



Impacts économiques du changement climatique dans l'estuaire de la Seine : revue de la littérature, synthèse des données et proposition d'un cadre méthodologique d'étude

Anne Briand (Maître de Conférences, CARE, Université de Rouen)

Avec la participation de Fatma Kernane, Maurice Koffi et Yoan Yschard (Master GRE)

Expertise collective « Changement climatique », GIP Seine Aval

Août 2009

Introduction

La littérature économique relative à la problématique du changement climatique présente différentes conséquences possibles sur les activités humaines et plusieurs approches méthodologiques pour en analyser les interactions et/ou impacts. Ces études s'avèrent utiles pour les décideurs publics qui doivent réaliser des choix de planification et d'investissement.

Les travaux publiés se concentrent essentiellement sur les incidences du réchauffement climatique sur les activités suivantes : l'eau, l'agriculture, la pêche, l'énergie et l'urbanisme. Les études que nous présentons ci-dessous illustrent brièvement la diversité des secteurs affectés et des méthodologies utilisées. Toutes ces études débouchent sur des recommandations de politiques.

La ressource en eau et donc, tous les secteurs qui y sont liés sont directement affectés par le phénomène de réchauffement climatique. Les scientifiques ont démontré que l'évolution du climat (températures, précipitations) affecte le cycle hydrologique. Or, cette évolution du climat est aussi liée aux modifications des bassins hydrographiques, conditionnées par les activités humaines. L'eau douce est principalement utilisée par l'agriculture. L'industrie et les usagers domestiques utilisant le reste de la ressource. Ce conflit d'usage sur la ressource en plus d'une demande en expansion (croissance démographique, développement économique) devrait générer une pénurie en eau douce. Ce risque de pénurie rend incontournable les politiques de gestion de l'eau. **Haddad et al (2003)** examinent les impacts hydrologiques potentiels sur la Californie et surtout, comment l'Etat pourrait s'adapter. Les auteurs contribuent aux efforts d'amélioration de l'exactitude d'estimation des dommages résultant du changement climatique. Leurs modèles prévoient de fortes variabilités saisonnières et des pluies, une évapotranspiration accrue et l'humidité en baisse. Les politiques à mettre en œuvre proposées par les auteurs dans le cadre de la Californie sont le développement des réservoirs pour la lutte contre les inondations et le renforcement du potentiel de stockage d'eau (agriculture, marécages, autres secteurs écologiques sensibles).

Dans le secteur agricole et de l'élevage, des changements pourraient aussi intervenir compte tenu des transformations des écosystèmes locaux : modification des terres consacrées aux différentes cultures, sélection naturelle de nouvelles espèces. **Adams et al (2003)** étudient les conséquences des effets de la variabilité climatique sur les rendements agricoles et plus particulièrement, les conséquences des effets des augmentations des phénomènes extrêmes des températures sur l'agriculture. La première étude conclut que les changements de températures et de précipitations affectent à la fois la moyenne et la variance des rendements agricoles, de manière opposée. Avec des températures croissantes, le rendement moyen de maïs diminue et la variance du rendement augmente alors qu'avec des précipitations croissantes, le rendement moyen augmente et sa variance diminue. Dans leur seconde étude, des augmentations de la fréquence et de la force d'un phénomène extrême (El Nino) a comme conséquence des dommages économiques importants dans l'agriculture. D'après les auteurs, ces dommages peuvent être évités grâce aux modèles de prévisions et aux décisions de plantations agricoles (régulation par une politique agricole adaptée).

Le secteur de la pêche peut également être affecté par le réchauffement climatique. En effet, des variations de courants d'eau froide et d'eau chaude pourraient générer des modifications dans le développement des espèces aquatiques, végétales et animales et par conséquent, sur le secteur de la pêche. **McGoodwin et al (2006)** ont comparé les impacts des variations climatiques sur les économies commerciales d'Islande du sud ouest et d'Alaska avec les économies de subsistance indigènes en Alaska. Ces régions tirent l'essentiel de leurs ressources économiques de la pêche, c'est pourquoi les auteurs insistent sur la nécessité d'une politique de régulation la pêche efficace pour contrecarrer et s'adapter aux nouvelles conditions.

Les activités humaines peuvent s'avérer responsables du réchauffement climatique. C'est notamment le cas avec le secteur de l'industrie. En effet, l'industrie est fortement consommatrice d'électricité, source d'émission de gaz à effets de serre (CO₂), à l'origine du réchauffement climatique. C'est pourquoi, les solutions de substitutions d'énergie nucléaire, éolienne, des mers aux énergies thermiques actuelles (charbon), sont proposées pour limiter ces émissions. Mais parallèlement, la demande d'électricité augmente compte tenu des variabilités climatiques (chauffage et climatisation). Le sens de causalité entre réchauffement et consommation d'énergie est donc double, les interactions sont fortes. **Mirasgedis et al (2007)** ont estimé économétriquement, pour différents niveaux régionaux en Grèce (et au niveau national) la demande d'électricité annuelle imputable aux différents scénarios de changement climatique et de développement économique (à l'horizon 2100). Les résultats de leur modèle indiquent une augmentation de la demande d'électricité annuelle attribuable seulement au changement climatique de 3,6% à 5,5%. Le développement économique a aussi un effet significatif à long terme sur la demande future d'électricité, avec une hausse de l'énergie consommée pour se refroidir (l'été) et se chauffer (l'hiver). Cette augmentation de la demande d'énergie dans un contexte de variabilité intra-annuelle mènera à une forte augmentation des capacités installées de production, quitte à avoir une sous utilisation importante des capacités sur certaines périodes. De nouveaux investissements seront alors nécessaires, et des solutions d'interconnexions avec les autres systèmes d'alimentation pourraient aussi être développées. La politique énergétique apparaît alors d'autant plus essentielle dans ce contexte de réchauffement climatique.

Enfin, les variations climatiques entraînent des phénomènes extrêmes de type inondations, coulées de boues ... pouvant avoir une conséquence sur l'aménagement du territoire (extension des zones inondables), l'urbanisation et sur l'habitat. **Beniston (2007)** a étudié les conséquences économiques de ces phénomènes extrêmes en termes de dommages et de coûts économiques (en Suisse et dans les Alpes françaises). Les conclusions portent sur la valorisation des infrastructures situées dans les zones à risque et sur la recommandation d'une politique d'urbanisation éclairée.

De nombreux secteurs liés aux activités humaines sont affectés par le changement climatique et les conséquences sont donc multiples. Compte tenu de l'importance de la ressource en eau dans l'estuaire de la Seine (notre cadre géographique d'étude), nous choisissons de centrer notre travail de synthèse bibliographique sur cet aspect. Il nous est en effet impossible de traiter tous les aspects à la fois. Par ailleurs, à travers la problématique de la ressource en eau et compte tenu des différentes activités économiques qui lui sont liées, nous aurons une vision

schématique des conséquences possibles du changement climatique dans l'économie estuarienne éclairante.

Une présentation non exhaustive de la littérature relative aux impacts économiques du changement climatique (première partie) montre que la modélisation en équilibre général calculable (EGC) apparaît être une méthode pertinente de mesure d'impacts économiques du changement climatique (à travers la variabilité de la ressource en eau). Nous présentons ensuite l'ensemble des données collectées pour l'élaboration d'une base de données synthétique, appelée Matrice de Comptabilité Sociale (MCS). Celle-ci nous permet alors de développer et de proposer une première maquette de modèle EGC appliquée à l'estuaire de la Seine et calibrée sur la MCS simplifiée. Les deux dernières parties du rapport présentent alors les spécifications du modèle et les résultats de deux simulations.

Section 1 : Synthèse bibliographique sur les impacts économiques du réchauffement climatique et les politiques de régulation : le cas des ressources en eau

1.1 Revue de la littérature : du global au local

Depuis quelques années les autorités ont pris connaissance du changement climatique qui s'exerce sur l'environnement lié à l'activité humaine. Le troisième rapport mondial de l'ONU sur les ressources en eau publié le 12 mars 2009 illustre ce tournant dans la prise de conscience internationale. Les experts de l'ONU rappelle que l'eau se trouve être « *une arme primordiale dans la lutte contre la pauvreté, les maladies et la faim* » et qu' « *elle est indispensable au développement économique Elle est aussi une condition de paix* ». Selon eux, sous une double influence, celle de la croissance démographique et du changement climatique, l'eau se raréfie et « *la capacité à fournir une eau saine aux générations futures est compromise* ». A l'horizon 2030, 47% de la population mondiale vivra dans des régions exposées aux pénuries en eau. Quelques chiffres pertinents peuvent être cités de ce rapport. L'agriculture consomme entre 70% et 90% des volumes d'eau contre seulement 10% pour l'eau potable. 90% de la population mondiale pourrait avoir accès à l'eau potable en 2015 mais environ 340 millions d'africains en seront toujours privés. Un dollar investi dans les infrastructures d'eau et d'assainissement rapporte entre 4 et 12 dollars ce qui sous entend que les frais d'infrastructure pourraient non seulement être largement amortis et plus encore, source importante de revenus. En effet, les pertes sont aujourd'hui estimées à 28.4 milliards de dollars par an en Afrique compte tenu du déficit des infrastructures et 9 milliards de dollars par an liés à la dégradation des ressources en eau au Moyen Orient et en Afrique du Nord. Ces chiffres montrent l'importance des politiques de gestion de l'eau.

Les députés jugent comme une avancée l'accent porté aux instruments économiques de régulation fondés sur le marché dans le cadre de la mise en œuvre de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE). Il est, selon eux, « *primordial d'internaliser les coûts liés à l'extraction des eaux souterraines, à la dégradation de la qualité de l'eau et aux stations de traitement dans la fixation du prix de l'eau* ». C'est pourquoi, les Etats membres sont invités à s'efforcer de mettre en œuvre correctement la DCE et de garantir que toute consommation d'eau sera soumise à une évaluation économique incluant les coûts d'utilisation de la ressource et les coûts

environnementaux. La directive demande de faire état des modalités de tarification de l'eau et de l'application du principe de récupération des coûts des services d'eau, y compris des coûts environnementaux, conformément au principe pollueur payeur. Les contributions des divers secteurs économiques sont à identifier, en distinguant au moins les ménages, l'industrie et l'agriculture. La tarification de l'eau est au cœur des mesures à mettre en œuvre pour la réalisation des objectifs environnementaux.

Les travaux de **Schirmer et Schuchard (2001)** portent sur l'impact du changement climatique qui aurait pour conséquences une montée des eaux de 1 mètre. Par une approche multi disciplinaire (environnementale, socio économique et politique), les auteurs tentent de déterminer les mesures les plus efficaces à prendre en cas d'inondations. Ils citent une étude menée précédemment par ICPP qui prônait déjà l'utilisation et la complémentarité des divers domaines d'études pour lutter contre les conséquences du changement climatique. Leurs travaux sont appliqués aux côtes allemandes. Ils démontrent que si les mesures nécessaires sont prises pour faire face au changement climatique, les conséquences ne pourraient être que faibles. Dans le cas contraire, il faudrait s'attendre à de forts impacts sur la région allemande de la mer du Nord. Par la suite, une seconde étude financée par « the German Ministry for Education and Research » a été mise en place. Elle porte sur deux régions allemandes, l'île de Sylt dans la mer de Wadden et la région de l'estuaire de la Weser située dans le nord de l'Allemagne. Ces deux sites ont été choisis pour leurs caractéristiques intéressantes. L'étude débouche sur six observations : la situation hydrographique de l'estuaire, la gestion de l'eau, le système des eaux souterraines, la protection des côtes, le « complexe écologique » et la situation socio économique. L'étude présente plusieurs simulations dont nous présentons que la première. Il s'agit d'un changement climatique sans aucune mesure d'adaptation prise auparavant. Celui-ci génère une augmentation de la température dans l'estuaire ainsi qu'un temps de résidence des eaux accru et une pénétration plus en amont du taux de salinité. L'idée est de montrer l'importance des anticipations dans les mesures de régulation prises.

Un modèle de mesure d'impacts du changement climatique a été développé dans le cadre de l'estuaire de la Seine. Il s'agit de celui de **Ducharne et Martin (2008)**. Ce modèle a été développé dans le cadre d'un projet financé par le programme GICC2 (MEEDDAT). Ce modèle tient compte de la sphère économique et mesure les impacts du changement climatique sur les ressources en eau et les extrêmes hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme.

Un modèle économique input/output développé par **Beaumais et Laroutis (2006)** s'intéresse aussi à l'estuaire de la Seine et aux activités économiques qui s'y rapportent. Il intègre l'eau comme un facteur clé. Les auteurs étudient les conséquences en terme d'emplois dans l'estuaire de Seine d'une modification de la ressource en eau. Ils montrent qu'un changement ou une dégradation de ce facteur pourrait avoir des conséquences très importantes sur le taux d'emploi dans l'estuaire de Seine. Ils simulent quatre chocs économiques (deux positifs/deux négatifs), une diminution des emplois allant de 26852 à 22638 en fonction de l'hypothèse (effet négatif) versus une création d'emplois qui va de 10700 à 4730 (effet positif). Cette étude démontre que les décisions prises dans le futur seront déterminantes en matière d'emplois pour l'estuaire de Seine.

Les modèles macroéconomiques de simulation développés dans la littérature sont principalement des modèles d'équilibre général calculable (MEGC). Il s'agit d'un modèle plus sophistiqué et complet que le modèle input/output dans la mesure où il modélise l'ensemble des prix de l'économie, à travers notamment, l'Etat et la fiscalité et tous les marchés économiques (marché des biens et services, marché du travail, marché du capital ...). Suite à un choc externe, le modèle permet alors de mesurer les effets volume (quantités) mais aussi les effets prix et revenu (valeur). Les MEGC portent sur l'économie d'une région, d'un pays ou d'une zone multipays. Ils incluent toutes les activités (l'ensemble des secteurs), les facteurs de production, et l'ensemble des agents économiques (ménages, firmes, Autorité publique, et échanges extérieurs). Toutes les composantes macroéconomiques sont modélisées (investissement, épargne des différents agents, balance des paiements et le budget du gouvernement).

En modélisant tous les secteurs de l'économie et l'interaction entre les agents, les MEGC permettent l'examen explicite des conséquences, directes et indirectes des politiques ou de chocs exogènes (environnemental ...). Ils sont calibrés sur une base de données appelée Matrice de Comptabilité Sociale appliquée à une année donnée à la zone étudiée, représentant l'équilibre initial de l'économie. Ils sont plus ou moins sophistiqués pour permettre la prise en compte de multiples phénomènes économiques : calcul des externalités (telle que la pollution), la concurrence imparfaite (par exemple, des prix de monopole), la mise en place d'une fiscalité complexe ...

1.2 Les MEGC appliqués aux variabilités hydriques et aux politiques de gestion des ressources en eau

De nombreux MEGC ont été appliqués aux problématiques environnementales. **Hertel (1999)** illustre l'intérêt de l'utilisation d'une telle méthodologie appliquée aux problématiques agricoles et environnementales. **Bernard et Vielle (2003)** ont développé un MEGC appelé GEMINI-E3, appliqué à la problématique du changement climatique afin de mesurer les effets en terme de bien-être de politiques alternatives de lutte contre les effets du changement climatique.

