrais minéraux représentent une part importante des dépenses des agriculteurs algériens, elle varie entre 21% et 40% des charges totales respectivement pour 1 ha cultivé en

de pomme de terre et 1 ha d'agrumes. Ces taux montrent bien qu'une diminution des quantités d'engrais n'engendre pas forcément un décroissement des rendements. L'utilisation non raisonnée de quantités importantes d'engrais peut entraîner à la fois une perte économique, particulièrement pour les maraîchers et une atteinte à l'environnement par le lessivage des nitrates vers les eaux souterraines.

La demande en engrais est principalement dépendante du facteur financier. Cette demande présente une forte corrélation avec les prix des engrais et la solvabilité financière des agriculteurs.

Par ailleurs, ces cinq dernières années, la procédure d'approvisionnement des agriculteurs en engrais a été conditionnée par la justification de documents portant surface exacte et type de culture à pratiquer, à l'issue desquels une fiche signalétique est élaborée en conformité avec les normes des fiches techniques et permettant à l'agriculteur en plus d'un approvisionnement permanent, la circulation avec ces produits en toute légalité. Cette réglementation est appuyée par des contrôles interdisant le stockage et s'assurant de la véracité des déclarations. Les agriculteurs trouvent cette démarche pénalisante en matière de quantités et de délais d'approvisionnement.

Chapitre 3 : L'irrigation et le goutte à goutte : facteur de pollution de la nappe et système de préservation

Introduction

Dans ce chapitre, nous supposons que les agriculteurs ne détiennent aucune méthode, ni outil d'estimation des besoins en eau par culture. Il est par conséquent légitime de postuler que parmi ces agriculteurs, il y en ait qui irriguent de façon excessive. Cette sur-irrigation comporte un réel risque d'entraîner les nitrates par lessivage du sol vers la nappe. La pollution des eaux par les nitrates est favorisée par l'irrigation gravitaire. Ce système largement pratiqué par les agriculteurs algériens, fournit des doses d'eaux excessives qui entraînent inévitablement le lessivage des nitrates. Ceux-ci finiront à la longue par s'accumuler en quantité importante dans les nappes. Un système performant de drainage et un système d'irrigation économe en eau est à même de contribuer donc positivement à la préservation de la nappe.

Notre analyse des besoins en eau d'irrigation a été réalisée sur la base des références bibliographiques et des résultats des enquêtes menées auprès des agriculteurs et de l'office national des irrigations et du drainage (ONID). Ainsi, il a été procédé dans cette recherche, à l'analyse du comportement des agriculteurs par rapport à la gestion rationnelle de l'eau dans la région de Ahmer el Ain.

3.1. Effets des pratiques d'irrigation sur la pollution de la nappe

Comme de nombreuses études l'ont déjà vérifié, la maîtrise du risque de fuites de nitrate sous la zone racinaire des plantes est conditionnée par une gestion efficace de l'irrigation (Diez et *al.*, 1997). Cherkaoui et *al.* (2004) proposent de combiner une micro-irrigation avec une fertigation qui permet de minimiser au maximum le risque de lixiviation des flux de nitrates par la minimisation des apports en engrais et en eau (localisation des apports au niveau des racines). Dans le cas d'irrigation avec de l'eau présentant des fortes concentrations en nitrate, les quantités d'azote apportées doivent être prises en compte dans le bilan de la fertilisation azotée. La mauvaise pratique de l'irrigation est à l'origine de la pollution des eaux par les nitrates, phosphates, pesticides et autres éléments toxiques à travers plusieurs mécanismes qui sont :

- « Le ruissellement à la surface du sol dû à une irrigation excessive entraînant une saturation. Cette eau qui s'écoule à la surface et qui peut être entraînée en profondeur peut contenir des sels, des déchets organiques, des agents pathogènes ainsi que des pesticides et des engrais agricoles » (Keddal, 2008 p : 20).
- La percolation (drainage) est un processus de transfert des eaux en profondeur due à des apports en eau supérieurs à la capacité de stockage de la zone racinaire (Keddal, 2008).

Tableau n° 26. Répartition des superficies irriguées selon les techniques d'irrigation et les cultures pratiquées (en ha)

	Ahmer El Ain			Total
	Irrigation Localisée	Irrigation Par aspersion	Irrigation gravitaire	
Arboriculture	68,5	0	140	208,5
Vigne	0	0	0	0
Maraîchage	6	102	4	112
Céréales	0	0	0	0
Total cultures irriguées	74,5	102	144	320,5

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Dans notre zone d'étude, le gravitaire reste la technique la plus adoptée par les agriculteurs de la région. Selon l'ITCMI, l'irrigation par **segua** apporte des quantités excessives d'eau et arrive souvent jusqu'à la submersion totale des intégrants, provoquant par la suite une reprise des buttes, alors que l'irrigation ne devrait pas dépasser le 1/3 de la hauteur de la butte. Le système gravitaire est un modèle de gaspillage d'eau, pouvant atteindre des taux supérieurs à 30%. Cet excès porte préjudice à l'environnement en entraînant les nitrates de la couche superficielle vers la nappe.

Dans le périmètre de Ahmer el Ain, le réseau de drainage existe, mais 60 % des agriculteurs affirment qu'il est mal entretenu. L'opération d'entretien de ce réseau est indispensable pour garantir la récupération des eaux excédentaires et réduire ainsi l'infiltration des nitrates dans la nappe.



3.2 Analyse des besoins en eau des cultures.

Une irrigation non raisonnée et excessive lessive le sol et entraîne les engrais azotés en profondeur, ce qui provoque l'asphyxie des racines, tandis que les besoins en eau pour l'irrigation en théorie et en pratique s'accordent sur la prise en considération du degré de rétention du sol, du stade de développement de la plante, de l'évapotranspiration de la plante (ETP).



Il a été constaté dans notre étude, relative à 107 exploitations, que les agriculteurs disposent d'un calendrier d'arrosage par culture et par saison selon leur expérience et présentent une méconnaissance absolue des doses d'arrosage. Ces mêmes agriculteurs arrêtent les quantités d'eau d'arrosage en nombre d'heure pour les systèmes d'irrigation en goutte à goutte, ou à l'œil nu dans le cas du système gravitaire. Ces méthodes restent forfaitaires, ce qui est loin d'assurer un besoin réel en eau des plantes. Afin d'évaluer et d'analyser l'état de l'irrigation, sur-irrigation ou sous irrigation, dans notre zone d'étude, une enquête a été menée auprès des 107 exploitations où les sources d'irrigation, les systèmes d'irrigation et les quantités d'eau apportées par culture ont été inventoriés.

La première analyse porte sur les sources d'irrigation et montre clairement que l'eau puisée à la fois des forages collectifs et du barrage est dominante avec 26,4 % des irrigants, suivi de 20% des agriculteurs qui irriguent uniquement du barrage, pendant que 18.9 % des agriculteurs puisent leur eau des forages collectifs sans avoir recours à d'autres sources d'irrigation.

Tableau n°27: Nombre d'agriculteurs équipés en ouvrages hydrauliques.

	Nombre d'agriculteurs qui possèdent un équipement	%
Puits individuel	2	1,9
Puits collectif	3	2,8
Forages individuels	8	7,5
Forages collectifs	18	17,0
Périmètre	20	18,9
Forages collectif+périmètre	28	26,4
Forages individuels+ périmètre	8	7,5
Sous Total	87	83,0
Bassins individuels	8	7,5
Bassins collectifs	1	0,9
Sous Total	9	9,4

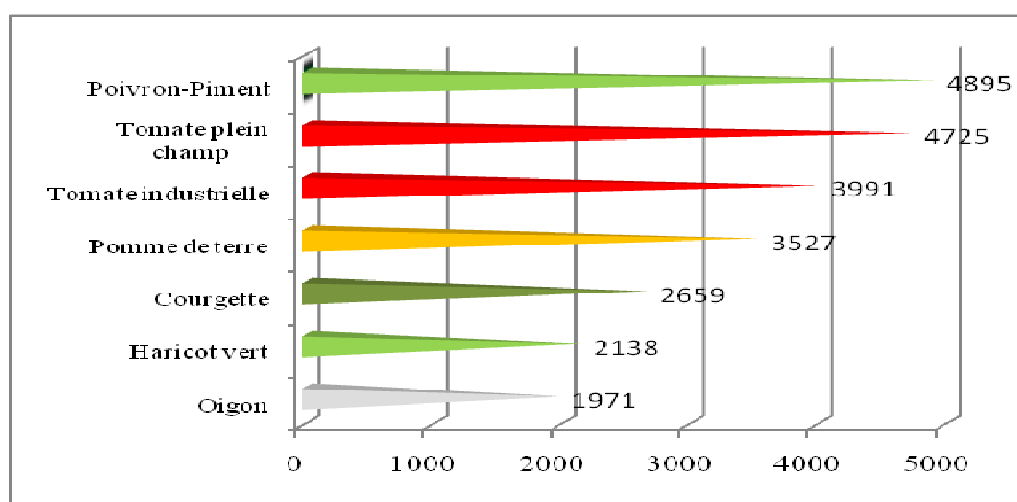
Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Durant toute notre recherche, il a été constaté que la pratique agricole était basée sur un échange d'expérience entre les agriculteurs sans aucune base scientifique ou technique. Il en est de même de l'irrigation qui se faisait de manière intuitive sans aucune possibilité d'évaluation des quantités d'eau consommées par culture et par hectare. Cette défaillance dans l'application des résultats de la recherche scientifique cause actuellement des dommages à l'environnement et à la durabilité de la ressource.

Pour analyser les besoins en eau des différentes cultures pratiquées, une étude typologique s'avère nécessaire. Il sera procédé ensuite à la comparaison entre les doses recommandées par les institutions techniques ou par l'ONID et les doses estimées à partir des observations de terrain et des données disponibles, tout en faisant parfois recours aux normes référentielles similaires à notre région d'étude.

3.2.1 Besoin en eau pour les cultures maraîchères

Graphe 35. Classement des besoins d'irrigation des cultures maraîchères dans la wilaya de Tipaza (Année normale, ITCMI, Boudjelal, 2004 (m³/ha)



Les besoins d'irrigation des principales cultures maraîchères pratiquées dans la wilaya de Tipaza correspondant aux dates de semis (ou de plantation) sont présentés dans la figure 35. Celle-ci permet de distinguer les niveaux d'exigence en eau des cultures maraîchères. On observe ainsi que le poivron est la culture qui consomme le plus d'eau (4895 m³/ha), suivi de la tomate fraîche et la tomate industrielle avec des niveaux de consommation respectifs de 4725 m³/ha et 3991 m³/ha et ensuite la pomme de terre (saison) avec un besoin d'irrigation de 3527 m³/ha.

3.2.2 Besoins en irrigation de la culture du poivron

Boudjelal, (2004) indique que les besoins en eau du poivron dans la wilaya de Tipaza est estimé à 5540 m³. Alors que la couverture par les pluies n'est que de 12% et donc l'écart estimé à 4080 m³ pour une année de pluviométrie normale, 4790 m³ pour année humide et qui peut aller jusqu'à 5000 m³ pour une année sèche doit être apporté par l'irrigation.

3.2.3 Besoin en irrigation pour la pomme de terre

Les besoins totaux en eau pour les trois cycles de production de la pomme de terre (saison, primeur et arrière-saison), d'après Boudjelal, 2004, varie généralement entre 5000 et 7000 m³. Dans la wilaya de Tipaza ces besoins en irrigation en année normale sont estimés comme suit :

- pomme de terre d'arrière-saison ~ 3460 m³,
- pomme de terre de saison ~ 5860 m³,
- pomme de terre de primeur ~ 160 m³.

Les besoins d'irrigation de la pomme de terre les plus élevés atteignent 5860 m³ pour une culture de saison.

(ITCMI, 2002)

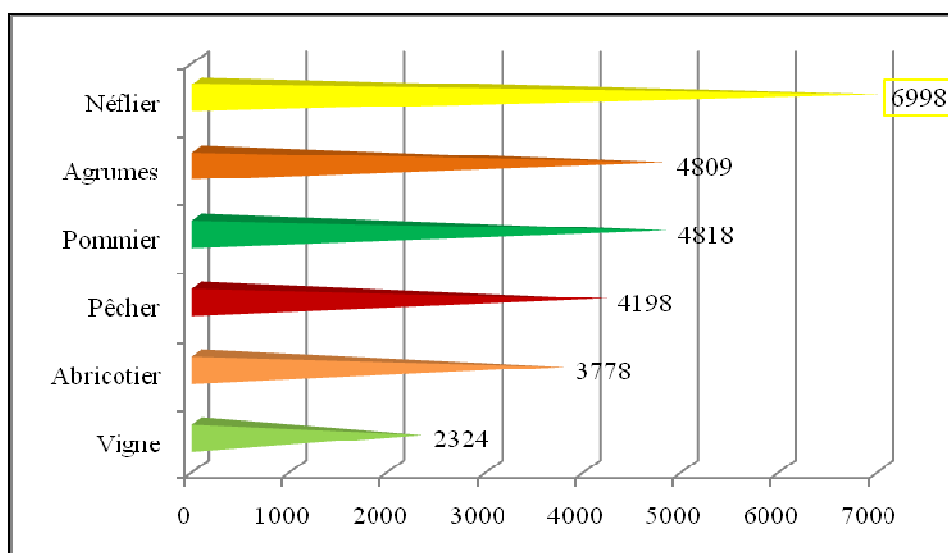
- pomme de terre d'arrière-saison ~ 4000 m³,
- pomme de terre de saison ~ 5000 m³,
- pomme de terre de primeur ~ 2500 m³.

Les besoins d'irrigation de la pomme de terre les plus élevés atteignent 5860 m³ pour la culture de pomme de terre de saison.

3.2.4 Besoins en irrigation pour les arbres fruitiers

Graph 36. Besoin d'irrigation des arbres fruitiers dans la wilaya de Tipaza (Année normale, Boudjelal, 2004)

Besoin en m³/ha



Les besoins en eau des arbres fruitiers sont variables selon la culture (saison, précoce ou tardive). Pour la même variété d'arbres fruitiers, ces besoins peuvent aussi être variables selon

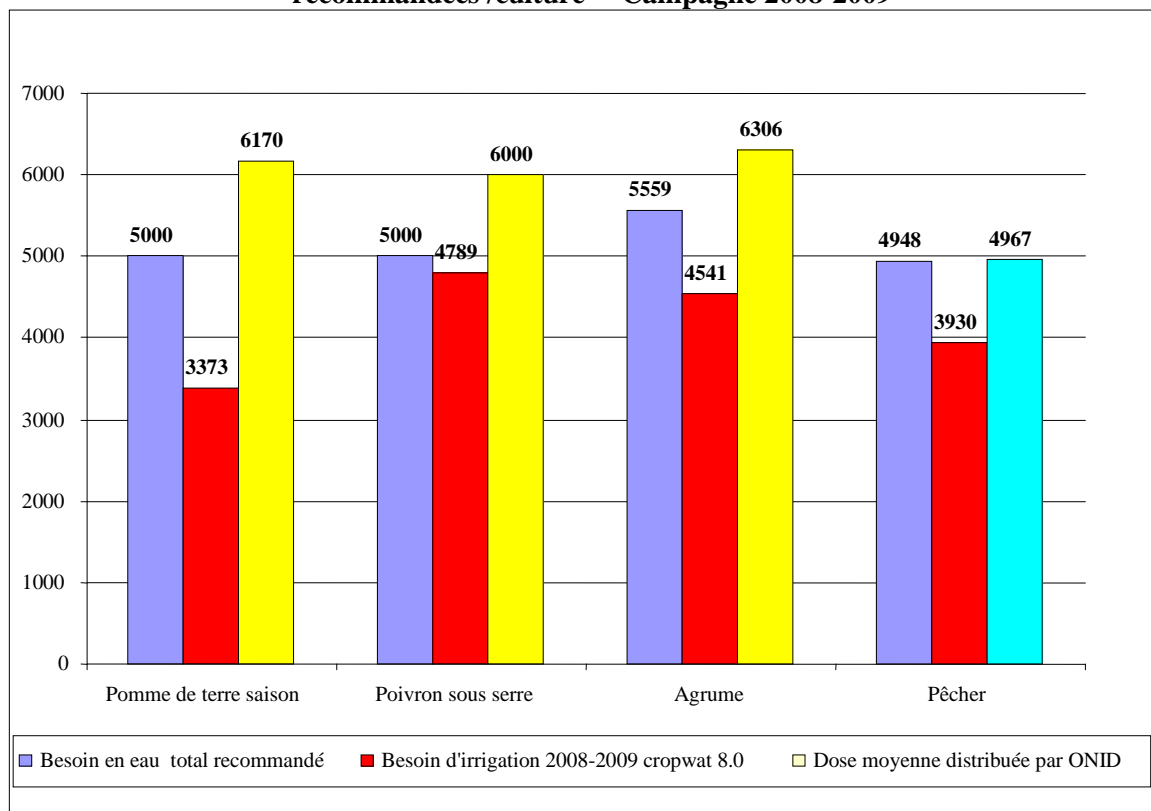
l'âge de l'arbre et sa bonne conduite (la taille...).Ce graphique présente les besoins d'irrigation moyens des arbres fruitiers existant dans la wilaya de Tipaza.

Le néflier présente le besoin d'irrigation le plus élevé estimé à 6980 m³/ha, suivi des espèces à pépins (pommier, poirier) avec une consommation moyenne de 4900 m³/ha, alors qu'un hectare d'agrume dans la wilaya de Tipaza consomme 4800 m³.

3.2.5 Besoin en irrigation pour les Agrumes

Dans la wilaya de Tipaza, les besoins totaux en eau sont estimés à 8330 m³, les pluies ne pouvant fournir que 42% de cette quantité, le reste sera assuré par l'irrigation, soit 4830 m³ pour une année normale, 4540 m³ pour une année humide, et atteint 5100 m³ durant une année sèche.

Graphe n° :37 : Comparaison des quantités d'eau consommées réellement et les doses recommandées /culture Campagne 2008-2009



Notre analyse montre que les besoins en eau estimés par l'ONID pour les différentes cultures sont nettement supérieurs à ceux estimés par les institutions techniques et ceux du modèle Cropwat 08 (résultats de l'ENSA.). Ce dernier prend en considération toutes les variables

déterminantes de ces besoins. Le besoin en eau pour la pomme de terre de saison est estimé à 3373m³/ha par le modèle Cropwat 8.0 et 5000 m³ selon les recommandations des institutions techniques, alors que l'ONID attribue 6170 m³ d'eau pour 1 ha cultivé, soit un écart de 2797 m³/ha par rapport au besoin estimé par les études menées par des chercheurs dans la zone d'étude. Cette situation nous amène à penser qu'il existe un problème d'estimation des besoins en eau pour les différentes plantes par l'ONID. Ceci pourrait s'expliquer par l'absence d'une recherche expérimentale fiable et d'une sous évaluation des effets de la sur-irrigation sur la durabilité de la ressource eau et sur le risque de la pollution de la nappe par les nitrates.

Le système « goutte à goutte » réduit, quant à lui, considérablement la sur-irrigation. Néanmoins, son adoption et plus particulièrement sa généralisation, aujourd'hui, par les agriculteurs, dans la zone d'étude, est pour le moins problématique. Il faudrait accélérer le processus d'adoption de ce système par les agriculteurs algériens, et soutenir sa généralisation. A cet effet, il est important d'analyser les facteurs explicatifs de l'adoption du système économe en eau, afin d'orienter la politique agricole.

3.3 Les facteurs déterminants l'adoption du goutte à goutte par les agriculteurs algériens

L'objet de cette section est d'analyser les attitudes et les comportements des agriculteurs en matière d'adoption de nouvelles techniques d'irrigation économe en eau et protectrice de l'environnement. L'intérêt de cette analyse est de déceler les facteurs explicatifs de l'adoption du goutte à goutte comme système de maîtrise des quantités d'eau d'arrosage et de même réduire le lessivage des nitrates vers la nappe.

Grâce à l'exploitation d'une base³ de données originale sur 107 agriculteurs algériens, nous identifions les déterminants de la décision d'adopter un système d'irrigation économe en eau. La probabilité d'adopter le goutte à goutte a été modélisée par l'élaboration d'un modèle Logit qui nous a permis de faire ressortir les variables influençant significativement le comportement des agriculteurs quant à la prise de décision d'adoption.

Durant la dernière décennie, l'Algérie a encouragé l'adoption de techniques d'irrigation plus économes en eau, comme l'irrigation localisée, en fournissant des subventions aux

³ La base de données sur les 107 agriculteurs du périmètre irriguée de la Mitidja est construite par nos enquêtes dans le cadre du projet CREAD.

agriculteurs à travers un plan national de développement agricole. Cette initiative n'a eu de succès qu'auprès d'un nombre restreint d'agriculteurs. Ce travail vise à analyser les déterminants qui influencent les agriculteurs algériens dans leur choix de reconversion au système d'irrigation en goutte-à-goutte.

3.4 Revue de la littérature et intérêt de la question

En Algérie, peu d'études ont été réalisées pour évaluer les comportements des agriculteurs quant à l'adoption de systèmes d'irrigation économe en eau et protecteur de l'environnement. Notre objectif ici est d'identifier les facteurs influençant l'adoption du goutte à goutte.

Nous avons voulu tester et vérifier de manière systématique la validité des explications liées aux agriculteurs (âge, niveau d'instruction) habituellement avancées dans la littérature (Adéoti et al. 2002, Nkamleu et al. 2000, D'Souza et al. 1993), pour expliquer l'adoption de l'innovation. Le travail traite les données d'une recherche de terrain menée dans deux périmètres agricoles situés dans la partie Est et Ouest de la plaine de la Mitidja, en l'occurrence les périmètres d'El-Hamiz et d'Ahmer-El-Ain. Il a donc pour objectif de répondre aux questions : quels sont les facteurs les plus significatifs influençant l'adoption du goutte à goutte par les agriculteurs algériens ? Les politiques publiques tiennent-elles compte de ces facteurs ? Comment expliquer le décalage entre les objectifs fixés par les pouvoirs publics et les aspirations- intérêts des agriculteurs ?

Dans un premier temps, nous procéderons à une revue de la littérature relative à l'adoption des innovations afin d'en extraire les hypothèses à vérifier à partir de nos données de terrain. Ces hypothèses ont été traduites en variables qui ont orienté la recherche d'information lors des enquêtes menées dans les deux zones d'étude. Nous testerons, dans un deuxième temps, ces variables explicatives, à travers une application du modèle logit sur les données du périmètre étudié. Enfin, nous discuterons les résultats afin d'en tirer des conclusions spécifiques pour le développement de systèmes économes en eau en Algérie.

3.5 Variables explicatives et hypothèses.

L'identification des variables explicatives de l'adoption des innovations dans les processus productifs est un domaine de controverse. Ainsi selon Adéoti et *al.* (2002), Nkamleu et *al.* (2000), D'Souza et *al.* (1993), deux indicateurs d'ordre humain « âge » et « niveau d'instruction » sont des variables significatives expliquant l'adoption d'une innovation. Ces auteurs affirment que plus les agriculteurs sont jeunes et disposent d'un niveau d'instruction élevé, plus il leur est facile d'assimiler et d'employer les nouvelles techniques dans leurs exploitations.

D'autres auteurs s'intéressent aux variables structurelles comme le « type de culture pratiquée » et la « taille de l'exploitation ». Les travaux de Caswell et *al.* (1985), Green et *al.* (1996) montrent que l'adoption de nouvelles technologies est dépendante du choix de la culture. D'autres travaux affirment que la taille de l'exploitation constitue un facteur déterminant de l'adoption d'une innovation (Diederer et *al.* (2003), Richefort (2009), Richard et *al.* (1983)). Les exploitations de grande taille peuvent bénéficier d'une économie d'échelle du fait de l'obtention de prix préférentiels pour les intrants (prix unitaire décroissant en fonction de la quantité) ou de diminution relative des charges (réduction des coûts de la main d'œuvre, et des coûts de l'eau en fonction d'une unité irriguée). Ben-Salem et *al.*, 2006 et Bekker et *al.* (2007), avancent l'hypothèse que la taille de l'exploitation influence la capacité à gérer et à répartir les risques. Les variables relatives aux ressources financières « coût de l'investissement » peuvent retarder l'adoption de nouvelles technologies (Koundouri et *al.* (2009), Richefort (2009)).

Les systèmes d'irrigation en goutte-à-goutte nécessitent des investissements importants. Le coût de l'investissement dans la tuyauterie est estimé à 160 000 DA pour 1 ha d'arboriculture fruitière et à 120 000 DA pour 1 ha de maraîchage. Des équipements hydrauliques spécifiques (bassin, station tête, pompe, réseau goutte à goutte) sont nécessaires. A cela s'ajoutent cinq cent mille DA (500 000 DA) au minimum pour la construction d'un bassin d'accumulation de 100 M3. Selon Benouniche et *al.* (2010) Imache et *al.* (2007) le goutte à goutte est souvent utilisé pour les cultures sous serre et l'arboriculture fruitière. La subvention accordée et les conditions d'accès à celle-ci modifient fortement le comportement des agriculteurs (Benouniche et *al.* (2011), Bekkar et *al.* (2007), et Salhi et *al.* (2007 et 2010). Mais son octroi est subordonné à l'autofinancement d'une partie du coût de l'investissement, ce qui peut constituer un obstacle ou un frein à l'adoption pour la tranche des plus jeunes exploitants, qui

ne disposent que rarement de garanties suffisantes pour obtenir du crédit. Enfin, la variable « vulgarisation » peut influencer négativement ou positivement la prise de décision du passage au goutte à goutte.

Les différentes études montrent que les situations sont complexes. Nous avons voulu vérifier les différentes hypothèses découlant de cette recherche bibliographique:

- Hypothèse 1 : *Plus les agriculteurs sont jeunes, plus ils adoptent le goutte à goutte.*
- Hypothèse 2 : *Plus leur niveau d'instruction est élevé, plus les agriculteurs pratiquent le goutte à goutte.*
- Hypothèse 3 : *Les exploitants possédant des exploitations de grande taille sont plus susceptibles d'adopter l'irrigation localisée.*
- Hypothèse 4 : *Les agriculteurs pratiquant l'arboriculture et le maraîchage sont souvent ceux qui adoptent le goutte à goutte (réduction des mauvaises herbes et de la main d'œuvre nécessaire)*
- Hypothèse 5 : *Plus le coût de l'investissement est élevé, moins les agriculteurs adoptent le système d'irrigation localisé.*
- Hypothèse 6 : *le soutien de l'Etat favorise significativement l'adoption du goutte à goutte mais pour des bénéficiaires parfois peu intéressés.*

3.6 Matériel et méthode

La Mitidja présente des caractéristiques agro-pédologiques et hydrologiques favorables à l'agriculture intensive. Elle s'étend sur une superficie de 150 000 ha. Le climat est méditerranéen avec une pluviométrie moyenne de 660 mm. L'agriculture pratiquée est essentiellement orientée vers l'arboriculture fruitière (agrumes) et le maraîchage (Hartani, 2004). Deux périmètres, situés à l'est et à l'ouest de la Mitidja, ont constitué nos terrains d'investigation.

L'enquête a été réalisée en 2008-2009, a concerné le périmètre d'Ahmer-El-Ain, à l'Ouest de la Mitidja, à environ 90 kilomètres au sud-ouest d'Alger, avec un échantillon de 107 exploitations. La collecte des données a été effectuée au moyen de questionnaires et d'entretiens individuels en face à face avec les chefs d'exploitation. Le taux de réponse aux questions est de 100%.

3.7 Caractéristiques des exploitations enquêtées

Sur les 107 agriculteurs enquêtés, seulement 19 exploitations sont équipées en goutte à goutte. La superficie équipée en goutte à goutte (*Tableau 4*) reste modeste 24 % de la surface irriguée de la zone de Ahmer-El-Ain.

