

Évaluation multicritère de l'impact du changement climatique sur le développement durable: Application d'un modèle d'équilibre général calculable (MEGC) au cas du gouvernorat de Médenine, sud-est de la Tunisie.

Mohamed Arbi ABDELADHIM ¹, Mongi SGHAIER ¹, Abdallah AKARI ²

¹Institut des Régions Arides de Médenine

Email : med.arbi.abdeladhim@gmail.com

² Faculté des sciences économiques et de gestion de Tunis

ملخص

يلخص هذا العمل نتائج التقييم المتكامل المسبق لتأثيرات التغير المناخي على التنمية المستدامة على المستوى الجهوي. تتلخص المنهجية المستخدمة في ثلاث مراحل مترابطة: التقييم الأولي ما قبل النمذجة، مرحلة النمذجة وما بعد النمذجة. مكن التقييم الأولي ما قبل النمذجة من تحليل الوضع البيئي والحالة الاقتصادية لولاية مدنين. مكنتنا مرحلة النمذجة، واعتمادا على نموذج التوازن العام، من حساب مجموعة من مؤشرات التنمية المستدامة الاقتصادية والاجتماعية والبيئية. تلخصت مرحلة ما بعد النمذجة في حساب مؤشر الاستدامة المركب. بعد إخضاع مؤشر الاستدامة المركب إلى عدة سيناريوهات، أظهرت النتائج أن استراتيجية التكيف مع التغير المناخي له تأثير إيجابي على التنمية المستدامة بولاية مدنين.

كلمات مفاتيح : التقييم المتكامل، التغير المناخي، نموذج التوازن الاقتصادي العام، التحليل متعدد المعايير، ولاية مدنين

RÉSUMÉ :

Ce travail¹ synthétise les résultats d'une approche intégrée d'évaluation d'impact ex-ante du changement climatique sur le développement durable à l'échelle régionale, cas du gouvernorat de Médenine.

L'approche méthodologique mise en œuvre est déclinée en trois phases d'évaluation interconnectées, phase de pré-modélisation, phase de modélisation et phase de post-modélisation. Le travail a montré que ces approches complexes d'évaluation ex-ante sont adaptables et applicables dans le contexte de la Tunisie. Il a par ailleurs mis en évidence que le calcul d'un indice unique d'impact des politiques environnementales sur la durabilité des régions arides confirme l'hypothèse de gain de durabilité en œuvrant vers une stratégie d'adaptation au changement climatique.

Mots clés : Évaluation intégrée, changement climatique, approche DPSIR, modèle d'équilibre général calculable, analyse multicritère, Gouvernorat de Médenine.

¹ Le cadre analytique et conceptuel de cette approche d'évaluation a été développé dans le cadre du projet LUPIS (Land Use Policies and Sustainable development in Developing Countries) financé par l'Union Européenne 2007-2011.

SUMMARY

This work summarizes results of an integrated ex-ante impact assessment of climate change on sustainable development at the regional level such as Medenine governorate south east of Tunisia. The used methodological approach consists of three interconnected phases, pre-modelling, modelling and post-modelling. Based on computable general equilibrium model outputs, a composite sustainability index has been calculated. Results have shown that strategy for adaptation to climate change has a positive impact on sustainability.

Keywords: Integrated assessment, climate change, DPSIR approach, computable general equilibrium, multi-criteria analysis, Medenine Governorate

1. INTRODUCTION

Le besoin de concevoir des outils d'évaluation des politiques environnementales à la lumière des changements globaux tels que le changement climatique est devenu de nos jours au centre des préoccupations de la communauté scientifique.

Cette prise de conscience internationale traduit bien le besoin pressant pour améliorer l'efficacité des interventions et des politiques publiques moyennant les outils appropriés d'évaluation. Vu la complexité des problèmes de durabilité, les approches d'évaluation unidimensionnelles et fragmentaires mises à la disposition des praticiens ou qui semblaient efficaces dans le passé ont atteint leurs limites (Rotmans and Asselt, 1996). D'où l'intérêt de développer de nouvelles approches et outils intégrés et multisectoriels d'évaluation ex-ante des impacts des politiques de développement durable (Harris, 2002) et d'aide à la décision (Rotmans and Van Asselt 1996). Rotmans et Van Asselt (1996) ont défini l'approche d'évaluation intégrée des politiques de développement

durable comme étant un processus multidisciplinaire et participatif qui vise la combinaison, l'interprétation et l'échange des connaissances provenant de diverses disciplines scientifiques afin de permettre une meilleure compréhension des phénomènes complexes.

A cet égard différents outils et méthodes qui prennent en compte la multi dimensionnalité des problèmes environnementaux à différentes échelles spatio-temporelles ont été mobilisés. Ces méthodes sont grandement complémentaires bien qu'il soit possible qu'elles répondent à des objectifs différents et qu'elles utilisent des instruments et approches différents.

La modélisation intégrée d'évaluation d'impact est une méthode qui combine plusieurs modèles quantitatifs et/ou qualitatifs analysant les différents systèmes et opérant sur différentes échelles dans un cadre analytique cohérent (Parker et *al.*, 2002). Les premières applications de l'approche d'évaluation ex-ante intégrée d'impact

des politiques sur le développement durable, ont montré qu'elle pourrait offrir des réponses à des exigences scientifiques et sociétales.

Outre l'effort de la communauté scientifique pour comprendre et expliquer la complexité de systèmes environnementaux et socioéconomiques, la coordination entre la vision top-down et la vision bottom-up est cruciale dans le processus d'évaluation. En effet, le résultat d'évaluation intégrée d'impact doit être synthétique, opérationnelle et compréhensible.

En se basant sur le cadre analytique et conceptuel du projet LUPIS (Reidsma et al., 2011)², ce travail se présente comme une tentative d'évaluation intégrée des impacts du changement climatique à l'échelle régionale d'une part et d'évaluation ex-ante de la performance de la stratégie d'adaptation dans le gouvernorat de Médenine d'autre part.

Cet article synthétise la démarche méthodologie basée sur l'approche analytique du projet LUPIS qui nous a servi comme outil intégré et multidisciplinaire pour l'évaluation ex-ante de l'impact du changement climatique sur le développement durable à l'échelle régionale. Une panoplie de

méthodes et approches qualitatives et quantitatives seront présentés. A titre illustratif quelques résultats seront discutés.

