

ETEM-AR : Modéliser l'atténuation et l'adaptation dans un plan climat territorial

Récapitulatif du projet (réponse à l'APR GICC 2010) :

Acronyme : ETEM-AR (Energie-Technologie-Environnement en modélisant l'adaptation et la robustesse).

Mots-clés : Modèle d'analyse d'activité. Analyse coût/efficacité. Choix énergétiques et technologiques territoriaux. Bilan énergétique et bilan carbone. Vulnérabilité du système énergétique régional au changement climatique. Résilience (capacité d'adaptation). Adaptation planifiée. Gestion des risques et impacts climatiques. Adaptations "dures" basées sur des investissements et des choix technologiques. Coût d'adaptation. Planification dans l'incertain. Définition de politiques environnementales et énergétiques robustes.

Thèmes de l'APR concernés : atténuation, adaptation, régionalisation des impacts, analyse coût/efficacité.

Coordonnateur et responsable administratif

Loulou Richard Dr., Professeur émérite, Université Mc Gill Montréal, et Président, KANLO Consultants Sàrl, espace DMCI, 4 quai des étroits 69005 Lyon. Tél. 04 75 22 20 54, mél. : richardloulou@gmail.com

Porteurs du projet

- Pour KANLO : Loulou Richard Dr., Professeur émérite, Université Mc Gill Montréal, et Président, KANLO Consultants Sàrl, espace DMCI, 4 quai des étroits 69005 Lyon. Tél. 04 75 22 20 54, mél. : richardloulou@gmail.com
- Pour l'OREMIP : Riey Bénédicte, Observatoire Régional de l'Energie Midi-Pyrénées (OREMIP), Maison de l'environnement, 14 rue de Tivoli, 31068 Toulouse Cedex, mél : riey.b@arpe-mip.com
- Pour ORDECSYS : Vial Jean-Philippe Dr., Prof. Honoraire Université de Genève, Directeur ORDECSYS, Place de l'Etrier 4, Chêne-Bougeries, 1224 Suisse. Tél : +41 22 348 2046, mél : jpvial@ordecsys.com

Responsable scientifique :

Haurie Alain Dr., Prof. Honoraire Université de Genève, Directeur ORDECSYS, Place de l'Etrier 4, Chêne-Bougeries, 1224 Suisse, mél : ahaurie@ordecsys.com

Partenaires :

- Babonneau Frédéric Dr., Collaborateur scientifique, Sté ORDECSYS, mél : fbabonneau@ordecsys.com
- Kanudia Amit Dr., chercheur et consultant au sein des sociétés KANORS et KANLO, mél : amit.kanudia@gmail.com
- Labriet Maryse Dr., ENERIS Environment Energy Consultants et consultante auprès de la société KANLO, mél : maryse.labriet@gmail.com
- Lavaud Julien, Conseiller technique sur l'impact du changement climatique, ARPE, Maison de l'environnement, 14 rue de Tivoli, 31068 Toulouse Cedex, mél : julien@arpe-mip.com
- Mathorel Martine, ARPE, Maison de l'environnement, 14 rue de Tivoli, 31068 Toulouse Cedex, mél : mathorel.m@arpe-mip.com
- Thénié Julien Dr., Collaborateur scientifique, Sté ORDECSYS, mél : jthenie@ordecsys.com
- Vielle Marc Dr., Chercheur et économiste à l'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne et à Toulouse School of Economics (Laboratoire d'Economie des Ressources NAturelles) et consultant auprès de la société ORDECSYS, Suisse, mél : mvielle@cict.fr

Budget :

KANLO		ORDECSYS		OREMIP		TOTAL
Main d'œuvre	68400	Main d'œuvre	84000	Main d'œuvre	13596	165996
Déplacement	4200	Déplacement	4200	Déplacement	1000	9400
Frais généraux	2904	Frais généraux	3528		-	6432
Total	75504	Total	91728	Total	14596	181828
Autofinancement	19000	Autofinancement	23000	Autofinancement	14596	56596
Financement demandé	56504	Financement demandé	68728	Financement demandé	0	125232

Coût total du projet	181828
Budget demandé	125232

Durée : 24 mois

Résumé du projet de recherche

Objectif général : Dans le but d'aider les responsables de la conception d'un "plan climat territorial" à identifier les mesures d'atténuation et d'adaptation appropriées, nous développerons une modélisation systémique de type coût/efficacité, adaptée aux données du territoire, des activités du secteur énergétique face aux changements climatiques possibles. Nous réaliserons une mise en œuvre pilote dans la région Midi-Pyrénées.