3.8-Modèles logit utilisés

Dans cette recherche, la décision d'utilisation ou non de nouvelles techniques en matière d'irrigation par les agriculteurs algériens est modélisée par régression logistique. Etant donné le caractère qualitatif et dichotomique de la variable expliquée dans cette étude à savoir l'adoption ou non du goutte à goutte, le modèle linéaire n'est pas pertinent d'où le recours à un modèle de choix discret, en l'occurrence le modèle logit (Bekerson, 1951 et Mc fadden,1973). Pour ce modèle dichotomique, une analyse de régression logistique utilisant le maximum de vraisemblance, a été réalisé pour tester l'effet de plusieurs facteurs explicatifs sur la probabilité d'adoption du goutte à goutte par les agriculteurs algériens. Les données collectées sont analysées à l'aide du logiciel SPSS (13.0).

De manière mathématique, un modèle de régression logistique s'exprime comme suit :

Soit Y_i une variable binaire décrivant l'adoption ou la non adoption du goutte à goutte chez l'agriculteur i . On suppose que Y_i suit une loi de Bernouilli de probabilité P_i et que le $\text{logit}(P_i)$ (c'est à dire $\ln(P_i/(1-P_i))$) est relié linéairement aux k variables explicatives $X_{1i}, X_{2i}, \dots, X_{ki}$ caractérisant l'agriculteur i à l'aide de l'équation suivante : $\text{logit}(P_i)=B_0+B_1 X_1+\dots+B_k X_k$, où B_0, B_1, \dots, B_k sont des paramètres inconnus à estimer avec les données.

3.9 Présentation des résultats d'estimation par le modèle Logit.

Des modèles logistiques réunissant toutes les variables socioéconomiques et institutionnelles, susceptibles d'avoir une influence sur le comportement des exploitants agricoles, ont été établis pour notre région d'étude afin de vérifier les hypothèses émises dans notre recherche (*Tableaux 4, Annexe 2*).

Afin d'éviter les problèmes posés par d'éventuelles multicollinéarités entre certaines variables (coût de l'investissement et subvention), deux simulations ont été réalisées, la première avec le coût de l'investissement, la seconde avec la subvention et ses conditions d'accès. Le pourcentage de bonne prédiction des observations varie entre 77% et 87% selon les modèles

de régression réalisés sur les données du périmètre d'étude. Les coefficients des variables prises individuellement ne sont significatifs qu'au seuil (p-value) $<0,05$.

3.10 Discussion des résultats

Les résultats des deux régressions logistiques montrent que l'âge ne s'avère pas déterminant dans la prise de décision et ce, contrairement à ce qui est affirmé dans la littérature, où l'adoption d'une innovation est souvent présentée comme le fait des jeunes agriculteurs (Tokamani et al., 2008). Les agriculteurs sont confrontés principalement à une contrainte budgétaire qui freine la décision d'investissement en système d'irrigation économe en eau et ce quel que soit l'âge des agriculteurs.

Les résultats du modèle logistique appliqué aux deux périmètres d'études et le tableau de croisement des variables (*tableau 7, Annexe 2*), montrent que l'instruction élevée ne s'avère pas un facteur déterminant dans la prise de décision par les agriculteurs de la région d'Ahmer-El-Ain. Nous relevons que le taux d'adoption le plus élevé concerne les agriculteurs ayant un niveau d'instruction primaire ou collègue.

Pour la taille de l'exploitation, les régressions effectuées présentent des coefficients non significativement différents de zéro au seuil de 5%. Elle ne constitue donc pas un facteur significatif pour la prise de décision en matière d'adoption du goutte à goutte. Les agriculteurs ayant de grandes exploitations optent pour la céréaliculture en pluvial, pour parer au manque d'eau d'irrigation. Le goutte à goutte est souvent utilisé pour les cultures sous serre, installées sur des superficies qui ne dépassent pas 3 ha.

Pour la variable "cultures pratiquées", beaucoup d'agriculteurs affirment que le goutte à goutte ne convient pas aux vieilles plantations, car, selon eux, cette technique ne satisfait pas les besoins en eau des arbres qui ont déjà développé leur système racinaire profond. Par contre, les maraîchers sous serre sont souvent adeptes du goutte à goutte. Les maraîchers sous serre qui n'ont pas adopté le goutte à goutte sont le plus souvent des jeunes locataires n'ayant pas accès aux subventions, du fait de leur statut non officiel : la location des terres publiques est en effet interdite et la subvention agricole est uniquement attribuée aux propriétaires des terres et aux attributaires des exploitations agricoles collectives (EAC).

La possibilité qu'offre le goutte à goutte de réduire le temps de travail, de contrôler le développement des mauvaises herbes et de pratiquer la fertigation (fertilisation dans l'eau d'irrigation), influencent positivement son adoption. L'apport d'eau de manière continue et localisée, permet de réduire le développement des mauvaises herbes du fait de la localisation de l'irrigation au niveau du système racinaire et de l'absence d'arrosage entre les plantes. Cette répartition uniforme réduit la lixiviation des nitrates vers la nappe.

Pour les moyens financiers, les régressions logistiques montrent que le coût de l'investissement est négativement associé à l'adoption du goutte à goutte. L'effet de cette variable est statistiquement significatif pour la région d'étude. Plus les agriculteurs estiment élevé le coût de l'investissement, plus est faible la probabilité qu'ils adoptent la technique d'irrigation localisée. Dans le même ordre d'idée, la variable "montant de la subvention" est fortement corrélée au taux d'adoption, particulièrement ces 5 dernières années où le taux de la subvention est passé de 100 à 30% du coût de l'investissement : plus le montant de la subvention est élevé, plus la probabilité est grande que la technique soit adoptée par les agriculteurs. De manière logique, la variable "difficulté d'accès à la subvention" explique le taux relativement bas d'adoption. Plus les agriculteurs estiment difficile l'accès à la subvention, plus faible est la probabilité qu'ils adoptent le goutte à goutte. Par ailleurs, la majorité des agriculteurs de la région d'Ahmer-El-Ain déclarent ne pas avoir demandé de subvention, car les conditions administratives sont défavorables (bureaucratie, lenteur dans l'étude des dossiers et difficulté d'accès aux crédits...). De plus, les agriculteurs des deux régions d'études signalent que l'accès d'un membre de l'EAC à cette subvention est conditionné par l'accord de l'ensemble des autres membres, ce qui rend, de fait, difficile la demande, à cause des conflits chroniques qui existent au sein de ces EAC

Enfin, la majorité des agriculteurs déclarent connaître les nouvelles techniques d'irrigation ; leur adoption est empêchée par d'autres facteurs (coût élevé de l'investissement, accès difficile à la subvention, problème des E A C, type de culture...) et non par l'insuffisance de la vulgarisation.

Nos enquêtes nous ont permis de déceler d'autres facteurs susceptibles d'influencer positivement la prise de décision. Ces facteurs concernent d'abord la disponibilité en eau (couverture réelle du réseau d'irrigation dans le périmètre, existence d'infrastructures comme les forages et les bassins de stockage, indispensables pour l'installation du goutte à

goutte). Les problèmes de distribution d'eau dans les réseaux collectifs de surface durant la période sèche sont aussi une contrainte car ils augmentent l'incertitude des agriculteurs quant à la rentabilité de l'investissement dans le goutte à goutte.

Conclusion du chapitre 3.

Il est à noter que la majorité des agriculteurs de la région d'étude n'ont aucune base d'estimation des doses d'irrigation à apporter aux différentes plantes. Cette défaillance peut induire une sur-irrigation entraînant les nitrates vers la nappe par percolation. La maîtrise de la pollution de la nappe par les nitrates est conditionnée par une meilleure gestion de l'irrigation sur parcelle. Un excès et une répartition hétérogène des eaux d'arrosage accentuent le lessivage des résidus de nitrates vers la nappe. Il est recommandé de développer et de généraliser le système d'irrigation localisé pour pallier le manque d'eau et préserver la nappe contre la pollution nitrique. Notre recherche sur le terrain, et selon les déclarations des agriculteurs, a montré que plusieurs facteurs socio économiques et réglementaires sont susceptibles d'expliquer l'adoption ou non du goutte à goutte par les agriculteurs.

Au delà des variables habituellement avancées (âge, formation, vulgarisation...), notre travail nous a permis d'identifier les principaux facteurs déterminants pour l'adoption du goutte à goutte. Ils sont ici d'ordre structurel : accès à la terre, à l'eau et au capital. A cela, s'ajoutent des facteurs conjoncturels spécifiques : types de cultures pratiquées, coût élevé de l'investissement, disponibilité et accès aux subventions. Les subventions ne sont pas accessibles à tous les exploitants (jeunes locataires, attributaires en conflits dans les EAC...). Par ailleurs, contrairement au système d'irrigation gravitaire, qui ne nécessite qu'un forage et de la main d'œuvre, le goutte-à-goutte demande plus d'équipement et de maîtrise technique, notamment la construction de bassin d'accumulation, une station de tête avec filtres et manomètres, étude de dimensionnement,...autant d'éléments qui rendent l'adoption du goutte-à-goutte plus complexe.

Pour développer l'adoption de nouvelles techniques d'irrigation plus économes en eau, comme le goutte à goutte, quatre orientations pourraient être proposées pour les politiques publiques : l'augmentation du taux de la subvention (après la baisse des dernières années), l'amélioration des conditions d'accès à cette subvention (et aux crédits d'une manière plus

générale), l'extension du réseau hydraulique de surface à tout le périmètre et l'amélioration de la gestion des réseaux de surface pour garantir l'accès à l'eau en saison sèche.

Par ailleurs, cette recherche comporte certaines limites qui offrent de nombreuses perspectives de recherche. Outre l'influence de certains facteurs socio-économiques et financiers, d'autres déterminants liés à la rentabilité de l'investissement et à la perception du risque peuvent influencer les agriculteurs à innover ou non dans les systèmes d'irrigation. Pour cela, d'autres études approfondies prenant en charge ces aspects non étudiés sont souhaitables, afin de mieux orienter les politiques de développement de l'agriculture.

Chapitre 4. Recommandation de la théorie de l'externalité face aux choix des instruments de préservation.

Introduction

La problématique de la pollution des eaux par la lixiviation des nitrates est considérée comme une externalité négative. L'analyse économique des problèmes d'environnement s'est essentiellement appuyée sur la théorie des externalités, dont Pigou (1920) constitue le père fondateur. Du fait de la non prise en compte par les agents des coûts imposés à la société, les pollueurs seraient amenés à surproduire des externalités négatives (pollution). Les travaux de Pigou ont souvent servi de base pour légitimer l'intervention de la « main visible » des autorités publiques afin de corriger les défaillances du marché (Cropper et Oates, 1992).

Cette intervention de l'Etat s'est d'abord traduite sur le terrain par l'utilisation de mesures contraignantes dites « command and control » dont l'inefficacité dénoncée par les économistes a servi de tremplin à la mise en place d'instruments économiques d'inspiration pigouienne, comme les taxes, subventions et redevances. Sous des conditions très restrictives, ces instruments économiques possèdent la propension d'obtenir tout gain en termes de qualité environnementale au coût le plus faible (Hahn 1989). Les suggestions de l'approche pigouienne ont été fortement contestées par Coase 1960 du fait de la non reconnaissance du caractère réciproque de l'externalité, d'un point de vue a priori moral et de la non prise en compte des coûts de transaction associés aux solutions proposées.

En effet, les préconisations économiques relatives au choix de l'instrument de politique environnementale sont souvent basées sur la minimisation des coûts de dépollution obtenue grâce à l'égalisation des coûts marginaux de dépollution des pollueurs (Bureau, 2005). La prise en compte simultanée des coûts de dépollution et des coûts de transaction peut néanmoins remettre en question les préconisations traditionnelles des économistes en faveur des instruments économiques. Cette première étape pourrait contribuer à un renouvellement de l'analyse économique du choix efficient de l'instrument de politique environnementale (McCann et al., 2005).

Ces éléments de caractérisation des problèmes d'environnement étant posés, il est possible d'envisager leur résolution par le recours à un système de droits de propriété performants,

c'est à dire, bien définis, exécutoires et transférables (Yandle, 1999). Un tel système de droits de propriété est également nécessaire pour que le mécanisme des prix joue son rôle en allouant la ressource à celui qui la valorise le mieux (O'Driscoll et Hoskins, 2003). Cette caractérisation, dépasse le seul concept d'externalités et s'avère tout à fait compatible avec l'analyse fondatrice de Coase (1960) abordée dans la section suivante. De plus, elle transforme l'angle d'analyse, car elle ne se contente pas de reconnaître une défaillance de marché, en l'occurrence une externalité, mais permet de s'interroger sur les raisons de l'incapacité à établir des marchés sur les ressources considérées. En effet, l'apport des économistes dans la lignée de Coase (1960) a été d'attirer l'attention sur la capacité potentielle des transactions volontaires à résoudre ces conflits d'usage. Cette capacité des transactions volontaires est directement fonction du régime des droits de propriété⁴ et du niveau des coûts de transaction (Dahlman, 1979).

4.1 Les solutions proposées par Coase

Dans sa contribution de 1960, Coase met l'accent sur différents réarrangements des droits de propriété susceptibles de permettre une régulation des conflits. Deux facteurs en interaction sont au centre du raisonnement : les droits de propriété et les coûts de transaction. Pour Coase (1960), la résolution des conflits réside dans la définition des droits de propriété sur l'usage d'un actif environnemental. En effet, si le système de droits de propriété est performant et les coûts de transaction faibles, le processus marchand permettra à l'actif environnemental (ou à un sous ensemble de ce dernier) d'être détenu et utilisé par le groupe qui en retire la valeur nette la plus élevée.

Remettant en cause l'automaticité de l'intervention gouvernementale en cas de situation assimilée à une externalité, Coase (1960) propose explicitement au moins trois types d'arrangements: le recours à des transactions volontaires par le processus marchand ou la négociation, l'intervention étatique et le laissez faire. Ainsi, l'un des principaux apports de Coase (1960) est d'attirer l'attention sur les potentialités des arrangements privés, ne nécessitant pas l'intervention d'une autorité gouvernementale. Pour Barnett et Yandle (2005) deux choses peuvent empêcher la négociation et conduire à des externalités persistantes (1) des contraintes gouvernementales empêchant la marchandisation des droits ou l'échange de

⁴ De façon implicite, l'analyse traditionnelle en termes d'externalités suppose une certaine attribution des droits de propriété, pour notamment identifier qui impose un coût à qui.

droits déjà existants (2), des coûts de transaction trop élevés qui excèdent les gains espérés de l'échange (voir également Grolleau et Salhi, 2006).

Lorsque les pollueurs et les pollués sont peu nombreux et bien identifiés, détenteurs de droits de propriété bien définis, transférables et exécutoires, le phénomène clairement délimité, les conditions semblent *a priori* réunies pour qu'une solution privée émerge. Néanmoins, lorsqu'un grand nombre d'individus est affecté ou que le lien de causalité est mal établi ou que les droits de propriété sont mal définis (*e.g.*, pollution atmosphérique, pollution des eaux), les coûts de mise en œuvre d'un processus de négociation peuvent être trop élevés et rendre la négociation inutile. Un exemple instructif d'arrangement privé réussi dans une situation complexe (pollution diffuse, nombre relativement élevé de pollueurs, délimitation imprécise des droits de propriété, ...) est développé dans Déprés et al., (2007). Dans certains cas, bien que l'arrangement soit avantageux pour toutes les parties en présence, il peut très bien ne pas se concrétiser du fait de controverses sur les modalités de « partage du gâteau ». Ainsi dans certains cas, la négociation entre pollueur(s) et pollué(s) peut être une solution permettant de minimiser des coûts totaux de dépollution et de transaction et de même, minimiser le mal être global.

4.2 L'intervention d'une autorité supérieure

Contrairement à ce qui est parfois affirmé, Coase ne rejette pas toute forme d'intervention étatique, notamment préconisée par Pigou. Coase mentionne explicitement l'intervention étatique comme l'une des alternatives envisageables pour résoudre certains conflits d'usage, sous réserve que certaines conditions soient satisfaites.

«In the standard case of a smoke nuisance, which may affect a vast number of people engaged in a wide variety of activities, the administrative costs might well be so high as to make any attempt to deal with the problem within the confines of a single firm impossible. An alternative solution is direct government regulation. Instead of instituting a legal system of rights which can be modified by transactions on the market, the government may impose regulations which state what people must or must not do card which have to be obeyed. Thus, the government (by statute or perhaps more likely through an administrative agency) may, to deal with the problem of smoke nuisance, decree that certain methods of production should or should not be used (e.g., that smoke preventing devices should be installed or that coal or oil

should not be burned) or may confine certain types of business to certain districts (zoning regulations) (Coase, 1960, p 9).

En réalité, tout en reconnaissant des avantages indéniables au gouvernement, c'est l'automatisme dans la tradition pigouvienne du recours à l'intervention gouvernementale en cas d'externalité qui est fortement critiquée par Coase (1960) :

“It is clear that the government has powers which might enable it to get some things done at a lower cost than could a private organization (or at any rate one without special governmental powers). But the governmental administrative machine is not itself costless. It can, in fact, on occasion be extremely costly. Furthermore, there is no reason to suppose that the restrictive and zoning regulations, made by a fallible administration subject to political pressures and operating without any competitive check, will necessarily always be those which increase the efficiency with which the economic system operates. Furthermore, such general regulations which must apply to a wide variety of cases will be enforced in some cases in which they are clearly inappropriate. From these considerations it follows that direct governmental regulation will not necessarily give better results than leaving the problem to be solved by the market or the firm. But equally there is no reason why, on occasion, such governmental administrative regulation should not lead to an improvement in economic efficiency. This would seem particularly likely when, as is normally the case with the smoke nuisance, a large number of people are involved and in which therefore the costs of handling the problem through the market or the firm may be high“ (Coase, 1960, p : 9)

Ainsi, l'intervention étatique sous ses diverses formes (*command and control*, instruments basés sur le marché, approches volontaires) avant d'être recommandée se doit de faire la preuve de son efficacité, en comparaison avec les autres alternatives.

4.3 Ne rien faire ou le laisser faire

L'une des vertus de la contribution de Coase (1960) est de légitimer dans certains cas, en dépit de l'existence d'une nuisance ou d'un conflit d'usage, l'absence de tout réarrangement. En effet, lorsque les coûts de transaction sont trop élevés et qu'aucune intervention d'origine privée ou gouvernementale ne peut faire la preuve de son efficacité (les bénéfices attendus

sont inférieurs aux coûts à engager), alors, il est légitime du point de vue de l'efficacité de ne rien faire.

« There is, of course, a further alternative, which is to do nothing about the problem at all. And given that the costs involved in solving the problem by regulations issued by the governmental administrative machine will often be heavy (particularly if the costs are interpreted to include all the consequences which follow from the government engaging in this kind of activity), it will no doubt be commonly the case that the gain which would come from regulating the actions which give rise to the harmful effects will be less than the costs involved in government regulation » (Coase, 1960 p: 10).

Il convient néanmoins de mentionner que la conclusion de Coase (1960) repose sur les seules considérations d'efficacité économique et qu'au regard d'autres critères (e.g., valeurs morales, religieuses), l'intervention pourrait être justifiée. Ainsi, la subsistance de certains conflits d'usage est simplement le symptôme de coûts de transaction trop élevés (Grolleau et Salhi, 2006).

4.4 Choix de l'instrument de politique

Loin de recommander une solution unique, Coase suggère de se livrer à une analyse comparative détaillée et réaliste :

« But in choosing between social arrangements within the context of which individual decisions are made, we have to bear in mind that a change in the existing system which will lead to an improvement in some decisions may well lead to a worsening of others. Furthermore we have to take into account the costs involved in operating the various social arrangements (whether it be the working of a market or of a government department), as well as the costs involved in moving to a new system. In devising and choosing between social arrangements we should have regard for the total effect. This, above all, is the change in approach which I, am advocating » (Coase, 1960, p 23).

Le critère de choix retenu est très clairement celui de l'efficacité économique, en dehors des considérations morales. Il s'agit de sélectionner l'instrument (marché, réglementation, économique et laissez faire), qui pour un bénéfice donné, suppose un coût de mise en œuvre plus faible que ceux des autres alternatives et pour un bénéfice supérieur au coût supporté. En termes analytiques, il s'agit de minimiser la fonction de coût total dont les arguments sont les

coûts de transaction (T) et les coûts de dépollution (D) sous la contrainte que le bénéfice généré (B) soit supérieur au coût total supporté:

$$\text{Min } C(T, D)$$

sous la condition que $C < B$

Néanmoins cette comparaison *a priori* simple n'est pas toujours aisée, du fait des asymétries d'information et des risques d'opportunisme des différentes parties en présence, aussi bien dans l'évaluation des différents coûts que dans celui des bénéfices. Même l'autorité gouvernementale, *a priori* à la recherche de l'efficacité globale peut être tentée de favoriser un choix qui, à défaut d'être le plus efficace, ferait supporter une partie importante des coûts de transaction par les autres parties en présence. En effet, le régulateur est souvent soumis à des contraintes fortes sur l'utilisation de son budget et pourrait préférer une alternative aux coûts de transaction (et/ou de dépollution⁵) plus élevés, mais avec le bénéfice que ces derniers seront supportés par d'autres agents que lui.

La prise en compte explicite des coûts de transaction permet de relativiser la préconisation habituelle des économistes en faveur des instruments de marché, du fait que ces derniers permettent une égalisation des coûts marginaux de dépollution. En effet, une telle conclusion ne tient pas forcément lorsque les coûts de transaction sont positifs et explicitement intégrés au calcul. Ces derniers en effet peuvent annuler le gain lié à l'égalisation des coûts marginaux de dépollution et sous certaines conditions, amener le régulateur à préférer des instruments coercitifs de type *command and control*.

Coase (1960) lui-même reconnaît que seule une analyse détaillée permet d'aboutir à des recommandations pertinentes.

4.5 Présentation théorique des différents instruments politiques de lutte contre les pollutions

En théorie, trois générations d'instruments de politiques d'internalisation des effets externes sont recensés et qui s'appuient sur trois principes que sont la coercition, l'incitation économique, l'engagement volontaire et l'information sont développés dans l'objectif d'atteindre l'optimum de pollution.

⁵ Bien que ce point soit au delà de cette contribution, il est intuitivement évident que coûts de transaction et coûts de dépollution sont interdépendants. Par exemple, le choix d'une norme réglementaire adaptée à chaque entité permet d'égaliser les coûts marginaux de dépollution, mais correspond vraisemblablement à des coûts de transaction relativement élevés pour le calcul et l'*enforcement* de la dite norme.

La première génération, assise sur la réglementation directe ou « command and contrôle », s'appuie sur le contrôle direct du régulateur et soutient que les politiques de l'environnement doivent reposer sur les réglementations d'interdiction, de surveillance avec sanction au cas de non respect des règles émises par le législateur (De Beir et al, 2003, Vallée, 2002). Galchant (2004, p.5) propose la définition de la réglementation directe comme des « *mesures institutionnelles visant à contraindre le comportement des pollueurs sous peine de sanctions administratives ou judiciaires* ». Cette approche de politique consiste à limiter quantitativement l'activité par imposition aux pollueurs des normes (optimum de pollution). Dans la littérature, il existe trois principaux types de normes à savoir : i) norme d'émission, ii) normes de procédés et ii) normes sur les intrants. Cet instrument offre peu de flexibilité aux pollueurs quant aux choix des quantités et de la technologie à adopter.

La deuxième génération s'appuie sur l'utilisation des instruments économiques qui peuvent prendre plusieurs formes : taxes incitatives, redevances, permis négociables et subventions. On entend par instrument économique « *tous les moyens d'action agissant par le biais des prix et ou de l'organisation des activités économiques* ». Glachant (2004, p. 6) définit les instruments économiques comme « *un ensemble de mesures institutionnelles visant à modifier l'environnement économique du pollueur (i.e. les bénéfices et les coûts) via des signaux « prix » pour inciter à l'adoption volontaire de comportement moins polluant.* ». Dans la littérature concernant les instruments économiques, on retient deux caractéristiques majeures : i) les instruments économiques fonctionnent par le biais des prix ; ii) les instruments économiques confèrent aux pollueur la possibilité de choisir leur moyens d'action. Dans l'ensemble, les instruments économiques ont pour caractéristique commune de viser par le biais d'incitations économiques, à stimuler les pollueurs à adopter des mesures efficaces de prévention de la pollution.

Le fondement théorique des instruments économiques ne date pas d'hier, il remonte à 1920 ou l'économiste britannique Arthur Pigou proposait de faire payer une taxe aux pollueurs et préconisait que le prix des biens et services soit égal aux coûts de production augmenté des coûts sociaux, y compris les coûts de la dégradation de l'environnement liés à la pollution, à l'exploitation des ressources. La taxe « pigouvienne » correspond en fait au principe pollueur-payeur énoncé par l'OCDE en 1972. Nous faisons référence à la déclaration de Rio : le principe de la déclaration de Rio sur l'environnement et le développement indique que : « *les*

autorités nationales devraient s'efforcer à l'internalisation des coûts de protection de l'environnement et l'utilisation d'instruments économiques en vertu du principe selon lequel c'est le pollueur qui doit, en principe, assurer le coût de la pollution » (OCDE, 1975). En pratique, les instruments économiques ont pour objectif de rendre coûteuse la pollution pour le pollueur afin de l'inciter à réduire ses émissions (Lambelet, 2003).

Les principaux instruments économiques identifiés sont les suivants :

- Taxes et redevances sur les émissions et sur les produits qui ont un effet incitatif et générateur de recette.
- Subventions : mesure incitant les pollueurs à modifier leur comportement ou à respecter la législation. L'incitation à l'innovation constitue un critère fondamental de distinction entre les différents instruments de lutte contre toute nuisance. Il apparaît en effet préférable de choisir un instrument plus flexible qui permet aux acteurs de prendre des décisions au-delà de ce qui leur est demandé, mais aussi de favoriser ce comportement qui va se traduire par une baisse des coûts totaux d'atteinte d'un objectif environnemental donné.

Les instruments dits de 3^{ème} génération *« forment une catégorie basée sur les actions d'information, de persuasion, de concertation débouchant par ex : sur des accords ou engagements volontaires »* (Godard, 1998). David, (2004) propose une définition des approches volontaires comme étant un *« dispositif en vertu desquels les entreprises, ou exploitants s'engagent volontairement à améliorer leurs performances environnementales »*. Grolleau et al, (2004) soulève la difficulté de proposer une définition universelle des approches volontaires. Néanmoins, ils proposent des critères spécifiques à cette approche et qui sont :

1/ *« Engagement volontaire des entités régulées »*

2/ *« La définition objectifs en rapports avec l'environnement allant au-delà de la simple conformité réglementaire »*.

Suite à ces critères, les auteurs proposent la définition suivante : *« l'approche volontaire est définie comme des engagements volontaires d'entités régulées à réaliser les objectifs en rapport avec l'environnement allant au-delà de la simple conformité réglementaire »*.

Pour cette troisième génération, trois types d'approches sont recensés dans la littérature en fonction du degré d'intervention des différents acteurs économiques à savoir : i) Les

programmes publics volontaires cité par (Mankiw, 1998, David 2004, Boughrara, 2003, OCDE, 2001). Dans cette forme d'approche volontaire, les pouvoirs publics gardent un rôle important puisque c'est eux qui déterminent les mesures de protection de l'environnement. ii) Les accords négociés volontaires consistent en l'élaboration des accords d'engagement négociés entre l'institution chargée de l'application de la politique environnementale et les producteurs. Enfin, iii) des accords privés basés sur des négociations entre pollueur et pollué. La faisabilité de cette dernière dépend du nombre de pollueurs et des coûts de transaction engendrés.

4.7 Liens avec les principes.

Tous ces instruments s'inspirent de principes fondamentaux : pollueur- payeur, prévention, précaution, responsabilité, intégration et équité. En outre, les instruments des politiques de l'environnement doivent être appréciés et évalués en fonction de leur efficacité par rapport à leur coût, de l'équilibre avantages et inconvénients, de la maniabilité administrative, de leur acceptabilité sociale, de leur efficacité économique et enfin, d'applicabilité sur terrain.