1.2.1 Les travaux de Berck, Robinson et Goldman (1991)

Un premier modèle a été présenté par **Berck, Robinson et Goldman (1991)**. Il a été élaboré pour évaluer les politiques d'investissement favorisant la distribution de l'eau dans la région de San Joaquin en Californie. Ce modèle qui a quatorze secteurs, dont six sont des secteurs agricoles, a été construit afin d'analyser l'impact d'une variation du stock d'eau sur l'économie. Plus précisément, leur modèle EGC vise à évaluer les effets d'une réduction forte de la quantité d'eau allouée au secteur agricole sur le PIB, la production sectorielle, l'emploi et l'utilisation de la terre dans la région de San Joaquin. Il s'agit d'un modèle EGC régional qui vise à analyser les impacts en terme de réallocation des ressources.

Leur fonction de production agricole comporte quatre facteurs primaires : l'eau, la terre, le travail et le capital. Les auteurs différencient la terre selon sa qualité en trois catégories selon

une structure hiérarchique : la terre de bonne qualité peut être utilisée pour un usage inférieur mais pas l'inverse. Le stock d'eau disponible est en quantité agrégée fixe. Cette ressource n'est utilisée que par le secteur agricole. Le travail est mobile entre les différents secteurs économiques de la région mais immobile entre la région et le Reste du Monde.

La technologie de production agricole est une structure emboîtée à deux niveaux. Elle distingue deux groupes d'activités agricoles : les activités agricoles de production à forte élasticité de l'offre et les activités agricoles de production à faible élasticité de l'offre. Une distinction est faite entre les inputs intermédiaires domestiques et importés qui sont demandés dans des proportions fixes. Le modèle définit la terre comme un agrégat formé (à partir d'une fonction Leontief) entre un volume d'eau et une superficie donnée. Dans la variante à forte élasticité de substitution de l'offre, la valeur ajoutée agricole est représentée par une fonction Cobb-Douglas reliant la terre, le travail et le capital. Dans la variante à faible élasticité de substitution de l'offre, le capital et la terre sont utilisés en proportions fixes et le travail est combiné à cet agrégat par une fonction Cobb-Douglas. Le problème est que dans cette variante à faible élasticité l'eau, la terre et le capital sont utilisés en proportions fixes et il n'existe donc aucune relation de substitution entre la terre et les consommations intermédiaires tels que les engrais et les pesticides.

Pour résumer, dans le modèle, les auteurs traitent l'eau comme un stock exogène, et le seul secteur consommant la ressource est le secteur agricole. Les résultats indiquent une modification dans la structure de la production, soit une substitution de l'agriculture vers l'élevage ainsi qu'une baisse du PIB, de l'emploi agricole et des revenus agricoles, lorsque la quantité d'eau disponible diminue.

1.2.2 Les travaux de Robinson et Gehlar (1995)

Robinson et Gehlar (1995) ont constaté qu'en Egypte, le système de taxes et de subventions présentait beaucoup de distorsions dans la période 1986-1988. Celui-ci se traduit par d'importantes taxations et subventions de la production du secteur agricole. L'accroissement de la population exerce une pression sur l'utilisation des terres cultivables tandis que les ressources en eau tendent à devenir relativement rares. On observait dans l'agriculture égyptienne d'importantes subventions aux intrants tandis qu'aucune charge n'était supportée par les utilisateurs de l'eau. Dans le nouvel environnement marqué par des réformes de politiques et la mise en œuvre du programme d'ajustement structurel (PAS), une modélisation EGC fournit un cadre d'analyse opportun des impacts des réformes majeures et explore les mesures appropriées pour atteindre un optimum dans l'utilisation de la terre et de l'eau.

Dans leur étude, les auteurs s'appuient sur un modèle EGC afin de capter l'impact d'un faisceau de mesures en mettant l'accent sur l'utilisation de l'eau et de la terre. Le modèle égyptien désagrège le secteur agricole et traite de façon spécifique la terre et l'eau. En effet, beaucoup de modèles EGC sont concentrés sur l'étude du secteur agricole mais peu d'entre eux prennent en compte de façon explicite la gestion de l'allocation des ressources terre et eau dans l'activité agricole. Le modèle EGC terre-eau combine une analyse de l'activité agricole, mettant l'accent sur la technologie du secteur et une représentation néoclassique standard de la technologie des secteurs non agricoles. Il s'inspire également des modèles EGC antérieurs appliqués à l'Egypte. La valeur ajoutée est une fonction CES du travail, du capital et du facteur composite terre-eau dans le secteur agricole. Le facteur composite terre-eau est une

agrégation linéaire de l'eau et de la terre. Dans ce modèle, la terre peut être allouée entre les différents types de culture. De même, le capital et le travail sont mobiles entre les secteurs agricoles. Le numéraire du modèle est l'indice des prix à la consommation. Excepté le facteur composite terre-eau, le reste du modèle a une spécification de type standard. La clôture du modèle est simple. La balance courante évaluée en devises étrangères est exogène. Les taxes du gouvernement sont fixées de façon exogène de sorte que le revenu du Gouvernement est déterminé de façon endogène. L'épargne privée agrégée permet d'ajuster l'épargne à l'investissement. Ce dernier est fixe en terme réel, de même que les dépenses du Gouvernement.

Pour simuler l'importance de la disponibilité en eau dans l'agriculture égyptienne, les auteurs effectuent une série de simulations (en diminuant progressivement l'offre d'eau de 5%) pour représenter la courbe de demande d'eau. Celle-ci est une courbe de demande en équilibre général lorsque l'offre agrégée d'eau se modifie, l'économie s'ajuste pleinement, avec des modifications dans l'offre, la demande et les prix dans tous les secteurs et pour tous les facteurs. Au fur et à mesure que l'offre d'eau est réduite, une partie des terres n'est plus cultivée. Les secteurs intensifs en eau voient leur production baisser tandis que quelques uns des secteurs utilisant moins d'eau enregistrent une baisse de leur production. La structure de la production agricole est affectée par cette variation de l'offre d'eau. Dans le cas d'une élimination de toutes les politiques de distorsions de l'activité de production agricole, le prix implicite de l'eau est significativement positif et très élevé alors que celui de la terre est plus faible que son prix du marché. L'implication de ce résultat est que les biais de politique favorisent les secteurs agricoles les moins intensifs en eau. Avec la politique de libéralisation, le prix de marché de l'eau augmente rapidement tandis que son prix implicite ne s'accroît que faiblement. Les deux prix s'égalisent lorsque les distorsions de politiques sont éliminées. Cette élimination complète des distorsions de politiques accroît le bien-être des ménages.

Les auteurs en arrivent à la conclusion que les politiques menées entre 1986 et 1988 en Egypte étaient biaisées et avaient conduit au maintien de la structure d'exploitation de l'eau dans la production agricole. Les réformes de politiques introduites ont eu pour effet d'accroître à la fois le bien-être des ménages et la demande d'eau. Ces réformes favorisent donc l'emploi rural et conduisent à une réduction de la migration des ruraux vers la ville.

1.2.3 Les travaux de Löfgren et Robinson (1997)

Les distorsions sur le marché du facteur eau en Egypte ont également été abordés par les travaux de **Löfgren et Robinson (1997)**. Ces derniers ont construit un modèle EGC dynamique appliqué à l'offre agricole. Les résultats de leurs simulations montrent qu'une réduction graduelle de 10% de l'offre d'eau dans un intervalle allant de 0% à 60% se traduit par une baisse du taux de croissance réel du PIB comprise entre 5,2% et 4,8%. Le secteur agricole est aussi affecté puisque son rythme de croissance baisse dans un intervalle compris entre 3,5% et 2%.

1.2.4 Les travaux de Seung, Harris, Englin et Netusil (2000)

Seung, Harris, Englin et Netusil (2000) combinent un modèle EGC dynamique avec un modèle de demande d'eau à usage récréatif pour analyser les effets temporels d'une réallocation de l'eau de l'agriculture vers un usage récréatif dans le comté de Churchill

(Nevada). Le modèle montre que l'augmentation de la production non agricole ne compense pas la réduction de la production agricole liée au manque d'eau.

Le modèle comporte huit secteurs dont trois sont agricoles (bétail, autre agriculture et pâturage).

Dans chaque secteur la technologie de production est représentée par une fonction Cobb-Douglas de la valeur ajoutée. Les consommations intermédiaires sont utilisées dans des proportions fixes. La production des secteurs agricoles est représentée par une fonction Cobb-Douglas des facteurs travail, capital et la terre. La réduction des droits sur l'utilisation des eaux de surface de l'agriculture génère une baisse proportionnelle de l'utilisation de la terre dans l'agriculture parce que les droits sur l'eau sont détenus avec la terre et il n'y a pas de possibilité de substitution. Les secteurs non agricoles utilisent seulement du travail et du capital comme facteurs de production. Le facteur travail est parfaitement mobile entre les secteurs mais imparfaitement mobile entre les régions. Il existe donc des différentiels de taux de salaire mais qui disparaissent sur le long terme. Le capital est spécifique par secteur ce qui signifie que le capital physique d'un secteur n'est pas mobile. Il existe une équation d'accumulation du capital standard. Le niveau de capital désiré dans chaque secteur dépend de la part du revenu issu du capital, du prix de production du bien, du niveau de production et, dépend inversement du taux de rendement du capital dans le secteur.

Il s'agit d'un modèle dynamique séquentiel proche de ceux développés par Adelman et al (1979) décrits par **Robinson (1976)**, c'est-à-dire d'une succession d'équilibres statiques qui reflètent les changements dans les stocks de capital compte tenu des investissements, et les changements dans le stock de travail compte tenu d'une part de la migration de la main d'œuvre et de la croissance démographique.

Les auteurs combinent ce modèle EGC dynamique à un modèle de demande récréative qui décrit les relations entre le nombre de voyages récréatifs par millier de résidents et les hectares de zones humides de la région. En effet, les autorités ont fourni aux auteurs des données sur le nombre de jours passés à la pêche à la ligne, à la chasse ou à d'autres usages récréatifs (observations d'oiseaux, camping) dans la région. Les auteurs estiment alors deux équations de demande : l'une concernant le taux de chasse et l'autre le taux général d'activités récréatives. Ainsi, ce modèle de demande d'eau récréative est combiné au modèle EGC afin de calculer les impacts économiques d'une politique de réallocation de l'eau. Plus précisément, l'étude examine l'impact d'une réduction des surfaces irriguées de 30 000 hectares. La disponibilité de l'eau dans l'agriculture passe alors de 95 554 à 65 554 hectares. Compte tenu des hypothèses de budget, ce transfert devrait permettre d'augmenter de 42 999 à 53 742 hectares les zones humides.

Les résultats montrent que cette politique génère une baisse de la production agricole de 35,9 millions de dollars sur six périodes. La production totale de la chasse et de la récréation générale (nombre de visiteurs) augmente sur six périodes de 21,525 et 33,454 millions de dollars respectivement. On observe donc une baisse de la production agricole et une réallocation de l'eau vers les usages récréatifs compte tenu des dépenses de budget réalloués qui se traduit par une hausse de la production de ces secteurs (chasse et autres usages récréatifs). Mais cette dernière n'est pas suffisante pour compenser la baisse de la production agricole puisque le PIB de l'économie diminue de 0,9% sur les six périodes.

1.2.5 Les travaux de Goodman (2000)

Goodman (2000) construit un modèle EGC dynamique appliqué à l'eau pour montrer que des transferts de la ressource en eau représentent une option moins coûteuse que celle qui consisterait à construire de nouveaux barrages hydrauliques ou d'agrandir les équipements de stockage déjà existants. Le modèle est appliqué au Sud est du Colorado. Il montre que ces deux options de politiques d'offre d'eau fournissent aux autorités des résultats lors de sécheresses et sont bénéfiques aussi bien aux zones rurales qu'urbaines. Mais la solution de transferts de la ressource en eau de l'agriculture vers l'usage municipal génère un plus faible coût économique et environnemental surtout si ce transfert est temporaire. Goodman (2000) considère que la technologie de production agricole utilisée par **Seung et al (2000)** est restrictive. En effet, ces derniers considèrent une fonction de production Leontief où la terre et l'eau ne sont pas substituables. C'est pourquoi, l'auteur introduit de la substituabilité entre ces deux facteurs.

Au total, le modèle comporte quatre facteurs de production : la terre, le travail, le capital et l'eau. Il distingue quatre secteurs : agriculture irriguée et non irriguée, commerce et industrie. La main d'œuvre croît au même taux que la population et les investissements nets sont suffisants pour faire croître le stock de capital au même taux. Les stocks de terre et d'eau sont fixes. C'est pourquoi, ces facteurs deviennent relativement plus rares à chaque période. Le travail est mobile entre les secteurs et le capital est spécifique par secteur. La terre et l'eau sont aussi spécifiques par usage (usage agricole ou usage municipal). L'usage municipal inclut les usages domestique, commercial et industriel. Il existe deux ménages (urbain et rural) dont la fonction d'utilité est une fonction de consommation CES intertemporelle. La fonction de production des secteurs est une fonction CES où l'eau est substituable aux autres facteurs et le travail, le capital et la terre sont substituables aux intrants intermédiaires.

Le modèle intègre une équation standard d'accumulation du capital (le stock de capital à la période t dépend du stock à la période $t-1$ déprécié et de l'investissement en période t).

La ressource en eau peut être immédiatement utilisée dans la production à la période t ou stockée pour une utilisation future. Comme l'eau est renouvelable, une même quantité est normalement disponible à chaque période normale. Mais, comme sa quantité disponible dépend aussi des conditions climatiques, la quantité réelle à chaque période peut être substantiellement plus forte ou plus faible qu'à une période normale. L'auteur définit une équation dans laquelle est calculée la quantité d'eau disponible pour les usages municipaux à chaque période compte tenu des transferts de l'eau par l'agriculture (en prenant en compte des coûts de transaction), des stockages de l'eau disponibles à la période t et des stockages réalisés pour les périodes futures. Il définit aussi une équation de stockage de l'eau en période proche de l'équation d'accumulation du capital sauf que le taux de dépréciation est remplacé par un taux d'évaporation du stock d'eau. Plus précisément, la quantité d'eau stockée disponible en $t+1$ est égal au stock d'eau en t déprécié, moins le stock utilisé d'eau en t , plus le stock d'eau réalisé en t .

Il s'agit d'un modèle dynamique proche de celui de **Rutherford (1999)**. Le modèle simule l'économie sur l'horizon 2000-2040. Les résultats montrent qu'une politique d'accroissement des capacités de production (du stockage) génère une hausse du bien-être de 0,05% pour les urbains et ruraux alors qu'une politique de transfert de la ressource en eau de l'agriculture vers l'usage municipal génère une plus faible hausse de bien-être (0,01%). Une politique d'accroissement des capacités de stockage engendre de très faibles bénéfices au regard des

coûts d'une telle politique (200 millions de dollars). Au contraire, un transfert de la ressource en eau de l'agriculture vers l'usage municipal génère de plus amples bénéfices pour les urbains et ruraux sachant que le coût d'une telle politique est faible.