Objectifs spécifiques : (i) Identifier les choix technologiques, énergétiques et les investissements appropriés dans le secteur énergétique pour à la fois atténuer les émissions de gaz à effet de serre et adapter le système énergétique face aux changements climatiques futurs. (ii) Réaliser une analyse coût/efficacité des mesures d'un plan climat territorial liées au secteur énergétique (production et transformation d'énergie, transport, habitat, bureaux, agriculture, gestion forestière) en élargissant le champ du modèle ETEM (*energy-technology-environment-model*). (iii) Explorer l'usage des techniques de modélisations stochastique et robuste qui tendent à recommander un portefeuille diversifié de mesures de précaution (*hedging*). Le projet comporte les "ateliers" suivants :

1. **Modélisation intégrée "adaptation/atténuation" en analyse d'activité** : Proposer un cadre de modélisation mis en œuvre au niveau territorial, suivant la ligne esquissée par le modèle ETEM. Assurer la compatibilité de cette modélisation avec TIMES afin de pouvoir lier, dans des activités futures, la modélisation locale ou régionale à une modélisation TIMES plus large. Intégrer à la modélisation ETEM les impacts du changement climatique envers le système énergétique local. Prendre en compte les activités d'adaptation « proactives » (par exemple, celles augmentant la résilience des installations aux variations climatiques) en introduisant des éléments de type *analyse multicritère* ou *programmation par objectifs* dans ETEM.
2. **Robustification de l'approche de modélisation** : Développer une approche opérationnelle pour identifier des stratégies robustes face à plusieurs sources d'incertitude : (i) l'incertitude de certains paramètres du modèle lui-même ; (ii) l'incertitude des impacts dûs aux changements climatiques.
3. **Réalisation d'une mise en œuvre pilote** : Développer cette modélisation à partir d'un cas réel : la région Midi-Pyrénées. Etablir un partenariat avec OREMIP/ARPE et l'ensemble des acteurs locaux par le truchement d'un comité de suivi.

Les retombées du projet seront :

- Le développement d'une modélisation originale et opérationnelle des synergies entre atténuation et adaptation dans un plan climat territorial, avec gestion de l'incertain.
- La mise à disposition, au bénéfice des institutions responsables de l'établissement d'un plan-climat territorial, d'un outil accessible pour planifier les activités d'atténuation et d'adaptation liées au secteur énergétique dans leurs régions sur des horizons de 20 à 50 ans;
- Le développement de méthodes permettant de robustifier les modèles d'analyse d'activité et de pallier ainsi les instabilités des solutions dues à l'effet dit "bang-bang" (difficulté de contrôler le taux de pénétration de la technologie la plus rentable) dans ce type de modèle quand ils sont utilisés dans des analyses déterministes;
- Une démonstration par le biais d'une étude pilote de la faisabilité et de l'utilité de l'approche de modélisation proposée pour identifier des stratégies robustes d'adaptation et d'atténuation du secteur énergétique face aux changements climatiques possibles.

Description du projet

Etat des connaissances et justification de la recherche-action proposée

Depuis le début des années quatre-vingt-dix, la science économique a développé de nombreux modèles visant à analyser les politiques énergétiques et/ou de lutte contre les émissions de gaz à effet de serre. La France s'en est inspirée pour évaluer sa politique climatique, et la dernière proposition française en matière de taxe carbone issue des travaux du groupe Quinet (reprise ensuite par la commission Rocard) avait d'ailleurs fait appel aux modèles IMACLIM, GEMINI-E3 et POLES (Quinet (2009)). L'intégration des dimensions de l'adaptation au sein des modèles économiques est moins développée et fait l'objet de moins de consensus. Si des modèles comme RICE, DICE ou FUND intègrent les impacts du changement climatique, leur caractère agrégé fait qu'il est plus difficile d'utiliser leur enseignement pour la définition de politiques économiques notamment aux niveaux régional et local, et que la question de l'adaptation face au changement climatique n'est le plus souvent pas traitée.