4.8 Avantage et limite des instruments politiques.

Généralement, la régulation des problèmes de pollution diffuse d'origine agricole se confronte à des difficultés d'ordre techniques et scientifiques dues à la complexité du phénomène. Ces difficultés font référence à la nature et la diversité des pratiques agricoles et des émissions polluantes (produits phytosanitaires, engrais chimiques ou organiques), par la difficulté d'estimation de l'optimum économique dans une situation de pollution optimale, par l'asymétrie d'information existant entre le législateur et l'agriculteur concernant les pratiques agricoles, et par l'existence de délais de transfert parfois importants entre l'émission polluante et la pollution (Bel Lacroix, 2005). Pour le régulateur, ces caractéristiques constituent des contraintes pour l'internalisation des coûts causés aux différents acteurs par la pollution agricole. Aussi, l'estimation du coût social des pollutions émises par le secteur agricole n'est pas facilement calculable.

4.9 Quelques expériences de l'adoption des différents instruments

En 2006, l'OCDE met en exergue les limites de certains instruments de préservation de l'environnement. Les résultats des expériences des pays de l'OCDE en matière de préservation de l'environnement, nous amènent à tirer les enseignements suivants :

- L'adoption de la taxe comme outil incitatif aux changements de comportement plus protecteur de l'environnement n'est efficace que si une « élasticité - prix » est significative.
- Il est à noter que l'adoption de la taxe comme instrument incitatif aux changements de comportement ne se fait pas de manière isolée. Généralement, un couplage entre un dispositif de taxation et celui de la réglementation directe est plus que nécessaire. La combinaison de plusieurs instruments institutionnels de préservation trouve sa justification dans le fait que les problèmes environnementaux sont « pluridimensionnel » et dû à la défaillance du marché .
- L'efficacité de l'instrument sur le plan économique et social dépend essentiellement d'une bonne connaissance du problème de l'environnement à résoudre.
- L'efficacité et l'efficacités dépendent aussi d'une bonne connaissance de l'interaction entre les différents instruments concomitants (taxe, subvention, étiquetage)
- Les instruments économiques assurent une double efficacité (statique et dynamique, et une forte flexibilité pour les pollueurs (OCDE, 2001).
- La réglementation directe est souvent considérée comme instrument difficile et coûteux à mettre en œuvre sans pour autant produire des résultats satisfaisants (OCDE, 2001).

Les problèmes posés par l'application des approches « command and contrôle » résident dans les coûts élevés occasionnés par la politique de dépollution. Parmi les facteurs qui apparemment jouent un rôle déterminant, il y a lieu de citer le travail de surveillance et de contrôle considérable qui sont difficilement maîtrisables sur le terrain.

Les principales caractéristiques de l'approche réglementaire sont l'uniformité et le manque de flexibilité. Or, l'uniformité ne garantit pas l'efficacité économique. En raison de sa grande rigidité, la stratégie « *command and contrôle* » ne permet pas d'atteindre les objectifs écologiques au moindre coût (Jeanreud, 1999). David (2004 p. 228) conclut que, les instruments réglementaires, « *s'ils restent indispensables pour contrôler certaines formes de pollution, sont souvent coûteux et inefficaces économiquement* ». Contrairement aux instruments réglementaires, les instruments économiques, s'ils permettent théoriquement d'atteindre l'efficacité économique avec peu d'information, rencontrent des problèmes d'application.

David, (2004) mentionne que les instruments économiques présentent l'avantage par rapport aux instruments réglementaires, de ne pas nécessiter l'information sur la fonction des coûts individuels. Les instruments économiques exigent des efforts et des moyens considérables au niveau de l'administration et des institutions du suivi. Par rapport à une approche de type "*command and control*", l'intérêt de cette solution est de minimiser les coûts d'information et de contrôle sur la réduction des pollutions.

4.10 Comparaison des instruments sur terrain

Dans cette section, nous tentons de présenter certains éléments d'appréciation des instruments.

Le revenu agricole est calculé généralement sur la base de la formule suivante :

$$RA = CA - CI + \text{Sub} \dots \dots \dots (1)$$

$$RA = CA - CI + \text{Sub} - \text{Taxe} - \text{Cdép} \dots (2)$$

Sachant que le Chiffre d'affaires, la consommation intermédiaire et la subvention sont des variables connues. Par contre la taxe et le coût de dépollution restent deux indicateurs non connus. A cet effet, nous allons à travers notre démonstration proposer des scénarios de préservation en se basant sur la théorie environnementale.

Scénario 1 : Coût de dépollution total = la somme des coûts de dépollution individuel

$$CDT = \sum (CDI) \dots \dots \dots (1) \text{ CDT: Coût de dépollution total}$$

$$CDI = CI_{\text{innovation}} \dots \dots \dots (2) \text{ CDI: Coût de dépollution individuel, } CI : \text{coût investissement}$$

$$CI_i = CBPA + CI_{\text{irrigation}} \dots \dots (3) \text{ CBPA : Coûts de l'adoption des bonnes pratiques agricoles.}$$

$$CDT = \sum (CI_i) \dots \dots \dots (4)$$

$$CBPA = \sum (\text{Coût de la l'analyse du sol} + \text{coût de la plantation des cultures intermédiaires (CI)} + \text{coût du système Irri}) = \text{durabilité économique et environnementale.}$$

Pour réaliser l'objectif économique et environnemental donné il faut : i) décider sur l'optimum de pollution total à atteindre dans un espace donné, ii) estimer le dommage marginal, iii) estimer le coût de dépollution et enfin iii) estimer le coût économique dans la situation optimale. Dans une situation d'asymétrie de l'information où le régulateur est confronté à plusieurs objectifs socio-économiques et environnementaux, le choix de l'instrument le plus efficace ne se réalise pas à moindre coût.

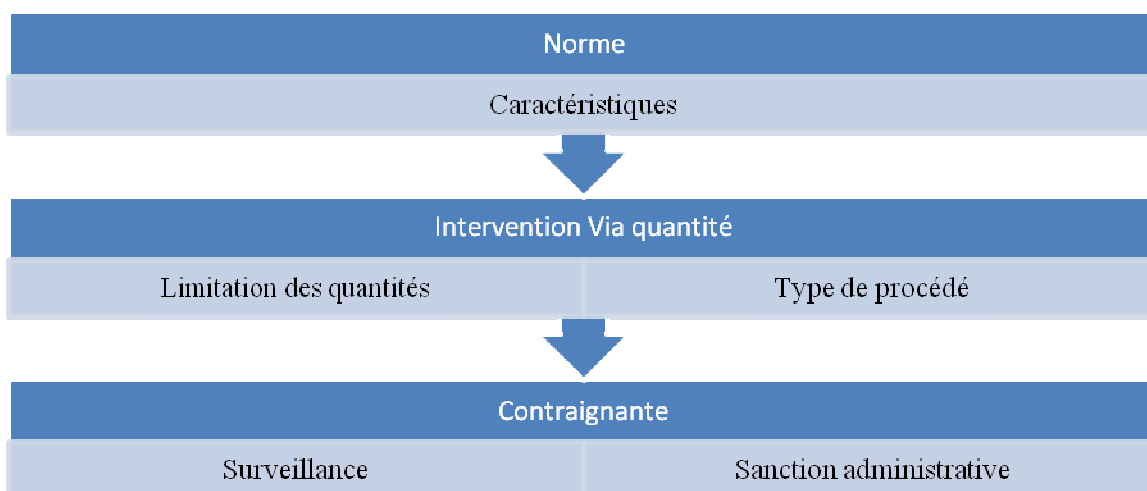
Dans la théorie, l'analyste est guidé par 3 principaux instruments basés sur 3 principes fondamentaux (prévention, précaution et équité). Il est aussi important de savoir que le régulateur choisit l'instrument le plus efficace économiquement et le plus flexible.

Dans le cas de la pollution diffuse d'origine agricole, le choix de l'instrument est plus complexe qu'une pollution ponctuelle.

Scénario 2/ : Régulateur versus pollueur

Dans la section suivante, nous allons à travers une analyse comparative des 3 générations de préservation, identifier les limites de chaque instrument.

Normes :



Parmi les principales limites de l'adoption d'une norme dans le cas d'une pollution agricole diffuse nous citons : i) faible flexibilité dans le choix de technologie à adopter par les pollueurs et ii/dans la mise des systèmes d'information et de contrôle adéquates pour l'administration. La norme édictée par le régulateur n'est efficace que si les pollueurs sont volontaires pour respecter le plan de préservation sous contrat moral. Dans ce cas précis, le régulateur minimise les coûts de contrôle et de transaction. Dans le cas contraire, il doit s'assurer du respect des normes au cas par cas... pour pouvoir les sanctionner. Cette tâche reste impossible lorsque le nombre d'agriculteurs est élevé, manque de moyens techniques de vérification, et surtout lorsque les coûts sont élevés. Le régulateur doit impérativement avoir une nette connaissance sur les caractéristiques pédoclimatiques de la région d'étude (texture du sol, profondeur...), sur la vitesse de transfert des nitrates vers la nappe et des caractéristiques socio-économiques (rendement potentiel, emploi...) et enfin des informations sur les coûts de la pollution en termes de dommage, de la dépollution et sur les bénéfices

économiques. Une fois, que le régulateur détient l'ensemble de ces informations, il doit dresser une stratégie de gestion par l'élaboration des codes de bonnes pratiques agricoles. Ensuite, à travers les institutions du secteur, les agriculteurs doivent être informés et formés sur l'intérêt du respect du code de bonnes pratiques agricoles sur leur bien être social et économique. Le régulateur ne choisit l'instrument de régulation par la norme que si le coût du dommage marginal est supérieur au coût marginal de dépollution et si le coût de dépollution est supérieur au bénéfice marginal.

4.11 Agriculteur comme acteur se conformant de la réglementation

En théorie économique, les agriculteurs en tant que acteurs économiques rationnels, choisissent la fonction de production qui maximise leurs profits. Théoriquement, le profit maximal est atteint au point optimal d'utilisation des facteurs de production. L'évaluation par l'estimation du seuil de rentabilité minimal d'une culture se calcule de la manière suivante : $R_{min} = \sum \text{coûts} / \text{prix de vente d'une quantité donnée}$.

Par ailleurs, le revenu est calculé sur la base des coûts privés sans prendre en considération le coût social dû aux effets externes produits par la production d'une culture. Du fait de ne pas intégrer le coût social dans le coût privé, les agriculteurs n'ont aucun intérêt à changer leurs comportements.

Scénario : 1 si l'adoption des bonnes pratiques agricoles se fait sans coûts supplémentaires pour les agriculteurs, il est fort probable que les agriculteurs suivent la norme édictée par les régulateurs.

Scénario 2 : si l'adoption des bonnes pratiques agricoles nécessite un coût supplémentaire pour les agriculteurs sans pour autant augmenter le revenu agricole, il est probable que les agriculteurs n'acceptent pas d'adopter les bonnes pratiques sans l'intervention de l'Etat, soit par des subventions, soit par un dédommagement. Dans ce cas précis, l'Etat a deux choix possibles.

Choix n°1 : si les coûts des dommages (coût social, coût de durabilité) sont inférieurs aux coûts de dépollution, le laissez-faire peut être un choix efficace. Mais, dans ce cas, l'Etat au premier rang prend les coûts de dépollution en aval (traitements des eaux, changement de captage...), une partie de ces charges seront récupérés par les consommateurs d'eau potable.

Choix n°2 : Si les coûts des dommages sont supérieurs aux coûts de dépollution, il est intéressant dans ce cas d'évaluer les pertes économiques pour choisir l'instrument le plus efficace. Ici, nous aurons deux hypothèses possibles.

Hy 1 : L'Etat intervient par les instruments économiques (taxe, subvention) qui permettent de contraindre les agriculteurs à adopter un comportement protecteur de l'environnement. Pour que cet instrument soit efficace, il faut que le taux de la taxe soit égal au coût du bénéfice marginal à l'optimum.

Hy 2 : L'Etat doit faire respecter les normes de bonnes pratiques agricoles sous contrainte de sanction administrative. Cette solution reste difficile à appliquer dans une situation où le régulateur ne peut pas attribuer la part de pollution individuelle dans la pollution totale.

Hy 3 : L'Etat doit convaincre les agriculteurs par l'approche volontariste à adopter les bonnes pratiques agricoles. David 2004 montre que les approches volontaires constituent des compléments davantage que des substituts aux autres instruments.

Vallée, (2002) quant à elle, base son analyse du choix des instruments de préservation sur les critères de flexibilité et d'efficacité économique. Ce dernier critère préconise la réalisation de l'objectif au moindre coût. Germain, (2004) propose de mesurer les coûts et les bénéfices pour décider quel type et quelle quantité de pollution est acceptable. La décision d'instauration de tel ou de tel instrument dépend essentiellement des coûts et de l'efficacité de l'instrument.

4.12 Informations nécessaires pour la mise en place de l'instrument.

Selon Lambelet (2003, P : 17) deux informations sont nécessaires *pour « fixer le taux de taxe pigouvienne : il faut pouvoir estimer le dommage marginal au niveau optimal, ce qui nécessite également de calculer le niveau optimal des émissions »*. Dans cette logique, la réaction des pollueurs par rapport à la variation des prix est un bon indicateur pour atteindre l'objectif de réduction. A cela s'ajoute, que la mesure précise des émissions est indispensable pour garantir l'efficacité de la taxe.

L'adoption des instruments économiques poursuit généralement trois types d'objectifs : objectif de financement, d'incitation et enfin de préservation. Thierry Bréchet, 2003 indique que globalement, une taxe offre 3 avantages spécifiques : a) elle minimise le coût total de dépollution ; b) elle est incitatrice à la réduction de la pollution ; c) elle génère des recettes budgétaires.

Conclusion du chapitre 4

Cette analyse nous a permis de mettre en évidence une autre façon de définir les problèmes d'environnement comme l'utilisation incompatible par deux ou plusieurs agents d'un actif environnemental rare. Une telle définition permet de penser les modes de résolution des conflits grâce à un système de droits de propriété performant. Plutôt que de recommander l'automatisme de l'intervention de l'Etat, Coase (1960) montre notamment que plusieurs autres réarrangements des droits de propriété sont possibles. De plus, l'analyse coasienne amène naturellement à s'interroger sur les facteurs empêchant l'émergence de solutions privées et volontaires aux problèmes d'environnement. Le rôle de l'Etat n'est pas nié, mais plutôt recentré sur les moyens d'abaisser les coûts de transaction, par exemple en assurant la définition, la transférabilité et le caractère exécutoire des droits de propriété.

Une vision réaliste de l'Etat et des autres agents amène à considérer que ces derniers ne sont pas forcément à la recherche de l'efficacité globale. Ainsi, la prise en compte des coûts de transaction et de dépollution de manière simultanée et leur répartition sur les différents agents peut être à l'origine de pertes d'efficacité globale liées à la recherche de la minimisation par un agent de ses propres coûts, quitte à augmenter les coûts totaux de réalisation de l'objectif.

Enfin, sorte d'ironie du sort, la démarche suggérée par Coase (1960) peut s'avérer très consommatrice en coûts de transaction, ce qui peut rendre sa mise en œuvre effective problématique, à l'un des critères retenus par Coase lui-même, à savoir l'efficacité globale.

Chapitre 5. Scénarios institutionnels pour la préservation de la nappe contre la pollution par les nitrates : Cas du périmètre de Ahmer el Ain

Introduction

Face à la dégradation de la qualité de l'eau, divers instruments peuvent être mobilisés pour remédier à la pollution agricole diffuse. Selon Larrue, (1992) ces instruments peuvent être d'ordre réglementaire (périmètres de protection des captages, instauration des normes,...), incitatifs (incitation à la fertilisation raisonnée, respect du code de bonnes pratiques agricoles), économiques (subventions, et taxes) et enfin des instruments d'ordre volontaire et informationnels (formation et information). Le choix de l'instrument dépend du contexte économique, institutionnel et politique d'un pays. Certains critères comme la nature de la pollution (ponctuelle ou diffuse), le type d'activité (agricole, industrielle), le type et la nature des dommages (santé, dégradation écologique, dégradation des ressources naturelles..) constituent des éléments fondamentaux dans la prise de décision. D'autres indicateurs comme les pertes économiques engendrées par la pollution aux différents usagers de la ressource, les coûts de leur réparation et les coûts de transaction sont aussi décisifs. Par ailleurs, il a été souvent constaté que la décision portant instauration d'un instrument, particulièrement préventif contre la pollution diffuse, ne se prend pas en concertation avec les différents acteurs concernés. Pour y remédier, notre recherche a pris en considération une approche inscrite dans une perspective participative pour le montage des scénarios de lutte contre les nitrates d'origine agricole dans la zone d'Ahmer el Ain.

L'action préventive pour la préservation de la nappe contre les nitrates n'est efficace que si la correction se fait à la source de la pollution. Dans notre cas, la principale source de pollution est en rapport avec les pratiques agricoles, particulièrement la gestion de la fertilisation azotée, rotation des cultures et l'irrigation. Pour ce faire, l'instrument informationnel a été testé en mettant en application une attitude volontariste pour évaluer le comportement des agriculteurs par rapport à l'adoption des systèmes de production protecteurs de l'environnement.

5.1 Spécificité de la pollution des eaux par les nitrates.

Zekri (2004, p : 65) relève que « *l'agriculture se caractérise par une pollution diffuse, en d'autres termes, les sources d'émission des facteurs contaminants sont nombreuses et disséminées* ». Selon Amigues et al,(1998, p. 27) la pollution d'origine agricole est « *diffuse du fait de la multiplicité des émetteurs de pollution, dont chacun peut avoir une contribution marginale, voire nulle, à la pollution ambiante*. Beaudoin et al (2012, p. 84) considèrent que « *La pollution nitrique d'origine agricole est dite de nature diffuse, c'est-à-dire qu'elle se produit en tout temps et lieu avec une intensité variable* ». La pollution est dite diffuse selon Cochard et al., (2008) dans « *des situations où un milieu (un lac, une nappe phréatique) est affecté par plusieurs pollueurs, mais où la contribution individuelle de chacun des pollueurs à la pollution ambiante totale est difficilement observable car les polluants subissent un transport diffus dans le sol* ».

5.2 Objectif environnemental à viser par le régulateur

Dans notre cas, l'objectif environnemental visé consiste à réduire les émissions agricoles polluantes jusqu'à un niveau de concentration des eaux souterraines en nitrate dans la limite de 50mg/l pour les zones vulnérables et de maintenir en l'état les zones qui manifestent de faibles concentrations. Pour atteindre ces objectifs, un grand nombre de chercheurs ont axé leurs expériences sur des solutions agronomiques (techniques) et des solutions économiques (taxes et subventions), alors que certains ont orienté leurs recherches vers les solutions curatives.

5.3 Solutions curatives recommandées dans la littérature

Selon Keddal (2008) et Hadjoudj, (2008), il existe plusieurs procédés de dépollution des eaux riches en nitrates. Pour éliminer les nitrates, différents procédés de traitement biologiques (dénitrification) et physico-chimiques (dénitratation) sont mis en œuvre.

5.3.1. Traitements biologiques (dénitrification)

La dénitrification biologique permet l'élimination des nitrates par leur réduction en azote gazeux, les deux principaux traitements sont : Hétérotrophe et Autotrophe (sur soufre ou avec hydrogène).

5.3.2 Traitements physico-chimiques (dénitratation)

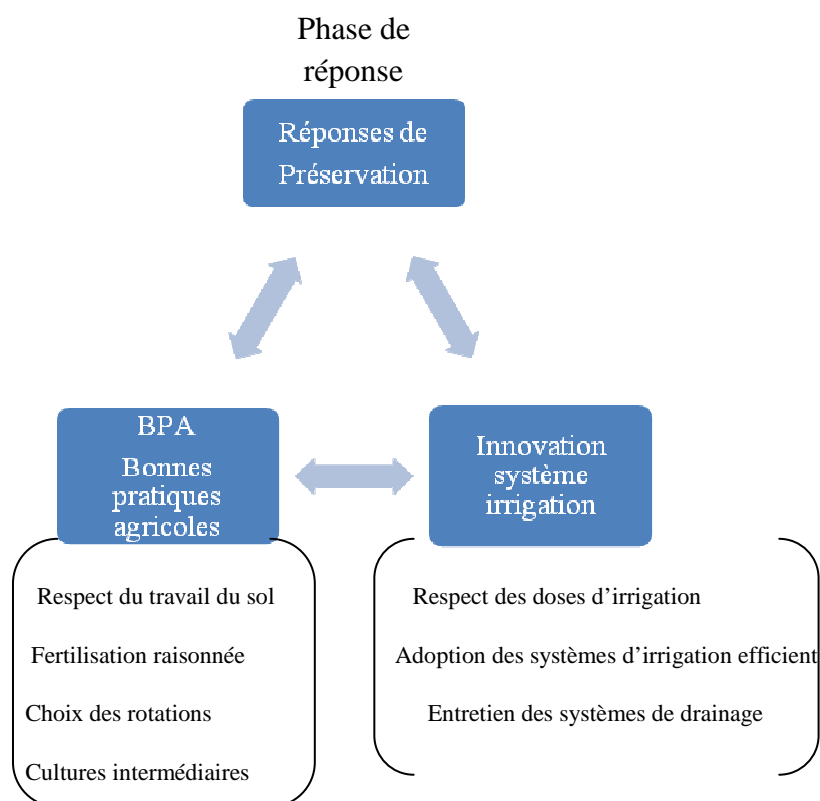
- Échanges d'ions :

- Cycle chlorure ;
- Gaz carbonique ;
- Cycle bicarbonate.

- Osmose inverse ;
- Électrodialyse.

D'autres solutions sont envisageables pour réduire le taux de nitrates dans l'eau, nous faisons référence principalement aux solutions préventives comme la dilution des forages pollués, par du changement de captage ou de son approfondissement (Lacroix, 1995). Pour éviter de recourir aux solutions curatives qui sont souvent coûteuses et difficiles à mettre en place, il est préconisé de recourir plutôt aux solutions préventives basées sur la recherche agronomique.

5.4. Solutions agronomiques recommandées pour éviter la pollution diffuse



La recherche agronomique préconise une multitude de solutions possibles pour réduire la pollution azotée des eaux à travers la bonne gestion de l'azote par la méthode ferti-mieux énoncée et expérimentée dans la directive nitrate. L'OCDE, (2007) recense plusieurs directives émises en faveur de la protection de l'eau contre la pollution diffuse à savoir : « la directive nitrate », « la directive qualité des eaux potables » et la directive de « la protection

des eaux souterraines contre la pollution causée par certaines substances dangereuses ». Les agences européennes de l'eau préconisent de rationaliser la fertilisation par la prise en considération et l'ajustement des différentes sources d'azote aux besoins de la culture. Laurent et al. 1995, notent que la plantation des cultures intermédiaires durant la période automnale et des couverts de jachère dans les rotations amène à réduire les nitrates stockés dans le sol après la récolte d'été et de même réduit leur lessivage. Selon Lacroix (1995), la « *solution préventive qui mise sur une évolution des systèmes de production agricole est efficace pour réduire progressivement le taux des nitrates dans les eaux* ». Ces recommandations, visent particulièrement à améliorer la façon de conduire et de gérer des cultures en ajustant au mieux les intrants azotés et l'interculture. Pour leur mise en application les agriculteurs doivent procéder à l'ajustement et que le fractionnement des apports d'azote, à une meilleure valorisation des résidus de récolte et à une implantation de cultures intermédiaires pièges à nitrates. Gulik et al., (2006) proposent d'envisager une technique d'irrigation fertilisante ou fertigation. La fertigation est une technique de fractionnement des apports d'engrais avec une application raisonnée dans une zone du système racinaire. Cette technique permet de minimiser les risques de lixiviation des nitrates résiduels.

En définitive, les solutions agronomiques constituent une solution efficace pour préserver la nappe contre les nitrates d'origine agricole, mais les questions qui se posent sont de savoir comment faire respecter ces solutions agronomiques par les agriculteurs algériens. Quels sont les moyens à mettre à leur disposition pour qu'ils acceptent d'adopter les bonnes pratiques agricoles ? Qui supporte les coûts du changement des pratiques ? Qui supporte les coûts des dommages ? Qui supporte les coûts de dépollution ?

5.5 Les orientations pour une régulation économique des pollutions diffuses

Les politiques économiques, habituellement préconisées pour réguler la pollution diffuse, sont orientées vers l'adoption des systèmes de taxation et de subvention pour garantir le respect du code de bonnes pratiques agricoles (OCDE, 2001, 2007). Bel et al., (2005) concluent que l'expérience de l'adoption des systèmes de taxation des engrais pour tenter de réduire la contamination de la nappe par les nitrates en Europe reste contradictoire en terme d'efficacité par rapport à l'objectif de réduction d'utilisation des engrais. Une analyse comparative effectuée par Bel et al (2005) sur 16 pays européens pour analyser l'efficacité et les limites d'une taxe sur les engrais a montré clairement que l'influence du prix des engrais azotés sur les quantités utilisées est faible. « *La comparaison de l'évolution de la consommation*

d'engrais azotés dans les pays soumis à une taxe a mis en évidence des fluctuations ponctuelles de cette consommation, sans pour autant qu'il y ait un renversement de la tendance sauf, peut être en Autriche. L'analyse entre pays avec taxe et pays sans taxe n a pas révélé de comportement spécifique pour les premiers » (Bel et al, 2005 p : 110). Amigues, et al., (1990, p 76) arguent qu'une « taxe personnalisée », c'est-à-dire individuelle, peut inciter les agriculteurs à changer leurs comportements vers une meilleure utilisation des intrants polluants. Cette taxe est calculée sur la base des émissions individuelles. Par contre, la nature diffuse de la pollution nitrique des eaux rend impossible sa mise en œuvre sur le terrain du fait de l'impossibilité d'imputer une part de pollution individuelle dans la pollution globale. A cet effet, Segerson (1998) propose plutôt une taxe globale dite « taxe ambiante ». Par contre, Cochard et al., (2008) mettent en évidence qu'une taxe traditionnelle à la pigouvienne (taxe individuelle) ne peut être mise dans le cas de la régulation de la pollution diffuse.

L'efficacité de la taxe est tributaire du montant de la taxe. Pour des taux faibles, la taxe ne constitue pas un facteur incitatif au changement de comportement. L'incitation au changement de comportements ne peut avoir lieu quand les coûts des dommages ne sont pas pris dans les coûts privés des agriculteurs.

Dans certains pays de l'OCDE, un programme agro-environnemental de soutien aux pratiques agricoles, où les agriculteurs s'engagent, pour une période minimale de cinq ans, à adopter des techniques agricoles respectueuses de l'environnement dans la zone vulnérable. Cet effort sera accompagné par la perception d'indemnités au titre des charges supplémentaires et du manque à gagner liés à la modification de leurs pratiques agricoles (OCDE, 2007). D'où l'option, adoptée par la majorité des chercheurs et par les directives européennes, consistant à instaurer des taxes sur les intrants polluants en plus de l'instauration du code des bonnes pratiques agricoles. Par ailleurs, le choix de l'instrument le plus efficace est celui le moins coûteux financièrement et le plus efficace économiquement tout en respectant l'environnement.

D'autres solutions recommandées seraient d'imposer des normes de bonnes pratiques basées sur des études, dont le respect serait bâti autour d'une politique de volontariat. Néanmoins, dans cette approche volontariste, le risque du non respect de la part des agriculteurs de leurs engagements reste élevé, et les sanctions administratives et financières peuvent s'imposer.

C'est la raison pour laquelle l'analyse de la perception de la pollution par les agriculteurs est plus que nécessaire pour arrêter un ensemble de solutions adéquates et efficaces.

