



Ecole Nationale d'Agriculture
de Meknès



Ministère de l'Agriculture
et du Développement Rural



Faculté Universitaire des
Sciences Agronomiques
de Gebloux

EQUILIBRE AGRICULTURE-ENVIRONNEMENT: ENJEUX, OUTILS ET PERSPECTIVES DU CONSEIL AGRICOLE

Actes du séminaire
Meknès, 6-7 mai 2002



Editeurs:

*M. FAGROUD, C. DEBOUCHE,
A. DEBBARH & E. GROSJEAN*



Ministère de la
Communauté
française

WALLONIE
BRUXELLES

Vers l'élaboration d'un modèle d'écobilan pour l'évaluation environnementale de l'agriculture au Maroc

Cas du périmètre irrigué du Tadla

*Pr. C. DEBOUCHE*¹ & *L. KRIM*²

1. Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, (c.debouche@fscags.acbe)

*2. Institut des Techniciens Spécialisés en Mécanique Agricole et Équipement Rural de Bouknadel,
Direction de l'Enseignement, de la Recherche et du Développement Maroc
(LHassan_krim@hotmail.com)*

INTRODUCTION

Au Maroc, la problématique environnementale se caractérise essentiellement par une dégradation quantitative et qualitative de la ressource naturelle eau-sol. L'intensification de l'agriculture dans les périmètres irrigués a été marquée par une utilisation excessive des intrants notamment les engrais azotés et une surexploitation des ressources en eau souterraines induisant ainsi une forte pollution des ressources en eaux et une salinisation des sols. Dans le périmètre irrigué du Tadla, zone d'étude de présent travail, le problème est beaucoup plus accentué notamment en termes de pollution azotée des nappes et de salinité des eaux et des sols.

Le présent travail se propose de contribuer à l'évaluation environnementale de l'agriculture irriguée du Maroc dans la zone du Tadla via l'adaptation d'un modèle d'écobilan de l'exploitation agricole wallonne, développé par le Centre d'Evaluation Environnementale de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux, compte tenu des spécificités agro-pédo-climatiques dans le contexte régional. L'objectif est la conception d'un modèle d'écobilan adapté au contexte marocain permettant de quantifier les flux de matières

échangées entre l'exploitation agricole et son environnement et d'analyser les améliorations à apporter pour une meilleure appréhension de l'agri-environnement dans le Tadla. Dans sa première version, EcoTadla prend en compte huit éléments (N, P, K, C, Na, Mg, Na et H₂O) et considère 33 flux.

I. LE MODELE ECOFERME

Parmi toutes les méthodes d'évaluation environnementale, les écobilans occupent une place de choix. Ils présentent, en effet, l'originalité d'analyser les impacts environnementaux d'un produit ou d'un procédé tout au long de son cycle de vie "du berceau jusqu'à la tombe".

Depuis 1995, le Centre d'Evaluation Environnementale de la Faculté Universitaire des Sciences Agronomiques de Gembloux a développé une méthodologie permettant de réaliser l'écobilan de l'exploitation agricole de la wallonie. Le système est l'exploitation agricole alors que les matières sont des éléments simples considérés comme les plus impliqués dans les problématiques environnementales actuelles et futures. Dans sa forme actuelle, le modèle de l'EcoFerme wallon permet de calculer le bilan de 33 flux de matières et d'énergie sur la base des données propres à l'exploitation et de constantes recueillies dans la littérature. Le modèle permet d'effectuer aussi des tests de comparaison entre les résultats de l'exploitation et les normes légales ou conseillées ou à défaut les résultats moyens d'exploitations de même orientation technico-économique. La base de données résultats du modèle renferme actuellement un millier d'exploitations pour qui l'écobilan a été réalisé.

I.1. Les éléments de l'Ecoferme

L'EcoFerme Wallon retient, comme matières, huit éléments simples qui sont:

1. L'azote (N) retenu pour son rôle dans la constitution des matières végétales et animales et pour sa solubilité et son implication directe dans la pollution azotée.
2. Le phosphore (P) retenu pour son rôle complémentaire dans la constitution des matières végétales et animales et pour son influence sur l'eutrophisation des eaux de surface.
3. Le potassium (K) retenu pour les mêmes raisons que le phosphore

4. Le carbone (C) retenu pour son implication dans les rejets du dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane (CH₄) et pour son rôle important dans l'appréciation de l'équilibre de la gestion des matières organiques dans l'exploitation notamment en ce qui concerne la problématique des effluents d'élevage et du recyclage de diverses matières organiques présentes dans les déchets.
5. le calcium (Ca) retenu pour son rôle déterminant dans la nutrition des plantes
6. Le magnésium (Mg) retenu pour les mêmes raisons que le calcium.
7. L'eau (W) retenu pour son rôle dans les processus de production et de transfert.
8. L'énergie (E) retenu en raison des menaces qui pèsent sur la pérennité de l'approvisionnement énergétique de la planète et des perspectives offertes à l'agriculture de produire de la bioénergie.