1.2.6 Les travaux de Gomez, Tirado et Rey-Maquiera (2004)

Gomez, Tirado et Rey-Maquiera (2004) construisent un modèle EGC appliqué aux Iles Baléares pour analyser les gains en terme de bien-être d'une amélioration de l'allocation des droits d'eau à travers des échanges entre l'agriculture et les secteurs urbains sur un marché. D'après les auteurs, des échanges de droits d'eau offrirait une alternative permettant une allocation de l'eau flexible suffisante pour faire face aux sécheresses cycliques caractérisant le régime naturel de l'eau sur l'île.

La principale conclusion est qu'une augmentation de l'efficacité permise par l'instauration d'un marché d'eau rend cette dernière plus avantageuse que la solution plus populaire de construction de nouvelles usines de désalinisation. Contrairement à l'opinion publique, un marché d'eau peut aussi avoir des effets bénéfiques sur le revenu agricole.

Il s'agit d'un modèle statique comportant dix secteurs : deux secteurs agricoles (irrigué et non irrigué), un troisième secteur comportant le bétail, les mines, la pêche et les autres activités primaires, deux secteurs de production d'eau potable (un secteur traditionnel et un secteur de désalinisation de l'eau de mer), et les secteurs de l'énergie, la manufacture, la construction, le tourisme et les services. Chaque secteur produit un seul et unique bien sauf le secteur de désalinisation de l'eau de mer qui produit et distribue le même bien que le secteur traditionnel de production d'eau potable, mais à un coût différent. L'économie dispose de cinq facteurs de production : la terre, le capital, le travail, l'eau et l'eau de mer. La terre est uniquement utilisé par l'agriculture et est mobile entre les secteurs agricoles irrigué et non irrigué. Le capital est spécifique par secteur sauf dans les branches agricoles où il est mobile entre les secteurs irrigués et non irrigués. Le travail est parfaitement mobile. L'offre totale d'eau est supposée fixe et les droits d'eau, actuellement distribués entre l'agriculture et les secteurs de production et distribution d'eau potable, sont non échangeables.

Les sociétés d'eau possèdent quelques droits concessionnaires d'eau sur certaines quantités d'eau souterraine qui sont utilisés dans des buts prédéfinis et spécifiques et donc, elles ne sont pas autorisés à acheter ou vendre ces droits de l'eau. L'eau est un facteur primaire de production non transférable. De plus, comme elle est extraite, cette eau est produite avec un certain coût. L'eau potable est produite et distribuée en utilisant d'autres facteurs de production. Elle est utilisée comme bien final par les consommateurs ou comme bien intermédiaire par les autres secteurs de l'économie. Cette hypothèse de non transférabilité des droits de propriété de l'eau est levée pour étudier les potentiels gains en terme de bien-être du commerce de l'eau entre l'agriculture et l'offre d'eau qui dépend du niveau de l'offre de la ressource primaire, considéré comme exogène et déterminé par le degré de sécheresse. Le modèle comporte quatre agents : les consommateurs, les firmes, l'État et le reste du monde. Les ménages sont dotés des cinq facteurs : terre, travail, capital, eau et eau de mer.

Le secteur agricole est le principal utilisateur de la ressource primaire. Ainsi, les potentiels avantages d'échanges d'eau sont dépendant des possibilités de substitution entre les facteurs primaires de production. Face à une pénurie ou une hausse du prix de la ressource, le secteur agricole doit pouvoir s'ajuster en changeant sa composition entre produits irrigués et

produits non irrigués. Pour inclure ces alternatives d'ajustements, les auteurs modélisent la technologie de production agricole par une fonction CES emboîtée. La seule différence entre le secteur irrigué et le secteur non irrigué est que ce dernier n'utilise pas la ressource brute. Au premier niveau, l'eau primaire et l'énergie sont combinés par une fonction CES pour donner un composite eau agricole. Parallèlement, la terre et le capital sont combinés par une fonction CES pour donner un composite capital-terre. Au deuxième niveau, ces deux composites (capital-terre et eau agricole) sont combinés par une fonction CES pour donner un composite capital-terre-eau agricole. À un troisième niveau, ce dernier est combiné par une fonction CES au travail pour donner un composite agrégé. Enfin, ce composite agrégé est utilisé en proportions fixes avec les consommations intermédiaires (Leontief) pour donner la production agricole.

Tous les autres secteurs ont la même technologie de production. À un premier niveau l'eau potable est combinée par une fonction CES au capital pour donner un composite. Celui-ci est à un deuxième niveau combiné par une fonction Cobb-Douglas au travail pour donner un composite qui à un dernier niveau est utilisé en proportions fixes avec les consommations intermédiaires (Leontief) pour donner la production du secteur.

À la situation de référence, il n'existe pas de possibilités d'échanges d'eau. Il s'agit d'une situation sans marché de l'eau. Puis, la simulation consiste à introduire un marché de l'eau (échanges de droits de l'eau). Pour cela, les auteurs supposent que la ressource primaire n'est plus un input secteur spécifique et que les dotations en eau peuvent être librement vendues jusqu'à ce que leur productivité marginale soit égalisée dans les secteurs agricoles et de production d'eau potable. Pour montrer la différence entre les deux situations (avec ou sans marché de l'eau), les auteurs élaborent onze simulations de sécheresse en considérant des réductions séquentielles de 5% de la dotation initiale d'eau. Les auteurs montrent que malgré une plus faible production agricole dans le cas du marché des droits de l'eau, ceci ne signifie pas pour autant un plus faible revenu rural ou de l'agriculture. Au contraire, si le revenu rural a besoin d'être maintenu, la propriété de droits de l'eau échangeables pourrait conduire à un arrangement institutionnel efficace pour accroître l'efficacité de l'économie toute entière. Les marchés de l'eau pourraient permettre d'augmenter substantiellement l'épargne en évitant l'accumulation d'infrastructures (barrages, usines de désalinisation). Ainsi, cela permettrait d'éliminer les distorsions économiques qui pourraient être générées par toutes ces infrastructures superflues comme par exemple, la hausse du prix de l'énergie provoquée par l'utilisation intensive des usines de désalinisation aux Iles Baléares. Cependant tous les effets positifs en terme de bien-être de la mise en place d'un marché de l'eau doivent être à nuancer si l'on décide de prendre en compte les coûts de transactions.

1.2.7 Quelques autres travaux

Berrittella, Rehdanz, Roson, et Tol recourent à un MEGC pour étudier l'impact de la taxation de la ressource en eau sur les différents continents au moyen d'un modèle multipays. Le modèle développé, GTAP-W, représente dix sept secteurs économiques et seize zones mondiales. Les ressources en eau et les biens non marchands sont aussi modélisés. Les auteurs réalisent six simulations portant sur l'application de taxes. Dans le premier scénario, ils appliquent une augmentation d'une taxe de 1 cent par mètre cube et dans le second scénario, une augmentation de taxe de 0.5 cent minimum. Dans les simulations suivantes, l'augmentation diffère selon les secteurs et agents économiques (les ménages, l'agriculture, l'industrie). Ils concluent à de légères différences dans la façon de réagir à l'augmentation du prix de l'eau selon la zone mondiale et le secteur/agent économique.

Une étude menée au Canada par **Rivard, Marion, Michaud, Benhammane, Morin, Lefebvre et Rivera (2003)** montre que la raréfaction des ressources en eau (souterraines et de surface), la appelle sa préservation par des politiques économiques éclairées. Une voie économique visant la préservation des ressources est celle de la modification des habitudes de consommation via la taxation.

Letsoalo, Blignauf, de Wef, de Wit, Hess, Tol et van Heerden montre qu'il est possible par une meilleure allocation des ressources en eau (une application de taxes mieux répartie) de dégager ce qu'ils appellent « un triple dividende » : diminution de la rareté de l'eau (impact environnemental), stimulation de la croissance économique par les taxes récoltées (impact économique) et modification de la distribution des revenus (impact redistributif). Cette étude qui montre les potentialités de la politique fiscale pour atteindre ce triple dividende repose sur un MEGC appliqué à l'Afrique du Sud.

Une autre étude appliquée aux impacts économiques du changement climatique en Afrique du Sud a été développée par **Turpie, Winkler, Spalding-Fecher et Midgley (2002)**. Les différentes régions du pays sont représentées ainsi que les différents secteurs économiques qu'ils soient marchands ou non. Les auteurs s'intéressent au changement de l'écosystème, à la perte de la biodiversité, à l'utilisation des terres cultivables ou allouées au bétail ainsi qu'aux plantations forestières, à la hausse du niveau de la mer (estuaires inclus) et enfin, aux impacts sanitaires potentiels. Les auteurs s'appuient aussi sur des sondages afin de déterminer les Consentement à Payer des ménages pour la modification de leurs habitudes selon des politiques alternatives de régulation. L'étude débouche aussi sur une classification des bénéfices et des pertes économiques possibles du fait du changement climatique. Les conclusions sont synthétisées dans un tableau indiquant les incidences sur l'économie sud africaine. La plus significative concerne le tourisme (secteur marchand). En effet, les auteurs concluent à une potentielle baisse du PIB sud africain de 3%, le tourisme représentant le secteur phare. Mais ils notent également un fort impact sur les secteurs non marchands tels que la santé et l'environnement (la biodiversité et les ressources naturelles). En revanche, les impacts sont moins considérables que dans le reste de l'Afrique (perte de 6.9% du PIB d'après Fankhauser et al, 1997). Il faut noter également que ces résultats se rapprochent davantage des études menées en Europe et en Amérique du Nord en terme d'impact économique du changement climatique.

Bricquet, Bamba, Mahe, Touré et Olivry (1997) ont aussi développé un modèle afin de mesurer les impacts de la raréfaction des ressources en eau sur la façade Atlantique de l'Afrique de 1997.

Pour conclure, nous pouvons dire que les résultats et les conclusions des différentes études précédemment citées dépendent des hypothèses des modèles développés. L'idée est de montrer les impacts économiques d'une variabilité des ressources en eau, phénomène qui peut être relié au réchauffement climatique. Il s'agit aussi de simuler différentes variantes de politiques de gestion de la ressource en eau afin de réallouer la ressource de manière efficace dans un contexte de désajustement entre l'offre et la demande d'eau et de concurrence entre les différents usages. Cette revue de la littérature illustre l'intérêt de la méthodologie en équilibre général calculable (approche à la fois microéconomique et macroéconomique) pour prendre en compte tous les effets de rétroaction de la ressource dans l'économie estuarienne.

C'est pourquoi, nous avons axé la collecte des données autour de la problématique de la ressource en eau dans l'estuaire de la Seine et tous ses secteurs utilisateurs. Celles-ci nous ont permis de construire une MCS (Matrice de Comptabilité Sociale) simplifiée pour l'année 2007. La revue de la littérature nous a guidé dans le choix des spécifications d'un MEGC que nous avons alors développé pour une première étude d'impacts économiques au niveau de l'estuaire de la Seine.

Section 2 : Les données collectées

Nous avons recueilli des données sur l'eau, l'agriculture, la terre, des statistiques sur les agrégats économiques en Seine maritime devant nous permettre d'améliorer notre état de connaissance de la région. Après avoir présenté un bref rappel des grandes caractéristiques de la géographie du bassin, nous présentons les sources de données collectées les plus significatives.

2.1 La spécificité du territoire : géographie et composantes des sols

2.1.1 La géographie du bassin

Le bassin Seine et les cours d'eau côtiers normands s'étendent sur environ 100 000 km². Les paysages sont principalement ruraux vers l'amont et l'ouest du bassin, et ont tendance à s'uniformiser (grandes cultures et urbanisation) quand on se rapproche du centre du bassin.

Son réseau hydrographique est composé de 55 000 km de cours d'eau. La majorité de ce cours d'eau converge vers la Seine qui draine un bassin versant de 78 000 km² (à travers une longueur de 780 km entre sa source sur le plateau de Langres et son estuaire). Le littoral du bassin s'étend sur 640 km.

Le bassin possède un patrimoine et des milieux naturels très riches. En effet, il compte 3 650 ZNIEFF¹ qui recouvrent 26 500 km². Il faut savoir qu'il y a une partie qui joue un rôle important dans la fonctionnalité des milieux aquatique et qui contribue à la diversité biologique de ces écosystèmes.

2.1.2 Les composantes des sols

Le bassin de la Seine est couvert à 75 % de terrains perméables, à savoir la craie et le calcaire. De ce fait, les coefficients d'infiltrations sont élevés. C'est pour cela que ces terrains sont des zones de stockage, qui restituent les eaux progressivement et soutiennent donc l'étiage des rivières.

Le bassin Seine et côtier normand comprend :

- 8 masses d'eau alluvionnaires²
- 36 masses d'eau à dominante sédimentaire qui sont constituées d'une ou plusieurs aquifères superposées en relation étroite.

¹ Zones naturels d'intérêt écologique faunistique et floristique

² Les alluvions sont, généralement, un filtre en relation avec des nappes de grande extension (comme la craie) dont elles contribuent à assurer le drainage vers la rivière

- 8 masses d'eau de socle, qui correspondent à un ou plusieurs bassins versants hydrographiques de cours d'eau.
- 1 masse d'eau à système imperméable localement aquifère³

2.2 Les données sur l'eau

Elles regroupent des statistiques et des chiffres issues d'études menées sur la ressource en eau dans la région Haute Normandie (seine maritime essentiellement), plus spécifiquement sur l'estuaire de Seine:

-Rapport annuel 2007 sur le prix et la qualité du service public d'eau potable de la communauté de l'agglomération rouennaise; Agglo. de Rouen – direction de l'eau.

Ce rapport met en évidence la structure d'exploitation de la ressource en eau, l'organisation des services, la structure de production d'eau potable, les indicateurs de la qualité d'eau potable, la structure du prix de l'eau potable et la structure de consommation par type de consommateur.

-Observatoire du prix et du service d'eau du bassin seine – normandie (2005); AESN.

Nous y retrouvons la composition de la facture d'eau pour un prix moyen de l'eau, la variation des éléments composant le prix de l'eau sur le bassin, le prix de l'eau selon les zones géographiques du bassin. Nous y retrouvons surtout les différentes redevances perçues par l'agence de l'eau et les taxes sur l'eau par type de consommation et de prélèvement.

Une idée des analyses d'impacts sur le prix et le service de l'eau : l'impact de l'assainissement collectif sur le prix de l'eau; l'impact de la taille de la commune sur le prix de l'eau; l'impact du mode de gestion sur le prix des services de l'eau; l'impact du mode de gestion sur le prix des services de l'assainissement collectif; l'impact de l'intercommunalité sur la facture d'eau; l'évolution du prix de l'eau.

-Élaboration de scénarios d'évolution des besoins en eau à comparer à la disponibilité en eaux superficielles du bassin Seine-Normandie(rapport 2005 modifié en 2007), AESN.