Dans le cas de l'Algérie, les solutions de préservation des eaux contre la pollution s'inscrivent dans une politique curative et préventive uniquement dans la zone de captage, alors qu'aucune action de préservation de la nappe libre n'est assurée. Il est nettement recommandé de préserver l'ensemble du bassin versant pour minimiser les risques d'atteinte des ouvrages de captages et pour préserver les réservoirs d'eau de la nappe.

A cet effet, notre analyse voudrait aboutir dans une première phase à des solutions préventives. Celles-ci recherchent une plus grande adéquation entre pratiques agricoles et préservation des ressources rares « eau » dans les courts et moyens termes. Ces « bonnes pratiques » plus respectueuses de l'environnement s'appuieront sur une double stratégie : une meilleure information des agriculteurs sur leurs pratiques et les risques qui leurs sont liés, d'une part, et, d'autre part, une meilleure formation des exploitants et de la main-d'œuvre agricole, intégrant le souci de bien produire. Dans un souci d'harmonisation des instruments de protection, cette double stratégie favorisant le développement des pratiques agricoles sera soutenue par une politique publique de subventionnement favorisant les efforts en faveur de la préservation de l'environnement, tant le recours aux instruments économiques de taxation semble difficilement applicable dans une situation d'ignorance des raisons et des objectifs de la pénalité.

5.6 Perception de la pollution par les différents acteurs :

Dans un rapport de l'INSID, cette institution manifeste clairement son intérêt à revoir la stratégie agricole actuelle et de prendre en considération l'impact de l'intensification sur la dégradation du sol et de la nappe dans les programmes futurs. Cette note met l'accent sur les insuffisances institutionnels et les moyens à mettre en place pour mieux gérer notre environnement.

Selon l'INSID (2006), en Algérie, l'absence d'une caractérisation détaillée et périodique des sols, d'un référentiel technique, d'une politique de fertilisation se traduisent sur le terrain par l'apparition d'un certain nombre de problèmes :

- Gaspillage d'engrais présentés sous des formules inadaptées aux besoins du pays ;

- Mauvaise et/ou absence d'une planification des doses et du moment d'épandage ;
- Pollution inconsidérée et incontrôlée des nappes par les nitrates ;
- Planification imprécise des besoins en engrais.

Les autres acteurs institutionnels comme la DSA, la subdivision agricole de Bourkika et l'ONID ont exprimé l'intérêt certain de préserver la nappe contre la pollution, ils soutiennent toute initiative de recherche spécifique qui permet d'orienter les décideurs dans la prise de décision. Par ailleurs, selon les responsables des institutions, la problématique de la pollution des eaux par les nitrates est récente, elle est souvent prise en charge par les institutions hydrauliques qui détiennent une main d'œuvre qualifiée et spécialisée en la matière. Par ailleurs, il est important de signaler qu'aucune directive spécifique à la préservation de l'environnement contre les dommages causés par l'agriculture n'est mise en application.

5.7 Perception du phénomène de la pollution par les agriculteurs.

L'intérêt de l'analyse de la perception de la pollution par les agriculteurs et les différents acteurs va nous permettre de réfléchir sur le montage d'une solution alternative de préservation contre la pollution diffuse sans le recours systématique aux systèmes de taxation et de subvention. Cette alternative consiste en l'élaboration de contrats moraux entre les agriculteurs et les institutions concernées.

L'enquête sur la perception du phénomène a été effectuée sur les 107 agriculteurs en deux étapes. La première a été basée sur l'analyse de la perception individuelle et la seconde a porté sur des groupes-types d'agriculteurs pour évaluer le niveau de perception collective et élaborer des scénarios participatifs (Imache, 2009).

5.7.1 Résultats des enquêtes individuelles sur la perception de la pollution

L'enquête visait à vérifier si le postulat : *Dose d'azote = Besoins de la plante – Fourniture du sol* était compris et respecté. Sachant que les nitrates sont très solubles et facilement lixiviables vers les eaux souterraines et constituent une source potentielle de pollution de la nappe phréatique par les nitrates (Zoller, 1994), la dose apportée en engrais azotés par les agriculteurs étant supérieure aux besoins de la plante, une partie de l'excès sera probablement lessivé vers la nappe.

Les résultats sont présentés dans les tableaux suivants :

Tableau n° 28 : perception des agriculteurs de la pollution des eaux par les nitrates

Perception individuelle des agriculteurs	Oui	Non	Total	% Oui	% Non
Faites-vous des analyses des eaux et du sol ?	9	98	107	9,0	91,0
Savez-vous que l'utilisation abusive d'engrais: pollue la nappe ?	12	95	107	11,4	88,6
Connaissez-vous les raisons de la pollution de la nappe par les nitrates ?	19	88	107	17,75	82,4

Source : Résultats d'enquête, 2008-2009

Sur un échantillon de 107 individus, seul 9 agriculteurs font des analyses du sol et des eaux. Les agriculteurs ne calculent pas les besoins de la plante et la quantité d'azote fournie par le sol, il en résulte une forte probabilité de dépasser l'optimum d'engrais à utiliser et par la même une forte probabilité de lixiviation des résidus de nitrates vers la nappe. On constate aussi une méconnaissance des relations engrais - pollution et des phénomènes de lixiviation par la majorité des agriculteurs.

Tableau n° 29: Causes de la pollution selon les agriculteurs

Les causes de la pollution selon les agriculteurs	Nombre d'agriculteurs
1: Engrais	12
2: Qualité d'eau du barrage	4
3: Système d'irrigation	1
4: Eaux usées	2
5 : Ne sait pas	88
Total	107

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

L'analyse du comportement des agriculteurs montre clairement le degré de leur méconnaissance de l'existence de faible ou de fortes concentrations en nitrate dans leurs forages. Il y a lieu même de relever l'ignorance des agriculteurs des facteurs favorisant la pollution.

Tableau n°30: Estimation des quantités maximales du 15-15-15 à épandre/1ha de PT pour parvenir à un rendement maximal

Quantité maximale en 15-15-15/ha	Rendement	Fréquence
10 et 12	350	7
15 et 20	410	5
25 et 30	600	2

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

Ce tableau montre qu'aucune norme uniforme de la quantité d'engrais azotée à pratiquer par culture n'est respectée. Chaque agriculteur à sa propre estimation de la quantité maximale à épandre pour un rendement donné, ce qui porte très probablement atteinte à l'environnement.

Tableau n° 31: Estimation des quantités maximales du 15-15-15 à épandre/ serre de poivron et le rendement maximal

Quantités maximales en 15-15-15 ql/ha (déclarées par les agriculteurs)	Rendement	Nombre d'agriculteurs
2	25	2
3	40	2
4	33	2
5	52	2
6	60	1

Source : résultats de nos enquêtes, 2007-2009

La quantité d'engrais azoté maximale à épandre, selon les agriculteurs, varie entre 2 et 6 qx dans une serre de poivron, soit un écart de 4 qx qui équivaut à 60 kg de N en excès. Cette variation est le résultat de l'absence de la vulgarisation. Alors que la fertilisation ne se fait en aucun cas sur des bases scientifiques et techniques, les agriculteurs sont souvent considérés rationnels dans leur comportement. Cette situation nous amène à réfléchir sur les mécanismes à mettre en place pour raisonner nos agriculteurs et protéger la nappe contre la pollution. Pour cela, nous avons opté pour l'approche de scénariologie participative (Imache, 2009), qui consiste à faire intégrer les différents acteurs dans le montage des instruments institutionnels spécifiques du développement agricole et environnemental de manière simultanée.

5.7.2. Des enquêtes collectives, basées sur une approche participative

La méthodologie d'approche participative est novatrice en Algérie. Elle associe les populations à la co-conception et la gestion de toutes les activités de développement de leur milieu. Le premier acteur concerné pour le changement du comportement est l'agriculteur lui-même. L'approche participative présuppose que les changements de pratiques agricoles ne peuvent intervenir sans la participation active des agriculteurs. Elle met l'accent sur la formation et l'animation nécessaire à la mise en œuvre d'un plan spécifique de préservation de la ressource eau.

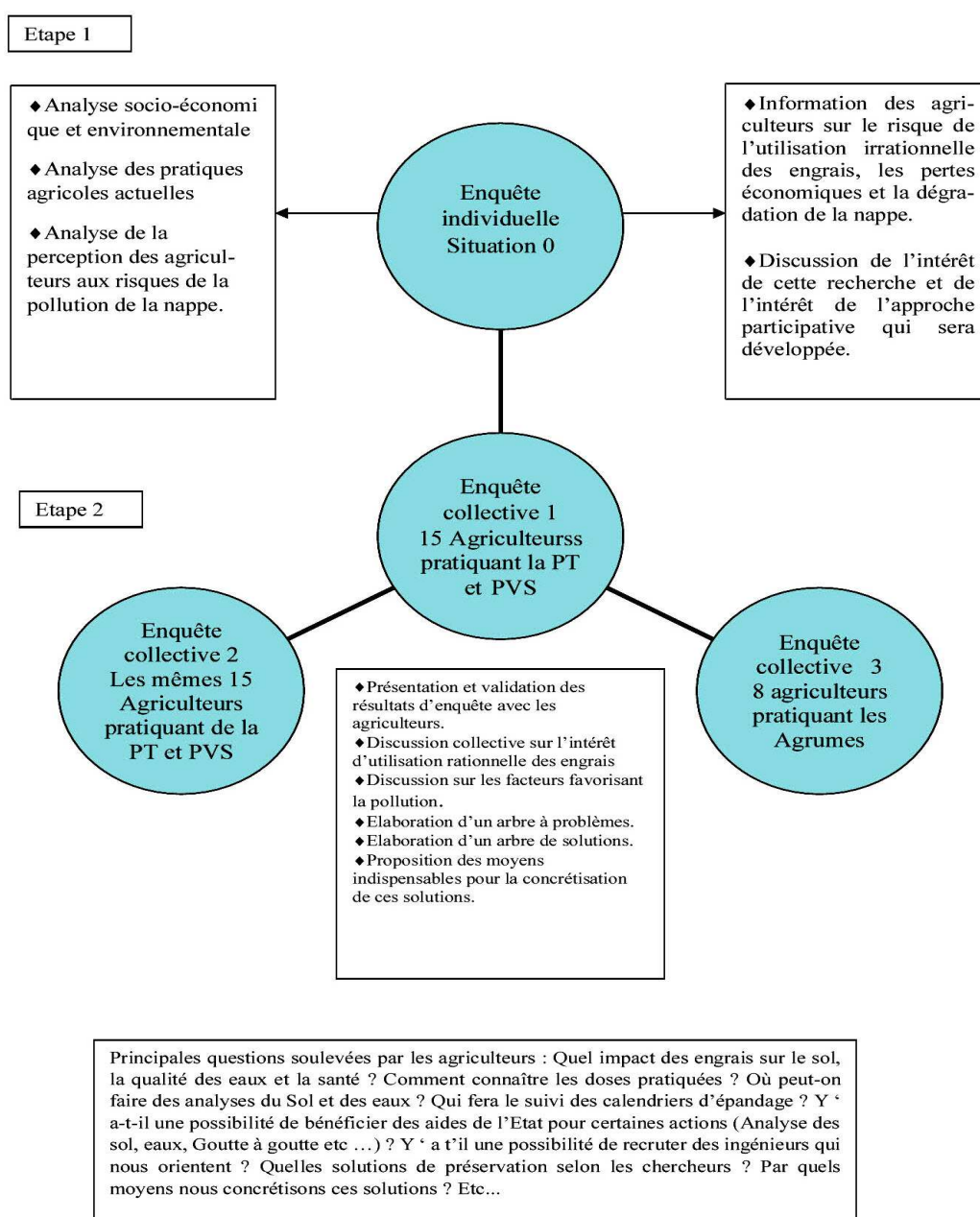
La résolution des problèmes environnementaux, menaçant la nappe, passerait par l'optimisation des systèmes productifs dans un cadre participatif, en tenant compte de l'ensemble des capacités techniques, financières et organisationnelles des acteurs du développement agricole. Pour toutes ces hypothèses nous avons voulu appliquer la démarche participative par la réunion des différents acteurs pour débattre des contraintes du développement agricole et rechercher de manière collective des solutions adéquates en faveur d'une agriculture durable et protectrice de l'environnement.

Trois étapes ont été réalisées tout au long de notre démarche.

	Etapes	
Programmation des actions	1	Information/connaissance
	2	Partage du diagnostic et validation
	3	Identification problèmes/recherche de solutions

5.8 Préparation et organisation des réunions et les objectifs de chaque étape.

La méthodologie d'enquête et de recherche de solutions mise en œuvre s'est caractérisée par un double ancrage : un ancrage individuel centré sur l'agriculteur-exploitant et un ancrage collectif centré sur des groupes agriculteurs. Elle peut-être schématisée selon le diagramme suivant.



Les trois réunions⁶, tenues avec les agriculteurs de la région d'étude, nous ont amené à identifier les principaux problèmes rencontrés et qui constituent souvent un frein au développement de l'agriculture. L'échange d'informations et d'idées a permis aussi la sensibilisation des agriculteurs au rôle qu'ils devraient assumer et à leur « part de responsabilité » dans la dégradation de l'environnement du fait des pratiques culturales qu'ils mettent en œuvre. Nous avons aussi évoqué la possibilité d'une action individuelle et collective pour améliorer les conditions du milieu et parvenir à tracer un plan d'action de préservation et de gestion durable de la ressource. Cette démarche donne la possibilité aux agriculteurs de participer au choix des solutions et les encourager à les concrétiser sur le terrain.



⁶ Les réunions se sont tenues dans la région de Ahmer El Ain. La première s'est tenue le 6 juillet 2010 et la seconde a été réalisée le 5 juin 2012.

Les premières réunions regroupant 15 agriculteurs pratiquant la pomme de terre et poivron sous serre nous ont amenés à l'élaboration de l'arbre à problèmes présentés ci dessous.

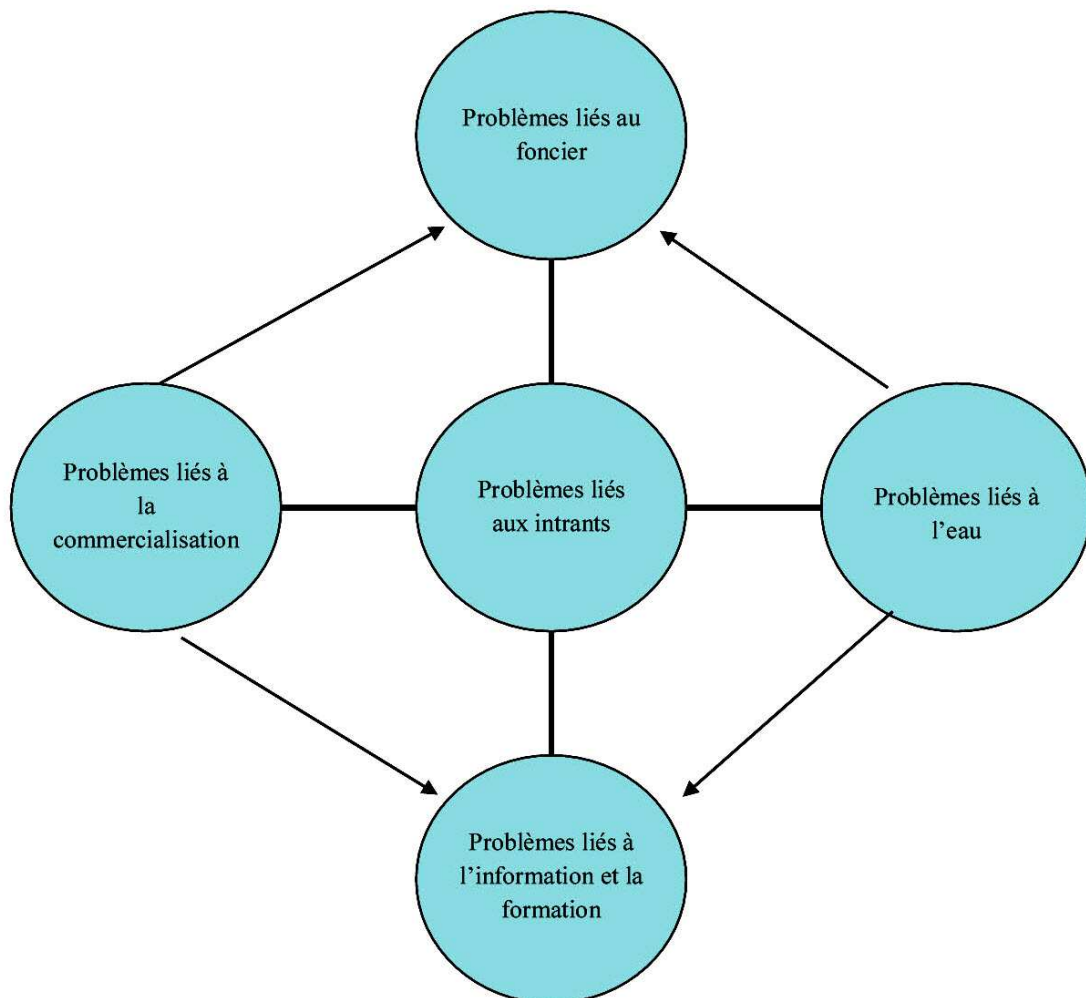


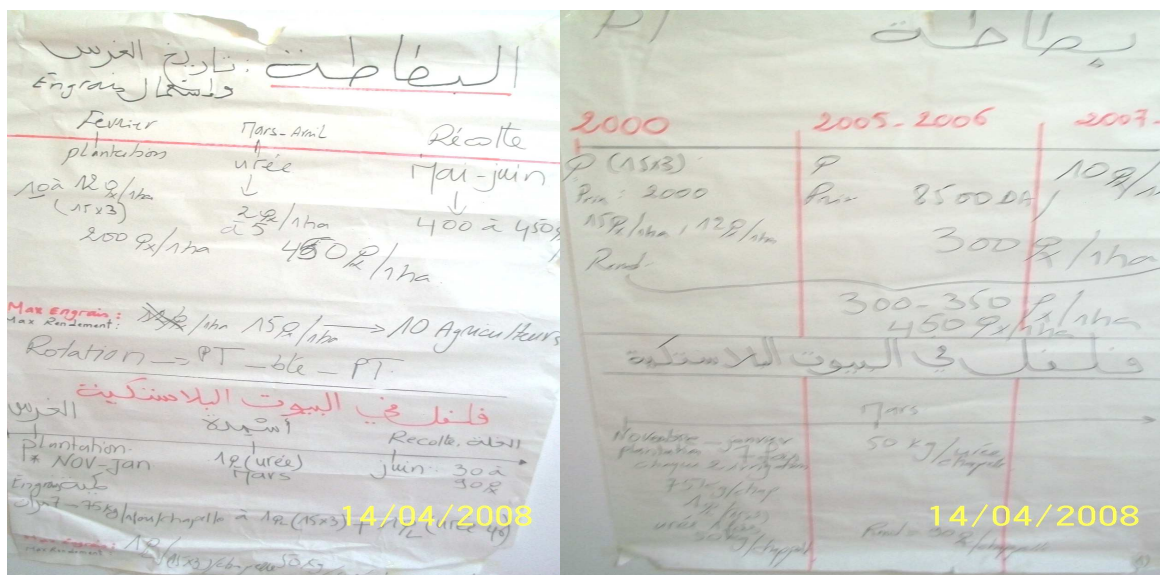
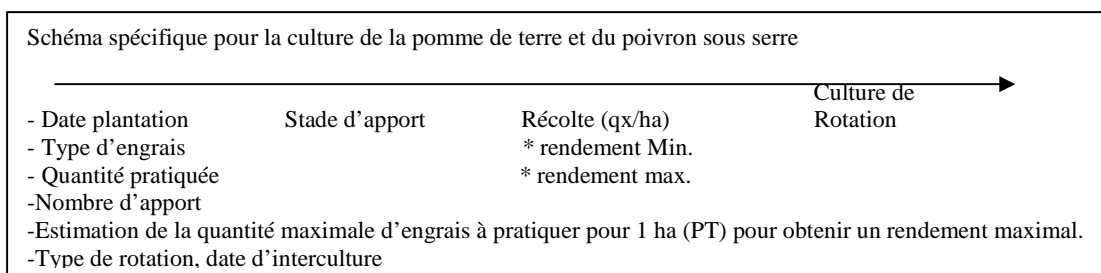
Schéma : Présentation de l'arbre des problèmes identifiés par les agriculteurs et par certains acteurs.

Ce schéma synoptique montre l'interaction entre les différents problèmes auxquels sont confrontés les acteurs du domaine agricole. Ces problèmes tournent autour de l'indisponibilité des intrants et à leur prix élevé ces deux dernières années, de leur mauvaise qualité tout autant que pour les produits phytosanitaires et la semence. Certains agriculteurs ont soulevé le problème du foncier et les conflits entre membres des EAC (exploitation agricole collective), alors que d'autres ont évoqué l'absence presque totale des agents de vulgarisation et le manque d'infrastructures comme les laboratoires d'analyse et les fermes pilote. Lors de cet atelier de travail la question de l'impact de l'intensification agricole sur l'environnement a été débattue entre les chercheurs et les agriculteurs et ces derniers ont manifesté leur disponibilité

à coopérer pour trouver des solutions tangibles et respecter les solutions proposées par les chercheurs si certains moyens étaient mis à leur disposition.

5.9. Validation collective des résultats d'enquêtes individuelles par l'approche participative

Le premier point traite de la présentation et la validation des résultats de l'enquête sur les différentes pratiques agricoles, déclarés par les agriculteurs, lors de la réalisation des enquêtes individuelles, selon le schéma présenté dans notre guide suit :



Les principaux résultats ont été validés après des discussions sur les écarts relevés par rapport à l'estimation des quantités maximales d'engrais à épandre, estimées lors des enquêtes individuelles. Les agriculteurs se sont scindés en deux groupes. Celui constitué des « grands investisseurs » en pomme de terre, locataires de Ain Defla, considère qu'une quantité de 15qde 15-15-15 épandus par hectare, telle qu'elle est déclarée par l'autre groupe d'agriculteurs, est faible pour atteindre un rendement de 400 à 450 q/ha. Se basant sur

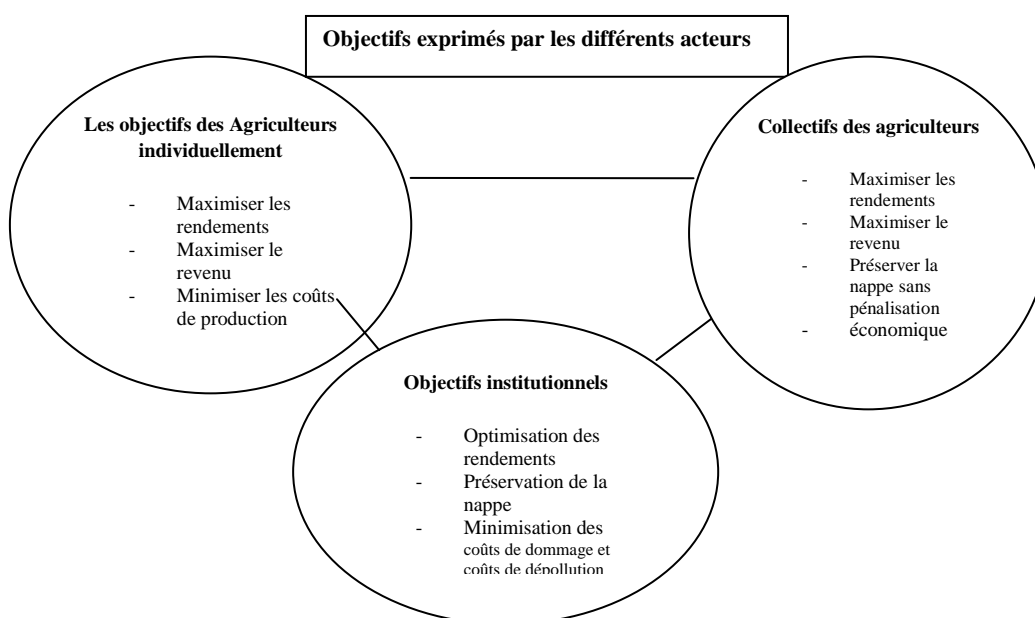
l'expérience de ses membres, il opte pour l'application de 20 q. Un débat a traité la question se rapportant à la manière et la base d'estimation des doses pratiquées. Les réponses des agriculteurs à ces questions sont :

- 1- Plus ils augmentent les quantités d'engrais, plus le rendement augmente ;
- 2- L'expérience de tel ou tel agriculteur a montré qu'une récolte de 350 et 450q a été atteinte pour 12 ou 15 q/ha de NPK;
- 3- Certains déclarent avoir pratiqués les quantités recommandées par les vendeurs d'engrais ou les délégués.

Cette concertation nous a permis de conclure qu'aucune norme spécifique n'est respectée par les agriculteurs. La dose d'engrais azoté ne se fait en aucun cas sur la base des besoins de la plante.

Le deuxième point soulevé, lors du débat, concerne l'impact probable de l'utilisation des engrais sur la qualité des eaux. A l'exception de deux agriculteurs, les autres expriment clairement leurs méconnaissances quant aux effets de l'utilisation excessive des engrais sur la qualité des eaux et sur les pertes économiques.

5.10 Discussion et résultats.



Durant les premières phases du travail mené auprès des agriculteurs, ces derniers avaient un degré de connaissance limité au sujet de l'impact de la fertilisation non raisonnée sur la qualité des eaux de la nappe. Au fur et à mesure de l'avancement de notre enquête, un grand nombre de questions sur les facteurs favorisant la pollution, l'impact de cette dernière sur leur

bien être ont été soulevées par les agriculteurs. A cet effet, les deux ateliers ont été tenus avec les agriculteurs pour s'enquérir de leur niveau de perception collective de la pollution et tenter de converger leurs différents intérêts vers un intérêt commun, celui de la protection de la nappe contre la pollution d'origine agricole.

5.10.1 Evolution de la perception de la pollution par les agriculteurs.

Une seconde séance de travail a eu lieu avec ces mêmes agriculteurs en présence d'autres et avait pour but l'élaboration d'un scénario d'adoption de bonnes pratiques agricoles. Les agriculteurs ont mis l'accent sur l'obligation de leur formation et de la supervision sur le terrain des opérations d'utilisation des engrais et des traitements phytosanitaires par des spécialistes. Certains d'entre eux ont proposé l'établissement de contrats de sous-traitance avec des entreprises publiques qui se chargent de la gestion du calendrier d'épandage d'engrais et des traitements phytosanitaires. Le point commun le plus soulevé par les différents agriculteurs porte sur la réalisation d'expérimentations sur le terrain pour déterminer les besoins des plantes en engrais et en eau.

Pour ce point précis, nous distinguons deux catégories d'agriculteurs. La première est composée des agriculteurs qui ont exprimé une volonté d'exercer des expérimentations avec un suivi permanent des techniciens et ingénieurs spécialisés tout au long de la campagne agricole. Alors que la deuxième catégorie regroupe les agriculteurs qui préconisent de faire des expérimentations dans des fermes pilotes par la méthode dose-réponse et s'engagent à l'issue du processus expérimental de respecter les doses recommandées dans leurs exploitations.