1.1- Cadre analytique et approche méthodologique

L'approche méthodologique mise en œuvre est déclinée en trois phases d'évaluation interconnectées: phase de pré-modélisation, phase de modélisation et phase de post-modélisation (figure 1). La phase de pré-modélisation vise, en se basant sur l'approche DPSIR (Drivers, Pressure, State, Impact and Responses), à définir la problématique dans la zone d'étude et à spécifier les politiques et stratégies mises en œuvre par l'Etat comme réponse à cette problématique. Elle vise également à délimiter les frontières spatio-temporelles du système d'activité dynamique et interconnecté, à identifier les indicateurs d'impact des politiques de développement et les classer selon les fonctions d'utilisation des terres (FUT) qui couvrent les trois dimensions de développement durable (sociale, économique et environnementale). Enfin cette phase aboutit à identifier et à concevoir les scénarios et les options politiques en concertation et feed-back avec les acteurs de développement et les décideurs politiques.

La phase de modélisation consiste à transformer le processus narratif entrepris dans la phase de pré-modélisation à des outils et approches quantitatifs et/ou qualitatifs capables de quantifier les indicateurs d'impacts. Le choix des outils et approches est dicté

² Le projet LUPIS (2008-2011) (Land Use Policies and Sustainable development in Developing Countries) a tenté de fournir une approche holistique, multi-échelle, multi-disciplinaire et inter-sectorielle, impliquant les décideurs politiques pour évaluer les politiques d'utilisation des terres. L'objectif du projet était d'adapter les outils et méthodes développés en Europe au contexte des pays en développement.

par leur efficacité et applicabilité dans la zone d'étude et par leur simplicité de compréhension par les décideurs politiques.

La phase de post-modélisation consiste à calculer, moyennant la méthode d'analyse multicritère, un indice de

durabilité à l'échelle régionale pour évaluer l'impact de scénarios futurs et la performance de la réponse étatique. Comme l'illustre le figure1, une approche concertée de collecte et de capitalisation de données a été mise en œuvre tout le long de l'élaboration des trois phases de l'approche.

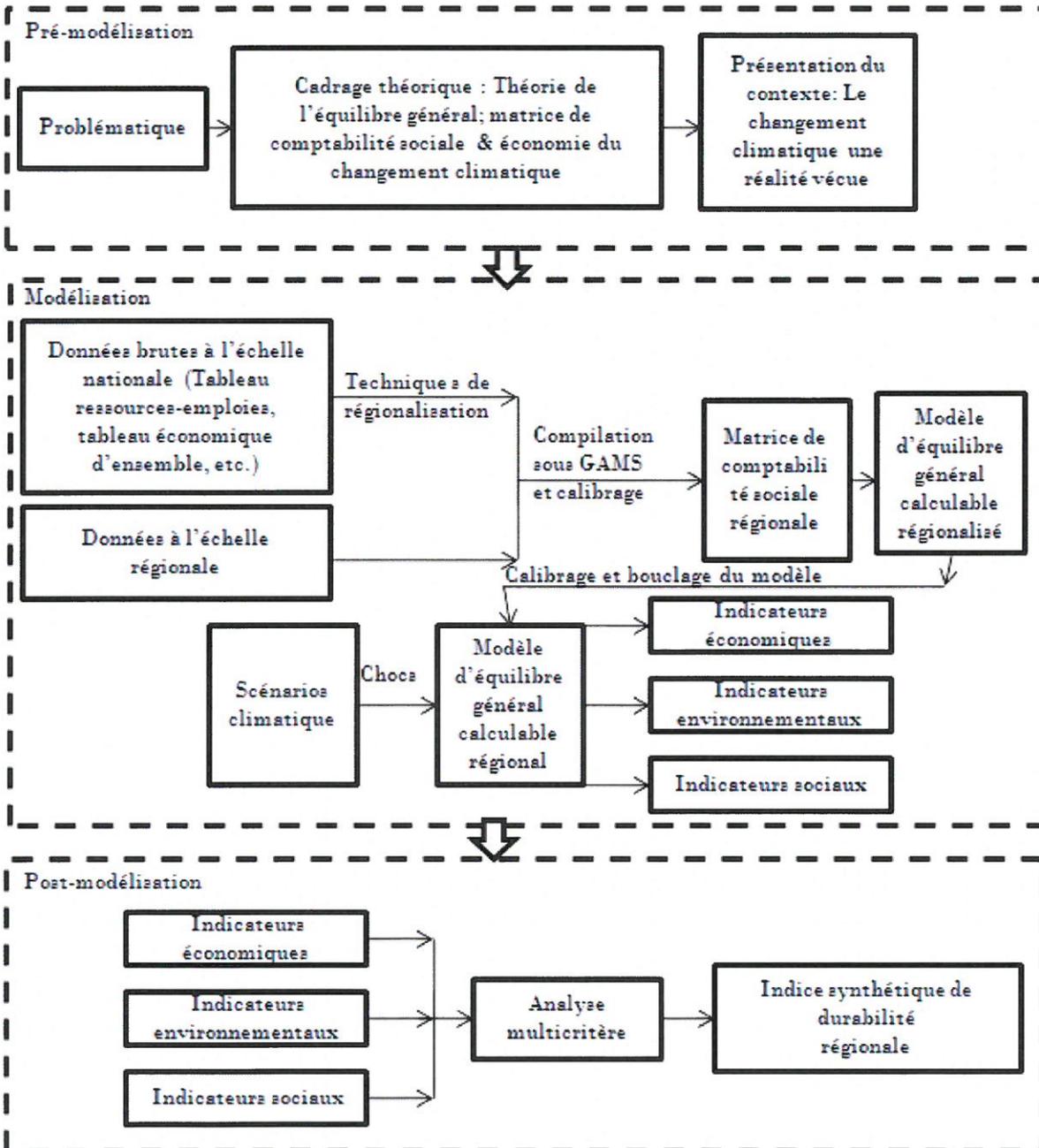


Figure 1. Cadre analytique intégré de l'évaluation d'impact des politiques d'utilisations des terres sur le développement durable (adapté de Reidsma et al., 2011)

Partant du cadre analytique général, on a essayé de l'adapter à notre cas d'étude à savoir le gouvernorat de Médenine situé dans le sud-est de la Tunisie.