Cette étude, dans son ensemble (Phase 1 et Phase 2 réunies), consiste à identifier les pressions ayant un impact sur la disponibilité quantitative de la ressource en eau superficielle et notamment les rivières en période d'étiage, en situation actuelle et aux horizons 2015 et 2025. Il sera également testé l'efficacité technique d'éventuels aménagements (déjà envisagés à l'heure actuelle) ou mesures permettant de diminuer l'écart entre les besoins et la disponibilité de cette ressource, ceci afin de pouvoir les inscrire dans le futur plan de gestion du bassin de la Seine.

-L'industrie et l'eau : Analyse économique des usages industriels de l'eau du bassin de la Seine et des fleuves côtiers normands, AESN.

³ Il s'agit de petites aquifères disjointes et disséminées dans une formation de type sédimentaire peu ou pas aquifères

Dans cette étude nous retrouvons les différents critères d'implantation des industries dans le bassin, les usages industriels de l'eau, et la contribution de l'eau à la valeur ajoutée des secteurs industriels importants pour l'économie du bassin, mais également pour l'économie française.

- *Bulletin de situation hydrologique du bassin Seine-Normandie, Bilan Annuel septembre 2006 – août 2007 / septembre 2007 – août 2008*, AESN.

L'objectif du bulletin annuel de situation hydrologique du bassin Seine Normandie est de mettre à la disposition des principaux interlocuteurs de l'Agence de l'Eau un bilan synthétique de l'année écoulée en ce qui concerne l'évolution quantitative des ressources en eau du bassin, ainsi qu'une identification des faits marquants qui ont eu lieu sur le secteur.

2.3 Les données sur l'agriculture et la terre

Les données sur l'agriculture nous donnent des éléments d'appréciation sur le degré d'importance de l'agriculture pour l'économie locale; l'évolution de l'agriculture en fonction des variations climatiques et saisonnières et de la pluviométrie; les comptes d'exploitations des industries agricoles; l'utilisation des facteurs de production (terre - eau – travail - capital); l'impact des pratiques agricoles sur les sols et la ressource en eau (pollution des sols et débit de perméabilité).

Nous en présentons ici les principales :

- Les superficies cultivées et cultivables en Haute Normandie, Agrest;
- Les superficies irriguées et irrigables en Haute Normandie, Agrest ;
Maurice KOFFI, MASTER 2 GRE Université de ROUEN
- Structure des exploitations agricoles en 2007 en Haute Normandie, Agrest;
- L'agriculture, données sur l'état des lieux demandé par la DCE, rapport Ernst&Young (2004)
- Les comptes d'exploitation des industries agricoles en Haute Normandie, Agrest;
- Les enquêtes sur les pratiques agricoles en Haute Normandie de 2006 à 2008, Agrest;
- L'agriculture en Haute Normandie en 2007, *Michel DELACROIX, Mathieu GRENIER (Direction régionale de l'agriculture et de la Forêt)*
- L'utilisation des sols en Haute Normandie;
- Le prix des terres agricoles (coût du facteur terre), Agrest;
- Les prélèvements sur la ressource en eau pour l'agriculture et le prix de l'eau, AESN;
- La quantité d'unité de travail d'une personne à temps plein sur une exploitation agricole en Haute Normandie.

2.4 Les données sur les statistiques et les agrégats économiques en Seine Maritime

Nous avons recueilli des statistiques et des agrégats économiques sur la région Haute Normandie. Notamment :

- Le PIB par région en France. On y retrouve donc le PIB de la région Haute Normandie de 1990 à 2007 en valeur, par habitant, par emploi, et en volume (INSEE);

- La valeur ajoutée régionale totale de 1990 à 2007 (INSEE);
- La structure de la fiscalité départementale en France en 2008 (INSEE);
- L'impôt sur le revenu 2007 en Seine Maritime (INSEE);
- La formation du revenu disponible brut des ménages par région de 2001 à 2005 en base 2000 (INSEE);
- Le revenu disponible moyen des ménages sur la région par type de ménage, par zone de résidence urbaine, par catégorie socioprofessionnelle de la personne de référence du ménage, selon l'âge de la personne de référence (INSEE);
- La formation brute de capital fixe par produit en volume de 1949 à 2007 (INSEE);

Toutes ces données recueillies nous permettent de mener les analyses nécessaires à la réalisation des objectifs de notre contribution au projet Seine – Aval sur les effets du changement climatique dans le contexte des changements globaux. En effet, vu les rapports d'études et les bulletins annuels sur l'état de la ressource en eau et les scénarios prospectifs d'évolution des disponibilités de cette ressource, nous pouvons aisément quantifier les demandes de facteurs en eau souterraine et de surface par les différents secteurs économiques de l'estuaire de la seine. Nous connaissons la consommation des ménages et des industries en volume et en valeur par secteur d'activité sur l'agglomération rouennaise. Nous pouvons également par l'état des prélèvements en eau, savoir les secteurs d'activités intensifs en eau. Nous disposons aussi d'une étude des pressions qui existent sur la ressource en eau sur le bassin seine normandie.

Les bulletins et les études menées sur l'agriculture en Haute Normandie nous permettent de savoir l'utilisation des différents intrants agricoles dans la production des différentes cultures de l'estuaire de la seine. Nous pouvons aussi savoir l'impact de la quantité de nitrates présents dans la terre et donc, les conséquences en termes de besoins de régulation économique et environnementale. Nous disposons aussi des résultats d'enquêtes 2006 et 2007 sur les pratiques culturales en Haute Normandie qui nous permettent de savoir les changements de pratiques agricoles relatives aux variations climatiques.

Les statistiques et données économiques dont nous disposons nous permettent de produire par croisement des quantités et des valeurs, les éléments nécessaires à la construction d'une MCS et donc d'un MEGC sur la région Seine Maritime.

Section 3 : La construction de la MCS

La MCS est construite pour l'année 2007 et correspond principalement aux données de l'échelle spatiale de la Seine Maritime, par simplification et insuffisance des données collectées.

3.1 Quelques spécificités du territoire

➤ Une population principalement concentrée autour des grands cours d'eau :

Le bassin compte 17,25 millions d'habitants sur une surface de 97 000 km², dont 55 % des habitants concentrés sur seulement, 2 % du territoire. On peut remarquer qu'il y a une forte variabilité de la densité de population, de 35 à 20 000 habitants/km², et dont la plus importante se situe le long des cours d'eau.

Cette forte concentration représente des prélèvements importants⁴. De plus, le nombre important d'industries, de services, de petits commerces et artisanats connectés au réseau engendre une consommation d'eau potable urbaine rapportée à l'habitant plus élevée que la moyenne.

➤ L'importance de l'assainissement collectif et ces conséquences :

84 % de la population est connectée au système d'assainissement collectif. En effet, toutes les communes du bassin de plus de 2 000 habitants sont dotées d'une station d'épuration (pour au moins une partie de leur population).

L'assainissement collectif pose, entre autre, le problème de la concentration des rejets. En effet, ces derniers sont mélangés entre eux, c'est-à-dire avec les eaux domestiques, les activités de services et du commerce et la gestion des écoulements pluvieux. Malgré des équipements perfectionnés et des normes de plus en plus drastiques, la part des collectivités dans la pollution du milieu reste importante.

➤ Les emplois sur le territoire :

Le bassin compte au total 8 millions d'emplois dont 78 % consacrés au secteur tertiaire, artisans et autres entreprises de – 20 salariés ; 20 % d'emplois industriels pour les établissements de + 20 salariés⁵ ; et 2 % d'agriculteurs⁶.

3.2 L'utilisation de la ressource en eau par les différents secteurs

Les principales sources de prélèvement sont : l'adduction d'eau potable pour 48,3 %, l'énergie pour 23,6 % et l'industrie pour 22,5 % (les deux autres secteurs ont des poids marginaux⁷).

➤ L'adduction d'eau potable :

⁴ Les prélèvements pour l'eau potable proviennent de 40 % de l'eau superficielle

⁵ Part plus élevée que la moyenne nationale

⁶ Part moins importante que la moyenne nationale

⁷ Irrigation pour 2,1 % et 3,5 % pour l'eau non potable de Paris

Comme nous venons de le voir c'est l'AEP qui prélève le plus d'eau, 48,3 %. Mais il faut savoir qu'il y a 56 % qui proviennent des prélèvements des eaux de surfaces et 44 % des nappes alluviales.

La part de la consommation par rapport au milieu⁸ pour l'usage de l'adduction d'eau potable est estimée à 68,9 % des prélèvements.

➤ L'industrie (y compris l'énergie) :

Le secteur « production d'énergie » utilise près de 45 % du total des volumes d'eau employés dans l'industrie. Puis sept secteurs utilisent environ 40 % de ces volumes d'eau, à savoir : la collecte et le traitement des déchets, la chimie de base, le raffinage du pétrole, le papier carton, et dans une moindre mesure « la fonderie sidérurgie et métallurgie ».

L'industrie prélève majoritairement des eaux de surface de manière directe (environ 70 %). Et il faut savoir que les eaux de refroidissement représentent la plus grosse part et proviennent à 90 % de ces eaux.

- l'industrie (hors énergie) :

Les secteurs à faible intensité en eau sont beaucoup moins dépendants de l'abondance et de l'état de la ressource en eau, et donc de la localisation géographique.⁹

Il faut souligner que la majorité des sites industriels est approvisionnée en eau par le réseau d'eau potable (même s'il y a un prélèvement en eau dans le réseau naturel). L'eau potable du réseau est utilisée pour les besoins sanitaires, et parfois même pour le procédé de fabrication (selon la disponibilité de la ressource et/ou des contraintes de qualité).

- L'énergie :

Les industries à forte intensité en eau sont localisées près des rivières, des fleuves (voir des mers)¹⁰.

Les prélèvements en eau de surfaces des centrales thermiques représentent + 95 % du total.

Il faut savoir qu'en période d'étiage (du 1^{er} Juin au 30 Octobre) les volumes prélevés par ce secteur sont de 28,6 % des prélèvements annuels.

➤ L'agriculture :

Le secteur agricole est très important dans le bassin. Les exploitations agricoles constituent un quart de la dimension économique agricole nationale (en terme de marge brute standard¹¹-MBS). En effet, la MBS moyenne des exploitations du bassin est supérieure de 37 % à la moyenne nationale. On peut dire que le bassin regroupe un tiers des plus grandes exploitations françaises : 59 % du potentiel économique du bassin provient de ces exploitations, qui représentent 20 % des exploitations de bassin.

⁸ = la différence entre les prélèvements et les rejets au milieu naturel

⁹ Exemple des PME-PMI qui sont principalement implantés en milieu urbain et qui s'approvisionnent en eau potable du réseau

¹⁰ Exemple des centrales nucléaires qu'on retrouve le long des cours d'eau

¹¹ Qui représente la somme des marges brutes potentielles des productions de l'exploitation

C'est un préleveur et un consommateur d'eau à deux niveaux : l'élevage pour la consommation des bétails¹² et l'irrigation pour les cultures.

L'irrigation concerne : les céréales et pois pour 40 %, les pommes de terre pour 13 %, les betteraves 17 %, 17 %, et 13 % pour les cultures légumières, les arboricultures, les maraîchages et les cultures sous serre.

L'irrigation sur le bassin Seine-Normandie a concerné une superficie totale de 140 000 hectares en 2004.

Les volumes prélevés proviennent, pour 92 % de l'eau des nappes et pour 8 % de l'eau de surface.

3.3 Construction d'une MCS : synthèse des données¹³

3.3.1 La ligne des facteurs :

1) Mains d'œuvre : ici la donnée collectée ne concerne que la colonne « branche ».

- Tout d'abord nous avons fait une répartition des salaires selon leur part d'emploi. Le montant des salaires bruts totaux perçus par les ménages en 2005 s'élevait à 18 629 millions d'Euros¹⁴. La majorité des emplois en Haute-Normandie sont tertiaire (78%), il y a 20% d'emploi industriels, et 2% agricoles¹⁵. De là, nous pouvons désagréger les emplois comme suivant :

- ✓ $18\,629 * 0,02 = 372,58$ (agriculture)

- ✓ $18\,629 * 0,2 = 3\,725,8$ (industrie)

- ✓ $18\,629 * 0,78 = 14\,530,62$ (tertiaire)

- Ensuite nous avons appliqué des parts afin de déterminer le nombre d'emplois pour chaque catégorie, à savoir : agriculture intensive en eau (AIE), agriculture non intensive en eau (ANIE), industrie intensive en eau (IIE), industrie non intensive en eau (INIE), services marchand (SM) et les services non marchands(SNM).

- ✓ $373 * 0,4^{16} = 149$ (AIE)

- ✓ $373 * 0,6 = 224$ (ANIE)

- ✓ $3725 * 0,35 = 1304$ (IIE)

- ✓ $3725 * 0,65 = 2422$ (INIE)

- ✓ $14\,531 * 0,64 = 9300$ (SM)

- ✓ $14\,531 * 0,36 = 5231$ (SNM)

2) Le capital (EBE) : l'excédent brut d'exploitation représente 31 718 millions d'Euros¹⁷.

- nous avons appliqué les parts de répartition¹⁸ suivantes :

¹² Il faut savoir qu'il n'y a pas de statistiques globales à l'échelle du bassin sur les prélèvements et les consommations de l'élevage

¹³ MCS : Matrice de comptabilité Sociale

¹⁴ INSEE, Division Statistique Régionales, Locales et Urbaines – Comptes régionaux des ménages provisoires

¹⁵ Etats des lieux du Bassin Seine et cours d'eau côtiers normands – Agence de Eau Seine Normandie

¹⁶ Par simplification nous avons appliqué les part suivante : 0,4 et 0,6, car nous n'avons pas trouvé les données

¹⁷ Agence de l'Eau Seine Normandie – « L'industrie et l'eau », Analyse économique des usages industriels de l'eau du bassin de la Seine et des fleuves côtiers normand.

- ✓ $31\,718 * 0,02 = 634,36$ (Agriculture)
- ✓ $31\,718 * 0,366^{19} = 11\,608,788$ (Industrie)
- ✓ $31\,718 * 0,402 = 12\,751$ (SM)
- ✓ $31\,718 * 0,212 = 6\,724$ (SNM)
- Ensuite nous avons appliqué des parts de répartition²⁰, de la façon suivante :
 - ✓ $634 * 0,4 = 255$ (AIE)
 - ✓ $634 * 0,6 = 381$ (ANIE)
 - ✓ $11\,609 * 0,4 = 4643$ (IIE)
 - ✓ $11\,609 * 0,6 = 6\,965$ (INIE)
- 3) Le coût de la terre : les branches qui utilisent ce facteur de production sont l'agriculture intensive et non intensive en eau. Pour avoir les valeurs, nous avons multiplié les surfaces irriguées et non irriguées par le prix des terres agricoles²¹.
 - $140\,264^{22} * 5600 = 786$ millions d'Euros (AIE)
 - $675736^{23} * 5600 = 3784$ millions d'Euros (ANIE)
- 4) Le coût de l'eau : nous avons émis l'hypothèse qu'il y avait juste l'agriculture intensive en eau et l'industrie intensive et non intensive en eau qui consomme l'eau, car les autres branches l'utilisent de manière plus marginale. Nous avons multiplié le prix moyen de l'eau par les volumes d'eau prélevée²⁴ par les différentes branches.
 - $4757039,80^{25} * 3,14^{26} = 15$ millions d'Euros (AIE)
 - $(5861665,49^{27} + 19072156,85^{28}) * 3,14 = 68$ millions d'Euros (IIE)
 - $2861254,21^{29} * 3,14 = 9$ millions d'Euros (INIE)

3.3.2 La ligne des agents

- 1) Les ménages : nous représentons les différentes recettes des ménages (revenus issus de leurs dotations factorielles et des transferts sociaux).
 - Le revenu issu du travail (main d'œuvre) : il s'agit des salaires perçus par les ménages en 2005³⁰ : 18 629,1 millions d'Euros.
 - Le revenu issu du capital : il s'agit du capital des ménages, soit 6 129³¹ millions d'Euros.