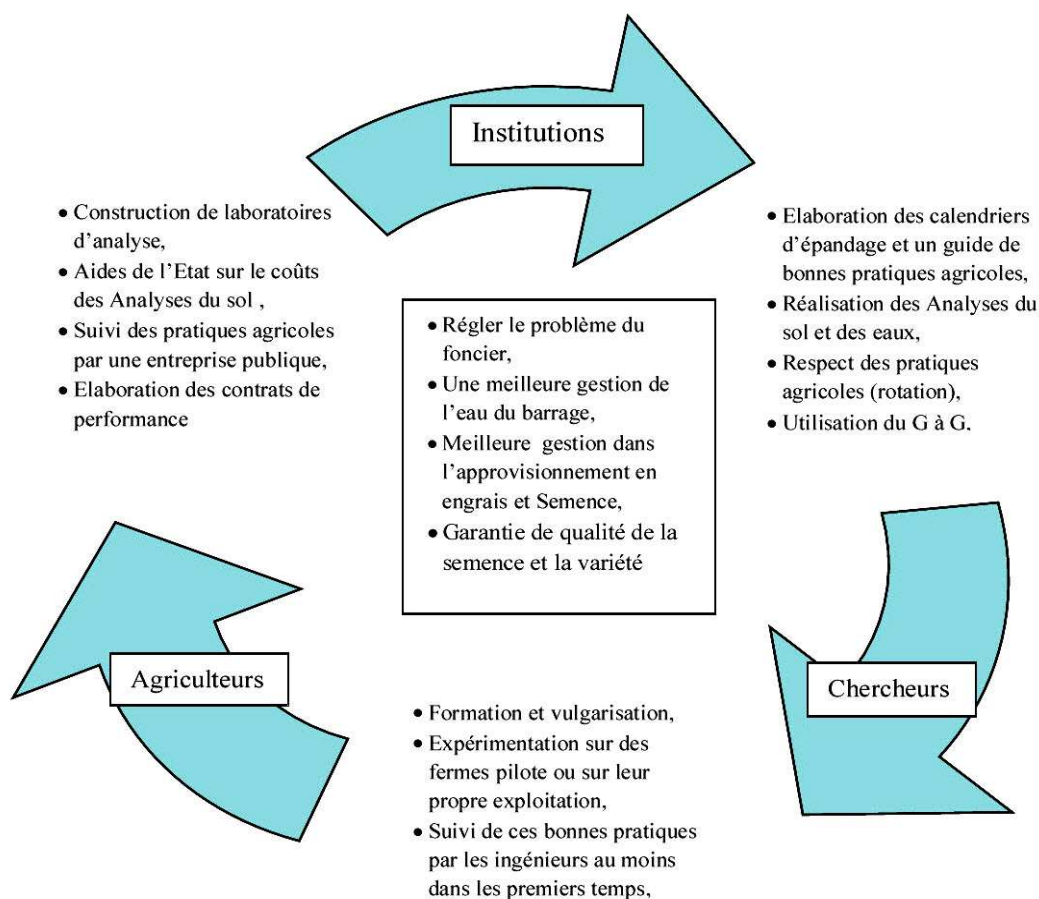
Après de multiples débats, les agriculteurs enquêtés, sont parvenus à comprendre tout l'intérêt qu'ils ont à moderniser et à rationaliser l'utilisation des intrants, dépassant ainsi leurs divergences initiales. Ils ont surtout pris conscience que la préservation de l'environnement passe par l'amélioration de la gestion de leurs exploitations. Ces mêmes agriculteurs se déclarent disposés à coopérer pour mieux gérer leur exploitation et à préserver l'environnement, tout en espérant que ces solutions de préservation ne les pénalisent pas sur le plan économique. Cette crainte de pénalisation des agriculteurs s'explique par l'absence d'une formation adéquate et continue et de l'opération de vulgarisation. Néanmoins, ils ont exprimé très nettement et avec beaucoup de conviction leur volonté d'appliquer les directives des

chercheurs spécialisés, les programmes tracés par les institutions techniques par rapport au calendrier d'épandage et les normes d'épandage.

L'intervention par l'amélioration technique de l'agriculture s'avère insuffisante pour améliorer l'impact environnemental. Les modifications du processus de production ne peuvent être effectuées sans risque d'accroissement des coûts (coût des analyses du sol, implantation des cultures pendant l'interculture et coûts d'éventuelles expérimentations sur les exploitations).

5.10.2. Moyens et solutions proposées par les agriculteurs en concertation avec les chercheurs





Les responsables⁷ des institutions participant à la réunion ont proposé de réguler la pollution par l'instauration de normes.

- les normes d'émission (respect des doses à épandre recommandées par les spécialistes/ha) ;
- les normes techniques et pratiques (calendrier de labour ou d'épandage d'engrais, les dates d'apport ...) ;
- Gestion de l'interculture.
- La maîtrise des apports minéraux et organiques en termes de qualité et le suivi du respect du calendrier d'épandage.

Parmi les solutions à mettre en œuvre pour lutter contre la pollution agricole, nous avons constaté que la plupart des agriculteurs enquêtés considèrent que l'intervention par le biais de conseil, de formation et voir des subventions sont suffisantes pour changer le comportement des agriculteurs. Après de multiples débats, les agriculteurs, par leur « bonne volonté » et leurs prédispositions à moderniser et à rationaliser l'utilisation des intrants, ont pris conscience que la préservation de l'environnement passe par l'amélioration de la gestion de

⁷ Les responsables participants à la réunion sont : le Directeur de l'ONID de la wilaya de Tipaza, le secrétaire général de la chambre de l'agriculture, le représentant de la division agricole de Bourkika.

leurs exploitations. Ces mêmes agriculteurs se déclarent disposés à coopérer pour mieux gérer leur exploitation et à préserver l'environnement, tout en espérant que ces solutions de préservation ne les pénalisent en aucun cas sur le plan économique.

Les actions fondées sur le volontariat des agriculteurs ne sont efficaces que si la formation continue et le suivi sont assurés. L'introduction du souci environnemental dans le processus de production agricole, s'apparente à l'adoption d'une innovation et remet bien souvent en cause des habitudes bien établies par les agriculteurs depuis le système du domanial. Le traitement des problèmes environnementaux exige des institutions spécialisées, de nouvelles compétences et souvent des formations spécifiques. Ces formations seront orientées vers l'impact de l'utilisation des engrais sur la pollution des eaux et la santé publique et aussi vers les mécanismes de préservation contre la pollution.

5.10.3 Analyse des scénarios institutionnels préventifs de lutte contre la pollution des eaux

Pour définir les instruments institutionnels de protection contre les nitrates et arrêter les moyens techniques et financiers à mettre à la disposition des différents acteurs du montage des scénarios institutionnels, le régulateur se trouve dans une situation de préservation économique de l'activité agricole, de maintenir le revenu des agriculteurs et enfin de diminuer la pollution de l'eau liée à l'activité agricole. Pour atteindre ses objectifs, l'Etat dispose de plusieurs solutions possibles dépendant toutes de la disponibilité de l'information et de l'acceptabilité sociale. Bel et al, (1998) préconisent de recourir à l'analyse par l'approche « coût- efficacité » afin d'évaluer les différentes solutions en terme de réduction physique de la pollution et d'estimer les coûts correspondants pour les pollueurs.

La résolution du problème à la source est une action préventive du risque de pollution diffuse. Pour ce faire, les pouvoirs publics devront mettre en application une synergie entre les différents outils réglementaires, économiques et l'engagement volontaire des acteurs du domaine agricole. Cette politique doit prendre en charge les mesures suivantes :

- 1- Identification des zones vulnérables par l'adoption d'un système de contrôle permanent de la qualité des eaux ;
- 2- Etudes des besoins de la plante en engrais azoté, en tenant compte de la spécificité de chaque périmètre irrigué et des caractéristiques pédoclimatiques de la région ;

- 3- Elaboration des codes de bonnes pratiques agricoles protectrices de l'environnement, basées sur les résultats expérimentaux des doses d'azote à épandre et le risque de lixiviation des nitrates ;
- 4- Information et formation des agriculteurs dans le domaine de la maîtrise des techniques d'irrigation, de l'adoption des techniques culturales rationnelles dans l'utilisation d'intrants (date d'épandage, doses à pratiquer...) ;
- 5- Introduction progressive du changement de comportement des agriculteurs en faveur d'une agriculture en équilibre avec l'environnement, par l'organisation de démonstrations dans les champs ;
- 6- Aménagement de laboratoires d'analyse du sol ;
- 7- Création d'un dispositif de contrôle des pratiques agricoles, assurant des visites inopinées sur le terrain, des analyses du sol avant et après les cultures ;
- 8- Suivi de l'itinéraire technique par des entreprises publiques ;
- 9- Instauration de l'obligation de présentation des analyses du sol avant l'approvisionnement en engrais ;
- 10- Régulation du marché des engrais.

La mise en œuvre de cette politique et l'application de l'ensemble des actions indispensables, efficaces sur le plan environnemental, risque d'être coûteuse.

5.10.4 Réglementation algérienne en faveur de la protection des ressources en eau

La gestion de l'eau en Algérie est régie par la loi n°05-12 du 4 août 2005, fondée sur trois principes, à savoir: principe pollueur- payeur, principe de non dégradation des ressources naturelles et principe d'action préventive et de correction des atteintes à l'environnement, en utilisant les meilleurs techniques disponibles à un coût économiquement acceptable. Cette loi fondamentale est issue du Code de l'eau de l'année 2005 et fixe les principes et les règles applicables à l'utilisation, la gestion et le développement durable des ressources en eau en tant que bien de la collectivité nationale. En tant que législation de base sur l'eau, elle définit aussi les règles de traitement des eaux usées domestiques et industrielles, de protection et de préservation des ressources en eau dans des périmètres protégés où certains usages sont réglementés ou interdits, comme les infrastructures à usage industriel, les canalisations, les réservoirs d'hydrauliques et autres. Cette même loi préconise des mesures exécutoires de l'administration compétente lorsque les eaux polluées par le déversement d'affluents mettent en péril le bien être de la population.

La loi sur l'eau de 2005 consacre le droit d'accès à l'eau assainie et fixe les objectifs suivants :

- Utilisation rationnelle de l'eau pour la satisfaction des populations et de l'économie nationale ;
- Protection des réserves en eau de toute forme de pollution, gaspillage et surexploitation ;
- Prévention contre les effets nuisibles de l'eau.

Cette loi a été complétée par des articles à caractère exécutoire concernant les périmètres de protection qualitative édictée dans les articles 38, 39 et 41 du code des eaux 2005.

Art. 38. Il est établi autour des ouvrages et installations de mobilisation, de traitement et de stockage d'eau souterraine ou superficielle ainsi que de certaines parties vulnérables des nappes aquifères et des oueds, une zone de protection qualitative comprenant, selon les nécessités de prévention des risques de pollution, un périmètre de protection immédiat, dont les terrains doivent être acquis par l'Etat et protégés par une personne physique ou morale chargée de l'exploitation des ouvrages et installations concernés un périmètre de protection rapproché à l'intérieur duquel sont interdits ou réglementés les dépôts, activités ou installations susceptibles de polluer les eaux, de façon chronique ou accidentelle et un périmètre de protection éloigné à l'intérieur duquel sont réglementés les dépôts, activités ou installation visés à l'alinéa précédente.

Art. 39. A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'ensemble des activités, y compris les activités agricoles ou industrielles, peuvent être réglementées ou interdites, peuvent faire l'objet de mesures particulières de contrôle, de restriction ou d'interdiction, les activités concernant notamment l'installation de canalisations d'eaux usées l'installation de canalisations, réservoirs et dépôts d'hydrocarbures, de stations-service de distribution de carburant; l'installation de centrales d'asphalte l'établissement de toutes constructions à usage industriel; le dépôt de déchets de toutes natures l'épandage d'effluents et d'une manière générale, tous produits et matières susceptibles d'altérer la qualité de l'eau, y compris, le cas échéant, les produits destinés à l'agriculture l'installation et l'exploitation de carrières.

Art. 41. A l'intérieur des périmètres de protection qualitative, l'administration chargée des ressources en eau se réserve le droit d'effectuer, à tout moment et en

tout lieu, toute observation, mesure et/ou contrôle destinés à suivre l'évolution qualitative des ressources en eau. La persistance de la pollution revient entre autre à l'absence d'une réglementation cohérente, claire et exécutive en faveur de la pollution de la nappe par les polluants d'origine agricole.

Par ailleurs, peu de directive spécifique, se rapportant à la protection de la nappe contre les nitrates, n'est en vigueur en Algérie, contrairement à l'Union Européenne, où une panoplie d'instruments de préservation et de protection contre les nitrates d'origine agricole sont clairement énoncés dans des directives, comme la directive nitrates, ou bien dans des plans de gestion et des lois sur l'eau qui édictent les règles et les sanctions de non respect à la réglementation. L'inexistence d'une réglementation claire, en Algérie, est spécifique de préservation de la nappe contre les nitrates d'origine agricole est considérée comme une forme de légitimité de ce type de pollution (laissez- faire). Le principe selon lequel celui qui pollue doit payer est resté inappliqué, la charge financière des actions de dépollution et les coûts des dommages sont supportés par l'ensemble des collectivités dans le cas d'impact direct sur la santé. En définitif, l'internalisation de l'externalité telle qu'elle est recommandée par Pigou, 1920 est loin d'être respectée.

5.11 Comparaison en termes de coût et efficacité entre les différents instruments.

Principalement, les régulateurs évaluent un instrument à travers l'estimation des coûts suivants : le coût d'évitement qui correspond à la mise en œuvre des actions préventives, le coût des réparations signifiant le coût des opérations curatives et enfin le coût de l'irréversibilité.

Le coût d'évitement de la dégradation sera évalué par l'analyse des charges supportées par les différents acteurs pour prévenir un risque environnemental. Dans le cas de la gestion des exploitations, ces efforts sont estimés à travers les coûts engagés pour mettre en conformité l'itinéraire technique avec un certain nombre de référentiels et de normes. Les sommes à engager pour instaurer des codes de bonnes pratiques agricoles et pour l'entretien d'un réseau de drainage pourraient bien être des indicateurs de base à l'évaluation du coût d'évitement de la dégradation environnementale.

Les dépenses dans la formation des agents spécialisés, les agriculteurs et pour la vulgarisation, pourraient aussi servir à l'évaluation du coût de prévention et révéler le budget à dégager pour la réalisation des différentes actions. Le coût curatif ou de réparation d'une dégradation

environnementale est donc constitué des charges supportées par l'exploitant et de celles qu'il devrait supporter, dont l'activité a eu un effet négatif sur l'environnement. A titre d'exemple, dans le cas de la pollution des eaux, il s'agirait de mettre en exergue les dépenses effectuées par le site pour remettre aux normes une nappe polluée. Par conséquent, le coût de cette réparation peut être évalué à l'aide du coût engagé pour réaliser le projet de dilution, de traitement ou autre.

5.11.1 Coût de la lutte contre la pollution

Généralement, la dégradation de l'état de la nappe induit des impacts négatifs sur les acteurs économiques. Pour faire face à ces impacts, les acteurs mettent en place des actions correctives qui sont parfois coûteuses. Il s'agit des coûts supportés par la population dans la prise charge des maladies hydriques, des coûts de fonctionnement pour l'approvisionnement en eau potable (coût du traitement des eaux potables, coûts spécifiques au déplacement ou approfondissement des ouvrages de captage, d'autres coûts correspondent aux interconnexions entre les forages pollués et les forages moins pollués) et aussi des coûts de nettoyage des sites contre les algues et autres résidus.

L'expérience française a fait ressortir une moyenne annuelle de surcoût à l'hectare pour les traitements curatifs des eaux polluées comme suit : (Keddal et al, 2008)

- *Dénitratation* : 0,09 à 0,11 €/m³
- *Traitement pesticides* : 0,10 à 0,13 €/m³
- *Traitement total* : 0,19 à 0,24 €/m³

Les conséquences économiques du ramassage des algues sont relativement importantes en Bretagne, elles ont été évaluées entre 300.000 et 600.000 Euros par /an.

Lacroix et al (2003) arguent que le coût de la réduction de la pollution nitrique des eaux par l'amélioration des pratiques agricoles est nettement inférieur aux traitements industriels des eaux avec respectivement 0,06-0,08 euros/m³ et 0,27 euro/m³.

5.11.1.1 Régulation par l'instauration de la norme

Les coûts de transaction pour la mise en œuvre des normes différentielles pour les différentes cultures de chaque région sont partagés en coûts de la recherche expérimentale (des intrants, frais des techniciens, des ingénieurs, des fermes pilotes), coûts de l'information (frais des agents de vulgarisation spécialisés) et en coûts du suivi et du contrôle.

Les deux dernières opérations restent deux tâches difficiles à réaliser dans une activité très dynamique.

CT (coûts de transaction) = f (coûts avant application + coûts après application)

L'estimation des coûts avant application suppose la mobilisation de techniciens et d'ingénieurs chargés de l'étude socio-économique dans chaque circonscription administrative et pour différentes campagnes agricoles. L'intérêt est de collecter les informations sur les pratiques agricoles. Dans cette analyse, nous prenons les coûts de la réalisation de notre enquête et les résultats de notre recherche comme base de référence dans l'estimation des différents coûts des différents scénarios de cette recherche.

Notre zone d'étude compte 107 exploitations. La réalisation d'une enquête exhaustive auprès de cette importante population nécessite la mobilisation de trois agents pour une durée de 45 jours, rémunérés à hauteur de 600 DA/jour. Les frais induits par cette enquête s'élèvent donc à 80.000 DA par campagne. Soit 160.000 DA pour deux campagnes agricoles. A cela il y a lieu d'ajouter les charges de production estimées selon les déclarations des agriculteurs pour les différentes cultures (objectif de déterminer l'optimum) à 1 836 898 DA pour les trois cultures dominantes (céréale, pomme de terre et cultures sous serre). S'ajoutent enfin les charges salariales de deux vulgarisateurs chargés d'informer les agriculteurs sur les doses à pratiquer pour chaque culture, évaluées à 50 000 DA.

D'où l'estimation des charges structurelles à $(80\ 000+1\ 836\ 898+50\ 000) = 1966000$ DA

Pour réduire les coûts de la recherche expérimentale, une autre alternative est possible, elle consiste en un processus de négociation avec certains agriculteurs professionnels, qui accepteraient d'expérimenter les différentes doses d'engrais dans leurs parcelles et d'évaluer leurs rendements, moyennant leur indemnisation si une chute des rendements est observée.

Par ailleurs, le contrôle du respect de la norme par les agriculteurs est très complexe et reste tributaire de la volonté de ces derniers, ce qui rend difficile l'estimation des coûts du contrôle et du suivi. Cette opération ne peut être aisément réalisable que dans le cas où l'Etat monopolise la distribution des engrais sur présentation de pièces justificatives de la superficie à cultiver et les cultures pratiquées.

5.11.1.2 Régulation par la taxation

Face à une externalité négative, la théorie économique préconise d'internaliser le coût de l'externalité dans le coût privé de l'activité par l'instauration de taxes (Caose, 1960). La mise en application de la taxation sur les résidus d'azote constitue un instrument alternatif à l'instauration d'un code de bonnes pratiques agricoles. Cette pénalité peut s'appliquer avec un suivi rigoureux et un calcul minutieux, à travers l'intersection entre les quantités optimales (engrais et rendement) et le prix des engrais. La question qui se pose à ce niveau porte sur le choix de la taxe. Faut-il taxer les agriculteurs par unité d'azote utilisée ou bien sur la pollution ambiante ?

Segerson (1988) propose une taxe ambiante comme solution pour éviter la difficulté d'estimation des émissions individuelles des pollueurs. L'auteur propose de taxer l'ensemble des pollueurs pour un taux de taxe identique en fonction de la pollution ambiante, ce qui réduit le coût du contrôle et du suivi individuel. Cette méthode ne répond pas au principe pollueur-payeur. Elle peut pénaliser les agriculteurs les moins pollueurs, comme les céréaliers qui pratiquent un quintal d'engrais azoté, contrairement à ceux qui cultivent la pomme de terre, qui sont souvent les plus pollueurs. En effet, cette taxe ambiante ne peut constituer une solution pertinente à la pollution diffuse que si, la taille de l'exploitation, le type de culture et le type de rotation sont pris en considération dans l'analyse. Tant il semble assez évident que la taxation d'une exploitation d'un hectare ne pourrait être égale.

La réponse à cette question est tributaire essentiellement du contexte économique et politique du pays. Dans le cas de l'Algérie, la problématique de développement d'une stratégie de protection des nappes contre la pollution d'origine agricole est relativement récente sur le plan pratique. Pour arrêter le montant de cette taxe, le régulateur doit s'enquérir d'informations sur l'impact d'une unité d'engrais azoté sur le taux de nitrates dans la nappe, le niveau de la pollution ambiante existante et le coût de l'opération de dépollution. Cette situation établie doit être accompagnée d'un point de situation sur le niveau de la pollution individuelle pour faire respecter le principe pollueur-payeur. Le régulateur, peut estimer le taux de la taxe le plus impactant par tâtonnement.

Le principe de la taxe consiste à rendre la pollution coûteuse de telle manière à pénaliser les pollueurs et de les inciter à adopter un comportement moins polluant. La base idéale de calcul de cette imposition serait la quantité émise de résidus. Toutefois cette condition n'est pas toujours réalisable pour des raisons pratiques. Cette difficulté tient au fait que le coût de la

mesure des émissions est souvent élevé et la technique d'évaluation des taux de contamination n'est pas encore maîtrisée en Algérie. En pratique, le coût de transaction (recherche, analyse quotidienne des eaux, prestation de service et mise en œuvre de l'outil de taxation) est l'un des indicateurs le plus déterminant pour le choix de l'instrument.

Par contre, la taxe unitaire (uniforme) contribue à la réduction des quantités d'engrais utilisées, qui reste la première source de pollution. Le principe est d'augmenter le prix du facteur de production (intrants) pour réduire la quantité utilisée et parvenir à diminuer la pollution. Cette taxe doit être estimée sur la base de la fonction de production et de la relation causale entre le facteur de production et la pollution. La maîtrise de ces deux relations s'avère indispensable pour l'estimation du montant de la taxe à imposer sur le prix de l'input. Ce type de taxe est souvent utilisé dans les processus où il est particulièrement difficile d'estimer et de quantifier les éléments polluants, comme les fertilisants azotés dont les nitrates portent préjudice aux eaux. Ce procédé est déjà en vigueur en Norvège et en Suède (OCDE, 1989).

Cette taxe entraîne forcément l'augmentation du prix des engrais. Elle incite par conséquent les agriculteurs au changement de comportement. Les agriculteurs qui utilisent entre 10 et 12 quintaux/NPK sous forme de 15-15-15/ ha de pomme de terre doivent le payer entre 6500-8500 DA /quintal de NPK. Au-delà d'un prix de 8 500DA/q, ils seront forcés de diminuer considérablement les quantités d'engrais utilisées soit en se rabattant sur l'engrais organique comme substitut de l'engrais chimique, ou bien en pratiquant une campagne de pomme de terre par an au lieu de deux ou trois, tout en faisant la rotation pomme de terre/céréales. Déduction faite, une taxe de 1500 DA/q de NPK, additionnée au prix moyen actuel de l'engrais, estimé à 6500 DA/q, peut entraîner une réduction des quantités d'engrais utilisées (voir les courbes de réponse).

Dans notre étude de cas, si le prix du NPK augmente à 10 000 DA /q, l'agriculteur est contraint d'utiliser moins d'engrais et son revenu sera par conséquent moindre dans le cas d'une baisse de rendement. Pour ne pas pénaliser les agriculteurs à court terme, l'Etat devrait, dans certains cas, instaurer des subventions. Le montant de celles-ci sera équivalent au coût de la perte économique due à la baisse de la production moyenne de la région d'étude, suite à la réduction de la quantité d'engrais utilisée.

Ainsi, seule une volonté politique peut instaurer des instruments aussi performants en terme environnemental que l'application de la taxe, dont nous savons qu'elle ne peut se faire

immédiatement au risque de pénaliser gravement les agriculteurs. Seres, 2003 dans sa recherche explique que « *La prise en compte des dégradations est très coûteuse pour l'agriculteur, si les règles de calcul de la taxe reposent sur les mêmes principes théoriques qui égalisent taux de taxe et coût marginal de dépollution* ». Dans le cas de l'Algérie, il est difficile d'évaluer les dommages en termes de coût et il est encore plus difficile de le faire pour le coût de dépollution dans une situation où le dispositif de suivi et de contrôle est en cours d'installation dans certains périmètres.

Dans la littérature, il existe des instruments spécifiques pour réguler les pollutions azotées d'origine agricole, comme la politique de soutien à l'agriculture (politique de prix et politique de soutien à la production). Le montant de la subvention dépend de l'objectif fixé. Le passage de la quantité 12 q à celle de 10 q de NPK/ha engendre une baisse marginale de rendement de 50 q/ha, soit un déficit économique de 100 000 DA/ha. Pour un passage à 8 q de NPK épanchés au lieu de 10, la perte du revenu est évaluée à 35 000 DA/ha selon les résultats de nos enquêtes pour les années 2007/2010. Dans ce cas précis, si le régulateur considère que la baisse des rendements a un impact économique supérieur au coût des dommages induits par la pollution des eaux de la nappe par les nitrates, l'arrangement par le laissez faire constitue une solution acceptable par les agriculteurs.

L'autre hypothèse possible est celle où nous considérons que le régulateur décide de maintenir une activité agricole polluante, avec la prise en charge des coûts de dépollution par la collectivité (gestionnaires des périmètres). Cette situation ne laisse paraître aucun conflit entre les différents acteurs dans l'exploitation de la nappe.

La troisième hypothèse se construit autour de la possibilité d'internaliser l'externalité par une imposition d'une contribution forfaitaire de la part des agriculteurs. Cette opération sera intitulée « contribution à la préservation de l'environnement » au lieu de taxe à la pollution.

5.11.1.3 Subvention comme solution complémentaire au respect des bonnes pratiques agricoles.

Dans certains pays de l'OCDE comme l'Angleterre, un dispositif de subvention a été mis en place pour encourager les agriculteurs à respecter le code de bonnes pratiques agricoles dans leur exploitation. Le programme consiste à indemniser les agriculteurs qui acceptent de

respecter le code de bonnes pratiques durant 5 années afin de réduire la pollution de la nappe par les nitrates. (OCDE, 2007).

Le raisonnement et le résultat sont tout à fait similaires avec la mise en place de subventions à l'investissement pour la dotation en équipements nécessaires à la dépollution, nécessitant un apport financier de la part de l'agriculteur.

- a) L'Etat soutient les agriculteurs à travers une subvention directe sur la différence des rendements ou de revenus atteints dans un cadre de respect des normes d'épandage d'engrais préconisées. Une autre façon de voir les choses serait la subvention à moitié pendant que l'autre moitié est internalisée dans le coût privé des agriculteurs.
- b) L'Etat peut apporter son aide de manière indirecte en subventionnant la semence de pomme de terre, dont le prix est élevé (représente environ 68 % du coût de la production totale). Le prix de la semence passe de 130 DA à 90 DA/kg pour une diminution de 2 unités d'engrais et à 105 DA/kg pour une réduction d'une unité d'engrais.
- c) L'Etat garantit aux agriculteurs un prix de vente de la pomme de terre de 27 DA/kg au lieu de 25 DA/kg.

Il y a lieu de relever que le système établi en matière de subventions aux agriculteurs touche directement l'outil de production, alors que les instances concernées, à travers une concertation, devraient prendre en considération l'opportunité de la conversion d'une partie de cette subvention en atouts incitatifs à la protection de l'environnement.

Conclusion du chapitre 5

Des solutions préventives sont fortement recommandées pour pallier au cumul de plusieurs années d'épandage dans la zone de Ahmer –El- Ain dont la nappe présente une concentration en nitrate et ce, malgré la diminution relevée ces dernières années dans les quantités d'engrais épandus relativement à l'époque des domaines agricoles, où les prix des engrais étaient très faibles. La diminution relative des quantités d'engrais pratiquées par certains agriculteurs n'est pas due à une fertilisation raisonnée et conforme aux besoins effectifs de la plante mais plutôt à leurs prix qui ont augmenté, ce qui implique la forte probabilité du retour à l'abus par ces mêmes agriculteurs si le marché des engrais venait à se stabiliser. Cette situation nous amène à déduire que le développement d'une stratégie comportementale fondée sur une base scientifique durable serait incontournable, autrement dit, les agriculteurs algériens, doivent impérativement prendre conscience de l'intérêt du respect des codes de bonnes pratiques

agricoles afin de garantir la durabilité des ressources naturelles et aussi la pérennité de l'activité agricole. L'engagement des agriculteurs est un bon indicateur de leur prise de conscience, mais il reste insuffisant pour changer un comportement acquis depuis l'époque des domaines agricoles. La volonté des agriculteurs de contribuer financièrement à la préservation de l'environnement est prise avec précaution. L'approche participative impliquant l'ensemble des acteurs dans le processus de la prise de décision paraît la plus adaptée pour pallier à ce genre de problème, où tous les concernés peuvent activer ardemment au sein des systèmes de gestion des exploitations pour lutter efficacement contre toutes formes de pollution.