I.2. Compartiments du système et de son environnement

Le système étudié par le modèle est l'exploitation agricole du territoire de la région wallonne en excluant les exploitations qui auraient des spéculations exceptionnelles. Pour mettre en évidence des flux de matières, l'exploitation et son environnement ont été subdivisés en compartiments auxquels sont affectés des chiffres). Ainsi, l'exploitation agricole est subdivisée en trois compartiments qui sont :

- le sol cultivé à la limite de la profondeur racinaire
- les plantes cultivées
- les animaux

L'environnement de l'exploitation est composé des compartiments suivants:

- les eaux souterraines et le sol profond
- les eaux de surface
- l'atmosphère
- les tiers avec lesquels l'entreprise agricole échange des produits à titre onéreux ou gratuit

Les flux considérés doivent tous passer par l'un des compartiments représentant l'exploitation. Un flux est soit entrant et correspond alors à une importation, soit sortant et correspond alors à une exportation du compartiment. Les variations de stocks des compartiments de l'exploitation sont aussi des flux internes à l'exploitation.

II. LE MODELE ECOTADLA

En vue de concevoir une première version de l'écobilan de la région du Tadla, on s'est proposé de reconstituer les principales modélisations de l'EcoFerme Wallon et de faire tourner le modèle sur des exploitations du Tadla dans lesquelles on a mené des enquêtes et effectué des analyses. Le premier modèle d'écobilan de la région du Tadla que nous avons baptisé "EcoTadla (version 0)" permet le calcul de 33 flux pour 8 éléments simples qui sont : l'eau, le sodium, le calcium, le magnésium, le carbone, l'azote, le phosphore et le potassium. Le modèle permet aussi de faire une analyse des quantités d'eau de percolation et des risques de lessivage des sels.

II.1. Inadéquations de l'Ecoferme Wallon

Avant d'entamer la conception du modèle de l'écobilan dans le contexte régional du Maroc, une réflexion a été menée pour dégager les inadéquations de l'EcoFerme Wallon et qui serviront de base pour une meilleure appréhension de l'écobilan de l'agriculture marocaine.

1. Le contexte pédo-climatique

Le climat de la Wallonie est un climat des zones tempérées avec des modules pluviométriques annuels pouvant atteindre 1400 mm. La région du Tadla se caractérise par un climat aride avec une hauteur des précipitations moyenne annuelle de l'ordre de 350 mm. Cette différence modifiera la demande climatique et par conséquent les flux énergétiques les échanges entre l'atmosphère et les compartiments de l'exploitation agricole. Vu leurs caractéristiques physico-chimiques et l'influence du climat, les sols de la région présentent des processus différents par rapport à ceux rencontrés dans la Wallonie. Il s'agit notamment des processus qui entrent en jeu dans le cycle de l'azote (humification, minéralisation...) et dans le lessivage.

2. La pratique de l'irrigation

Il est certain que la pratique de l'irrigation est la différence principale en termes de pratiques agricoles entre la Wallonie et le Tadla. L'apport d'une eau chargée, considérée pure dans l'EcoFerme Wallon, imposera des modifications sur les éléments simples et les flux à prendre en considération dans le modèle marocain. D'ores et déjà le sodium (Na) et le chlore (Cl) s'imposent vu leur implication directe dans la salinité des eaux d'irrigation du Tadla. Tous les flux

impliquant l'élément " eau " seront modifiés en termes d'éléments simples pris en compte et de leur importance en terme de quantité.

3. Les cultures pratiquées

Une première différence concerne le type des cultures pratiquées. En effet, les cultures prises en considération dans l'EcoFerme Wallon diffèrent en partie de celles rencontrées du Tadla ; d'autres cultures de la zone d'étude doivent être ajoutées, d'autres par contre sont à éliminer. Ainsi par exemple, le seigle, le colza et le lin sont des cultures qu'on trouve en Wallonie et pas au Tadla. Inversement, certaines cultures industrielles comme le coton et le nioba sont rencontrées au Tadla et pas en Wallonie.