¹⁸ INSEE, « Comptes régionaux des ménages en base 2000 » (valeur ajoutée des secteurs d'activité en 2007)

¹⁹ $0,209$ (industrie) + $0,072$ (construction) + $0,085$ (commerce) = $0,366$

²⁰ Par simplification nous avons appliqué ces clés de répartition car nous n'avons pas trouvé l'information

²¹ Source : Agreste-Enquête valeur vénale des terres ; valeur de 2004 ; moyenne du prix des terres labourables (5840 €) et des prairies naturelles (5240 €), soit un prix moyen de 5600€.

²² Exploitations irriguées en ha en 2004

²³ Exploitations non irriguées en ha en 2004

²⁴ Source : Agence de l'Eau, 2008 (Répartition des volumes d'eau prélevé par usage en 2006)

²⁵ Volume prélevé pour l'irrigation en milliards de m³

²⁶ Agence de l'eau Seine Normandie, « Le prix de l'eau en 2005 » - Observatoire du prix et des services d'eau du bassin Seine-Normandie

²⁷ Volume prélevé pour l'eau potable

²⁸ Volume prélevé par le secteur de l'énergie

²⁹ Volume prélevé par l'industrie

³⁰ INSEE-Formation du revenu disponible brut (RDB) des ménages en 2005 (en millions d'euros)-« salaire et traitement bruts »

³¹ INSEE-Formation du revenu disponible brut des ménages en 2005 –« excédent brut et revenu mixte »

- Le revenu issu de la terre : il s'agit du revenu issu de la dotation en facteur terre, soit 1691 millions d'Euros.³²
- Le revenu issu de l'eau : $90 * 0,196^{33} = 72$
- Les transferts reçus de la part des administrations publiques (l'état) : ce sont le montant des minimaux sociaux³⁴ perçus par les ménages : $18\,400^{35} / 33^{36} = 558$ millions d'euros.

2) Les entreprises :

- Les entreprises reçoivent une part de la rémunération du capital (EDE). Pour connaître le montant perçu par ces dernières il suffit de prendre le capital (EBE) total³⁷ et d'y soustraire l'excédent brut et revenu mixte des ménages : $31\,718 - 6\,129 = 25\,589$ millions d'Euros.

3) La région (l'Etat, Administrations publiques)) :

- Tout d'abord, la région reçoit une part de la rémunération de l'eau (recettes liées à la taxation de l'eau) : $90 * 0,196 = 18$ millions d'Euros.
- Puis la région perçoit également des recettes provenant de l'impôt sur le revenu des ménages et des entreprises, à savoir : $18\,629 * 0,13^{38} = 2\,421$ millions d'Euros (ménages) et 6380 (entreprises).
- Les produits composites : la région reçoit des droits de douane et taxes indirectes provenant des importations³⁹. Le montant de cette taxe est de 19,6 % :
 - ✓ AIE : $490 * 0,196 = 96$ millions d'euros
 - ✓ ANIE : $972 * 0,196 = 191$ millions d'euros
 - ✓ IIE : $13\,280 * 0,196 = 2\,602$ millions d'euros
 - ✓ INIE : $9\,922^{40} * 0,196 = 1\,944$ millions d'euros
 - ✓ SM : $23 * 0,196 = 4,5$ millions d'euros

3.3.3 La ligne des branches : les colonnes qui nous intéressent sont celles des produits exportés⁴¹

- AIE : 812 millions d'euros
- ANIE : 1237 millions d'euros
- IIE : 3550 millions d'euros
- INIE : $2814^{42} + 3436^{43} + 2081^{44} + 6851^{45} = 15\,181$ millions d'euros

³² Voir source

³³ On déduit la TVA de 19,6 % qui est perçue par l'Etat

³⁴ RMI, RSA,...

³⁵ Ce sont les transferts sociaux totaux perçus en France

³⁶ Nombre des départements

³⁷ Agence de l'Eau Seine Normandie, « L'industrie et l'eau » - Analyse économique des usages industriels de l'eau du bassin et des fleuves côtiers normands.

³⁸ Il s'agit de la part qui est prélevée directement de l'impôt sur le revenu

³⁹ Données issues de « Les échanges extérieurs en 2005 » ; Douanes 2005-données CAF-FAB hors matériel militaire

⁴⁰ Biens de consommations+industrie automobiles+biens d'équipement+biens intermédiaires

⁴¹ Idem (sauf qu'on a pris les données de l'exportation)

⁴² Biens de consommation

⁴³ Industrie automobile

➤ SM : 17 millions d'euros

3.3.4 La ligne des produits composites : la répartition des consommations intermédiaires selon les différents agents économiques

- 1) Tout d'abord il faut déterminer le montant des consommations intermédiaires pour chaque branche. Comme nous n'avons pas collecter les données nécessaires, nous avons du passer par une équation mathématique. En effet, nous avons pu trouver la part de la valeur ajoutée pour chaque secteur, et comme nous connaissions le montant de la valeur ajoutée, il a fallu que nous passions par deux équations à une inconnue chacune. La première pour déterminer le montant de la production et la deuxième pour trouver le montant total des consommations intermédiaires⁴⁶.
 - AIE : taux de valeur ajouté est égale à 40 %⁴⁷, de ce fait, le taux des consommations intermédiaire est égal à 60 %⁴⁸. Nous savons que le montant des VA pour l'AIE est égale à 1096. Donc $x^{49} = (1096 * 100 \%) / 40 \%$. $x = 2740$.
Comme nous connaissons maintenant le montant de la production et celui de la valeur ajoutée, nous pouvons en conclure le montant des consommations intermédiaires : $y^{50} = 2740 - 1096 = 1644$
 - ANIE : taux de VA = 40 %, Taux de CI = 60 %, montant de VA = 4228
 $X = 4228 / 0,4 = 10570$
 $Y = 10570 - 4228 = 6342$

Nous avons poursuivi cette méthode pour les autres secteurs.
- 2) Ensuite, nous avons cherché des parts de chaque intrant dans les consommations intermédiaires totales. Le tableau suivant présente ces parts que nous avons trouvés⁵¹ :

	CI AIE	CI ANIE	CI IIE	INIE	SM	SNM
AIE	60 %	24 %	4,5 %	5 %	5 %	4 %
ANIE	12 %	31 %	0,5 %	2 %	7 %	8 %
IIE	5 %	9 %	50 %	17 %	6 %	5 %
INIE	8 %	10 %	32 %	52 %	12 %	13 %
SM	13 %	25 %	11 %	20 %	48 %	40 %
SNM	2 %	1 %	2 %	4 %	22 %	30 %

⁴⁴ Biens d'équipement

⁴⁵ Biens intermédiaires

⁴⁶ valeur ajoutée = production – consommation intermédiaire

⁴⁷ Agreste Haute-Normandie Note n° 63 – Septembre 2008 (tableau « compte 2006 semi définitif)

⁴⁸ Car le taux valeur ajoutée + taux des consommations intermédiaires = production

⁴⁹ Qui est le montant de la production

⁵⁰ Y = montant des consommations intermédiaires

⁵¹ INSEE « Tableau des entrées intermédiaires » (addition des parts selon les secteurs)

Nous avons déduit les ventes locales de chaque produit connaissant leur production locale, les importations et les exportations. Au final, les épargnes des agents et les demandes d'investissement en chaque bien sont les variables d'ajustement permettant d'équilibrer la MCS.

Section 4 : Le modèle EGC proposé pour simuler les impacts économiques du changement climatique : une première maquette CLIMATSEINE

Cette partie présente la maquette d'un modèle statique appelée CLIMATSEINE conçu pour simuler l'impact de la variabilité de la disponibilité en eau primaire sur l'économie estuarienne, ainsi que les résultats des simulations effectuées. Après une description des différents blocs d'équations du modèle, nous exposerons les résultats microéconomiques et macroéconomiques de nos simulations.

4.1 Description de la maquette CLIMATSEINE

Le modèle s'inspire du modèle statique néoclassique EXTER développé par Decaluwé, Martens et Savard (2001) mais diffère de celui-ci sur de nombreux aspects. Tout d'abord, le modèle comporte quatre facteurs de production (travail, capital, terre et eau primaire) contrairement à EXTER qui n'en compte que deux (travail et capital). Les facteurs travail et terre sont parfaitement mobiles entre toutes les branches de l'économie (branches agricoles pour la terre). Nous distinguons deux types de capital : un capital parfaitement mobile entre les branches agricoles et un capital non agricole parfaitement mobile entre les branches non agricoles. Enfin, le facteur eau primaire est spécifique aux secteurs de l'agriculture intensive en eau, l'industrie intensive et non intensive en eau. Nous considérons dans cette maquette qu'une seule catégorie de ménages. Nous intégrons une fonction de consommation LES (*Linear Expenditure System*) des ménages afin de prendre en compte l'existence d'un panier minimal de consommation pour chaque catégorie des ménages, alors que dans EXTER la consommation est une proportion fixe du revenu disponible. Nous intégrons un salaire d'efficience et une fonction de chômage involontaire endogène. Tous les secteurs sont en concurrence pure et parfaite.

Le modèle comporte huit blocs d'équations. Dans cette section, nous procédons à la description des différents blocs d'équations du modèle.

4.1.1 Le bloc d'offre

La production des secteurs de l'économie (concurrence pure et parfaite) (voir bloc 1)

La production des secteurs est modélisée en deux étapes. D’abord la production du secteur (XS_J) est exprimée comme une fonction de type Leontief combinant des parts fixes de la valeur ajoutée (VA_J) et des consommations intermédiaires (CI_J) (équation 1).

La valeur ajoutée est spécifiée de façon différente selon le type de secteur. Dans le secteur de l’agriculture intensive en eau, secteur d’irrigation (IRG), la valeur ajoutée (VA_{IRG}) est une fonction Cobb-Douglas des facteurs travail (LD_{IRG}), capital (KD_{IRG}), terre (TD_{IRG}) et eau primaire (ED_{IRG}) (équation 4). Dans les autres secteurs agricoles non irrigués (NIRG) (agriculture non intensive en eau), la valeur ajoutée (VA_{NIRG}) est représentée par une fonction Cobb-Douglas des facteurs travail (LD_{NIRG}), capital (KD_{NIRG}) et terre (TD_{NIRG}) (équation 3). La valeur ajoutée des secteurs de l’industrie (intensive WATIE et non intensive en eau WATINIE) est représentée par une Cobb-Douglas des facteurs travail (LD_{WATIE} , $LD_{WATINIE}$), capital (KD_{WATIE} , $KD_{WATINIE}$) et eau primaire (ED_{WATIE} , $ED_{WATINIE}$) (équations 5 et 6). La valeur ajoutée des secteurs marchands non agricoles et non utilisateurs de l’eau (VA_{NWAT}) et du secteur non marchand (VA_{NTR}) est représentée par une fonction Cobb-Douglas des facteurs travail (LD_{NWAT} et LD_{NTR}) et capital (KD_{NWAT} et KD_{NTR}) (équation 2 et 7).

La demande de travail de chaque branche est déterminée par la condition de premier ordre de maximisation du profit pour les différents secteurs (équations 10 à 15). Les mêmes conditions d’optimisation déterminent la demande du facteur capital (équations 16 à 21). De même pour le facteur terre des secteurs agricoles (équations 22 et 23) et de l’eau dans les secteurs intensifs en eau (équations 24 à 26).

La consommation intermédiaire de chaque secteur (CI_J) est une part fixe (io_J) de la production de ce secteur (XS_J) (équation 8). La demande intermédiaire d’un produit par une branche ($DI_{TR,J}$) est exprimée sous la forme d’une fonction linéaire la reliant avec la consommation intermédiaire de cette branche (CI_J) (équation 9).

Bloc 1 : Modélisation de la production des secteurs dans CLIMATSEINE statique

Production des secteurs (concurrence pure et parfaite)

$$(1) \quad XS_J = \frac{VA_J}{v_J}$$

$$(2) \quad VA_{NWAT} = A^{KL1}_{NWAT} LD_{NWAT}^{\alpha_{NWAT}} KD_{NWAT}^{1-\alpha_{NWAT}}$$

$$(3) \quad VA_{NIRG} = A^{KLT}_{NIRG} LD_{NIRG}^{\alpha_{NIRG}} KD_{NIRG}^{\beta_{NIRG}} TD_{NIRG}^{1-\alpha_{NIRG}-\beta_{NIRG}}$$

$$(4) \quad VA_{IRG} = A^{KLTE}_{IRG} LD_{IRG}^{\alpha_{IRG}} KD_{IRG}^{\beta_{IRG}} TD_{IRG}^{\chi_{IRG}} ED_{IRG}^{1-\alpha_{IRG}-\beta_{IRG}-\chi_{IRG}}$$

- (5) $VA_{WATHE} = A_{WATHE}^{KLE1} LD_{WATHE}^{\alpha_{WATHE}} KD_{WATHE}^{\beta_{WATHE}} ED_{WATHE}^{1-\alpha_{WATHE}-\beta_{WATHE}}$
- (6) $VA_{WATINIE} = A_{WATINIE}^{KLE1} LD_{WATINIE}^{\alpha_{WATINIE}} KD_{WATINIE}^{\beta_{WATINIE}} ED_{WATINIE}^{1-\alpha_{WATINIE}-\beta_{WATINIE}}$
- (7) $VA_{NTR} = A_{NTR}^{KL2} LD_{NTR}^{\alpha_{NTR}} KD_{NTR}^{1-\alpha_{NTR}}$
- (8) $CI_J = io_J XS_J$
- (9) $DI_{TR,J} = aij_{TR,J} CI_J$
- (10) $LD_{NWAT} = (\alpha_{NWAT} PV_{NWAT} VA_{NWAT}) / w$
- (11) $LD_{NIRG} = (\alpha_{NIRG} PV_{NIRG} VA_{NIRG}) / w$
- (12) $LD_{IRG} = (\alpha_{IRG} PV_{IRG} VA_{IRG}) / w$
- (13) $LD_{WATHE} = (\alpha_{WATHE} PV_{WATHE} VA_{WATHE}) / w$
- (14) $LD_{WATINIE} = (\alpha_{WATINIE} PV_{WATINIE} VA_{WATINIE}) / w$
- (15) $LD_{NTR} = (\alpha_{NTR} PV_{NTR} VA_{NTR}) / w$
- (16) $KD_{NWAT} = ((1-\alpha_{NWAT}) PV_{NWAT} VA_{NWAT}) / r_2$
- (17) $KD_{NIRG} = (\beta_{NIRG} PV_{NIRG} VA_{NIRG}) / r_1$
- (18) $KD_{IRG} = (\beta_{IRG} PV_{IRG} VA_{IRG}) / r_1$
- (19) $KD_{WATHE} = (\beta_{WATHE} PV_{WATHE} VA_{WATHE}) / r_2$
- (20) $KD_{WATINIE} = (\beta_{WATINIE} PV_{WATINIE} VA_{WATINIE}) / r_3$
- (21) $KD_{NTR} = ((1-\alpha_{NTR}) PV_{NTR} VA_{NTR}) / r_2$
- (22) $TD_{NIRG} = ((1-\alpha_{NIRG} - \beta_{NIRG}) PV_{NIRG} VA_{NIRG}) / r_T$
- (23) $TD_{IRG} = (\chi_{IRG} PV_{IRG} VA_{IRG}) / r_T$
- (24) $ED_{IRG} = ((1-\alpha_{IRG} - \beta_{IRG} - \chi_{IRG}) PV_{IRG} VA_{IRG}) / re_1$
- (25) $ED_{WATHE} = ((1-\alpha_{WATHE} - \beta_{WATHE}) PV_{WATHE} VA_{WATHE}) / re_2$
- (26) $ED_{WATINIE} = ((1-\alpha_{WATINIE} - \beta_{WATINIE}) PV_{WATINIE} VA_{WATINIE}) / re_3$

4.1.2 Le bloc des revenus et de l'épargne (voir bloc 2)

Les revenus et épargnes des agents (ménages, firmes et État) sont définis dans le bloc d'équations 27 à 33.