Conclusion générale

Les résultats de notre recherche viennent confirmer la théorie qui avance que la pollution des eaux par les nitrates est tributaire de plusieurs facteurs scindés en deux volets :

1) l'irrationalité dans l'utilisation des engrais par type et taille des cultures, les dates d'apports, le fractionnement périodique durant le cycle végétatif, la rotation et l'interculture,

2) l'irrationalité dans l'irrigation qui peut entraîner le lessivage des nitrates dans les eaux souterraines, le système gravitaire étant prédominant, les besoins en eau des plantes ne sont pas maîtrisés et le risque de surirrigation est important. Ce risque peut causer l'entraînement des résidus d'azote du sol vers la nappe.

Par ailleurs, d'autres facteurs pédoclimatiques sont à l'origine de cette pollution, les facteurs techniques comme l'absence de système de drainage et des systèmes d'irrigation économe en eau.

L'analyse chimique des eaux des 15 forages dans notre périmètre d'étude vient confirmer l'existence de fortes concentrations dépassant parfois les 100 mg de NO_3^-/l , ce qui a été prouvé encore une fois par les services de l'ANRH et l'ENSA. Cette situation préoccupante nous a poussés à réfléchir d'avantage sur le rapport entre l'agriculture telle qu'elle est pratiquée dans la zone d'étude et le risque de pollution de la nappe par les nitrates, ce qui nous a amené à démontrer que ce risque existe et a pour cause la défaillance de l'estimation des besoins de la plante en engrais azoté et en eau d'irrigation .

Notre expérience sur le terrain nous a permis de relever une nette variation des doses d'engrais épandues par culture d'un agriculteur à l'autre. Les facteurs explicatifs de cette variation des doses sont en rapport avec le prix des engrais et leur disponibilité sur le marché et sans aucune étude ou analyse du sol, type de sol. L'autre facteur favorisant l'utilisation non raisonnée des engrais est l'absence presque totale de la vulgarisation et de la formation des agriculteurs depuis de nombreuses années.

L'analyse socio-économique nous a permis de tracer les courbes de réponse des rendements en fonction des engrais et de déterminer le risque de lixiviation des nitrates vers la nappe quand les doses d'engrais dépassent l'optimum. Cette dernière situation présente un double effet négatif, à savoir : la perte économique engendrée pour les agriculteurs et le risque de pollution des eaux.

La rationalité dans l'utilisation des engrais doit faire l'objet d'une recherche expérimentale approfondie, tout en prenant en considération les spécificités pédoclimatiques et hydrologiques de chaque région pour arrêter les besoins réels des plantes en engrais selon le type de sol, de rotation, de la technique culturale et du système d'irrigation et finir par l'élaboration d'un code de bonnes pratiques agricoles, respectueux de l'environnement.

Dans une analyse sur les facteurs explicatifs de l'adoption du goutte à goutte, il est recommandé de généraliser ce système en adoptant une politique incitative, c'est-à-dire subventionner les agriculteurs en matériel, faciliter l'accès aux crédits et développer un système de suivi et de vulgarisation. Les autres facteurs qui déterminent l'adoption du goutte à goutte sont classés selon leur importance comme suit:

- Le coût du projet et sa rentabilité économique ;
- L'éducation ;
- Le type de culture ;
- Les aléas climatiques (pluviométrie) et le manque d'infrastructures hydrauliques ;
- L'âge et la taille de l'exploitation.

Il paraît évident que les agriculteurs n'adoptent les technologies dites d'économie d'eau que si les incitations sont convaincantes.

La pollution des eaux est une question dont le traitement doit être à la fois pluridisciplinaire et multisectoriel ; elle implique des expertises appartenant à divers domaines : agronomiques, biologiques, microbiologiques, chimiques, sociologiques et économiques, juridique et

réglementaire. Le rôle des scientifiques est primordial dans les différents champs d'investigation : recherche théorique, expérimentale et économique. Dans ce contexte le dialogue entre chercheurs et décideurs est plus qu'indispensable pour aboutir à des prises de décision à des actions à la fois fermes et raisonnées en vue de la protection des ressources naturelles, du bien être social et la sauvegarde de l'environnement. La prise de décision dans ce domaine est souvent difficile tant ses conséquences économiques et sociales peuvent être considérables:

- A court terme, elles remettent en cause les systèmes de gestion et de production ;
- A moyen et long terme, elles assurent la protection de la santé, la sauvegarde de l'environnement et la transmission d'un héritage sain aux générations futures.

Le travail d'enquête mené sur la situation socio-économique, les pratiques agricoles actuellement pratiqués dans la zone d'étude, la perception des agriculteurs de la pollution de la nappe par les nitrates et les stratégies des populations en matière de gestion des ressources naturelles, a permis de concevoir une démarche participative afin d'affiner l'analyse sur la volonté des agriculteurs à mieux gérer leur exploitation tout en préservation de la nappe contre la pollution par les nitrates.

Etant conscients de l'impact de la sur-fertilisation sur la qualité des eaux et des pertes économiques occasionnées par l'utilisation abusive d'engrais, ils adhèrent à l'approche d'instauration d'un programme de contrôles inopinés par les responsables concernés et la soumission des contrevenants aux sanctions administratives. L'efficacité de l'application de cette solution reste tributaire de la prise en charge des problèmes des agriculteurs quant à l'approvisionnement en intrants et en eau et la mise en place d'un service chargé de la vulgarisation et de l'orientation.

Un travail de vulgarisation et d'éducation est indispensable pour développer à la fois une plus grande sensibilité environnementale avec une vraie prise de conscience des atteintes occasionnées à l'environnement, mais aussi une plus grande capacité à mesurer tout intérêt à mieux exploiter les ressources naturelles par les agriculteurs algériens. Pour parvenir à une stratégie de développement, une politique de renforcement des moyens d'information et de formation et plus spécialement les supports médiatiques qui ont une influence directe sur les

agriculteurs, les journées d'études et les formations ciblées sont des solutions appropriées. La volonté des institutions de préserver l'environnement ne peut aboutir sans l'implication des différents acteurs, en l'occurrence les agriculteurs, les institutions techniques et de vulgarisation pour une meilleure gestion des exploitations et préserver ainsi la fertilité du sol et la qualité des eaux.

Par ailleurs une attention particulière devrait être accordée aux investissements consacrés à la protection des eaux et à la sauvegarde de l'environnement. Leur opportunité et leur rentabilité ont été démontrée par de nombreux travaux effectués à travers le monde, face aux coûts économiques et sociaux qui peuvent être extrêmement lourds à supporter par la collectivité.

Si, aujourd'hui, la question de la pollution et des atteintes à l'environnement n'arrive pas à émerger comme une problématique prioritaire en Algérie, c'est probablement que les différents acteurs n'ont pas encore pris conscience des effets nocifs qu'elle peut engendrer sur les hommes et sur leurs activités productives. Au-delà d'une simple politique de sensibilisation à l'environnement, même si elle est indispensable pour éveiller les consciences individuelles et collective, l'urgence aujourd'hui consiste à éditer et faire respecter une réglementation qui aurait pour objectif de sanctionner les pollueurs et de soutenir ceux qui sont attentifs et respectueux de l'obligation de préservation, en particulier par le développement des bonnes pratiques productives. Dans ce contexte, la coordination entre l'ensemble des parties prenantes intéressées par la préservation de l'environnement et des ressources rares est une nécessité de premier ordre. Cette coordination concerne tout à la fois les producteurs, les scientifiques et experts, les administrations éditrices de règles et normes et les administrations chargées du contrôle.

Toutes les mesures de préservation de la nappe contre la pollution par les nitrates engendrent des coûts souvent onéreux. Ces coûts peuvent être évalués de différentes manières, soit en se basant sur des critères d'évaluation des dommages ou bien sur les coûts de dépollution possibles. L'objectif de cette évaluation serait de comparer les coûts à l'efficacité de l'instrument de préservation dans un contexte socio-culturel et politique donné.

En Algérie, malgré son efficacité dans le principe, le recours aux taxes sur les engrais, qui représente une ressource supplémentaire pour l'Etat destinée à financer des programmes de préservation et de dépollution, ne constitue pas une solution immédiate et ne résout pas le problème de base qui est « l'inconscience » des différents acteurs face à l'obligation du respect de l'itinéraire technique. C'est pour cela qu'il est préconisé de recourir aux instruments réglementaires comme le respect des normes de production appuyées par la recherche agronomique avec une réelle stratégie de sensibilisation et de formation. Le recours à des contrats moraux entre les agriculteurs et les institutions qui veillent au respect des bonnes pratiques agricoles semble indispensable et efficace à moyen terme pour garantir la durabilité de l'action de préservation. Cette action doit être accompagnée par des contrôles rigoureux, soit par l'incitation des agriculteurs à présenter des analyses des sols lors de l'approvisionnement en engrais, soit par des contrôles inopinés sur terrain.

L'assurance d'une eau de qualité est un objectif qui servira à orienter les efforts de contrôle des sources de pollution, arrêter les priorités d'action et faire respecter les textes réglementaires en faveur des valeurs limites de rejets à travers un garanti du financement des opérations, d'organisation, de suivi ou de sensibilisation, et de distribution des moyens. Ces actions, étant inscrites dans les contextes législatifs et juridiques, doivent être communiquées à tous les partenaires de la gestion de l'eau et acceptées par l'ensemble des usagers.

Les difficultés rencontrées

A l'issue de ce parcours de recherche, un certain nombre de difficultés sont rencontrées. Nous citons les principales :

1/ La principale limite de cette recherche est en rapport avec la lenteur de l'approche participative. Cette dernière nécessite une implication permanente des agriculteurs pour aboutir à des résultats plus fiables quant à la perception de la pollution par les agriculteurs, la prise en considération des recommandations des chercheurs et la vulgarisation du raisonnement dans l'utilisation des engrais. Les résultats de la recherche ne sont constatés que si un suivi permanent des agriculteurs est réalisé, au moins dans la première phase.

2/ Le manque de moyens d'expérimentation sur le terrain pour déterminer les normes spécifiques à la région d'étude constitue un handicap en soi.

3/ Notre travail de recherche nécessitait des efforts pluridisciplinaires, où l'implication de spécialistes était plus qu'indispensable.

4/ En l'état actuel, l'absence des référents sur les caractéristiques spécifiques de chaque région et l'utilisation des fiches techniques standards, élaborées par les institutions techniques rends difficile l'analyse et montre des limites au moment de la prise de certaines décisions.

PISTES DE RECHERCHE

A ce terme de notre recherche, nous entrevoyons 4 pistes de recherches.

1/ Une analyse approfondie sur l'interaction entre les pratiques agricoles, les rendements et le risque de pollution en utilisant des modèles de simulation pour la construction des scénarios de bonnes pratiques agricoles est souhaitable.

2/ Une analyse sur l'impact des nitrates sur la santé publique est recommandées afin d'évaluer le coût social engendré par l'activité agricole.

3/ Analyse des interactions entre les différentes directions de l'environnement, Agriculture et Hydraulique, pour mieux préserver l'environnement. Il serait donc judicieux de se poser la question sur la disponibilité des moyens humains et matériels nécessaires au niveau de ces structures pour faire face à toutes les pressions.

Références bibliographiques

ARTICLES

Addiscott TM., Whitmore AP., Powlson DS., 1991. « *Farming fertilizers and the nitrate Problem* ». In revue International. Wallingford, UK, p.170

Aghzar N., Berdai H., Bellouti A. et Soudi B., 2002. « *Pollution nitrique des eaux souterraines au Tadla (Maroc)* ». In Revue des Sciences de l'Eau. Rev. Sci. Eau, 15/2, pp. 577-610.

Avery AA., 1999. « *Infantile Methemoglobinemia reexamining the role of drinking water nitrates* ». In revue 'Environmental Health Perspectives'. Volume 107, Number 7.

Bekkar Y., Kuper M., Hammani A., Dionnet M., Eliamani A., 2007. « *Reconversion vers des systèmes d'irrigation localisée au Maroc : quels enseignements pour l'agriculture familiale ?* ». In revue Hommes, Terre Eaux, 137 : pp 7-20.

Bel F., D'Aubigny GD., Lacroix A., et Amédée M., 2005. « *Efficacité et limites d'une taxe sur les engrais azotés : éléments d'analyse à partir de seize pays européens* ». In revue Economie et prévision n° 166, pp 99-113.

Benouniche M., Kuper M., Hartani T, Hammani A., 2011. « *Quand les petites exploitations adoptent le goutte-à-goutte : initiatives locales et programmes étatiques dans le Gharb (Maroc)* ». In. Revue Cahiers agricultures, 20 : 40-47.

David M., 2004. « *Les approches volontaires comme instrument de régulation environnementale* ». In. Revue française d'économie. Volume 19 N°1, 2004. pp. 227-273.

Déprés C, Grolleau G, Mzoughi N, 2007. « *Contracting for Environmental Property Rights: The Case of Vittel* », *Economica*, pp. 1-23.

Besnard A., Le Galle A., 2000. « *Les cultures fourragères intermédiaires : piège à nitrates et fourrages d'appoint ?* ». In revue fourrage n° 163 pp 293-306.

Bettahar, N., Benamara, A. A., Kettab, A., & Douaoui, A. (2009). « *Risque de pollution nitraté des zones semi-arides: cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien)* ». In . Revue des sciences de l'eau/Journal of Water Science, 22(1), 69-78.

Diederer P, Van MH, & Arjan W, & Katarzyna B, 2003. « *Innovation Adoption in Agriculture; Innovators, Early Adopters and Laggards* » *Cahiers d'économie et sociologie rurales*, (67) pp. 30-50

Diez J.A., Roman R., Caballero R., Caballero A., 1997. « *Nitrate leaching from soils under maize-wheat-maize sequence, two irrigation schedules and three types of fertilisers* ». In. revue Agriculture Ecosystems and environment, 65: 189-199.

Blain RH., Simunek J., Hopmans J., 2006. «*Evaluation of urea-ammonium-nitrate fertigation with drip irrigation using numerical modelling*». In. revue Agricultural water management n° 86 PP 102-113.

Bodson B., Vandenberghe Ch., 2013. «*Gestion durable de l'azote au-delà de la seule problématique Nitrate* ». In. Revoir Biotechnol. Agron. Soc. Environ, 17 (S1), pp 297-300

Boudjadja A., Messahel M., et Pauc H., 2003. «*Ressources hydriques en Algérie du Nord* ». In Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 16, n° 3, p. 285-304.

Bureau D., 2005. «*Economie des instruments de protection de l'environnement* ». In Revue Française d'Economie, XIX(4) : pp.83-110.

Caswell M., et Zilberman D., 1985. «*The choices of irrigation technologies in California*». In. American journal of Agricultural Economics, 67: 224-234

Cicho , R., Brown, H., Snow, V. O., Wheeler, D. M., Hedderley, D., Zyskowski, R., & Thomas, S. (2010). «*A nitrogen balance model for environmental accountability in cropping systems*». In. revue New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 38(3), 189-207.

Coase R.H, 1960. «*The Problem of Social-Cost*». In Journal of Law and Economics, 3: pp.1-43.

Cope O.B., 1965. «*Agricultural chemicals and freshwater ecological systems*. In revue C. Chichester : Research in pesticides. Academic Press, New York, USA, pp: 115-128.

Cropper M.L., et Oates W.E., 1992. «*Environmental Economics: A Survey*». In. Journal of Economic Literature, XXX:675-740.

Cuny el al 1998. «*A simple indicator for diagnosing nitrate leaching risk below the root zone using the Tensionic tensiometers*” vol. 18, n°8-9, pp. 521-535.

Dahlman C.J., 1979. «*The Problem of Externality*», In revuen *Journal of Law and Economics*,22: pp.141-162

Dupuy A., Moumtaz R. et Banton O., 1997. «*Contamination nitratée des eaux souterraines d'un bassin versant agricole hétérogène 2. Évolution des concentrations dans la nappe* ». In. Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 10, n° 2, 1997, p. 185-198.

D'Souza G, Douglas C, & Tim P, 1993. «*Factors Affecting the Adoption of Sustainable Agricultural Practices*». In. revue Agricultural and Resource Economics Review, (22) 159-165.

El Ghachtoul Y., M'Hamdi A., Gabih H., 2005. «*Eutrophisation des eaux des retenues des barrages Smir et Sehla (Maroc) : Causes, conséquences et consignes de gestion* ». In. Revue des sciences de l'eau, rev, Sci, Eau 18 /Spéciale p : 75-89.

Francois M., Et Bottu J., 2001. «*Méthémoglobulinémie: A propos d'un cas*». In. revue Louvain MED. 120: 199-202

- Gärdenäs A.I., Hopmans J.W., Hanson B.R., Simunek J., 2005. « *Two dimensional modelling of nitrate leaching for various fertigation scenarios under micro-irrigation* ». In. Revue Agricultural Water Management, 74: 219-242.
- Gareth R., et Terry J. M., 2004. « *Les tendances à l'augmentation des concentrations de nitrates dans les eaux en relation avec les pratiques agricoles des pays d'Europe occidentale la situation en Grande-Bretagne* » .
- Gebara B.M., Goetting M.G., 1994. « *Life-threatening methemoglobinemia in infants with diarrhea and acidosis* ». In. revue Clin Pediatr (Phila); 33: 370–3.
- Gomgnimboui AP., Savadogo PW., Nianogo AJ., et Rasolodimby JM., 2010. « *Pratiques agricoles et perceptions paysannes des impacts environnementaux de la cotonculture dans la province de la Kompienga (Burkina Faso)* ». In. revue Sciences & Nature Vol.7 N°2 : 165 – 175.
- Green G., Sunding D., Zilberman D., Paker D., 1996. « *Explaining irrigation technology choices: micro parameters approach* ». In. revue American journal of agricultural economics, 78 : 1064-1072.
- Grolleau G., Mzoughi N., Thibaut L., 2004. « *Les instruments volontaires un nouveau mode de régulation de l'environnement ?* ». In. revue internationale de droit économique, 4t. XVIII, 4 p461-481.
- Hahn R.W., 1989. « *Economic Prescriptions for Environmental Problems: How the Patient Followed the Doctor's Orders* », In. revue Journal of. Economic Perspectives, 3(2): pp. 95-114.
- Hoffmann M., Johnson H., 1999. « *A method for assessing generalised nitrogen leaching estimates for agricultural land* ». In. revue "Environmental Modeling and Assessment » 4, pp. 35-44.
- Imache A., Mathieu D., Bourfaa S., Hartani T., Kuper M., Le Goulven P., 2009. « *Scénariologie participative » une démarche d'apprentissage social pour appréhender l'avenir de l'agriculture irriguée dans la Mitidja (Algérie)* ». In revue cah. Agri, vol 18 n 5.
- Jeanrenaud C., 1999. « *Faut-il introduire des taxes vertes ?* ». In revue économique et sociale, n° 9901.
- Justes E., Mary B., Nicolardot B., 1999. « *Comparing the effectiveness of radish cover crop, oilseed rape volunteers, and oilseed rape residues incorporating for reducing nitrate leaching. Nutrient Cycling* ». In. revue Agroecosystems 55, 207-220.
- Keddal H., et N'dri J.Y ., 2008. « *Impact de l'intensification agricole sur la qualité des eaux de surface et des eaux souterraines* ». In. revue HTL n° 138 sep- dec,
- Lacroix A. 1995. « *Les solutions agronomiques à la pollution azotée* ». In. revue le courrier de l'environnement n° 24.
- Lacroix A., Bel F., Mollard A., et Sauboua Em., 2006. « *La territorialisation des politiques environnementales* », *Développement durable et territoires*.
URL : <http://developpementdurable.revues.org/1838>.

Lambelet J.C., 2003, « *Instruments économiques de la politique de l'environnement* ». Séminaire d'économie nationale.

Larrue C. 1992. « *Le comportement des agriculteurs face aux mesures de protection de l'eau* ». In revue économie rurale n° 208-209. pp. 42-49.

Laurant F., Ruelland D., 2004. « *Pollutions agricoles : enjeux d'une identification des risques à l'échelle de bassins versants* » In Gregum- ESO, n° 24.pp ; 51-60.

Laurant F., Ruelland D., Chapdelain M., 2007. « *Simulation de l'effet de changements de pratiques agricoles sur la qualité des eaux avec le modèle SWAT* » In revue des sciences de l'eau » vol : 20 PP 395-408 ;

Laurent F., Machet J.M., Pellot P., Trochard R., 1995. « *Cultures intermédiaires pièges nitrates : comparaison des espèces* ». In revue Perspectives Agricoles, 206 : pp 38-49.

Lavoux th., Baldock D., 1992. « *L'application du principe pollueur-payeur en Agriculture* ». In. Revue Economie rurale Volume 208. N° 1. Pp 61-65

Levallois P., Phaneuf D., 1992. « *Les risques associés à la contamination de l'eau potable pour les nitrates* ». Publication du réseau de la santé publique du Québec –volume n° 3 Mai – juin.

Madelin VA, 1992. « *La prise en compte de l'environnement dans les pratiques agricoles* ». In. Revue Economie et statistique. N 258- 259, Octobre –Novembre. Pp. 105-112.

Manassam, D.M., Backer L.C., Messing R., Fleming L.E., Luke, B. and Monteilh C.P. 2010. « *Nitrates in drinking water and methemoglobin levels in pregnancy: a longitudinal study* ». In revue Environmental Health, sous presse.

Mankiw G., 1998 . « *Externalités et solutions publiques* » tiré du livre *Principes de l'Économie de N* ». In. revue Economica, Paris, pp. 274--281.

Mary B., Recous S., Darwin D., Robin D.,1996. « *Interaction between decomposition of plant résiduel and nitrogen cycling* ». In. revue "soil Plant and soil" 181, 71-82.

McCann, L., Colby B., Easter K.W., Kasterine A., Kuperan K.V., 2005. « *Transaction Cost Measurement for Evaluating Environmental Policies* ». In. revue "Ecological Economics" 52: pp. 527-542

Nkamleu GB, et Coulibaly O, 2000. « *Le choix des méthodes de lutte contre les pestes dans les plantations de cacao et de café au Cameroun* ». In. Revue Economie rurale, 259 : 75-85.

O'Driscoll G.P. & Hoskins L, 2003. « *Property Rights - The Key to Economic Development, Policy Analysis* » No. 482, published by the Cato Institute and available at: www.cato.org/pubs/pas/pa482.pdf.

Rahoui M., 2007. « *Impact de l'intensification agricole sur la qualité des sols et des eaux souterraines dans le périmètre irrigué des Boukkala* ». In. Revue HTE N°138 • Sept. - Déc.

- Richard E J, Zilberman D, 1983. «*Stochastic structure, farm size and technology adoption in developing agriculture*». In. revue *Oxford Economic Papers*, 35:307-328.
- Salhi S. Bédrani S. 2007. «*Détermination de l'adoption de l'irrigation localisée (Goutte à Goutte) par les agriculteurs : cas du périmètre el Hamiz* ». In. revue *Cahiers du CREAD*, 81/82 : 155-169
- Sarr JB., Giroux M., N'dayegamiye A.,2009. «*Effets des doses d'azote sur les teneurs en nitrates résiduels en post-récolte des sols cultivés en maïs grain* ». In. Revue *Agrosolution/vol 20 n°1*.
- Sebillotte J. ; 1994. «*Qualité de l'environnement et pollution azotée de l'eau. Quelles procédures pour le développement agricoles* » ? In. Revue *Etud. Rech. Syst. Agraires. Dév.* 28 pp: 277-285.
- Sergerson K., 1988 «*Uncertainly and incentives for non point source pollution of environmental*». In. revue *Economics and Management* pp 87-89
- Shepherd M.A. et Lord E.I., 1996. «*Nitrate leaching from a sandy soil; the effect of previous crop and post-harvest soil management in an arable rotation* ». In. revue *Journal of Agricultural Science Cambridge* 127: 215-229.
- Simon JC., et Lecorre L., 1988. «*Lessivage d'azote en monoculture de maïs, en sol granitique du finistère* ». In. revue 'Fourrage' 114. pp : 193-207.
- Simon JC., et Lecorre L., 1992. «*Fertilisation des cultures annuelles et lessivage de l'azote nitrrique* ». In. revue *Fourrages*, 129 : 3-10.
- Stark, C. H., & Richards, K. G. (2008). «*The continuing challenge of nitrogen loss to the environment: Environmental consequences and mitigation strategies*». In. revue *Dynamic Soil, Dynamic Plant*, 2(2), 41-55.
- Tabet AM., 1993. «*pollution des eaux etson impact sur la santé en Algérie* ». www.maghreb-clim-env-jimdo.com
- Torkamani J, Shahrouk S, 2008. «*Adoption of New Irrigation Technology under Production Ris* ». In. revue *Water Resour Manage*, 22: 229-237.
- Tupin N., Jannot P., Huet MC., Cairol D., 1999. «*Evaluation économique, à l'échelle de petits bassins versants, de l'introduction dans les exploitations agricoles de pratiques moins polluantes exemple de la pollution azotée* ». In. revue *ingénierie –Etat – n° 18* pp 17-28.
- Ven der Werf HMG., 1997. «*Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement* ». In. courrier de l'Environnement n° 31.
- Vercherand J. 1996. «*La jachère: une maîtrise de la production coûteuse* ». In. revue *économie rurale* n° 232, pp 35-43.
- Vertès F., decau M.L. 1992 . «*Suivis d'azote minéral dans les sols : risque de lessivage de nitrate selon le couvert végétal* ». In. revue *Fourrage* n° 192 p 11-28.
- Williams J.R., Jones C.A., Dyke P.T., 1984. «*A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity*. Transactions of the ASAE 27, 129-144 198.

Yandle, B., 1999. "Grasping for the Heavens: 3-D Property Rights and the Global Commons," In. revue *Duke Environmental Law and Policy Forum*, 10, pp. 13-44.

Zekri S., Laajimi A 1995. « *Analyse comparative d'instruments de lutte contre la pollution* ». In. revue *Cahiers Option Méditerranéennes* n° 9 pp 61-73.

Zoller I. 1994. « *Non-ionic surfactants in reused water : are activated sludge/soil aquifer treatments sufficient?* ». In. revue *Wat. Res.* 28 (7), pp : 1625-1629.

Ouvrages

Alban T, 2000. « *Économétrie des variables qualitatives* ». Dunod, Paris.

Benouniche M., Imache A., Kuper M., 2010. « *Les locataires : des acteurs à part entière et entièrement à part* ». La Mitidja 20 ans après. Réalités agricoles aux portes d'Alger. Edition Alfa, pp 88-94.

Amigues J.P., Touzan C., 1990 « *De la théorie économique des effets extrêmes à la maîtrise du progrès en agriculture : le cas de la fumure azotée par les engrais de synthèse* » ouvrage « *nitrate-Agriculture-eau* ». Ed. R. Calvet, pp 573

Bodiguel M., (1990). « *Produire et préserver l'environnement: quelles réglementations pour l'agriculture européenne?* ». Editions L'Harmattan.

Bontems P et Rotillon G., 2003 « *L'économie de l'environnement* ». Ed la découverte, Paris. P. 115/

Pigou A.C, 1920. « *The Economics of welfare* », fourth edition, London: Macmillan

Simon J.C. (1999). « *La pollution nitrique des eaux* ». In *L'eau : usage et polluants*, Grosclaude G (cord.), INRA Editions, 95-115

Sebillotte M., Meynard J.M., 1990. « *Systèmes de culture, systèmes d'élevage et pollutions Azotées* ». Nitrates, Agriculture, Eau, R Calvet (ed), INRA Editions, Paris, pp 289-312.