Une deuxième différence concerne les rendements relatifs aux cultures rencontrées à la fois dans les deux zones. L'exemple le plus significatif à ce propos nous est donné par la culture de la betterave sucrière pour laquelle le rendement moyen au Tadla est de l'ordre de 45 à 50 t/ha alors qu'il dépasse 65 voire 70 t/ha en Wallonie.

4. Les animaux d'élevage

A ce niveau ci, il y a lieu de tenir compte des considérations suivantes :

- L'absence de l'élevage porcin et la dominance de l'élevage bovin laitier;
- Le pâturage au Tadla se fait en dehors de l'exploitation agricole dans des terres souvent louées, pour la saison, ce qui modifiera le type de stabulation pris en considération et mettra en évidence d'autres composantes de flux ;
- Les classes d'âges prises en compte dans l'EcoFerme Wallon ne sont pas les mêmes que celles considérées dans les recensements effectués par le service d'élevage de l'O.R.M.V.A du Tadla, ce qui impose des modifications quant aux formulaires des fenêtres d'acquisition des données ;
- La différence des races bovines rencontrées dans les deux zones modifiera les taux de croissance et par conséquent les flux concernant la variation du stock.
- La nature des aliments qu'ils soient grossiers ou concentrés impose des modifications quant à leur teneur en éléments simples à prendre en considération;
- Le taux de production des effluents et leur devenir apportera des modifications quant à certains flux sortant du compartiment animal.

5. Les valeurs indicatives et forfaitaires

Toutes les valeurs indicatives et forfaitaires de l'EcoFerme Wallon doivent faire l'objet d'une révision totale compte tenu des caractéristiques agri-environnementales et des pratiques culturales de la région du Tadla

6. Les bonnes pratiques agricoles

Au Tadla, excepté certains résultats de recherche relatifs aux doses raisonnables de certains engrais et aux besoins en eau d'irrigation, il y a pas pour l'instant un guide de bonnes pratiques culturales. Les comparaisons faites par l'EcoFerme Wallon par rapport à des normes standards ou conseillées à ne pas dépasser ne peuvent pas être effectuées sans la proposition d'un "code de bonnes pratiques agri-environnementales au Tadla" en concertation avec les acteurs de gestion de l'agriculture irriguée et les différents chercheurs au Maroc.

II.2. Les éléments de l'EcoTadla

Dans cette première version de l'EcoTadla, excepté l'élément "énergie", nous avons retenu tous les éléments utilisés dans l'EcoFerme Wallon auxquels nous avons ajouté le sodium (Na) pour une première contribution à l'évaluation de la problématique environnementale liée à la salinité des eaux et des sols.

Les éléments ainsi pris en compte dans l'EcoTadla sont :

- L'eau (W) retenue pour son rôle dans les processus de production et de transfert notamment dans les transferts des sels et des nitrates et des problèmes environnementaux qui en découlent.
- Le sodium (Na) pour son implication directe dans la salinisation des eaux et des sols.
- L'azote (N) retenu pour son rôle dans la constitution des matières végétales et animales et pour son implication directe dans la pollution azotée très préoccupante actuellement au Tadla.
- Le phosphore (P) retenu pour son rôle complémentaire dans la constitution des matières végétales et animales, pour son influence sur l'eutrophisation des eaux de surface et pour rôle en tant que fertilisant.
- Le potassium (K) retenu pour les mêmes raisons que le phosphore.
- Le carbone (C) retenu pour son implication dans les rejets du dioxyde de carbone (CO₂) et du méthane (CH₄) et pour son implication dans la synthèse de la matière organique.

- Le calcium (Ca) retenu pour son rôle déterminant dans la nutrition des plantes.
- Le magnésium (Mg) retenu pour les mêmes raisons que le calcium.

II.3. Les hypothèses de l'EcoTadla

Les principales hypothèses sur lesquelles nous avons fondé la conception de ce premier modèle de l'écobilan du Tadla renferment la majorité de celles considérées dans l'EcoFerme Wallon avec des ajustements qui tiennent compte des spécificités de la région du Tadla. Ainsi on peut citer comme hypothèses :

- Le système étudié est l'exploitation agricole en irrigué pour laquelle on calcule l'écobilan pour la période de 12 mois correspondant, pour cette première version de l'EcoTadla, à la campagne agricole 2000/2001.
- L'exploitation agricole est subdivisée en trois compartiments qui sont: "les Cultures", "les Animaux" et "le Sol cultivé" alors que son environnement est subdivisé en quatre compartiments qui sont: "l'Atmosphère", "les Eaux du réseau", "les Eaux de la nappe ou eau souterraine" et les "Tiers".