La réaction des ménages aux divers chocs est étudiée à travers celle d'un ménage représentatif. Ce ménage reçoit une part fixe des revenus salariaux, des revenus du capital, de la rente de la terre et de la rémunération de l'eau primaire. La rente de la terre est allouée en partie aux ménages (ruraux), l'autre partie étant allouée aux entreprises. Une part de la rémunération de l'eau primaire est versée aux ménages (l'autre part étant reçue par le « gouvernement » régional). Les ménages reçoivent une part de la rémunération du capital et des transferts de la part du gouvernement. Cet ensemble représente le revenu brut des ménages YM décrit par l'équation 27. Puis, le revenu disponible des ménages (YDM) est représenté par ce revenu brut défalqué des impôts directs versés à l'État (TDM) (équation 28). L'épargne des ménages (SM) est une fonction linéaire du revenu disponible brut (équation 29).

Le revenu des firmes (YE) est constitué d'une part de la rémunération du capital agricole et du capital non agricole ainsi que par l'autre part de la rémunération de la terre (équation 30). Leur épargne (SE) est donnée par l'écart entre leur revenu brut (YE) et les impôts directs versés à l'État (TDE) (équation 31).

L'équation 32 définit le revenu de l'État régional (YG). Il s'agit des recettes publiques constituées par la somme de la part de la rémunération de l'eau primaire reçue par l'État, des taxes indirectes sur les ventes locales (TI_{TR}), des taxes à l'importation (TIM_{TR}), des impôts directs collectés auprès des ménages (TDM) et des firmes (TDE). L'épargne publique régionale (SG) apparaît de façon résiduelle comme la différence entre les revenus de l'État (YG), ses dépenses (G) et les transferts qu'il verse aux ménages (TGM) (équation 33).

Bloc 2 : Modélisation des revenus et épargnes dans CLIMATSEINE statique

Revenus et épargnes

$$(27) \quad YM = \lambda_w w \sum_j LD_j + \lambda_r \left(\sum_{AGR} r_1 KD_{AGR} + \sum_{NAG} r_2 KD_{NAG} \right) + \lambda_l \sum_{AGR} r_T TD_{AGR} + \lambda_{2WAT} (re_1 ED_{AIE} + re_2 ED_{IIE} + re_3 ED_{INIE}) + TGM$$

$$(28) \quad YDM = YM - TDM$$

$$(29) \quad SM = \phi YDM$$

$$(30) \quad YE = \lambda_{re} \left(\sum_{AGR} r_1 KD_{AGR} + \sum_{NAG} r_2 KD_{NAG} \right) + \lambda_{le} \sum_{AGR} (rt TD_{AGR})$$

$$(31) \quad SE = YE - TDE$$

$$(32) \quad YG = \lambda_{1WAT} (re_1 ED_{AIE} + re_2 ED_{IIE} + re_3 ED_{INIE}) + \sum_{TR} TIM_{TR} + \sum_{TR} TI_{TR} + TDM + TDE$$

$$(33) \quad SG = YG - G - TGM$$

4.1.3 Les taxes (voir bloc 3)

Pour les biens échangeables (TR), l'équation 34 montre que les impôts indirects intérieurs frappent les importations à leur prix intérieur, c'est-à-dire droits de douane compris, ainsi que la part non exportée de la production locale, évaluée au prix reçu par le producteur. Leur taux d'imposition est (tx_{TR}).

Les taxes à l'importation ou recettes douanières nettes à l'importation des biens échangeables (TIM_{TR}) sont une fonction linéaire reliant le taux de taxation douanière (net) à l'importation (tm_{TR}), le prix mondial à l'importation ($P_{wm_{TR}}$), le taux de change extérieur nominal (e) et les quantités importées (M_{TR}) (équation 35).

L'impôt direct sur le revenu du ménage (TDM) est une part fixe de son revenu (YM) déterminée par le taux d'imposition directe du revenu des ménages (ty) (équation 36).

L'impôt direct sur le revenu des firmes (TDE) est également une proportion fixe de leur revenu (YE). Cette dernière dépend également du taux d'imposition directe du revenu des firmes (ty_e) (équation 37).

Bloc 3 : Modélisation des taxes dans CLIMATSEINE statique

Taxes

$$(34) \quad TI_{TR} = tx_{TR}(P_{TR}XS_{TR} - Pe_{TR}EX_{TR}) + tx_{TR}(1 + tm_{TR})eP_{wm_{TR}}M_{TR}$$

$$(35) \quad TIM_{TR} = tm_{TR}P_{wm_{TR}}eM_{TR}$$

$$(36) \quad TDM = tyYM$$

$$(37) \quad TDE = ty_eYE$$

4.1.4 Le bloc de demande (voir bloc 4)

Les équations 37 à 41 représentent le module de demande. La consommation finale de chaque produit TR par les ménages (C_{TR}) est valorisée au prix du bien composite ($P_{c_{TR}}$). Elle est une fonction de type LES⁵² (équation 38). Cette fonction permet de distinguer la consommation

⁵² Connue aussi sous le nom de *système linéaire des dépenses de type Stone Geary* (Stone, 1954).

incompressible de la consommation discrétionnaire qui dépend du revenu. La spécificité de cette fonction de demande est qu'elle comporte un panier minimal de consommation (\bar{C}_{TR}). C'est le volume du produit que doit consommer le consommateur représentatif s'il veut maintenir un standard de vie minimal. Ce volume est fixe, donc exogène. La consommation discrétionnaire est, en revanche, déterminée de façon endogène par les variations des prix et du revenu disponible du ménage (Decaluwé, Martens et Savard, 2001). Le montant des dépenses de consommation (CTM) est obtenu en retranchant du revenu disponible (YDM), l'épargne (SM) (équation 37).

Les dépenses de l'État (G) sont données par la production en volume du secteur non marchand (XS_{NTR}) valorisée par son prix (P_{NTR}) (équation 41).

La valeur de l'investissements par origine (INV_{TR}) est une proportion fixe de l'investissement total (IT). Ces demandes d'investissements en bien TR (INV_{TR}) sont données par l'équation 39.

La demande intermédiaire d'un produit (DIT_{TR}) représente, quant à elle, la somme des demandes intermédiaires de ce produit par l'ensemble des branches de production ($DI_{TR,J}$) (équation 40).

Bloc 4 : Modélisation de la demande dans CLIMATSEINE statique

Demande

$$(37) \quad CTM = YDM - SM$$

$$(38) \quad C_{TR} = \frac{P_{C_{TR}} \bar{C}_{TR} + \gamma_{TR} (CTM - \sum_{TR} P_{C_{TR}} \bar{C}_{TR})}{P_{C_{TR}}}$$

$$(39) \quad INV_{TR} = \frac{\mu_{TR} IT}{P_{C_{TR}}}$$

$$(40) \quad DIT_{TR} = \sum_K DI_{TR,J}$$

$$(41) \quad G = P_{SNM} XS_{SNM}$$

4.1.5 Le bloc des échanges extérieurs (voir bloc 5)

Le bloc des échanges extérieurs est donné par les équations 42 à 46. Les équations 42 et 43 sont concernées par l'offre du produit local sur le marché intérieur et à l'exportation. Plus précisément, il est supposé que le producteur du produit échangeable TR peut affecter sa production totale (XS_{TR}), en proportion variable, à des ventes à l'exportation (EX_{TR}) et à des ventes locales (D_{TR}), cet arbitrage entre EX_{TR} et D_{TR} dépendant de l'élasticité de

transformation commerciale constante et finie τ_{TR}^e (finie et négative), telle que définie par l'équation 42. Cette hypothèse de transformation finie du produit vendu localement et du produit exporté d'une même branche de production repose sur l'idée que les deux produits ne sont pas nécessairement identiques. Decaluwé, Martens et Savard (2001) illustrent cela en donnant un exemple pour l'agriculture. Le produit local pourrait être du sorgho et le produit exporté du coton. L'élasticité de transformation commerciale finie entre ces deux produits, qui correspondent à la stricte concavité de leur courbe de possibilités de production, exprime qu'il devient de plus en plus difficile, avec une dotation en terres cultivables, ou capital, qui est fixe, du moins à court-terme, de « faire » plus de coton et moins de sorgho, ou l'inverse. L'équation 43 montre que le ratio du volume offert localement et du volume exporté (D_{TR} / EX_{TR}) décroît avec l'augmentation du prix relatif que reçoit le producteur pour ses ventes à l'extérieur (Pe_{TR} / Pl_{TR}), et l'inverse.

Le traitement des importations est donné par les équations 44 et 45. On suppose que l'utilisateur du produit TR se voit offrir un volume total du produit composite TR (Q_{TR}) qu'il achète, en proportion variable, à l'extérieur (M_{TR}) et sur le marché local (D_{TR}). Son choix entre les deux sources d'approvisionnement est exprimé par une fonction de substitution commerciale à *élasticité de substitution commerciale constante et finie* (σ_{TR}^m) telle que décrite par l'équation 44. « C'est comme si le volume offert du produit composite était « produit » à l'aide de deux intrants : le produit importé et le produit local » (Decaluwé, Martens et Savard, 2001). L'équation 45 est la fonction de la demande d'importation du produit TR.

Enfin, l'équation 46 indique que l'épargne extérieure (SR) est égale au déficit courant de la balance des paiements extérieurs. Il s'agit de l'écart entre les ressources de l'extérieur (importations) et ses dépenses (exportations).

Bloc 5 : Modélisation des échanges extérieurs dans CLIMATSEINE statique

Echanges extérieurs

$$(42) \quad XS_{TR} = B_{TR}^e \left[\beta_{TR}^e EX_{TR}^{-\kappa_{TR}^e} + (1 - \beta_{TR}^e) D_{TR}^{-\kappa_{TR}^e} \right]^{-\frac{1}{\kappa_{TR}^e}}$$

$$(43) \quad D_{TR} = \left[\left(\frac{1 - \beta_{TR}^e}{\beta_{TR}^e} \right) \left(\frac{Pe_{TR}}{Pl_{TR}} \right) \right]^{\tau_{TR}^e} EX_{TR}$$

$$(44) \quad Q_{TR} = A_{TR}^m \left[\alpha_{TR}^m M_{TR}^{-\rho_{TR}^m} + (1 - \alpha_{TR}^m) D_{TR}^{-\rho_{TR}^m} \right]^{-\frac{1}{\rho_{TR}^m}}$$

$$(45) \quad M_{TR} = \left[\left(\frac{\alpha_{TR}^m}{1 - \alpha_{TR}^m} \right) \left(\frac{Pd_{TR}}{Pm_{TR}} \right) \right]^{\sigma_{TR}^m} D_{TR}$$

$$(46) \quad SR = e \sum_{TR} Pw m_{TR} M_{TR} - e \sum_{TR} Pw e_{TR} EX_{TR}$$

4.1.6 Le bloc des prix (voir bloc 6)

Les équations 47 à 53 définissent l'ensemble des prix du modèle. L'équation 47 indique que le prix de la valeur ajoutée des secteurs J (PV_J) est égal à la valeur de la production nette des coûts intermédiaires rapportée au volume de la valeur ajoutée. La demande intermédiaire ($DI_{TR,J}$) est exprimée aux prix du marché des produits composites (PC_{TR}). Le prix composite est celui qui détermine l'équilibre de l'offre totale du produit (Q_{TR}), qu'elle soit d'origine locale ou étrangère, et la somme de ses utilisations intérieures.

L'équation 48 permet de passer du prix international en devise du produit importé (Pwm_{TR}) à son prix intérieur de marché (Pm_{TR}), la différence entre les deux prix étant liée au taux de change extérieur nominal (e) et aux taux (nets) d'imposition indirecte, douanière (tm_{TR}) et intérieure (tx_{TR}).

Le prix reçu par le producteur à l'exportation du produit (Pe_{TR}) est, conformément à l'équation 49, égal au prix international en monnaie nationale ($ePwe_{TR}$).

Pour les biens échangeables (TR), le prix du marché du produit local vendu sur le marché intérieur (Pd_{TR}) est, comme l'indique l'équation 50, égal à la différence entre la valeur de l'offre totale du produit, au prix composite, et celle de l'importation de ce produit à son prix intérieur, par unité vendue localement, D_{TR} étant le volume du produit local écoulé sur le marché intérieur. L'équation 51 montre qu'il suffit de diviser Pd_{TR} par $(1+tx_{TR})$ (prix déflaté des taxes) pour obtenir le prix reçu par le producteur pour ses ventes sur le marché intérieur (Pl_{TR}).

Pour les biens échangeables, le prix au producteur sur l'ensemble de ses ventes (P_{TR}), qu'elles soient sur le marché intérieur ou à l'exportation est, comme l'établit l'équation 52, une moyenne pondérée de Pl_{TR} et Pe_{TR} , les pondérations étant les parts vendues localement et à l'exportation du volume du produit, soit D_{TR} / XS_{TR} et EX_{TR} / XS_{TR} .

Finalement, l'équation 53 définit un indice général des prix (P_{index}) qui est le prix du PIB au coût des facteurs, c'est-à-dire la somme des prix de la valeur ajoutée (PV_j), pondérés par les parts de la valeur ajoutée des branches d'activité dans le PIB total (les δ_j).