Vallée A., 2002. « *Economie de l'environnement* ». Ed. du seuil. P. 344.

Varian HR. 2005 « *Introductions à la micro économie* ». Ed.

Symposium, Séminaires et working paper

Ackerer P., et Carbiener R., Laigle D., Muntzer P., Schenck C., Tremolier M. et Zilliox L., 1990. « *Contamination des eaux souterraines par les nitrates dans la plaine d'Alsace : Incidence de l'agriculture* ». In « *Nitrates, agriculture, eau* », Symposium International INRA, Paris.

Adéoti R, Coulibaly O, et Tamò M, 2002. « *Facteurs affectant l'adoption des nouvelles technologies du niébé *Vigna unguiculata* en Afrique de l'Ouest* ». Bulletin de la Recherche Agronomique du Bénin. Numéro 36.

Badraoui M., Souadi B., et Ferhat A., 1998. « *Variation de la qualité des sols : une base pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation au pivot au Maroc* ». Etude et gestion des sols, 5-4 pp 227-234.

Badraoui M., Agbani M., et Aoudi B., 2000. « *Evolution de la qualité des sols sous mise en valeur intensive au Maroc* ». Séminaire 'intensification agricole et qualité des sols et des eaux' Rabat, 2-3 Novembre.

Bel F., Lacroix A., Mollard A., 1998. « *Les programmes de réduction des pollutions diffuses de l'eau entre équité et efficacité* ». Working paper n° 98 -03. BLM-AFSE Toulouse 12-05.

Ben-Salem H., Zaibet L., Ben-Hammouda M., 2006. « *Perspectives de l'adoption du semis direct en Tunisie. Une approche économique* ». In Arrue Ugarte J.L. (ed.), Cantero Martínez C. (ed.). Troisièmes rencontres méditerranéennes du semis direct : CIHEAM-IAMZ, 69-75.

Berdai H., Souidi B. et Bellouti A., 2004. « *Contribution à l'étude de la pollution nitrique des eaux souterraines en zones irriguées : cas de Tadla* ». Actes du séminaire modernisation de l'agriculture irriguée Rabat, du 19 au 23 avril.

Cherkaoui FZ., El Iamani A., El Mansouri L., 2004. « *Développement et pratique de la fertigation dans le périmètre Irrigué du Tadla* » IPI régional workshop on Potassium and fertigation development in west Asia and North Africa, Rabat, Morocco, 24-28 Nov.

Duval M., Machet JM., 2008. « *Le conseil de fertilisation azotée à la parcelle : validation d'un nouveau logiciel de fertilisation : azofert* » In 71 IIRB Congress- du 13-14 Février Brucells (B).

Flichman G., Jacquet F., 2000. « *Le couplage des modèles agronomiques (Bio-techniques) et économique, Acquis et perspectives* ». Séminaires en économie de la production. Département économie et sociologie rurales- INRA 28 et 29 Novembre.

Gioda A., Merlo B., Simon., J Jamet P., 1992. « *Effets de l'agriculture sur l'approvisionnement en eau* » Brazilian : European community International symposium on agriculture and the environment. Berlo horizontal. May 3-6.

Gosse G., Merillot JM., 1996 « *Bilans environnementaux des cultures* » *Fertilisation azotée des cultures annuelles de plein champ dans Lemaire* ». G., Nicolordot B, Ed Maitrise de l'azote dans les agrosystemes. Ed INRA (Les colloques n° 83).

Gulik TWV., Tam SP., 2006. « *L'irrigation fertilisante en colombie britannique : pratiques et tendances* ». Colloque sur l'irrigation, eau, source de qualité et de rendement. Le vendredi 10 février, Hôtel Mortagne, Boucherville.

Hartani T, 2004. « *La réutilisation des eaux usées en irrigation : cas de la Mitidja* ». Actes du séminaire modernisation de l'agriculture irriguée, Rabat, 19-27 juin.

Imache A, Legoulven P, Bouarfa S, Chabaca M, 2007. « *Evolutions de la demande en eau agricole dans la plaine irriguée de la Mitidja, Algérie. Economies d'eau en systèmes irrigués au Maghreb* ». Actes du troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul, Tunisie, 4-7. juin. http://hal.cirad.fr/docs/00/19/45/73/PDF/12_Article_Imache_et_al.pdf

Jolankai G., 2003. « *Impact de l'agriculture sur les ressources en eau et les voies de transfert par l'eau dans l'environnement* ».

Koundouri P., Naug C., Tzouvelkas V., 2009. « *The Effect of Production Uncertainty and Information Dissemination on the Diffusion Of Irrigation Technologies.* ». Working Papers 09.06.282, LERNA, University of Toulouse. http://neeo.univ-tlse1.fr/2471/1/wp_env_32_2009.pdf

Lévesque L., 1982. « *Elimination des nitrates des eaux potables* ». Mise à jour de l'étude de synthèse AFEE, pp.266

Lounis A., Hartani T., Aidaoui A., et Sellam F., 2010. « *Qualité des eaux souterraines dans la Mitidja : enjeux liés à l'intensification agricole cas du bassin versant de Sidi rached* ». Actes Proceeding ground water. Conférence sur la gestion des ressources en eau souterraine. Orléons- France 14-16 mars.

Machet J.M., Laurent F., Chapot J.Y., Dore T., Dulout A., 1997. « *Maîtrise de l'azote dans les intercultures et les jachères* ». In maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes, G Lemaire, B Nicolardot Eds., série Les Colloques de l'INRA, INRA-Editions, Paris, pp. 271-288.

Ouahiba H et Reggabi M, 2008 « *Impact des activités humaines sur la qualité (Nitrates) des eaux souterraines de la région de la Mitidja* ». 33 èmes journée scientifique du Gfhn- impact de l'usage du sol sur les ressources en eau souterraine, 19-20 novembre 2008

Richafort L., 2009. « *Estimation des choix technologiques pour l'irrigation de la canne à sucre à l'île de la Réunion* ». 3èmes journées de recherches en sciences sociales INRA SFER CIRAD 09, 10 et 11 décembre-Montpellier, France.

Soudi B., Rahoui M., Chiang C., Badraoui M., Abousalah A., 2000 « *Éléments de surveillance de la qualité des eaux et des sols les périmètres irrigués* ». Séminaire sur l'intensification agricole et qualité des sols et des eaux, Rabat, 2-3 Nov

Zarafi AM, Abasse AT, Bokar M, Niang A, et Traore CO, 2002. « *Analyse de l'adoption de la régénération naturelle assistée dans la région du Maradi au Niger* ». Actes du deuxième atelier régional sur les aspects socio-économiques de l'agroforesterie au Sahel. Bamako 4-6 Mars.

Rapport

Amigues JP., Bontems Ch., et Thomas A., 1998. « *Pollution diffuse et ressources renouvelables* » *Microéconomie de l'environnement* ». Rapport de contrat, ERNA-INRA Unité ESR Toulouse.

Beaudoin N., Constantin J, Barataud F., Burel E., Foissy D., Aubrion G., Mary. 2006. « *Impact à long terme de changement de pratiques culturales sur le lessivage du nitrate* ». PIREN-Seine. Phase V – Rapport de synthèse 2007-2010.

Comiffer 2011. « *Calcul de la fertilisation azotée* ». *Guide méthodologique pour l'établissement des prescriptions locales* ». « Cultures annuelles et prairies ». Groupe azote

Comifer, 2002. « *Lessivage des nitrates en systèmes de cultures annuelles. Diagnostic du risque et proposition de la gestion de l'interculture* ». Groupe Azote

De Beir J., Deschanet E., Fodha M., 2003. « *Les politiques environnementales Française : une Analyse économique de la répartition de ses instruments du niveau global au niveau local* ». Document de recherche EPEE. Centre des études des politiques économiques de l'université d'Evry.

FAO 2012. « *Produire plus avec moins* ». Guide à l'intervention des décideurs sur l'intensification durable de l'agriculture paysanne.

FAO 2005, « *Utilisation des engrais par culture en Algérie* » service de la gestion des terres et de la nutrition des plantes. Division de la mise en valeur des terres et des eaux, Rome.

Ferragu F., Tron I., Bompays S., 2010. « *Pesticides et santé état des connaissances sur les effets chroniques* ». Rapport : Pesticides et santé : état des connaissances sur les effets chroniques 2009-2010.

[http://www.observatoirepesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/309774557732301436398349489670/ORS Bretagne PESTICIDES ET SANTE 2009.pdf](http://www.observatoirepesticides.gouv.fr/upload/bibliotheque/309774557732301436398349489670/ORS_Bretagne_PESTICIDES_ET_SANTE_2009.pdf)

Idrissi I., 2006 « *Nitrates et nitrites polluants qui menacent la santé et l'environnement* » Fiche technologie de laboratoire N°1 technolabo.ma/TL1-2.pdf

INSID, 2006. « *Note sur l'état du potentiel productif agricole* »

Lacroix A., Beaudoin N., 2003. « *Désintensification et préservation des ressources naturelles* ». Les Dossiers de l'environnement de l'INRA n°24, Paris,

Mignolet C. Scotte C. Benois M, 2008 « *Modélisation de l'organisation spatiale des systèmes agricoles et de son évolution dans des démarches d'appui au développement* ». Programme Piren-sein : organisation spatiale des systèmes Agricoles.

OCDE 2007 « *Politiques de l'environnement : quelles combinaisons d'instruments* ».

OCDE, 2006 « *Economie politique et taxes liées à l'environnement* ».

OCDE 2003. « *Les approches volontaires dans les politiques de l'environnement : efficacité et combinaison avec d'autres instruments d'intervention, propose une évaluation détaillée de l'utilisation des approches volontaires* »

OCDE, 2001. « *Développement durable : les grandes questions* »

OCDE, 1975. « *Le principe pollueur- pollueur. Définition, analyse et mise en œuvre, Paris* ».

PNUD, 2009. « *Problématique du secteur de l'eau et impacts liés au climat en Algérie* ». Rapport interne119. [http://www.undpcc.org/docs/National%20issues%20papers/Water%20\(adaptation\)/Algerie_Rapport_national_eau_adaptation.pdf](http://www.undpcc.org/docs/National%20issues%20papers/Water%20(adaptation)/Algerie_Rapport_national_eau_adaptation.pdf)

PNAE-DD, 2002 : siteresources.worldbank.org/EXTMETAP/.../COED-AlgeriaCR-FR.pdf

Rapport Ministère de l'environnement 2004. « *Analyse de durabilité dans le cadre du pac « Zone côtière algéroise* » (Algérie) Rapport 5 Atelier, Alger, 5 et 6 Décembre.
www.planbleu.org/publications/pac_alger_atelier5.pdf

Ramon S. Marc B., 1998 « *L'évolution de la nature des cultures en lorraine et Alsace : une menace pour les nappes* ». Courrier de l'environnement n° 33, avril 1998.

Tron I., Piquet O., Cohuets S., 2001. « *Effets chroniques des pesticides sur la santé : Etat actuel des connaissances* ». Observatoire régional de santé de Bretagne.
http://www.observatoirepesticides.fr/upload/bibliotheque/771429144835921363383833009925/orsb_janv_2001.pdf

Justes E., Beaudoin N., Bertuzzi P., Charles R., Constantin J., Dürr C., Hermon C., Joannon A., Le Bas C., Mary B., Mignolet C., Montfort F., Ruiz L., Sarthou J.P., Souchère V., Tournebize J., Savini I., Réchauchère O., 2012. « *Réduire les fuites de nitrate au moyen de cultures intermédiaires : conséquences sur les bilans d'eau et d'azote, autres services écosystémiques* ». Synthèse du rapport d'étude, INRA (France), 60 p.

Thèse

Bougherara H., 2010. « *La dénitrification par l'utilisation d'une culture mixte* ». thèse de doctorat en chimie de l'environnement . Université de Mantouri Constantine. P 148

Baali F., 2007 « *Etude hydraulique, hydrochimique de la région Kartique de chéria N-E Algérien* ». Magistère université de Annaba Algérie, 100p

Belhouchette H., 2004. « *Evaluation de la durabilité de successions culturales à l'échelle d'un périmètre irrigué en Tunisie : Utilisation conjointe d'un modèle de culture (CropSyst), d'un SIG et d'un modèle bio-économique* ». Thèse de doctorat en science du sol, ENSAM, 155 p.

Boudjelal AM., « *Détermination des besoins en eau des cultures à l'aide de logiciel Cropxat 4.3 dans la wilaya de Tipaza* ». Mémoire d'ingénieur, INA d'Alger.

Bouhrara D., 2003 « *L'ecolabellisation : un instrument de préservation de l'environnement par le consommateur ?* ». Thèse de doctorat. Université de Bourgogne.

Bounab S., 2009 « *Détermination des volumes nets délivrés aux cultures irriguées dans quelques exploitations de Metidja ouest* ». Mémoire d'ingénieur d'état en agronomie, ENSA, Alger.

Carmona G., 2005. « *Modèles de simulation de l'agriculture d'un bassin versant, application au bassin Aveyron- lèvre* ». In série master of science n ° 77.

Glachant M., 2002. « *Les instruments de politique environnementale en matière de contrôle de la pollution* ». Cours de microéconomie de l'environnement », Ecole des mines de Paris.

Godard C., 2005. « *Modélisation de la réponse à l'azote du rendement des grandes cultures et intégration dans un modèle économique d'offre agricole à l'échelle européenne* ». application à l'évaluation des impacts du changement climatique. Thèse de doctorat' Institut national Agronomique Paris GRIGNON. P278.

Guillaum J., 2008. « *Influence des activités agricoles sur la pollution nitrique des eaux souterraines. Analyse par modélisation des impacts des systèmes de grande culture sur les fuites de nitrate dans les plaines alluviales* ». Thèse de doctorat, Toulouse III, 229 pages

Hadjoudj Ouahiba 2008. « *Pollution des nappes aquifères de la Mitidja par les nitrates* ». Thèse de doctorat de l'Université d'Alger « Benyoucef BENKHEDDA. p.290.

Leblanc R. 2010. « *Le groupe de travail sur l'écoconditionnalité dans le secteur agricole au Québec : une analyse des résultats dans le cadre d'une théorie de la gouvernance* » Mémoire de formation en environnement, université de sherbrook.

Meklati A., 2009. « *La mise en place d'un plan d'intervention en cas de sécheresse pour la wilaya d'Alger* ». Mémoire de Magister, Université m'hamed Bougara Boumerdes.

Henneb M., 2009. « *Estimation de l'évapotranspiration des cultures à l'échelle de bassin de Sidi Rached, approche par modélisation du bilan hydrique* ». Mémoire d'ingénieur, ENSA, p 65

Sérès C. 2003 « *Approche cout-efficacité des politiques agri environnementales. Impact des critères d'éligibilité des exploitations agricoles* ». Thèse de doctorat de l'université de Bourdeau VI, 306 pages

Imache A., 2008. « *Contribution de la demande en eau Agricole au niveau régional en intégrant le comportement des agriculteurs* ». Thèse de doctorat, Institut des sciences et industries du vivant et de l'environnement (Agro Paris Tech). <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00370132/fr/>

Beaudoin N., 2006. « *Caractérisation expérimentale et modélisation des effets des pratiques culturales sur la pollution nitrique d'un aquifère en zone de grande culture* ». Thèse de doctorat de l'INAPG dans la discipline « agronomie et environnement »

Compte rendu :

Berrouard A., Giroux M., et Blackburn M., 2001. « *Effets de différentes cultures et modes de fertilisation sur la teneur en nitrates dans les sols en fin de culture et dans les eaux de drainage souterraine à l'automne* ». Compte rendu de recherche en agroenvironnement. IRDA, volume 12, n° 2 (Décembre). Pp 63-118.

Cochard F., Rozan A., Barbier R., 2008. « *Taxe ambiante : un outil adopté à la lutte contre les coulées de boue ? une étude expérimentale.*

Cours

Baschet JF., 2009 « *Gestion de l'azote* ». Fiche –variable. Agriculture –Energie.

Beaudoin N., Tournebize J., Ruiz L., Constantin J., et Justes E., 2012. « *Nitrates et eau en période d'interculture* » ? chapitre 4 : réduire les fuites de nitrates au moyen de cultures intermédiaires.

Bréchet Th, 2004 « *Cours environnement et entreprise* » année 2003-2004. Chaire Lhoist Berghmans.

DE Beir J., Deschanet E., Fodha M., 2003. « *La politique environnementale française : une analyse économique de la répartition de ses instruments du niveau global au niveau local* » document de recherche EPEE , université d'Evry

Glachant M., 2004. « *Les instruments de politique environnementale* ». Polycopié du cours de microéconomie de l'environnement II, DEA économie de l'environnement et des ressources naturelles.

Lévêque F., 2000. « *La réglementation des externalités* ». Cours à ' Ecole thématique sur les règles publiques » organisée par l'IEPE – Grenoble. Juillet.

Questionnaire d'enquête : Intensification Agricole et environnement

Questionnaire n° :

Date :

Nom :

Prénom :

Lieu dit :

I) Identification de l'exploitation agricole et des systèmes de production :

A) Caractéristiques de l'exploitant et de sa famille :

Q1. Quel est votre âge ? Q2. Sexe : Masculin Féminin

Q3. Êtes-vous le (la) chef d'exploitation ? Oui Non

Si oui, date de l'installation et d'exploitation de cette ferme:

Q4. Quel est votre niveau d'instruction ?

1. Analphabète
2. *Ecole coranique ou* Niveau primaire
3. *Niveau collègue*
3. Niveau bac / secondaire
4. Niveau supérieur

Q5. Langue (s) lue et écrite (s) :

1. Arabe Oui Non
2. Français Oui Non
3. Autre (préciser) Oui Non

Q6. Quelle est votre formation agricole ?

1. Sans formation
2. Niveau technicien
3. Niveau ingénieur
4. Autres, préciser :
5. NSP 6. NSPP

Q8. Exercez vous une autre activité professionnelle en dehors de l'exploitation ?

Oui Non NSP

Si oui,

1. Artisans, commerçants, chefs d'entreprise
2. Cadres et professions intellectuelles supérieures
3. Employés
4. Ouvriers
5. Journalier

6. Autres, précisé :

Q9. Vous résidez ? Où se trouve votre habitation ? _____

Q10. Quel est le statut de l'exploitation ?

1. Individuelle
2. Associative avec familiaux (parents, frères et/ou sœurs)
3. Associative avec non familiaux (au moins 1 non familial)
4. EAC partagée
5. EAC non partagée
6. EAI
7. Autres, préciser :
5. NSP 6. NSPP

Q11. Combien de personnes du ménage vivent sur l'exploitation ?

Q12. Combien de personnes travaillent dans l'exploitation ?

1. Membre(s) du ménage à temps plein :dont :hommes.....femmes
2. Membre (s) de la famille à temps partiel :.....dont :hommes.....femmes
3. Associé(s) autre que familiaux :
4. Salariés à temps pleindont :hommes.....femmes
5. Saisonniers :dont :hommes.....femmes
7. Autres, préciser : :

Q13. Combien de personnes membres du ménage ont une activité professionnelle hors exploitation ?

1. A temps plein.....dont : hommesfemmes
2. A temps partiel.....dont :hommes.....femmes

B) Caractéristiques de l'exploitation :

- Foncier :

Q14. Quelle est la superficie utile totale de l'exploitation ?hectare(s).

Superficie en propriété personnelle :ha

Superficie indiviseha

Superficie en fermage (location/métayage) :ha

Superficie en autres statuts :ha

Q15. Quelle est la superficie totale des terres irrigables ?..... ha irriguées en 2008ha

Q16. Combien de parcelles y- a-il dans votre exploitation ? Nombre.....

Q17. Avez-vous un problème de drainage ? Oui Non

Q18. Existe-t-il un réseau de drainage

- Sur l'exploitation Oui Non
- Sur le périmètre Oui Non

Si OUI, est-il bien entretenu Oui Non

Système d'irrigation :

Q19. Utilisez-vous les équipements / ouvrages hydrauliques suivants :

- | | | | | |
|------------------------------------------------------|------------------------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| <input type="checkbox"/> 1. Puits | en individuel | <input type="checkbox"/> | en collectif | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> 2. Forage | en individuel | <input type="checkbox"/> | en collectif | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> 3. Moto-Pompe | en individuel | <input type="checkbox"/> | en collectif | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> 5. Périmètre irrigué | en individuel | <input type="checkbox"/> | en collectif | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> 7. Bassin d'accumulation | en individuel | <input type="checkbox"/> | en collectif | <input type="checkbox"/> |
| <input type="checkbox"/> 8. Autres, préciser : | en individuel | <input type="checkbox"/> | en collectif | <input type="checkbox"/> |
| | <input type="checkbox"/> NSP | | <input type="checkbox"/> NSPP | |

Q20. Utilisez-vous pour ces équipements ?

- | | | |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Le gasoil / diesel | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 2. L'énergie électrique avec armoire | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 4. Système automatisé | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 5. Autres, préciser : | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

Q21. Quelle est l'origine de l'eau que vous utilisez pour l'irrigation ?

- | | | |
|-----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Nappe phréatique | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 2. Nappe profonde | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 3. Rivière / oued | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 4. Barrage | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 5. Autres, préciser : | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

NSP

NSPP

Q22. Quel(s) type(s) de technique d'irrigation utilisez-vous ?

1. Gravitaire ou de surface (à la raie, gaines, ...) Oui Non Ha
Depuis :....

2. Aspersions Oui Non Ha
Depuis :....

3. Micro-irrigation (Goutte à goutte, diffuseurs...) Oui Non. Ha
Depuis.....

Q23. Quels autres usages avez-vous de l'eau d'irrigation ?

1. La consommation humaine Oui Non

2. La consommation animale Oui Non

3. Pratique de lessivage de sol (désalinisation des sols) Oui Non

4. Arroser votre jardin potager Oui Non

5. Des usages de loisirs et domestiques Oui Non

6. Autres. Précisez : Oui Non

NSP

NSPP

Q24 : Avez-vous un système de drainage dans votre exploitation ? Oui Non

Si oui, quel type de drain ?

1. Superficiel

2. Enterre

Si non, pourquoi ?.....

Q25. Avez-vous reçu des subventions ou des aides spécifiques depuis 2000 ?

1. Pour les bâtiments Oui Non

2. Pour les équipements agricoles Oui Non

3. Pour les ouvrages hydrauliques (puit, forage, bassin...) Oui Non

4. Pour les équipements d'irrigation (goutte à goutte, aspersion,) Oui Non

5. Pour le Cheptel vif (vaches, brebis, volailles,...) Oui Non

6. Pour travail du sol

7. Engrais

7. Autres, préciser : Oui Non

NSP

NSPP

I) Manifestation et caractérisation du risque

1- Aspect quantitatif

Q26. Votre exploitation manque-t-elle d'eau chaque année? : Oui Non

S OUI, est-ce dû à :

1. Manque d'eau dans le réseau alimenté par le barrage Oui Non
2. Diminution du niveau des nappes (puits / forage) Oui Non
3. Mauvais état des réseaux de distribution et canaux (fuites) Oui Non
4. Insuffisance d'équipement sur mon exploitation Oui Non
5. Autre, Précisez : Oui Non

NSP

NSPP

Q27 : Quel type de sol avez-vous :

1. Sablonneux Oui Non
2. Argileux Oui Non
3. Limoneux Oui Non
4. Autre Oui Non

Q28. Votre exploitation est-elle confrontée aux problèmes suivants :

1. Problème de drainage Oui Non
2. Problème de salinisation du sol Oui Non
3. Problème de salinisation de l'eau souterraine Oui Non

Si oui, Pensez vous que ces problèmes ont une répercussion sur :

1. La fertilité du sol Oui Non
2. Les rendements Oui Non
3. Qualité de l'eau Oui Non

Q29. Selon vous, quelles sont les causes de la pollution par les nitrates et la salinisation (ou la mauvaise qualité de l'eau):

1. Apport excessif en engrais Oui Non
2. Système d'irrigation inadéquat Oui Non
3. Type de sol Oui Non

4. Qualité de l'eau d'irrigation Oui Non

5. Absence du système de drainage Oui Non

Q.30. Ces 5 dernières années, les rendements sont-ils en :

1. Augmentation Oui Non Type de culture.....

2. Baisse Oui Non Type de culture.....

3. Stagnation Oui Non

Si réponse 1 : pourquoi

Si oui (réponse 2 et 3), quelles sont les principales raisons ?

1. Manque d'eau Oui Non

2. Qualité de l'eau (salinisation) Oui Non

3. Qualité de l'engrais Oui Non

3. Quantité d'engrais Oui Non

4. Qualité du sol Oui Non

Autres.....

Q31 : Ces 5 dernières années, avez-vous augmenté les quantités d'engrais utilisées ? Oui

Non

Si oui,

pourquoi ?.....

.....
.....

Q32 : Sur quelle parcelle et pour quel type de culture ?.....

	Type de culture	Quantité d'engrais actuelle		Quantité d'avant		Type de système d'irrigation	Type de système de drainage
		Q	Rd	Q	Rd		
Parcelle 1							
Parcelle 2							

Parcelle 3							
------------	--	--	--	--	--	--	--

Si Non, pourquoi ?.....

Selon vous, si vous diminuez les quantités d’engrais ?

- 1. les rendements baissent Oui Non
- 2. la fertilité du sol diminue Oui Non

Q33 : Selon vous, quelle est la quantité minimale d’engrais à utiliser ? et pour quel rendement(préciser la culture ?.....

Q34 : Connaissez vous les quantités maximale d’engrais au-delà les rendements n’augmentent pas ? Oui Non

Q35 : Si oui, quelles sont ces quantités ?

Types de cultures	Type d’engrais	Q d’engrais minimale	Rendement attendu	Q maximale d’engrais	Rendement attendu

Q36. Si on utilise plus d’engrais, pensez- vous que les rendements augmentent ? Oui Non

Q37 : Avez- vous augmenté les doses d’engrais dans vos parcelles ? Oui Non

(Préciser les cultures)

Si oui, Pourquoi ?

- 1. Améliorer les rendements Oui Non
- 2. Garantir un certain rendement Oui Non
- 3. Engrais de mauvaise qualité Oui Non
- 4. Préconiser par les services de vulgarisation Oui Non
- Autre

Q38 : Avez –vous demandé l’avis des vulgarisateurs ou la DSA ? Oui Non

Q39 : Utilisez-vous les mêmes quantités d'engrais pour les différents systèmes d'irrigation ?

Oui Non

Si OUI, pourquoi ?

Q. 40. Savez –vous que l'utilisation d'engrais en quantité élevée cause des dommages sur

- | | | |
|----------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. La fertilité du sol | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| 2. Pollution des eaux souterraines (Nitrate et salinité) | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |
| 3. Autres | Oui <input type="checkbox"/> | Non <input type="checkbox"/> |

Q.41. Connaissez- vous les raisons de la salinisation du sol et de la pollution en nitrate de la nappe phréatique ? Oui Non NSP

Si oui, lesquelles.....

Q42. Pensez-vous que la qualité de l'eau dans votre exploitation est :

- | | |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------|
| 1. Plutôt bonne | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |
| 2. Plutôt satisfaisante | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |
| 3. Plutôt médiocre | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |
| 4. Plutôt mauvaise | <input type="checkbox"/> Oui <input type="checkbox"/> Non |

5. NSP

6.NSPP

43. Parmi les problèmes suivants, quels sont ceux entraînant la dégradation de la qualité de l'eau utilisée sur l'exploitation :

- | | | |
|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 1. Salinisation | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 2. Pollution chimique | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 3. Pollution liée aux eaux usées | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 4. Autres, préciser : | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

NSP

NSPP

Q44. Faites-vous personnellement, vous-même ou avec un technicien, des analyses de la qualité de l'eau sur votre exploitation ?