Ici, on a préféré substituer l'appellation "Eaux de réseau" à "Eaux de surface" du fait que l'eau de surface dans le Tadla est acheminée via le réseau d'irrigation et de drainage.

- Comme pour l'EcoFerme Wallon, on suppose qu'il n'y a pas de transfert du "Sol cultivé" vers les "Tiers". Par conséquent, les transferts de terre lors des livraisons de racines et de tubercules sont ignorés.
- Les flux vers les "Eaux souterraines" ne se font que par l'intermédiaire du "Sol cultivé". Cette hypothèse fait ignorer l'acheminement éventuel d'effluents dans un puits perdu et les apports latéraux.
- Il n'y a pas d'échanges des éléments P, K, Ca, Mg, et Na vers le compartiment "Atmosphère".
- Mis à part les eaux météoriques, les "Eaux du réseau" et les "Eaux souterraines" sont considérées impures et chargées en sels. Les éléments Ca, Mg et Na sont pris en compte dans le présent modèle.
- Le compartiment "Eaux du réseau" représente l'ensemble des eaux distribuées par l'O.R.M.V.A. du Tadla aux exploitations durant les périodes d'irrigation.
- Le compartiment "Eaux souterraines" est composé des eaux souterraines et du sol profond situé en dessous du sol cultivé.

- Bien que l'exploitant (ou le gérant) soit directement responsable des transactions exploitation-tiers et bien que son habitation se trouve généralement sur l'exploitation, il sera considéré comme un tiers.

II.4. Les flux de l'EcoTadla

A partir des hypothèses citées ci-dessus et bien d'autres, les compartiments et flux retenus sont :

- Trois compartiments au niveau de l'exploitation.
- Quatre compartiments dans l'environnement de l'exploitation.
- Un total de 33 flux dont certains sont toujours nuls compte tenu des hypothèses de base. D'autres sont actuellement considérés nuls en raison de la difficulté de disposer de données nécessaires pour les calculer. Ainsi, on distingue :
- 24 flux échangés entre l'exploitation et son environnement et qui sont :

1	Cultures vers Atmosphère	2	Atmosphère vers Cultures
3	Cultures vers Tiers	4	Tiers vers Cultures
5	Cultures vers Eaux du réseau (*)	6	Eaux du réseau vers Cultures (*)
7	Cultures vers Eaux souterraines (*)	8	Eaux souterraines vers Cultures (*)
9	Animaux vers Tiers	10	Tiers vers Animaux
11	Animaux vers Atmosphère	12	Atmosphère vers Animaux
13	Animaux vers Eaux du réseau	14	Eaux du réseau vers Animaux
15	Animaux vers Eaux souterraines (*)	16	Eaux souterraines vers Animaux
17	Sol cultivé vers Tiers (**)	18	Tiers vers Sol cultivé
19	Sol cultivé vers Eaux du réseau	20	Eaux du réseau vers Sol cultivé
21	Sol cultivé vers Eaux souterraines	22	Eaux souterraines vers Sol cultivé
23	Sol cultivé vers Atmosphère	24	Atmosphère vers sol cultivé

- 6 flux échangés entre les compartiments de l'exploitation agricole et qui sont :

1	Cultures vers Animaux	2	Animaux vers Cultures (**)
3	Cultures vers Sol cultivé	4	Sol cultivé vers Cultures
5	Animaux vers Sol cultivé	6	Sol cultivé vers Animaux(**)

(*) *actuellement considéré nul*

(**) *toujours nul*

- 3 flux de variation de stock relatifs aux compartiments de l'exploitation qui sont :

1	Sol cultivé, variation de stock	2	Cultures, variation de stock	3	Animaux, variation de stock
---	---------------------------------	---	------------------------------	---	-----------------------------

II.5. La Modelisation des flux

Un flux est le résultat de plusieurs composantes appelées composantes de flux et peut alors s'écrire sous la forme :

avec :

FX : flux de l'élément X

FXk : kième composante de flux du flux pour l'élément X.