La bibliographie de cette proposition de recherche contient un ensemble de références sur l'analyse technico-économique de l'atténuation et de l'adaptation. Parmi les plus pertinentes pour notre projet, citons *Dessai, S., and M. Hulme. (2004, 2007)*, ainsi que les publications d'Ouranos au Québec¹. L'analyse économique conjointe des options d'atténuation et d'adaptation a été proposée dans le cadre de modèles agrégés d'évaluation intégrée par *Lecocq et Shalizi (2007)* qui utilisent un modèle d'équilibre économique partiel qui inclut l'atténuation, l'adaptation « proactive » (ex ante) et l'adaptation « reactive » (ex post) et qui prend en compte l'incertitude sur la localisation et l'évaluation des dommages. Chacune de ces activités a un coût avec rendement décroissant (fonction convexe). Les auteurs notent *que les politiques d'adaptation ne se limitent pas à l'agriculture mais concernent aussi les secteurs de l'habitat, des transports et de l'énergie. ... Quand l'incertitude est introduite dans le modèle, l'efficacité-coût augmente pour l'atténuation en comparaison de l'adaptation. Quand l'incertitude porte sur la localisation des dommages, l'adaptation réactive devient plus efficace mais peut être limitée par la disponibilité de fonds. Des fonds de prévoyance peuvent être constitués pour pallier cette limitation.*

De Bruin, Dellink and Tol (2009) introduisent l'adaptation dans le modèle d'évaluation intégré DICE. Une de leur conclusion importante est résumée ainsi: *« Our numerical results show that adaptation is a powerful option to combat climate change, as it reduces most of the potential costs of climate change in earlier periods, while mitigation does so in later periods. »* Les auteurs incluent l'adaptation comme une variable de politique. L'adaptation au changement climatique va réduire les dommages initiaux causés par ce changement.

De fait, une évaluation des options d'adaptation nécessite une approche beaucoup plus détaillée et ancrée dans des données du territoire. *de Bruin et al. (2009)* proposent une méthode d'analyse multicritère pour ordonner les différentes actions d'adaptation possibles aux Pays-Bas. La méthode est appliquée à 96 options d'adaptation dans 7 secteurs exposés aux changements climatiques tels que : agriculture (27 options), nature (12), eau (31), énergie & transport (15), habitat & infrastructure (7), santé (3), et récréation & tourisme (1). Ces options incluent des mesures spécifiques telles que « amélioration de la climatisation dans les maisons de repos et hôpitaux » ou des stratégies plus globales telles que « gestion intégrée des zones côtières » etc... L'analyse multi-critère permet de construire deux indicateurs à partir d'une pondération de « scores » selon divers critères qualitatifs, le premier relié à la « priorité » et le second à la « réalisabilité ». Le classement obtenu sur ces options dépend du scénario climatique retenu. Les auteurs indiquent aussi la difficulté qu'ils ont rencontrée pour compléter leur analyse par une évaluation de type « coût/bénéfice », du fait du manque de données, même

¹ <http://www.ouranos.ca/fr/publications>.

pour un pays aussi avancé que les Pays-Bas, et de la difficulté d'identifier les coûts et bénéfices marginaux et les coûts et bénéfices complets pour ces options.