1. Oui, régulièrement
2. Oui, parfois
3. Oui, exceptionnellement

4. Non, jamais

5. NSP

6.NSPP

Q45. Bénéficiez-vous d'un suivi par un service extérieur (syndicat,...) pour l'analyse de l'eau ? Oui Non NSP NSPP

Q46. Selon vous comment peut-on intervenir le plus efficacement sur la qualité de l'eau ?

1. Par l'utilisation modérée d'engrais et de produits phytosanitaires

2. *Par la mise en place de bandes enherbées*

3. *Par la filtration de l'eau ou le lagunage*

4. C'est difficile voire impossible

5. Autres.....

6. NSP

7.NSPP

Si c'est difficile voire impossible, pourquoi ?

1. Ca coûte trop cher

2. Ce n'est pas utile

3. A mon niveau et seul, je ne peux rien faire

4. Ca ne me concerne pas

5. Autre, précisez.....

6. NSP

7.NSPP

Q47. Selon vous la pratique de l'irrigation peut-elle avoir des répercussions dans les domaines suivants :

3. Sur la qualité de l'eau (pollution/salinisation) Oui Non

4. Sur la santé publique (eau potable) Oui Non

5. Sur la qualité des sols (salinisation/érosion) Oui Non

6. Sur la flore microbienne (prolifération de maladies phytos,...) Oui Non

7. Sur la gestion des déchets (plastique...) Oui Non

8. Autres. Préciser : Oui Non

NSP

NSPP

1. Avez-vous des Pbs d'Approvisionnement en engrais et PPS :

- Qualité Nuls Peu Assez Très importants
- Quantité Nuls Peu Assez Très importants
- Prix Nuls Peu Assez Très importants

NSP

NSPP

Si la qualité est médiocre, comment vous la caractérisez ?

1. Non soluble Oui Non
2. Non efficace Oui Non
3. Autres.....
4. Maîtrise agronomique : Nuls Peu Assez Très important NSP
 NSPP
5. Pertes de productions liées à l'eau :

Sécheresse Nuls Peu Assez Très importants

Inondation ou mauvais drainage Nuls Peu Assez Très importants

Pollution chimique de l'eau Nuls Peu Assez Très importants

Salinisation Nuls Peu Assez Très importants

Systeme de culture

Q50 : Pratiquez-vous de la rotation dans vos systèmes de culture ? Oui Non

(Par parcelle)

1. Parcelle 1
2. Parcelle 2
3. Parcelle 3
4. Parcelle 4

Q51 : Pratiquez-vous des mises en jachères ? Oui Non

Parcelle/ culture	Saison	durée	

Q52. Appliquez-vous des quantités d'engrais en fonction des besoins des différentes cultures?

Oui Non NSP NSPP

Q52bis. : Calendrier d'utilisation des engrais

	Type d'engrais	Date d'utilisation des engrais	Quantité utilisée	Doses à l'ha	Mode d'utilisation	Prix des engrais	Système d'irrigation
Céréale							
Maraîchage							
Arboriculture fruitière							
Fourrage							
Viticulture							
Autre							

Q53 : Si les prix des engrais augmentent, que faites vous ?

1. Réduire les superficies cultivées
2. Réduire les quantités d'engrais à l'hectare
3. Rien faire, je continue à pratiquer les mêmes quantités
4. Autres.

Q54. A quel prix d'engrais, vous réduisez les quantités d'engrais utilisées ?

1. Si les prix d'engrais augmentent de 500Da que faites vous ?.....
2. Si les prix d'engrais augmentent de 1000 Da, que faites vous ?.....
3. Si les prix d'engrais augmentent de 1500 Da, que faites vous ?.....

Si réponse 3,

pourquoi ?.....

Type de produits phytosanitaires, quantités utilisées, mode d'utilisation et prix unitaire

	Date d'utilisation	Type PPS et type de désherbant	Quantités ou dose	Prix /ql/litre	Mode d'utilisation
PPS	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
Désherbants	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
	-	-	-	-	
Autres	-	-	-	-	

Calcul du coût de l'investissement

Investissement en	Date d'achat	Source de financement	Coût de l'invest (CM+Inst)	
Irrigation				
Goutte à goutte				
Aspersion				
Fonçage puit, forage				
Moto pompe, pompe émergée....				
Autres				

Q. Les équipements de l'exploitation

	Nombre	(1.Propriété, 2 location, 3 individuel, 4collectif	Date d'achat Date de construction	Coût d'achat
Tracteur et équipement				
Gros matériels (moissonneuse...				

Camion				
Camionnette				
Bâtiment d'élevage	Capacité			
Bergerie				
Etable				
Poulailler				
Bâtiment de stockage				
Chambre froide				
Bâtiment de transformation				
Autres				

Parcelle n° : Type de culture..... Superficie..... .Système d'irrigation.....Récolte précédente.....

	Date	Tracteur utilisé T à roue=1 T à chenille=2	Matériel tracté Ex : Charrue	Matériels utilisés 1 : propriété 2 : location	Si location		Main d'ouvre			Q semence/plant		Engrais		Traitement	
					Nbr d'heure	Prix/heure	Nbr personne	Nbr jour	Salaire Jour	Q	Prix	Q	prix	Type Quant	Prix
Engrais de fond															
Travail du sol 1. défoncement 2. labour 1 3. labour 2															
Disquage															
Hersage															
Nivelage															
Semis ou Plantation															
Epand engrais 1 Epand engrais 2 Epand engrais 3															
<u>Désherbage</u> 1. mécanique 2 . chimique 3. manuel															

	Date	Tracteur utilisé T à roue=1 T à chenille=2	Matériel tracté	Matériels utilisés 1 : propriété 2 : location	Si location		Main d'œuvre Travail familiale saison :TFS. TFP, TSS, TSP			Q semences/plant		Engrais		Traitement	
					Nbr d'heures	Prix/heure	Nbr personne	Nbr jour	Salaire Jour	Q	Prix	Q	prix	Type Quant	Prix
Traitement1 Traitement 2 Traitement 3 Traitement 4															
Taille															
Greffage															
Palissage															
Travaux de récolte															
Mode d'irrigation Nbr de fois..... Quantité..... Coût.....															
Coût de lubrifiant Coût emballage Coût transport															
Coût du stockage Coût de l'assurance															

Quantités récoltées..... Dont vendues récoltés A quel prix.....

Dont vendues sur pied..... Prix de vente.....dont auto- consommées.....

Deuxième questionnaire

Identification des indicateurs du choix entre les 3 types de systèmes d'irrigation par les agriculteurs algériens. Cas du périmètre de Ahmer el Ain

Q1 : Pratiquez vous du goutte à goutte ? Oui Non

Si oui : pourquoi ?

- | | | |
|----------------------------------|-----|-----|
| 1. Econome en eau | Oui | Non |
| 2. Moins coûteux que l'aspersion | Oui | Non |
| 3. Subventionné | Oui | Non |
| 4. Moins de mains d'œuvre | Oui | Non |
| 5. Rentable économiquement | Oui | Non |
| 6. Moins de mauvaises herbes | Oui | Non |
| 7. Améliore les rendements | Oui | Non |
| 8. Recommander par | Oui | Non |
| 9. Autres..... | | |

Q2 : Pour quel type de cultures :

- | | | |
|------------------------------|-----|-----|
| 1. Maraîchage sous serre | Oui | Non |
| 2. Arboricultures fruitières | Oui | Non |
| 3. La viticulture | Oui | Non |
| 4. Maraîchage sous serre | Oui | Non |
| 5. Autres..... | | |

Q3 : Si non : Quels sont les obstacles pour adopter des techniques d'irrigation économes en eau (G à G)?

- | | | |
|--------------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| 0. Coût élevé des équipements | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 1. Difficulté de se procurer ces équipements | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 2. Aides de l'Etat insuffisantes | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 3. Aides de l'Etat difficiles à obtenir | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |
| 4. Manque de formation sur les techniques d'irrigation | <input type="checkbox"/> Oui | <input type="checkbox"/> Non |

- 5. Absence d'informations et de conseils Oui Non
- 6. Manque de rentabilité des techniques d'irrigation Oui Non
- 7. Systèmes de cultures non adaptés Oui Non
- 8. Ouvrages/Equipements hydrauliques insuffisants ou non adaptés Oui Non
- 9. Autres, préciser : Oui Non

NSP

NSPP

Q4 : Pratiquez vous de l'aspersion ? Oui Non

Si oui : pourquoi ?

- 10. Econome en eau Oui Non
- 11. Moins coûteux que le G à G Oui Non
- 12. Subventionné Oui Non
- 13. Moins de mains d'œuvre Oui Non
- 14. Rentable économiquement Oui Non
- 15. Moins de mauvaises herbes Oui Non
- 16. Améliorer les rendements Oui Non
- 17. Recommander par Oui Non
- 18. Autres.....

Q5 : Pour quel type de cultures :

Q6 : Si non : Quels sont les obstacles pour adopter la technique d'irrigation en aspersion ?

- 0. Coût élevé des équipements Oui Non
- 1. Difficulté de se procurer ces équipements Oui Non
- 2. Aides de l'Etat insuffisantes Oui Non
- 3. Aides de l'Etat difficiles à obtenir Oui Non
- 4. Manque de formation sur les techniques d'irrigation Oui Non
- 5. Absence d'informations et de conseils Oui Non
- 6. Manque de rentabilité des techniques d'irrigation Oui Non
- 7. Systèmes de cultures non adaptés Oui Non

8. Ouvrages/Equipements hydrauliques insuffisants ou non adaptés Oui Non

9. Autres, préciser : Oui Non

NSP

NSPP

Q7 : Pratiquez- vous le gravitaire ? Oui Non

Si oui,

1. Moins coûteux Oui Non

2. Plus rentable Oui Non

3. Moins de main d'ouvre Oui Non

4. Meilleur rendement Oui Non

5. Facile à l'utilisation Oui Non

6. Disponibilité de l'eau Oui Non

7. Plus recommandé Oui Non

8. Autres.....

Q8. Face à un problème de manque d'eau, comment réagissez-vous ?

0. Je diminue la surface irriguée sur l'ensemble de l'exploitation Oui Non

1. J'irrigue seulement les cultures les plus nécessiteuses en eau Oui Non

2. Je diminue la quantité d'eau à l'hectare Oui Non

3. Je diversifie les sources d'eau (puit, forage,...) Oui Non

4. J'adopte des solutions techniques plus économes (technique d'irrigation,
Travail du sol, technique de culture...) Oui Non

5. J'adopte des cultures peu exigeantes en eau Oui Non

6. Je sollicite les organisations professionnelles, Syndicat ou autres Oui Non

7. Je fais appel à des voisins et collègues pour conseil et aide Oui Non

8. J'arrête les cotisations / je ne paie pas mes redevances d'eau Oui Non

9. Autres : Oui Non

NSP

NSPP

Q9. Pour économiser l'eau, quelles solutions utilisez-vous ?

0. Installation de goutte à goutte ou d'aspersion Oui Non

1. Limitation de certaines cultures très consommatrices d'eau Oui Non

3. Ca ne me concerne pas Oui Non

4. Autres, préciser : Oui Non

NSP

NSPP

Q 10. Dans une politique de subvention, pour quel type d'investissement demandez- vous des subventions ? Par ordre

1. Travail du sol
2. Achat des plants
3. Fonçage de puit ou forage
4. Construction de bassin
5. Installation du goutte à goutte
6. Installation de l'aspersion
7. Construction de bâtiment
8. Elevage
9. Autres

Ces 10 dernière années, avez augmentez les quantités d'engrais utilisées ? Oui Non

Si Non, Pourquoi ?

1. non disponible sur le marché
2. Ce n'est pas nécessaire
3. chère
4. mauvaise qualité

Q11. Pourquoi utilisez vous cette quantité d'engrais et non pas une dose sup. ou infe. ?

Q12. Si les prix des engrais augmentent, que faite vous ?

1. vous baissez les quantités d'engrais épandues/ha
2. vous baissez les quantités de produits phytosanitaires
3. Vous réduisez la quantité de semence/ha
4. Vous réduisez la surface cultivée
5. Vous recrutez moins de main d'œuvre
6. remplacer les engrais chimique par les engrais vert
7. autre

Annexe 2

Tableau 2. Evolution des superficies irriguées (ha)

Technique d'irrigation	2000		2005		Progression
Gravitaire	275000	79%	524000	64%	91%
Aspersion	70000	20%	153006	19%	119%
Localisée	5000	1%	147697	18%	2854%
Total	350000	100%	824703	100%	136%

Source : MADR, 2005

Tableau 3. Evolution des superficies installées en Goutte à Goutte

Années	2001	2002	2003	cumulé 2003	2004-2005
Superficie en ha	21793	25092	24707	71592	142867
Nombre d'agriculteurs	6227	7169	7059	20455	40819

Source : Synthèse faite à partir des données du Ministère, 2005

Tableau 4. Résultats des régressions logistiques appliquées sur le périmètre d'Ahmer- El- Ain (Mitidja-Ouest)

	Modèle 1 (avec coûts de l'investissement)				Modèle 2 (avec subvention)			
	B	Ecart-type	P-value	Exp(B)	B	Ecart-type	P-value	Exp(B)
Age	-0,026	0,047	0,584	0,975	-0,011	0,052	0,84	0,99
Niveau d'instruction	0,006	0,498	0,99	0,994	0,499	0,509	0,326	1,647
Taille de l'exploitation	0,079	0,079	0,316	1,082	0,02	0,046	0,659	1,02
Arboriculture	0,623	0,845	0,461	1,865	1,018	0,899	0,257	2,767
Maraîchage sous serre	0,467	1,104	0,672	1,595	0,898	1,571	0,568	2,455
Coût de l'investissement	-2,015	0,778	0,01	0,133	-	-	-	-
Subvention	-	-	-	-	1,466	0,806	0,032	4,334
Subvention difficile à obtenir	-	-	-	-	-4,319	1,309	0,001	0,013
Manque d'ouvrage hydraulique (bassin, station de tête)	-	-	-	-	-2,56	1,059	0,016	0,077
Constant	1,155	3,618	0,75	3,174	0,412	3,549	0,908	1,51
%correctement prédit		77%				87%		
Pseudo R2		0,294				0,54		
-2log de vraisemblance		58,26				43,012		

Tableau 6 : Répartition des superficies irriguées selon la technique d'irrigation et les cultures pratiquées (en ha)

	Ahmer -El -Aïn			Total
	Irrigation localisée	Irrigation Par aspersion	Irrigation gravitaire	
Arboriculture	68,5	0	140	208,5
Vigne	0	0	0	0
Maraîchage	6	102	4	112
Céréales	0	0	0	0
Total cultures irriguées	74,5	102	144	320,5

Source : Résultats d'enquête, 2008-2009

Tableau 7. Adoption du goutte à goutte en rapport a vec le niveau d'instruction des exploitants

Zone d'étude	Périmètre d' Ahmer-El Ain	
	Non	Oui
Niveau d'instruction		
Analphabète	30	2
Ecole coranique	0	0
Niveau primaire	26	4
Niveau moyen	21	10
Niveau secondaire	6	2
Niveau supérieur	0	0
Total	83	19

Source : Résultats d'enquête, 2007, 2008-2009

Annexe 3

ACV environnementale de la tomate sous serre

Tableau 1: calcul des quantités des matières actives des principaux produits phytosanitaires

Produit commercial	Matière active	Utilité	Dose (L/ha ou kg/ha)	Concentration s.a. (g/L ou g/kg)	Nombre de traitements/an	Qté matière active (g/ha)
Ridomil	mancozeb(%64)	fongicide	3,5	2240	6	13440
	Metalaxyl-M(%4)	fongicide	3,5	140	6	2940
Simidol	70% Thriophanate-methyl	fongicide	2,5	1750	5	21875
Vertimec	18g/d'abamectine/l	Insecticide	0,5	9	5	22,5
Mospilan	200g/1kg d'acétamiprid/20%	Insecticide	0,9	180	5	810

Source : Résultats de nos enquêtes, 2011

Tableau 2: Reconversion des énergies en MJ

Opération culturale	Matériel	CONSOMMATION CARBURANT (L/h)	DUREE INTERVENTION (h/ha)	NOMBRE D'UTILISATION	QTE DE DIESEL (kg/ha/an)	ENERGIE CONSUMEE (MJ/ha/an)
travail du sol a	Fiat 80-75+ Charrue	15	5	1	63,0	2822,4
Travail du sol a	Fiat 80-75 +Cover crop	15	2	1	25,2	1129,0
Traitement PPS	Moteur +Pulvrisateur	10	0,1	20	16,8	752,6

Source : Résultats de nos enquêtes, 2011

Tableau 3: Calcul des quantités de NPK utilisées

Produit/15-15-15	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
NH4	5% N	2700,0	135	-	-
NO3	10%N	2700,0	270	-	-
M.A.P (P2O5)	15%	2700,0	-	405	-
Sulfate de potasse(K2O)	15%	2700,0	-	-	405
Total			405	405	405

Source : Résultats de nos enquêtes, 2011

Tableau 4 : Calcul des quantités de l'Urée 46 utilisées

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)
Urée 46	46%N	900	414	-

Source : Résultats de nos enquêtes, 2011

Tableau 5 : Calcul des quantités De NPK utilisées

Produit	Caractéristiques	Qté produit (kg/ha)	UN (kg/ha)	UP (kg/ha)	UK (kg/ha)
Potassium nitrate (NO3)	12-18-18	450	81		
Potassium nitrate (P2O5)	12-18-18	450		54	
Potassium nitrate (K2O)	12-18-18	450			54

Source : Résultats de nos enquêtes, 2011

Tableau 6: Caractéristiques du matériel du travail du sol

Opération culturale	Matériel	Poids (kg)	Durée de vie technique (heures)	Durée d'une intervention (h/ha)	Nombre d'utilisation	Coefficient de réparation	Année(s) d'utilisation	Part de matériel à fabriquer (kg/ha)
travail du sol a	Fiat 80-75	3 000	15 000	6	1	0,74	4 à 25	2,09
travail du sol a	charrue a soc (3socs)	1 000	1 000	4	1	0,54	4 à 25	6,16
Travail du sol a	Fiat 80-75	3 000	15 000	6	1	0,74	4 à 25	2,09
Travail du sol a	Cover-crop	1 500	1 000	3	1	0,54	5 à 25	6,93
Traitement PPS	Pulvérisateur	7	1000	1	30	0,5		0,32

Source : Résultats de nos enquêtes, 2011

Liste des graphes

Figure 1. Situation de la zone d'étude

Figure 2. Occupation du sol dans le bassin de Sidi Rached

Figure 3. les comportements d'azote minéral du sol depuis la récolte

Graphe 4. Répartition mensuelle de la pluviométrie à Amer el Ain, INA, 2009

Graphe 5. Fonction de la production

Graphe 6. Courbe de réponse du rendement à l'azote attendue par l'agronome

Graphe 7. Estimation des rendements par quantité d'engrais 'par agriculteur'

Graphe 8 Rendement par quantité d'engrais/agriculteur pour une serre de poivron

Graphe 9. Rendement par quantité d'engrais/agriculteur pour 1 ha d'agrume (Vielle plantation)

Graphe 10. Evolution des rendements en fonction des doses d'engrais utilisées/ 1 ha de blé

Graphe 11. Evolution des rendements en fonction des doses d'engrais utilisées/ 1ha de pomme de terre

Graphe 12. Evolution des rendements en fonction des doses d'engrais utilisées/Serre de poivron

Graphe 13. Evolution des rendements en fonction des doses d'engrais utilisées / Ha d'agrume

Graphe 14. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales moyennes de 17 agriculteurs

Graphe 15. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales moyennes des 9 agriculteurs pratiquant du poivron sous serre

Graphe 16. Part relative de chaque charge par rapport aux charges totales moyennes des 13 Vieux vergers d'agrume

Graphe 17. Répartition des charges par type d'engrais

Graphe 18. Variation du revenu et CA en fonction de la variation des quantités d'engrais pour 1 ha de PT

Graphe 19. Variation du CA et revenu en fonction des quantités d'engrais/ serre de poivron

Graphe 20. Variation du CA et revenu en fonction des quantités d'engrais pour 1 ha d'agrume

Graphe 21 : Relation théorique entre le niveau de fertilisation par rapport à la dose optimale, les pertes d'azote nitrique et la production de matière sèche, pour cultures annuelles (Simon, 1999)

Graphe 22. Evolution du revenu et du dommage marginal en fonction des quantités d'engrais azotés utilisées /1ha de Pomme de terre

Graphe 23. Variation du revenu et dommage cumulé en Kg de N en fonction de la variation des quantités d'engrais utilisées

Graphe 24. Simulation des rendements et lixiviation des nitrates Apex (Pomme de terre)

Graphe 25. N soluble dans l'eau drainée (culture de pomme de terre)

Graphe 26 : part de la dégradation par phase de production

Graphe 28. Evolution de la consommation d'engrais azoté en Algérie, FAO, 2005

Graphe 29. Evolution de l'approvisionnement en engrais azotés dans la wilaya de Tipaza, en 1000 tonnes

Graphe 30. Evolution de l'approvisionnement par type d'engrais en Algérie, 1000 tonnes, MADR, 2010

Graphe 31 : Evolution de l'approvisionnement par type d'engrais en Algérie

Graphe 32. Evolution des quantités d'engrais utilisées/ ha de blé dur. Coûts des engrais et leurs tendances

Graphe 33. Evolution des quantités d'engrais utilisées/ ha de pomme de terre. Coûts des engrais et leurs tendances

Graphe 34. Evolution des quantités d'engrais utilisées/ 1 serre de poivron. Coûts des engrais et leurs tendances

Graphe 35. Classement des besoins d'irrigation des cultures maraîchères dans la wilaya de Tipaza

Graphe 36. Besoin d'irrigation des arbres fruitiers dans la wilaya de Tipaza (Année normale

Graphe37. Comparaison des quantités d'eau consommées réellement et les doses recommandées /culture

Liste des tableaux

Tableau n°1 : Evolution de la concentration des nitrates des eaux souterraines de la Mitidja

Tableau n°2. La pollution des nappes aquifères de la Mitidja

Tableau n°3: Concentration en nitrates dans les puits et forages de la Mitidja.

Tableau n°4: Minéralisation et évolution des taux de nitrates de quelques puits dans la plaine de la Mitidja

Tableau n°5: concentration des nitrates dans zone de la Mitidja

Tableau n°5 bis: La concentration des nitrates dans certains sites algériens

Tableau n°6: Typologie des taux de nitrates dans les forages les périmètres de Sidi Rached et Ahmeur el Ain

Tableau n°7 : Concentration des nitrates à Ahmer el Ain

Tableau n°8: Analyse tendancielle des teneurs en nitrates des eaux souterraines : teneur moyenne en mg/l

Tableau n°9: Exemples d'effets négatifs produits par l'agriculture

Tableau n°10 : Caractéristiques descriptives des agriculteurs enquêtés dans le périmètre de Ahmer el Ain

Tableau n°11. Occupation du sol dans le bassin de Sidi Rached

Tableau n°12 : Types de rotation et période d'interculture

Tableau n°13 : Fractionnement de l'apport en engrais durant cycle cultural

Tableau n°14: Fractionnement de l'apport en engrais durant la campagne agricole

Tableau n°15: Fractionnement de l'apport en engrais durant la campagne agricole

Tableau n°16 : comparaison entre les doses d'engrais recommandées et réellement pratiquées

Tableau n°17. Estimation des rendements maximaux pour des quantités d'engrais optimales

Tableau n°18: Indicateurs économiques /pomme de terre

Tableau n° 19: Estimation des indicateurs économique pour 1 ha de pomme de terre/par agriculteur

Tableau n°20 : Estimation des indicateurs économique pour 1 serre de poivron/agriculteur

Tableau n°21 : Estimation des quantités de N en excès par culture/ha

Tableau n°22: Résultats des analyses des eaux par exploitation et par type de culture

Tableau n°23 : Résultats des principales catégories d'impact en unité équivalente

Tableau n°24: résultats des principales catégories d'impact en %

Tableau n°25: estimation des coefficients de corrélation de la consommation d'engrais en fonctions des différents variables

Tableau n°26: Variation des quantités demandées en fonction de la variation des prix des engrais (année de référence, 2000)

Tableau n°27. Répartition des superficies irriguées selon les techniques d'irrigation et les cultures pratiquées (en ha)

Tableau n°28: Nombre d'agriculteurs équipés en ouvrages hydrauliques.

Tableau n°29 : perception des agriculteurs de la pollution des eaux par les nitrates

Tableau n°30 : Causes de la pollution selon les agriculteurs

Tableau n°31: Estimation des quantités maximales du 15-15-15 à épandre/1ha de PT pour parvenir à un rendement maximal

Tableau n°32: Estimation des quantités maximales du 15-15-15 à épandre/ serre de poivron et le rendement maximal.

Résumé

L'intensification de l'agriculture en irriguée est prometteuse et parfois indispensable pour assurer la sécurité alimentaire d'une population mondiale fortement croissante, tout en sachant qu'elle porte préjudice à la fois à l'environnement et au développement durable. Les résultats de la recherche agronomique permettent de déceler les facteurs de production qui favorisent la lixiviation des nitrates dans les eaux en prenant en considération les différentes interactions avec le milieu naturel. La rationalité dans l'utilisation des engrais doit faire l'objet d'une recherche expérimentale approfondie, tout en prenant en considération les spécificités pédoclimatiques et hydrologiques de chaque région pour arrêter les besoins réels des plantes en engrais selon le type de sol, de rotation, de la technique culturale et du système d'irrigation et finir par l'élaboration d'un code de bonnes pratiques agricoles, respectueux de l'environnement. Enfin, pour inciter les agriculteurs à adopter ces directives portant sur les techniques de productions rentables économiquement et respectueuses de l'environnement, une harmonisation entre les instruments réglementaires et économiques est recommandée.

Mots Clés : Politique, fertilisation, nitrate, pollution, eau.

Abstract

The intensification of irrigated agriculture is promising and sometimes essential to ensure food security for a strongly growing world population, knowing that harms both the environment and sustainable development. The results of agricultural research allow to detect production factors that promote lixiviation of nitrates in water by taking into account the different interactions with the natural environment. Rationality in the use of fertilizer should be subject to in-depth experimental research, taking into account soil and climatic and hydrological characteristics of each region to stop the real needs of plant fertilizer according to the soil type, rotation, crop technics and an irrigation system and end by establishing a code of good agricultural practices, respectful to the environment. Finally, to encourage farmers to adopt these guidelines on productions techniques economically profitable and respectful to the environment, harmonization between regulatory and economic instruments is recommended.

Keywords: Policies, fertilization, nitrate, pollution, water.

ملخص

تعتبر عملية تكثيف الزراعة المروية وسيلة مبتكرة وأساسية لضمان الأمن الغذائي لسكان العالم الذي يتزايد عددهم كل سنة بشكل كبير. غير أن هذه التقنية، وعلى الرغم من منافعها الكبيرة، فإنها تحمل في طياتها مخاطر جمة على البيئة والتنمية المستدامة. وسمحت لنا الدراسة التي قمنا بها بتحديد عوامل الإنتاج التي تساعد في تسرب النترات في المياه وهذا بالأخذ بعين الاعتبار مختلف التداخلات المرتبطة بالمحيط الطبيعي. وعلى هذا الأساس من المفروض أن تكون العقلانية في استعمال الأسمدة محل بحث تجريبي مستفيض أساسه الخصائص المناخية والمائية المتعلقة بكل منطقة وهذا من أجل تحديد حاجيات كل نبتة من الأسمدة آخذا بعين الاعتبار نوعية الأرض، والدورية، وتقنية الزراعة ونموذج الري المتبع، ولنصل في الأخير إلى

مدونة سلوك فلاحية تحترم البيئة. وفي الأخير، ومن أجل حث الفلاحين على اعتماد هذه السلوكيات الصديقة للبيئة والتي تعتمد على تقنيات الانتاج الوفيرة المردود اقتصادياً والحامية للبيئة، من المحبذ توحيد وتنسيق آليات الضبط القانونية والاقتصادية.

الكلمات المفتاحية: سياسة، تسميد، نترات، مياه، تلوث