II. 6. Le modèle sels

Pour tenir compte des problèmes de salinité, il était indispensable de ne plus considérer comme dans l'EcoFerme Wallon, les eaux comme étant pures. Les eaux souterraines, les eaux réseaux et les eaux de percolation sont chargées et leur teneur en Na, Ca et Mg est approchée par les modèles établis spécifiquement pour le Tadla par Badraoui et al (2001). Ces modèles relient la conductivité électrique (CE) de l'eau d'irrigation du périmètre du Tadla à sa composition cationique [Ix] selon une équation qui s'écrit sous la forme suivante avec des coefficients de corrélation variant entre 55% et 95% (Ax et Bx sont des constantes de l'équation de l'élément x).

$$(i) CE=0,118\leftrightarrow[Ca]+0,0752\leftrightarrow[Mg]+0,110\leftrightarrow[Na] \quad R^2=95\%$$

$$(ii) CE=0,101\leftrightarrow[Cation] \quad R^2=94\%$$

$$(iii) CE=0,930+0,154\leftrightarrow[Na] \quad R^2=79\%$$

$$(iv) CE=0,593+0,230\leftrightarrow[Mg] \quad R^2=59\%$$

$$(v) CE=0,904+0,345\leftrightarrow[Ca] \quad R^2=55\%$$

La concentration d'un élément Ix exprimée en meq/l en fonction de la conductivité électrique exprimée en dS/m de l'eau est donnée alors par l'équation :

$$(vi) [I_x]=\frac{CE-A_x}{B_x}$$

III. DISCUSSION DU MODELE

III.1. Les flux non programmés.

La définition de l'écobilan, et la problématique environnementale imposent de tenir compte respectivement de l'énergie et de l'ion Chlore. Ces deux éléments n'ont pas été programmés dans cette première version de l'EcoTadla. L'écobilan calculé, dans ce modèle, reste alors incomplet et ne permet pas d'expliquer pertinemment la problématique de la salinité de la région.

III.2. Les données du modèle

A travers l'ensemble des données recueillies auprès de différentes exploitations, il paraît que globalement les agriculteurs connaissent mieux les rendements des productions principales, les apports en fertilisants, les marques des produits phytosanitaires utilisés, le cheptel des animaux produit et/ou échangé et la nature des aliments donnés au bétail.

Les services de l'O.R.M.V.A du Tadla sont en mesure de fournir les données relatives aux quantités d'eau du réseau distribuées et à la qualité des eaux et du sol.

Le reste des données régionales manquantes concerne essentiellement les productions végétales secondaires, la production des effluents, la croissance animale ainsi que les données de certains processus tels que la minéralisation et l'humification.

Le logiciel tel que conçu utilise en remplacement de données manquantes, des grandeurs disponibles dans la bibliographie qui sont souvent inadaptés. Certaines cultures comme le niora ou la verveine ne sont pas prises en compte par le modèle. C'est le cas aussi pour l'âne dans le compartiment "Animaux".

III.3. Les résultats du modèle

Dans le calcul des flux du présent modèle, plusieurs valeurs indicatives et forfaitaires moyennes ont été utilisées. Par conséquent et compte tenu des approximations faites aussi pour certaines données, les résultats obtenus doivent être interprétés avec prudence en tenant compte des hypothèses de base.

L'analyse des résultats obtenus n'est pas très pertinente dans la mesure où les normes "conseillées" par rapport auxquelles les comparaisons ont été faites n'ont pas toutes un caractère régional et ne concernent que certains éléments notamment le sodium, le calcium et le magnésium.

CONCLUSION

L'analyse des inadéquations du modèle de l'EcoFerme Wallon et des spécificités de la problématique environnementale dans le Tadla a permis d'orienter les choix à adopter pour l'élaboration du modèle de l'EcoTadla compte tenu des soucis et des priorités des décideurs.

Les enquêtes menées auprès des agriculteurs de la région ont permis, d'une part, d'identifier le type de données requises par le modèle indisponibles ou difficiles à collecter et de mener, d'autre part, une réflexion sur le protocole expérimental à mettre en place pour déterminer les paramètres qui permettront le calage du modèle.

Les écobilans effectués en utilisant la première version de l'EcoTadla pour quelques agriculteurs de la région ont permis de mettre en évidence l'importance du travail de vulgarisation à mener en termes de sensibilisation agri-environnementale des agriculteurs.

Les quelques premiers résultats ainsi obtenus ont permis de mettre en évidence les imperfections de cette première version de l'EcoTadla et la non pertinence des hypothèses adoptées au départ.