1.1.1. Pré-modélisation

Cette phase a abouti à l'identification de la problématique, à la délimitation spatiale de la zone d'étude, à la détermination des forces motrices ainsi que des politiques d'utilisation des terres à évaluer. Elle a permis également d'entreprendre le choix des scénarios et des indicateurs d'impact. A cet égard, l'approche participative FPEIR (Force motrice (F), Pression (P), Impact (I), Etat (E) et Réponse (R)) nous a servi comme outil pour analyser la chaîne causale au sein du système économique régional. L'approche FPEIR (DPSIR, selon la terminologie anglaise) est une adaptation du cadre analytique Pression/Etat/Réponse (PER) développée par l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA). Ce cadre analytique admet que «Les activités humaines exercent des pressions sur l'environnement (Pression) et affectent la qualité et la quantité des ressources naturelles (Etat); la société répond à ces changements en adoptant des politiques environnementales, économiques et sectorielles, en prenant conscience des changements intervenus et en adaptant ses comportements (Réponse)» (Sghaier et al., 2012). Dans notre cas d'étude, le changement climatique représente la force motrice centrale qui affecte le système étudié. Les activités humaines exercent des pressions notamment sur les ressources naturelles. Par conséquent, l'état des compartiments environnementaux (l'air,

l'eau, le sol, les habitats, les espèces) et les conditions socio-économiques de la population locale est affecté. En aval, ces changements de l'état induisent des impacts sur les systèmes de ressources, ainsi que des impacts économiques. En considérant le profil de ces différentes catégories, et particulièrement celui des impacts, une réponse corrective de la société est élaborée et mise en œuvre. Ces réponses, qu'elles soient de natures réglementaires, économiques ou volontaires, influencent à leur tour les configurations du système. Comme réponse à la situation critique, la stratégie d'adaptation au changement climatique a été mise en œuvre (réponse) (Figure3).

Pour identifier les différents impacts du changement climatique sur les trois dimensions du développement durable le concept des Fonction d'Utilisation des Terres (FUT) ou « Land Use Fonction » selon la terminologie anglaise (LUF) a été adopté (Pérez-Soba et al. 2008). Les FUT sont définies comme étant « les biens et services » fournies par les différentes utilisations des terres qui décrivent leurs fonctionnalités économique, social et environnemental dans une échelle bien définie (Pérez-Soba et al. 2008). Dans le cadre de ce travail, neuf (9) fonctions d'utilisation des terres (FUT) réparties selon les trois dimensions du développement durable ont été prises en compte. Pour l'évaluation d'impact des politiques, chaque FUT est représentée par un ensemble d'indicateurs (Tableau1). La représentativité, la signification et la pertinence des indicateurs proposés ont été largement discutés à plusieurs

reprises avec les décideurs politiques et les acteurs de développement (König et *al.*, 2012).

Étant donné que le changement climatique est un phénomène qui touche tous les secteurs de l'économie le Modèle d'Équilibre Général Calculable (MEGC) semble être parmi les outils appropriés pour quantifier leur impact et évaluer la performance de la stratégie d'adaptation. Le MEGC prend en compte les interactions entre les marchés, les substitutions possibles entre les facteurs de production et la réallocation inter temporelle et inter sectorielle des ressources. L'intérêt d'une approche d'équilibre général est qu'elle offre un cadre cohérent pour quantifier les grandeurs économiques qui s'établissent après la convergence du système à un nouveau état d'équilibre suite aux chocs exogènes. Sachant que les MEGC nécessitent une importante source de données qui sont généralement organisées sous forme d'une matrice de comptabilité sociale (MCS), le cadrage théorique de la matrice de comptabilité sociale ainsi que les procédures de construction d'un tel outil ont fait l'objet d'une analyse approfondie.

1.1.2 Modélisation

Le modèle d'équilibre général calculable (MEGC) adopté a présenté fidèlement les différents usages des ressources naturelles (terre, ressources en eau) au sein de l'économie régionale comme étant facteur de production (agriculture, industrie et tourisme) et comme étant bien de consommation (eau potable et terre de construction).

Les technologies de production incorporant les facteurs de production ont été modélisées par une combinaison plus ou moins complexe de fonctions de production CES (Élasticité de Substitution Constante) et de fonctions linéaires dites de Leontief. La fonction d'utilité des consommateurs est de type Stone-Geary. Ces fonctions ont l'avantage de présenter avec réalisme, les comportements des producteurs, des consommateurs et des différentes transactions économiques. La structure méthodologique du MEGC nécessite un grand nombre de paramètres et de grandeurs qu'il faut estimer et/ou collecter.

La mise en œuvre du MEGC a nécessité le passage par une phase de collecte et de calibrage des données sous la forme d'une Matrice de Comptabilité Sociale (MCS). La MCS fait partie de la grande famille des tableaux économiques (TE) et constitue une généralisation du tableau «entrée-sortie» de Leontief. La MCS fournit un cadre cohérent pour présenter les transactions au sein d'une économie, qu'il s'agisse d'un pays, d'une région, ou d'un ensemble de pays ou de régions (Fofana, 2007). La MCS met sous forme matricielle les interrelations entre les comptes des tableaux ressources-emplois et celles des secteurs institutionnelles. La MCS a servi pour présenter les flux en valeur (quantités multipliées par des prix) entre les différents comptes de l'économie, les emplois étant représentés en ligne, les ressources en colonnes. L'équilibre général est réalisé lorsque chacun des totaux en ligne est égal à son homologue en colonne (Abdeladhim et *al.*, 2011).