Bloc 6 : Modélisation des prix dans CLIMATSEINE statique**Prix**

$$(47) \quad PV_J = \left(P_J XS_J - \sum_J DI_{TR,J} Pc_J \right) / VA_J$$

$$(48) \quad Pm_{TR} = ePwm_{TR}(1 + tm_{TR})(1 + tx_{TR})$$

$$(49) \quad Pe_{TR} = ePwe_{TR}$$

$$(50) \quad Pd_{TR} = \frac{Pc_{TR}Q_{TR} - Pm_{TR}M_{TR}}{D_{TR}}$$

$$(51) \quad Pl_{TR} = \frac{Pd_{TR}}{(1 + tx_{TR})}$$

$$(52) \quad P_{TR} = \frac{Pl_{TR}D_{TR} + Pe_{TR}EX_{TR}}{XS_{TR}}$$

$$(53) \quad P_{index} = \sum_j PV_j \delta_j$$

4.1.7 Les conditions d'équilibre

Introduction d'un salaire d'efficience et d'un chômage involontaire sur le marché du travail (voir bloc 7)

À partir des travaux de Annabi (2003), nous introduisons un salaire d'efficience et du chômage involontaire dans le modèle EGC (Shapiro et Stiglitz (1984)).

Rappelons que la théorie du salaire d'efficience explique en partie la formation des salaires et l'équilibre sur le marché de l'emploi dans un environnement non concurrentiel. Elle s'inscrit dans un cadre intertemporel de mobilité des travailleurs entre le chômage et l'emploi.

Plus précisément, la théorie du salaire d'efficience explique la relation positive qui peut exister entre la rémunération d'un individu et sa productivité. Il existe quatre principaux courants dans la littérature. Le premier courant se fonde sur un mécanisme incitatif à l'effort (Shapiro et Stiglitz, 1984). Le deuxième retient l'idée qu'un chef d'entreprise pourrait pratiquer une politique de hausse salariale afin d'attirer les meilleurs éléments. Un troisième courant repose sur le coût de rotation de la main d'œuvre tel que coût d'embauche et de formation. Enfin, l'approche sociologique postule que les travailleurs considèrent que leurs

rémunérations reflètent le caractère équitable de la relation salariale. Il existe une présentation de ces versions dans Akerlof et Yellen (1986) et Cahuc et Zylberberg (1996). Dans notre cas, nous restreignons notre analyse au courant d'incitation à l'effort et du contrôle imparfait des employés.

Dans la lignée des travaux de Annabi (2003), nous présentons un modèle avec salaire d'effort et chômage involontaire. La condition incitative est insérée dans le modèle en calibrant la désutilité de l'effort ee qui prend une valeur fixe dans les simulations. Les paramètres bb, qq, rr sont fixés respectivement à 0,1 ; 0,3 ; et 0,05. Les allocations chômage \bar{w} sont supposées nulles.

Ainsi, l'équation 54 donne l'équilibre sur le marché du travail où l'offre totale (LS) est égale à la somme des demandes de travail par les différentes branches J (LD_j) et du chômage involontaire (au taux un). L'équation 55 décrit la détermination du salaire à partir de la contrainte incitative.

Bloc 7 : Modélisation des conditions d'équilibre sur le marché du travail dans CLIMATSEINE statique

Conditions d'équilibre

Marché du travail (chômage)

$$(54) \quad LS = \sum_j LD_j + unLS \quad \text{Equilibre sur le marché du travail}$$

$$(55) \quad w = ee + (ee/qq) * (bb/un + rr) \quad \text{Contrainte incitative}$$

4.1.8 Les autres conditions d'équilibre (voir bloc 8)

La détermination des règles de clôture du modèle est essentielle puisqu'elle permet d'avoir un modèle bien dimensionné. La procédure de bouclage du modèle est la suivante.

L'équation 56 représente la condition d'équilibre du marché des biens (good). L'offre du produit composite (Q_{good}) est la somme des demandes intermédiaires (DIT_{good}), les consommations finales des ménages (C_{good}) et les demandes d'investissements en biens (INV_{good}). L'offre totale de capital agricole (KS_1) est égale à la somme des demandes de capital agricole (KD_{AGR}) par les secteurs agricoles (équation 57). L'offre totale de capital non agricole (KS_2) est égale à la somme des demandes de capital non agricole par les secteurs non agricoles (KD_{NAG}) (équation 58). L'offre totale de terre (TS) est égale à la somme des demandes de terre par les différents secteurs agricoles (TD_{AGR}) (équation 59). L'équation 60 montre que l'investissement total (IT) est égal à la somme de l'épargne des ménages (SM), des firmes (SE), du gouvernement (SG) et de l'extérieur (SR). Cette hypothèse est connue sous le nom de bouclage néoclassique.

L'équation 61 mesure la variation équivalente des ménages (EV), elle évalue la modification du bien-être des différentes catégories de ménages suite au choc externe subit par l'économie. Enfin, l'équation 62 permet de vérifier si la solution du modèle satisfait à la loi de Walras ($LEON$).

Bloc 8 : Modélisation des autres conditions d'équilibre de CLIMATSEINE statique

Autres conditions d'équilibre du modèle CLIMATSEINE statique

$$(56) \quad Q_{good} = DIT_{good} + \sum_H C_{good,H} + INV_{good}$$

$$(57) \quad KS_1 = \sum_{AGR} KD_{AGR}$$

$$(58) \quad KS_2 = \sum_{NAG} KD_{NAG}$$

$$(59) \quad TS = \sum_{AGR} TD_{AGR}$$

$$(60) \quad IT = SM + SE + SG + SR$$

Autres équations

$$(61) \quad EV = \prod_{TR} \left(\frac{PCO_{TR}}{PC_{TR}} \right)^{\gamma_{TR,H}} \left(CTM - \sum_{TR} PC_{TR} \bar{C}_{TR} \right) - \left(CTMO - \sum_{TR} PCO_{TR} \bar{C}_{TR} \right)$$

$$(62) \quad LEON = Q_{SM} - C_{SM} - DIT_{SM} - INV_{SM}$$

Le modèle CLIMATSEINE statique comporte 167 équations pour 167 variables endogènes (188 variables au total dont 21 variables sont exogènes). Les variables exogènes sont les suivantes. On suppose que les dépenses en biens et services de l'État représentées par la production en valeur du secteur non marchand sont supposées fixes (G). Dès lors, des importations accrues d'un groupe de biens et services vont nécessiter un accroissement des exportations d'autres biens et services ou alors une baisse des importations d'autres catégories afin de maintenir fixe la balance courante. L'offre totale des facteurs travail (LS), capital agricole (KS_1), capital non agricole (KS_2) et terre (TS) sont supposées exogènes. Les demandes de facteur eau primaire par les secteurs AIE, IIE et INIE (agriculture et industrie intensive en eau, et, industrie non intensive en eau) sont exogènes (fixes)⁵³. Les prix internationaux des importations (Pwm_{TRX}) et des exportations (Pwe_{TRX}) sont aussi supposés

⁵³ Ces demandes d'eau primaires exogènes (spécifiques par secteur) correspondent à des quantités d'offre d'eau primaire contrainte par la disponibilité de la ressource.

donnés. Enfin, les transferts reçus par les ménages de l'Etat (TGM) ainsi que le taux de change (e) sont exogènes. Grâce à ces restrictions, le nombre d'équations est égal au nombre de variables endogènes. Le taux de change extérieur nominal (e) est le numéraire du modèle.

4.1 9 Calibrage des paramètres et résolution du modèle CLIMATSEINE statique

Le calibrage est une étape traditionnelle dans la construction des modèles EGC. Pour rendre le modèle opérationnel, il convient de spécifier la valeur des paramètres.

En l'absence de valeurs estimées des élasticités pour l'économie régionale, le choix de certaines d'entre elles s'appuie sur la littérature. Les élasticités « revenu » et les paramètres de Frisch sont tirés de la littérature économétrique. Le système de dépenses linéaires (LES) est calibré pour les ménage selon les parts budgétaires issues des données ménages et de la MCS, de l'élasticité « revenu » des demandes et du paramètre de Frisch. Les élasticités de substitution relatives au bloc d'équations commerce extérieur proviennent de la base de données GTAP.

Excepté ces paramètres, tous les autres sont calibrés à partir des données de la MCS. Les prix mondiaux des importations et des exportations de même que le taux de change, sont fixés à 1 à l'année de référence. Il en est de même du taux de salaire, du prix du capital, de la terre et de l'eau primaire. Le taux de chômage à l'année de base est fixé à 10% et les autres paramètres de la contrainte incitative bb, qq, rr sont fixés respectivement à 0,1 ; 0,3 ; et 0,05 (Annabi, 2003). Toutes les autres valeurs portant sur les variables du modèle sont tirées de la matrice de comptabilité sociale.

La propriété du calibrage est de répliquer l'équilibre du modèle à la situation de référence (année de base). Les simulations sont par la suite effectuées sur la base de cet équilibre initial, à l'aide du logiciel GAMS⁵⁴. Les simulations sont effectuées à partir de ce cadre de cohérence comptable défini par la MCS. Elles nous permettent d'avoir une compréhension plus exhaustive des effets probables de variabilités de la disponibilité d'eau primaire sur l'économie estuarienne.

Section 5 : Les résultats des simulations à partir du modèle CLIMATSEINE : impacts d'une variabilité de la disponibilité de la ressource en eau

Nous présentons maintenant les impacts mesurés par le modèle de deux scénarios possibles suite au changement climatique affectant l'estuaire de la Seine:

- 1) Une baisse de la disponibilité de l'eau primaire (-60%)
- 2) Une hausse de la disponibilité de l'eau primaire (+60%)

Il s'agit d'un exercice illustratif dont les résultats ne dépendent que des valeurs initiales dans la base de données, la Matrice de comptabilité sociale, et des hypothèses sous-jacentes à la

⁵⁴ General Algebraic Modeling System, Brooke, Kendrick et Meeraus, (1996).

construction du modèle de simulation. Mais ceci fournit des indications sur le sens des impacts socioéconomiques. Cela montre aussi les potentialités d'une base de données plus complète et désagrégée et de ce type de modèle de simulation.

Nous présentons les résultats macroéconomiques et sectoriels. Les chiffres présentés dans les tableaux ci-dessous correspondent à la variation en pourcentage par rapport à l'année de base (MCS) des variables, suite au choc.

Résultats macroéconomiques (en % de variation par rapport à l'année de base)

En %	Baisse	Hausse
un	0.420	-0.220
w	-0.310	0.163
r1	1.804	-0.994
r2	-0.372	0.197
rt	0.556	-0.318
re1	162.698	-39.229
re2	148.761	-37.336
re3	149.851	-37.478
IT	-0.866	0.448
SM	-0.288	0.150
SE	-0.255	0.132
SG	-4.041	2.100
Pindex	-0.108	0.057

Source : Calcul des auteurs

Les simulations indiquent que suite à une baisse de la disponibilité du facteur de production « eau primaire », l'économie estuarienne, telle que décrite par le modèle, connaît un ralentissement comme le montre l'indice du prix du PIB (déflateur du PIB) qui diminue de -0.108%. De même, l'investissement total diminue (-0.866%) compte tenu de la baisse de l'épargne des ménages (-0.288%), des entreprises (-0.255%) et de l'administration publique (-4.041%).

La baisse de la disponibilité en eau primaire génère une hausse de sa valeur dans les trois secteurs qui l'utilisent comme facteur de production. En effet, le prix implicite de la ressource en eau augmente respectivement de 162.698%, 148.761% et 149.851% dans les secteurs de l'agriculture intensive en eau, l'industrie intensive et non intensive en eau. Pour continuer à produire, les secteurs de l'agriculture intensive en eau et de l'industrie non intensive en eau utilisent alors plus de main d'œuvre (respectivement +5,406% et +0,251%) et de capital (machines) (respectivement +3,217% et +0,314%). De même, l'agriculture intensive en eau accapare plus de terres cultivables (+4,499%) au détriment du secteur agricole non intensif en eau (-0,935%). Ces substitutions factorielles permettent de maintenir et même d'augmenter la production agricole intensive en eau (+3,086%) tandis que la production agricole non intensive en eau diminue (-0,953%). L'industrie intensive en eau voit sa production chuter de -1,119% tandis que le secteur industriel non intensif en eau se développe légèrement (+0.211%). Cette accaparement de la main d'œuvre et du capital dans les secteurs agricoles intensifs en eau, l'industrie non intensive en eau et les services marchands se fait au détriment des autres secteurs dont la production recule.

Si la production du secteur agricole intensif en eau augmente (grâce à la substitution des facteurs travail, capital et terre à l'eau primaire), c'est pour répondre à la hausse de la

demande. Si la consommation finale des ménages et la demande d'investissement en produits agricoles intensifs diminue (respectivement de -0,826% et -2,348%), la dernière composante de la demande totale, c'est-à-dire, la demande intermédiaire augmente de +0,195%. En effet, les biens agricoles intensifs en eau représentent des intrants importants pour ce même secteur (intraconsommation importante) et pour l'industrie agroalimentaire notamment. C'est pourquoi, les importations de biens agricoles intensifs en eau augmentent de +8,262%, le marché extérieur approvisionne la demande. La baisse de consommation finale des ménages en biens agricoles intensifs en eau s'explique par la hausse du prix de ces biens (+1,517%) et la baisse de leur revenu (-0,288%). Nous pouvons noter que la consommation finale des ménages de tous les biens et services diminue malgré que le prix des biens industriels non intensifs en eau et celui des services aient pourtant baissés. L'effet revenu l'emporte alors sur l'effet prix. On observe une baisse de la demande totale pour tous les biens et services (à l'exception des biens agricoles intensifs en eau), et plus précisément, de chacune de leur composante (consommation finale des ménages, demande intermédiaire et demande d'investissement). Compte tenu de la hausse de la production de biens industriels non intensifs en eau et de la baisse de la demande locale, les exportations de ces biens augmentent (+0,351%).

Pour conclure sur le scénario de baisse de la disponibilité en eau primaire, il est important de noter les facteurs explicatifs à la baisse du revenu des ménages. En effet, la plus grande composante du revenu des ménages est représentée par les salaires. Or, le ralentissement d'activité économique génère une augmentation du taux de chômage dans l'économie estuarienne de 0,42%. Les salaires diminuent, et malgré la hausse de la rémunération du capital agricole (+1,804%) et de l'eau primaire, ceci ne suffit pas à compenser la chute des salaires. Au total, leur revenu diminue. De même, le revenu des entreprises diminue (-0,255%) et ainsi que celui de l'administration publique qui encaisse moins de recettes fiscales (taxes indirectes sur les biens et services) du fait de la baisse de la demande.