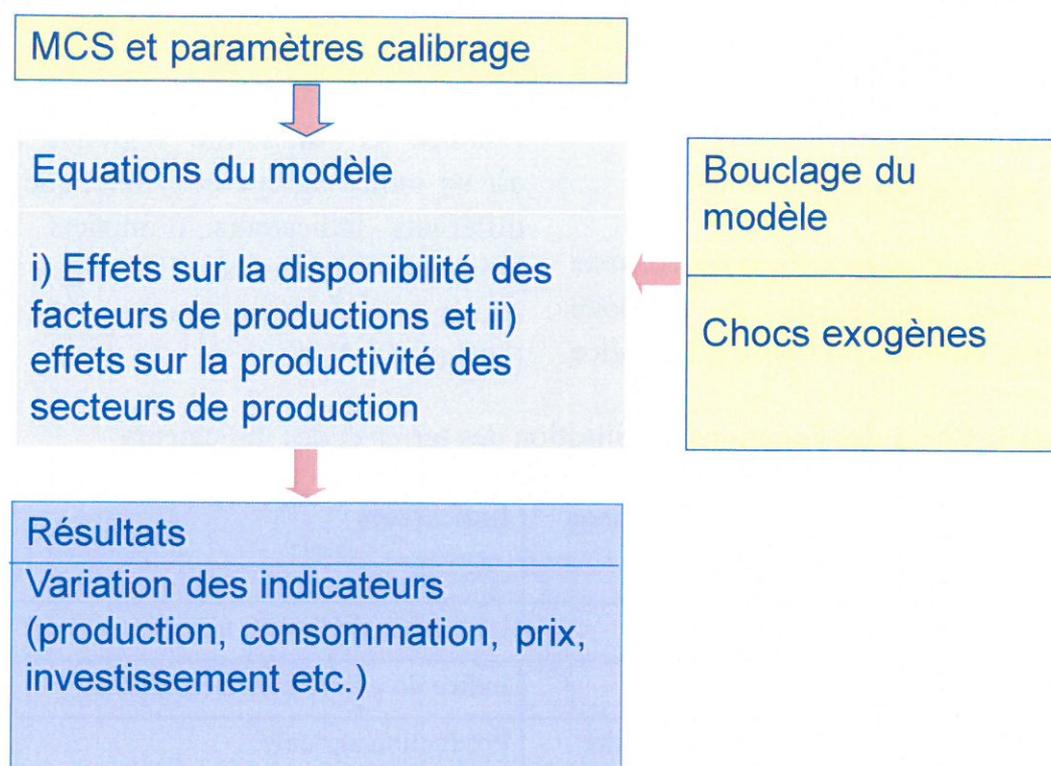


Figure 2. Cadre analytique du modèle d'équilibre général calculable

L'élaboration des scénarios forme la base des évaluations *ex-ante* des impacts des politiques de développement. Cette étape est cruciale, dans la mesure où on doit bien définir les scénarios et options politiques, l'année de base et l'horizon de notre projection. Dans notre cas, les scénarios ont été conçus pour faciliter le processus d'évaluation d'impact du changement climatique et les effets de la stratégie d'adaptation à l'échelle régionale. Pour qu'on soit conforme à l'étude faite par le Ministère de l'Agriculture via le modèle climatique HADCM3 (MARH, 2007), l'horizon 2030 a été fixé comme année de projection, l'année de base 2006 est dictée par la disponibilité des données pour l'élaboration d'une matrice de comptabilité sociale (MCS). Un état de

référence, un scénario « changement climatique » et un scénario « adaptation » ont été évalués dans le cadre de notre travail.

- **État de référence** : il traduit l'état actuel à l'échelle du gouvernorat de Médenine tel que décrit par l'approche FEPIR (disponibilité des ressources naturelles, structure économique etc.)
- **Scenario 1** : il tient compte de l'effet du changement climatique sur les facteurs de production eau et terre agricole conformément aux prévisions de la stratégie nationale d'adaptation du secteur agricole au changement climatique (MARH, 2007)
- **Scénario 2** : il traduit la stratégie d'adaptation à l'échelle

régionale conçue par la stratégie nationale d'adaptation du secteur agricole au changement climatique (MARH, 2007)

1.1.3. Post-Modélisation

La phase de post-modélisation consiste à calculer, moyennant la méthode d'analyse multicritère (AMC), un indice

de durabilité régional (IDR) pour évaluer l'impact du changement climatique et les effets de la stratégie d'adaptation. L'indice de durabilité régional IDR est un indice agrégé et synthétique des différents indicateurs d'impacts. Les indicateurs sont liés aux FUT et aux trois dimensions du développement durable (tableau 1).

Tableau 1. Choix des Fonctions d'utilisation des terres et des indicateurs

| Dimensions | Land Use Fonctions (LUF) | Indicateurs |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| Sociale | Travail | Utilisation du facteur travail |
| | Qualité de vie | Indice de prix à la consommation |
| | Sécurité alimentaire | Production agricole |
| Économique | Industries | Production du secteur industriel |
| | Tourisme | Production du secteur touristique |
| | Agriculture | Production du secteur agricole |
| Environnementale | Ressources abiotiques | Utilisation du facteur eau |
| | Ressources biotiques | Utilisation des terres de parcours |
| | Conservation d'écosystème | Terre naturelle |

Les dimensions, les fonctions d'utilisations des terres (LUFs) et les indicateurs qui composent l'indice synthétique de durabilité régional peuvent être représentés sous forme d'un arbre hiérarchique (figure 3). Ainsi le processus de calcul de l'indice synthétique de développement durable peut être ramené à un problème de décision multicritères ou multi-attributs.

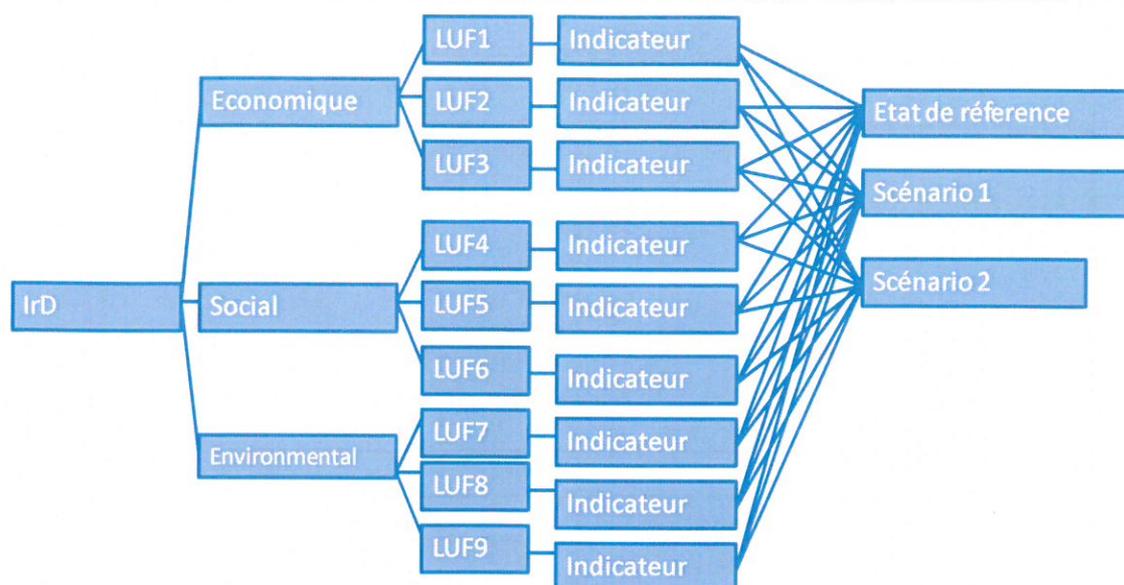


Figure 3. Arbre hiérarchique de l'analyse multicritère

Une analyse de sensibilité qui consiste à varier les pondérations des trois piliers du développement durable a été effectuée, le but est de tester la robustesse des résultats en cas de changement des stratégies politiques pour privilégier l'un ou l'autre des piliers de durabilité.

2. RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

2.1. Impact du changement climatique sur les grandeurs macro-économiques

Ce qui ressort d'une lecture globale des résultats de la première simulation (scénario 1) c'est que le changement climatique aura un impact plus au moins significatif sur les agrégats économiques à l'échelle régionale. On constate une baisse de -2,5% du Produit Intérieur Brut Régional (PIBR) à l'horizon de 2030, une baisse de -1,69% de la production domestique, une baisse de

-1,15% de la consommation privée, une baisse de - 5,39 % de l'investissement, une baisse de - 0,74 % et -0,73% respectivement de l'importation régionale et de l'exportation régionale et une augmentation de l'indice général des prix de 0,14%.

Les résultats du modèle ont montré que les actions d'adaptation qui concernent la réhabilitation des terres dégradées et la mobilisation des ressources en eau agiront positivement sur l'économie régionale. La baisse des agrégats économiques à l'échelle régionale sera beaucoup plus faible avec la prise en compte des stratégies d'adaptation (tableau 1). Ainsi, le PIB régional va diminuer de 0,41% au lieu de 2,5%, l'investissement baissera de 1% au lieu de 5,39% et la production privée baissera de 0,33% au lieu de 1,69%.

Tableau 1. Variation des grandeurs économiques à l'échelle régionale

| Indicateurs | Valeur (Million de dinars) | | | Variation par rapport à l'état de référence (%) | |
|--|----------------------------|---------|---------|---|-------|
| | État de référence | S1 | S2 | S1 | S2 |
| PIB régional | 1537 | 1478,98 | 1510,57 | -2,50 | -0,41 |
| Production domestique | 2932 | 2882 | 2922 | -1,69 | -0,33 |
| Consommation privée | 644,37 | 636,93 | 642,99 | -1,15 | -0,21 |
| Indice général des prix à la consommation | 1 | | | 0,14 | 0,05 |
| Utilisation des facteurs de production par secteur | 1452,57 | 1448,23 | 1450,62 | -0,29 | -0,13 |
| Investissement | 663,22 | 627,46 | 656,65 | - 5,39 | -1 |
| Importation | 726,89 | 721,48 | 725,43 | -0,74 | -0,20 |
| Exportation | 695,78 | 690,65 | 694,38 | -0,73 | -0,21 |

Source : Nos calculs

2.2 Impact du changement climatique sur le développement durable

2.2.1 Indice de durabilité à l'échelle régionale

Il est à noter que toutes les valeurs des indicateurs sont des outputs du modèle d'équilibre général calculable régional. Le *software* Criterium Decision-plus³ a été utilisé pour calculer l'indice de durabilité régional (IDR) via la technique de notation multi-attributs simple (SMART).

2.2.2 Évaluation de l'indice

Globalement, l'état actuel semble être le plus favorable en termes de durabilité. L'indice régional de durabilité (IDR) est de l'ordre de 0,67 (figure 4). A l'horizon 2030, avec l'hypothèse de non prise de mesures d'adaptation (scénario 1) cet indice composite sera de l'ordre de 0,455. En s'appuyant sur l'analyse classique de la production dans laquelle les flux produits résultent de la mobilisation de facteurs de production, la baisse des stocks de capital naturel, causée par le changement climatique, peut expliquer cette perte en terme durabilité.

³ <http://www.infoharvest.com/ihroot/index.asp>

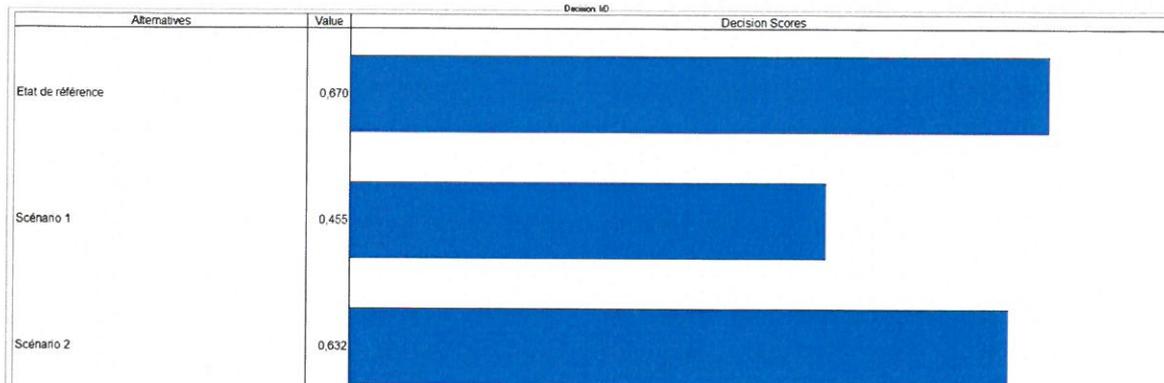


Figure 4. Indice de durabilité régional pour les trois scénarios.

En outre, les résultats ont montré que le scénario d'adaptation (scénario 2) aura des effets positifs sur la quasi-totalité des fonctions d'utilisation des terres (figure 6). Ainsi le scénario d'adaptation surclasse le premier scénario en termes de durabilité (0,632 contre 0,455). Malgré cette amélioration, la prise en compte des mesures d'adaptation

n'établira pas la situation de référence. De ce fait la stratégie d'adaptation telle qu'elle doit être renforcée et les décideurs politiques doivent améliorer les technologies de production surtout dans le secteur agricole pour pallier à la baisse du capital naturel causé par le changement climatique.