Résultats des facteurs de production (en % de variation par rapport à l'année de base)

En %	Baisse			Hausse		
	LD	KD	TD	LD	KD	TD
AIE	5,406	3,217	4,499	-2,926	-1,791	-2,457
ANIE	-0,074	-2,15	-0,935	0,028	1,197	0,51
IIE	-0,186	-0,124		0,09	0,065	
INIE	0,251	0,314		-0,128	-0,162	
SM	-0,315	-0,254		0,165	0,131	
SNM	0,174	0,236		-0,09	-0,123	

Source : Calcul des auteurs

Résultats sectoriels suite à une baisse de la disponibilité de l'eau primaire (en % de variation par rapport à l'année de base)

Baisse	EX	M	Q	C	DIT	INV	D	PC	XS
AIE	0.473	8.262	5.051	-0.826	0.195	-2.348	4.195	1.517	3.086
ANIE	-1.934	0.361	-0.709	-0.490	-0.311	-1.396	-0.823	0.538	-0.953
IIE	-1.667	-0.328	-0.655	-0.427	-0.571	-1.047	-0.982	0.182	-1.119
INIE	0.351	-0.264	-0.105	-0.317	-0.156	-0.779	0.035	-0.088	0.211
SM	-0.057	-0.522	-0.280	-0.262	-0.162	-0.665	-0.280	-0.202	-0.280

Source : Calcul des auteurs

Dans le scénario de la hausse de la disponibilité en eau primaire dans l'économie estuarienne, nous observons les effets inverses. D'abord parce que l'économie croît, l'indice du prix du PIB augmente (+0,057%). La plus grande disponibilité du facteur de production eau primaire génère une baisse de l'utilisation des autres facteurs (travail, capital et terre) dans les secteurs agricoles intensifs en eau et industriels non intensifs en eau. Une substitution des facteurs s'opère. Au final, on observe une baisse de la production des secteurs agricoles intensifs en eau et industriels non intensifs en eau. Ceci s'explique par la relative plus grande accaparement des autres facteurs dans les autres secteurs de l'économie, en expansion (agriculture non intensive en eau, industrie intensive en eau et les services marchands). Les exportations de ces mêmes biens et services augmentent aussi. La demande totale augmente pour tous les biens et services sauf pour les biens agricoles intensifs en eau. Plus précisément, la consommation finale de tous les biens et services augmente (le revenu des ménages augmentant de +0,150%), la demande d'investissement de tous les biens et services augmente aussi, de même pour la demande intermédiaire à l'exception des biens agricoles intensifs en eau. C'est cette chute de la demande intermédiaire en biens agricoles intensifs en eau qui explique la chute de la production de ce secteur, ainsi que la chute des imports de ces biens. Rappelons que ce secteur recourt à une intra consommation forte.

L'expansion de l'économie estuarienne diminue le taux de chômage (-0,220%), les salaires augmentant de +0,163% et la rémunération du capital non agricole de +0,197%. Ceci suffit à augmenter le revenu des ménages malgré la baisse du rendement des autres facteurs de production. Le revenu des entreprises et de l'administration publique augmente aussi. Pour ce dernier, c'est la hausse des recettes fiscales qui explique cette hausse.

Résultats sectoriels suite à une hausse de la disponibilité de l'eau primaire (en % de variation par rapport à l'année de base)

Hausse	EX	M	Q	C	DIT	INV	D	PC	XS
AIE	-0.403	-4.374	-2.787	0.452	-0.125	1.278	-2.358	-0.819	-1.769
ANIE	1.083	-0.221	0.381	0.266	0.165	0.751	0.445	-0.301	0.520
IIE	0.865	0.172	0.340	0.224	0.296	0.542	0.509	-0.093	0.580
INIE	-0.182	0.139	0.056	0.167	0.081	0.402	-0.017	0.046	-0.109
SM	0.029	0.273	0.146	0.138	0.084	0.342	0.146	0.106	0.146

Source : calculs des auteurs

Conclusion et recommandations

La collecte de données permet de construire une base de données simplifiée des caractéristiques et du fonctionnement de l'économie estuarienne (Matrice de comptabilité sociale). Dans cette synthèse bibliographique, nous avons utilisé les premières données collectées et disponibles pour construire une maquette d'un modèle de simulation des impacts socioéconomiques dans l'estuaire de la Seine liés au changement climatique. Il s'agit d'un premier exercice simplifié ayant plutôt vocation à schématiser les potentialités de cet outil d'analyse pour mettre en évidence quels secteurs (agricoles, industriels et services) et agents (ménages, entreprises, administration publique) gagneront et/ou perdront suite au changement climatique.

Le modèle simplifié développé montre déjà les imbrications entre les différents secteurs et agents de l'estuaire et illustre des effets non intuitifs. De nombreuses améliorations

apportées au modèle, nécessitant des données complémentaires, permettrait de simuler d'autres impacts, sur des secteurs plus désagrégés, et sur un horizon dynamique.

Le changement climatique a été simulé par simplification, comme une modification de la disponibilité de la ressource en eau. Une collaboration avec les experts des sciences dures permettrait de sophistication ce scénario, en expliquant, en amont, les facteurs à l'origine de cette modification de la disponibilité de la ressource (pluviométrie, température etc.). De même, une collaboration avec les sociologues permettrait de mieux appréhender le comportement des ménages et des autres acteurs (entreprises, administration publique) pour modéliser les choix (selon la perception du risque), les décisions d'investissement et de planification. Des enquêtes de terrain auprès des ménages et des entretiens qualitatifs permettent de collecter ces informations cruciales.

Bibliographie

ABSA Group Economic Research 2001. *Long term prospects for the South Africa Economy: 2001-2015*. Johannesburg, ABSA.

Adams, R.M, Chen, C.C, Bruce, A., McCarl, Schimmelpfennig, D.E, (2001), « Climate variability and climate change : Implications for agriculture »

Ahmad, M. (2000) *Water pricing and markets in the Near East: policy issues and options*, *Water Policy* 2 229-242.

Allan, J.A. (1992) *Fortunately there are substitutes for water otherwise our hydro-political futures would be impossible*. In: Proceedings of the Conference on Priorities for Water Resources Allocation and Management : Natural Resources and Engineering Advisers Conference, Southampton, July 1992, pp. 13-26.

Annabi, N., (2003), "Modeling Labor Markets in CGE Models: Endogenous Labor Supply, Unions and Efficiency Wages", mimeo, Cirpée-Pep.

Arnell NW (1998) *Climate change and water resources in Britain*, *Climate Change* 37:83-110.

Ayub, M.A. et U. Kuffner (1994), *la gestion de l'eau du Maghreb*, Finances et développement.

Beaumais, O., Laroutis, D., (2006), *Iodes: un modèle input-output pour la des grands flux économiques dans l'estuaire et la baie de Seine*, CARE (Centre d'Analyse et de Recherche en Economie).

Beniston, M. (2007), « Linking extreme climate events and economic impacts: examples from the Swiss Alps », *Energy Policy*, 33:5384-5392

Berck, A., Robinson, S., Goldman, G., (1991), “The Use of Computable General Equilibrium Models to Assess Water Policies”, in *The Economics and Management of Water and Drainage in Agriculture*, Kluwer Academic Publishers.

Bernard, A.L., Vielle, M. (2003), *Measuring the welfare cost of climate change policies: A comparative assessment based on the computable general equilibrium model GEMINI-E3*, Environmental Modeling and Assessment.

Berrittella, M., Hoekstra, A., Rehdanz, K., Roson, R., Tol, R.S.J. (2005) *The economic impact of restricted water supply: A computable general equilibrium analysis*, FNU-93, Hamburg University and Centre for Marine and Atmospheric Science, Hamburg.

Berrittella, M., Rehdanz, K., Roson, R., Tol, R.S.J., *The Economic Impact of Water Pricing: A Computable General Equilibrium Analysis*.

Bigano, A., Hamilton, J.M., and Tol, R.S.J. (2005), *The Impact of Climate Change on Domestic and International Tourism: A Simulation Study*, FNU-58 (submitted).

Boukhou, M. (1995), *Le secteur agricole dans la matrice de comptabilité sociale marocaine*, Université Mohammed V, Rabat-Agdal.

Bricquet, J.P., Bamba, F., Mahe, G., Touré, M., Olivry, J.C., (1997), *Water resource variations of the Atlantic river basins of Africa : the long term effects of rain shortage*, *Revue des sciences de l'eau*.

Burniaux, J.M, Truong, T.P., (2002), “GTAP-E: An Energy Environmental Version of the GTAP Model”, GTAP Technical Paper, n°16.

Decaluwé, B., Martens, A., Savard, L., (2001), *Les politiques économiques du développement et les modèles d'équilibre général calculable*, Les Presses de l'Université de Montréal.

Decaluwé, B., Patry, A., Savard, L., (1998), « Quand l'eau n'est plus un don du ciel : un MEGC appliqué au Maroc », *Revue d'Economie du Développement*, n°3-4, pp. 149-187.

Den Elzen MGJ, Rotmans J (1992), *The socio-economic impact of sea-level rise on The Netherlands: a study of possible scenarios*, *Climate Change* 20:169-195.

Diao, X. and Roe, T. (2003) *Can a water market avert the “double-whammy” of trade reform and lead to a “win-win” outcome? Journal of Environmental Economics and Management* **45** 708-723.

Ducharne, A., Martin, E., (2008), *Impact du changement climatique sur les Ressources en eau et les Extrêmes Hydrologiques dans les bassins de la Seine et la Somme*, Projet financé par le programme GICC2 (MEEDDAT).

Fischer, G., Sun, L. (2001), *Model based analysis of future land-use development in China*, Agriculture, Ecosystems and Environment.

Frankhauser, S. Tol RSJ, Pearce, D 1997. *The aggregation of climate damages: A welfare theoretic damages*. Environment and resource economics 10: 249-266.

Gardner, B. L., 1993, *The Impacts of Environmental Protection and Food Safety Regulation on U.S Agriculture*, Washington, D.C., Agricultural Policy Working Group.

Horridge, J-M., Dixon, P-B., Rimmer, M-T., (1993), “Water Pricing and Investment in Melbourne: General Equilibrium Analysis with Uncertain Streamflow”, Working Paper, n° IP-63, Center of Policy Studies and the Impact Project.

Gomez, C.M, Tirado, D., Rey-Maquiera, J.R, (2004), “Water Exchanges versus Water Works: Insights from a Computable General Equilibrium Model for the Balearic Islands », Water Resources Research, n°40, W10502 10. 1029/2004WR003235.

Goodman, D-J., (2000), “More Reservoirs or Transfers ? : A Computable General Equilibrium Analysis of Projected Water Shortages in the Arkansas River Basin”, Journal of Agricultural and Resource Economics, n°25(2), pp. 698-713.

Haddad, B.M, Merritt, K. (2003), “Evaluating regional adaptation to climate change: The case of California water”, Advances in the Economics of Environmental Resources, volume 3, 65-93.

Hazel, F., Dorion, D., Morisset, J., Pereira, S., (2006), *La gestion intégrée de la zone cotière au Québec : 10 ans de pratique*, La revue en sciences de l'environnement.

Hertel, H. (1999), *APPLIED GENERAL EQUILIBRIUM ANALYSIS OF AGRICULTURAL AND RESOURCE POLICIES*, Purdue Libraries.

IPCC (1992) *Global climate change and the rising challenge of the sea*. Response Strategies Working Group/ Coastal Zone Management Subgroup, The Hague.

Jean-Baptiste, P., Ducroux, R. (2003), « Energy policy and climate change », Energy Policy 31, 155-166.

Johanson, R.C., Tsur, Y., Roe, T.L., Doukkali, R., and Dinar, A. (2002) *Pricing irrigation water: A review of theory and practice*, Water Policy 4 173-199.

Krol, M., Jaeger, A., Bronstert, A., Guntner, A. (2006), “Integrated modelling of climate, water, soil, agricultural and socio-economic processes: A general introduction of the methodology and some exemplary results from the semi-arid north-east of Brasil”, 328, 417-431.

Letsoalo, A. Blignaut, J., de Wet, T., de Wit, M., Hess, S., Tol, S.J, et Heerden, J.V., *Triple dividends of water consumption charges in South Africa*.

Lofgren, H., Robinson, S., (1997), "The Mixed-Complementarity Approach to specifying Agricultural Supply in Computable General Equilibrium Models", Washington D.C, IFPRI, TMD discussion papers.

McGoodwin, J.R, (2007), "Effetets of climatic variability on three fishing economies in high-latitude regions: Implications for fisheries policies", *Climate Change and Fisheries*, Volume 31, Issue 1, 40-55.

Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Georgopoulou, E., Kotroni, V., Lagouvardos, K., Lalas, D.P (2007), « Modelling framework for estimating impacts of climate change on electricity demand at regional level: Case of Greece », *Energy Conversion and Management* 48, 1737-1750.

Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture (2007), *Renforcer la capacité d'adaptation aux changements climatiques, politiques de soutien des moyens d'existence et des pêches*, FAO.

Robinson, S., Gehlar, C., (1995), "Land, Water, Agriculture in Egypt: the Economywide Impact of Policy Reform", TMD discussion, IFPRI.

Rogers, P., (1994), *Assessing the socioeconomic consequences of climate change on water resources*, Environmental engineering, Harvard University MA 02138, U.S.A.

Rogers, P., *Assessing the socioeconomic consequences of climate change on water resources*, Environmental engineering, Harvard University, Cambridge, MA 02138, USA.

Rogers, P., de Silva, R. and Bhatia, R. (2002) *Water is an economic good: How to use prices to promote equity, efficiency, and sustainability*, *Water Policy* 4 1-17

Savard, L. (1995), *L'agriculture et les modèles calculables d'équilibre général : Un survol*, mimeo, CREFA, Université Laval.

Seung, C-K., Harris, T-R., Englin, J-E., Netusil, N.R, (2000), "Impacts of Water Reallocation: A Combined Computable General Equilibrium and Recreation Demand Model Approach", *The Annals of Regional Science*, n°34, pp. 473-487.

Schimer, M., Schuchardt, B., (2001), *Assessing the impact of climate change on the Weser estuary region: an interdisciplinary approach*, October.

Shapiro, C., Stiglitz, J-E., (1984), “Equilibrium Unemployment as a Worker Discipline Device”, *American Economic Review*, n°74, pp. 433-444.

Stone, R., (1954), “Linear Expenditure Systems and Demand Analysis: An Application to the Pattern of British Demand”, *Economic Journal*, n°64, pp. 521-527.

Tisdell, J.G. (1996), *The Price of Irrigation Water*, Economic Analysis and Policy

Turner, R.K., L. Ledoux, L., Cave, R., (2001), *The Use of Scenarios In Integrated Environmental Assessment of Coastal- Catchment Zones: the case of the Humber Estuary*, UK, CSERGE, School of Environmental Sciences, University of East Anglia, Norwich, October.

Turpie, J., Winkler, H., Spalding-Fecher, R., Midgley, G., (2002), *Economic Impacts of Climate Change in South Africa: A Preliminary Analysis of Unmitigated Damage Costs*, Southern Waters Ecological Research & Consulting & Energy & Development Research Center, University of Cape Town, february.

Vallée, S. (2000), *Maroc : quand les prix débordent*, Jeune Afrique n°2040, du 15 au 21 février.