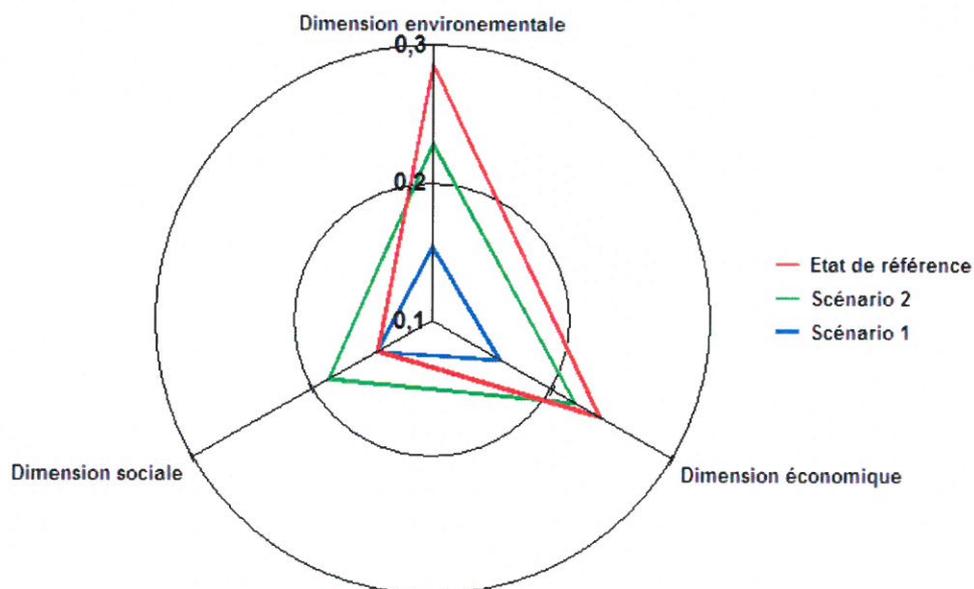


Figure 5. Contribution des dimensions du développement durable à l'indice de durabilité

La figure 5 montre que la dimension environnementale perd d'importance dans le premier et le deuxième scénario par rapport à l'état de référence. Ceci peut être expliqué par l'effet direct du changement climatique sur le stock du capital naturel (eau et terre). La dimension économique, qui occupe le deuxième rang à la formation de l'indice régional de durabilité à l'état actuel, surclasse la dimension environnementale dans le

deuxième scénario. Ceci est expliqué par le maintien d'un niveau semblable d'investissement malgré la baisse des autres indicateurs économiques. La dimension sociale qui occupe le troisième rang à l'état actuel devient plus importante au niveau du scénario d'adaptation. Ce gain d'intérêt est dû à la hausse du niveau d'emploi comme facteur de production substituable aux ressources naturelles.

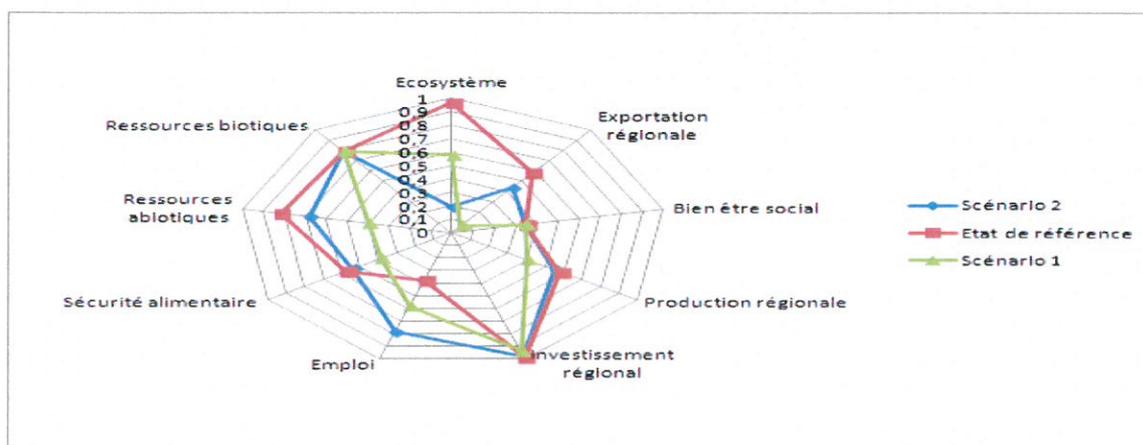


Figure 6. Impact des scénarios sur les indicateurs de développement durable

2.2.3 Analyse de sensibilité

L'analyse de sensibilité traduit la stabilité des résultats compte tenu des variations de la valeur des critères, des poids ou de seuils. Elle peut appréhender une situation multicritères à travers différents jeux de poids. Dans notre cas d'étude et pour simplifier l'analyse on a choisi d'attribuer le même poids (préférence) pour les différentes dimensions du développement durable et aux indicateurs.

Dans ce qui suit on va présenter l'impact d'un jeu de préférence qui

correspond à la variation des poids de chaque pilier de développement durable (environnementale, sociale et économique) sur l'indice régional de durabilité.

Comme le montre la figure 7, au-delà d'un poids de 0,15 pour le pilier environnemental, les résultats confirment la supériorité de l'état de référence en termes de durabilité au détriment des deux scénarios. Pour un poids inférieur à 0,15, le premier scénario (changement climatique) garde le dernier rang en termes de durabilité

mais le deuxième scénario (scénario adaptation) surclasse l'état de référence. Ainsi malgré la réduction du poids du pilier environnemental à la formation de l'indice de durabilité régional, les effets de la diminution du capital naturel par le changement climatique restent élevés et le scénario état de référence garde son supériorité. Ceci est du en fait à la présence du capital naturel comme facteur de production et les effets indirects

induits par la baisse de la productivité du secteur agricole. La possibilité de réduire les impacts pour rester dans les bornes de la durabilité environnementale dépend des conditions régionales voire locales, notamment de l'accord entre la technologie et l'environnement. Ainsi réside l'importance de l'adoption des nouvelles technologies surtout dans le secteur agricole pour être plus efficaces à l'utilisation des intrants naturelles.

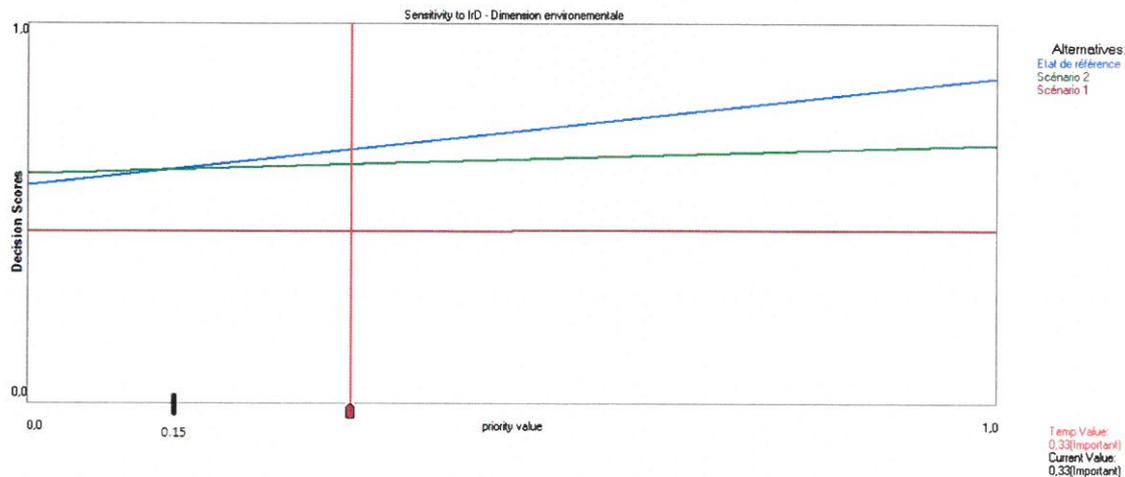


Figure 7. Analyse de sensibilité sur la dimension environnementale

La figure 8 montre que l'état de référence surclasse les deux scénarios pour un poids inférieur à 0,5 affecté à la dimension sociale. Au-delà d'un poids de 0,5, le scénario d'adaptation occupe le premier rang et quelque soit le poids

de la dimension environnementale le scénario changement climatique occupe le dernier rang. Ceci peut être expliqué principalement par la substituabilité entre capital naturel et main d'œuvre comme a été susmentionné.

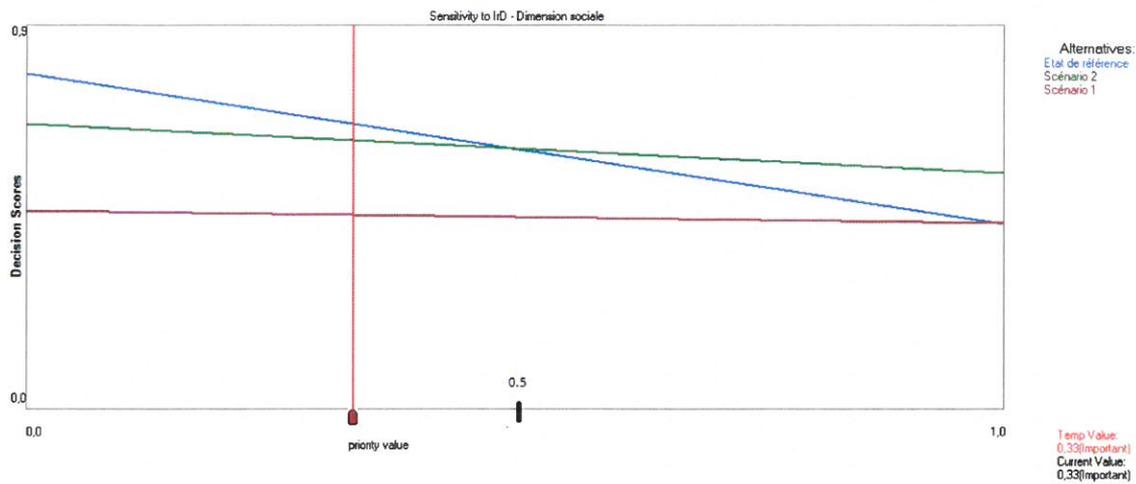


Figure 8. Analyse de sensibilité, dimension sociale

Quelque soit le poids affecté à la dimension économique le résultat reste stable (figure 8) et l'état de référence garde sa supériorité au détriment du premier et deuxième scénario. La

rigidité du résultat s'explique par la grande différence entre la valeur de la FUT « exportation régionale » à l'état de référence et sa valeur dans les deux autres scénarios (figure 9).

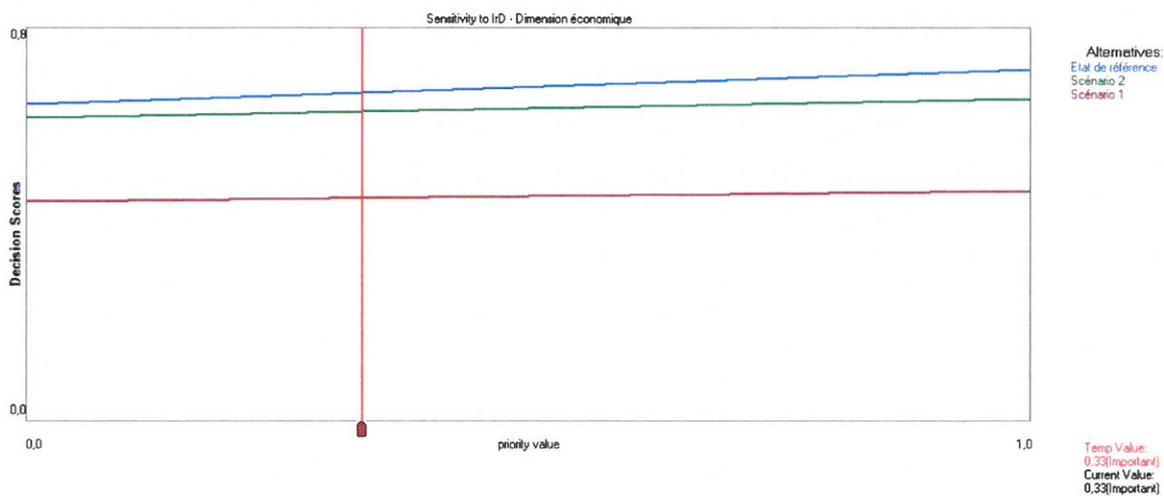


Figure 9. Analyse de sensibilité dimension économique

3. CONCLUSION ET DISCUSSION

Ce travail a été l'occasion de décrire et d'appliquer le modèle d'équilibre général calculable régionalisé. Les simulations nous ont permis de calculer l'équilibre régional de référence,

l'équilibre régional dans le cas de prise en compte du changement climatique et l'équilibre régional dans le cas de prise en compte du changement climatique et des mesures d'adaptations. Les scénarios du

changement climatique ont été basés sur l'output du modèle climatique HDCM3 conçu pour la Tunisie. Rappelons que le but majeur de notre recherche n'est guère l'orientation politique en la matière du changement climatique plutôt que de fournir un outil d'analyse générique à l'échelle régionale.

Les résultats ont montré que le changement climatique aura un impact significatif sur les agrégats économiques à l'échelle régionale. Ainsi, le Produit Intérieur Brut Régional à l'horizon de 2030 baissera de -2,5%, la production domestique de -1,69%, la consommation privée de -1,15%, de l'investissement - 5,39 %, l'importation régionale de - 0,74 % et de l'exportation régionale de -0,73%. Les résultats du modèle ont montré que la baisse des agrégats économiques à l'échelle régionale sera beaucoup plus faible avec la prise en compte des stratégies d'adaptation. Ainsi, le PIB régional diminuera de 0,41% au lieu de 2,5%, l'investissement baissera de 1% au lieu de 5,39% et la production privée baissera de 0,33% au lieu de 1,69%.

Reste à dire que ces résultats doivent être interprétés avec prudence pour plusieurs raisons. Le changement climatique est un phénomène dynamique pourtant notre modèle était de type statique qui ignore le facteur temps. En outre on a supposé que le stock travail et capital se limite à la disponibilité de la région malgré la parfaite mobilité des capitaux entre les régions. En plus on a supposé une substituabilité parfaite entre les facteurs de production, capital naturel (eau et terre), capital physique

et travail (fonction de production CES). La logique des choses surtout pour le secteur agricole dicte l'utilisation de la fonction de production de Leontief. Ceci sera l'extension future de notre projet de recherche.

Comme a été montré, concernant l'impact du changement climatique sur la durabilité régionale, au-delà d'un poids de 0,15 pour le pilier environnemental, les résultats confirment la supériorité de l'état de référence en termes de durabilité au détriment du premier et du deuxième scénario. Pour un poids inférieur à 0,15, le premier scénario (changement climatique) garde le dernier rang en termes de durabilité mais le deuxième scénario (scénario adaptation) surclasse l'état de référence. Ainsi malgré la réduction du poids du pilier environnemental à la formation de l'indice de durabilité régional, les effets de la diminution du capital naturel par le changement climatique restent élevés et le scénario état de référence garde sa supériorité. Ceci est dû en fait à la présence du capital naturel comme facteur de production et aux effets indirects induits par la baisse de la productivité du secteur agricole. La possibilité de réduire les impacts pour rester dans les bornes de la durabilité environnementale dépend des conditions régionales voire locales, notamment de cohérence entre la technologie et l'environnement. Ainsi réside l'importance de l'adoption des nouvelles technologies qui préservent les ressources naturelles surtout dans le secteur agricole.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdeladhim, M. A., Chant, L., Abdallah, A., and Sghaier M., 2011, Ex-Ante Impact Assessment of water policy reform in Southeastern of Tunisia: Sustentabilidade em Debate, v. 2, no. 2, p. 43-54.
- Fofana, I., 2007, *Élaborer une Matrice de Comptabilité Sociale Pour l'Analyse d'Impacts des Chocs et Politiques Macroéconomiques.: Poverty and Economic Policy, and Centre Interuniversitaire sur le Risque, les Politiques Economiques et l'Emploi, Université Laval. Training material.*
- Harris, G., 2002, Integrated assessment and modelling: an essential way of doing science: *Environmental Modelling & Software*, v. 17, no. 3, p. 201-207.
- König, H., Sghaier, M., Schuler, J., Abdeladhim, M., Helming, K., Tonneau, J.-P., Ounalli, N., Imbernon, J., Morris, J., and Wiggering, H., 2012, Participatory Impact Assessment of Soil and Water Conservation Scenarios in Oum Zessar Watershed, Tunisia: *Environmental Management*, v. 50, no. 1, p. 153-165.
- MARH, 2007, Stratégie nationale d'adaptation de l'agriculture tunisienne et des écosystèmes aux changements climatiques: http://www.chm-biodiv.nat.tn/index.php?option=com_content&task=view&id=129&Itemid=344&limit=1&limitstart=3.
- Parker, P., Letcher, R., Jakeman, A., Beck, M., Harris, G., Argent, R., Hare, M., Pahl-Wostl, C., Voinov, A., Janssen, M., Sullivan, P., Scoccimarro, M., Friend, A., -Sonnenshein, P., P, Letcher, R., Jakeman, A., Beck, M., Harris, G., and Argent, R., 2002, Progress in integrated assessment and modelling: *Environmental Modelling & Software*, v. Vol.17(3), p. 209–217.
- Pérez-Soba, M., Petit, S., Jones, L., Bertrand, N., Briquel, V., Omodei-Zorini, L., Contini, C., Helming, K., Farrington, J. H., and Mossello, M. T., 2008, Land use functions—a multifunctionality approach to assess the impact of land use changes on land use sustainability, *Sustainability impact assessment of land use changes*, Springer, p. 375-404.
- Reidsma, P., König, H., Feng, S., Bezlepkina, I., Nesheim, I., Bonin, M., Sghaier, M., Purushothaman, S., Sieber, S., and Van Ittersum, M. K., 2011, Methods and tools for integrated assessment of land use policies on sustainable development in developing countries: *Land Use Policy*, v. 28, no. 3, p. 604-617.
- Rotmans, J., and Asselt, M., 1996, Integrated assessment: a growing child on its way to maturity: *Climatic Change*, v. 34, no. 3, p. 327-336.
- Sghaier, M., Arbi, A. M., Tonneau, J. P., Ounalli, N., Jeder, H., and Bonin, M., 2012, Land degradation in the arid Jeffara Region, Tunisia, *in* McNeil, D., Nesheim, I., and Brouwer, F., eds., *Land Use Policies for Sustainable Development: Exploring Integrated Assessment Approaches*, Edward Elgar, p. 89.