Les liens avec l'énergie et le rôle important de la gestion de l'incertain ont aussi été soulignés par *Hallegate (2009)* qui fournit une liste des secteurs pour lesquels les effets possibles du changement climatique devrait être pris en compte dès maintenant à cause de leur vulnérabilité et de l'échelle de temps d'investissement. Une approche coût/efficacité peut être envisagée pour répondre aux attentes et exigences des organismes nationaux et européens en ce qui concerne la coordination des politiques d'adaptation et d'atténuation comme le montrent *Magnan et al. (2009)* qui s'intéressent à l'impact du changement climatique sur la Méditerranée et traitent des enjeux de l'adaptation. Dans leur traitement des liens entre adaptation et atténuation (mitigation), ils soulignent que « *de nombreuses stratégies d'adaptation possibles impliquent une consommation d'énergie plus importante : la climatisation pour faire face à l'augmentation des températures, les solutions techniques pour contrer l'appauvrissement en eau (désalinisation, augmentation du pompage, retraitement ...), par exemple... Cependant la relation entre adaptation et mitigation peut aussi être positive, surtout si elle est réfléchie. Ainsi de nouvelles normes de construction devront être établies pour faire face au changement climatique.* »

En 2004, l'état Français a instauré la notion de "Plan Climat Territorial", déclinaison de la politique nationale au niveau des territoires. Ces plans doivent recenser les émissions de gaz à effet de serre, réaliser des prévisions d'évolution de ces gaz et permettre à chacun des territoires de définir une stratégie en matière de réduction des gaz à effet de serre. La dimension de l'adaptation face aux changements climatiques est aussi présente dans ces plans climat, car les territoires doivent analyser leur vulnérabilité face aux changements climatiques et définir une stratégie d'adaptation.

Si la question de la réduction des gaz à effet de serre a fait l'objet de nombreuses études d'analyse coût/efficacité depuis plus de vingt ans (citons en particulier le développement des modèles «*bottom-up*» MESSAGE, EFOM, MARKAL, TIMES), l'étude coût/efficacité de l'adaptation à des impacts du changement climatique n'est pas encore développée. Pour aider les collectivités territoriales à établir ces plans climat territoriaux, nous proposons d'adapter une modélisation d'analyse d'activité (modèle «*bottom-up*») permettant de conduire des analyses coût/efficacité au niveau des territoires en prenant en compte de manière explicite les activités d'atténuation et celles d'adaptation appliquées au système énergétique complet (incluant production/transformation d'énergie, habitat, transport, industrie, agriculture) et en cherchant à identifier des politiques robustes face à l'incertitude des impacts du changement climatique. Le modèle, appelé ETEM-AR sera dérivé du modèle existant ETEM (*Drouet, Thénie 2009*), lui-même héritier de la modélisation MARKAL-Lite développée à l'Université de Genève, et d'une réduction d'échelle de la modélisation TIMES (développée dans le cadre de l'ETSAP²) qui est très largement utilisée actuellement au niveau des pays européens pour l'étude des politiques d'atténuation.

Ce modèle, appelé ETEM-AR sera caractérisé par :

- une modélisation « *bottom-up* » territoriale qui peut s'harmoniser à un modèle national ou international;
- une prise en compte des spécificités géographiques de la région (par exemple dans les fluctuations saisonnières des demandes liées à la latitude de la région, à son altitude, sa proximité de la côte, etc)
- une gestion de la localisation des activités d'offre et de demande de ressources énergétiques impactées par d'éventuels changements climatiques;
- L'exploration de politiques robustes, en utilisant les méthodes d'optimisation sous incertitude comme les programmations robuste et stochastique.

² KANLO a joué un rôle déterminant dans l'élaboration du modèle TIMES (The Integrated MARKAL EFOM System) pour le consortium ETSAP.

Cette modélisation permettra de mixer une approche multicritère avec une analyse coût/efficacité, en utilisant des données du territoire, des scénarios d'évolution du climat et des scénarios d'impact, le tout intégré dans une approche de programmation stochastique ou robuste. Une mise en œuvre pilote sera réalisée pour la région Midi-Pyrénées.

Extension possible du modèle ETEM

ETEM (Energy/Technology/Environment Model) est un modèle énergie/environnement de type « *bottom-up* » qui fournit une représentation détaillée des choix technologiques et énergétiques permettant de fournir à moindres coûts et moindres impacts environnementaux les services énergétiques de la région modélisée. ETEM est inspiré des modèles de type MARKAL et TIMES (voir www.etsap.org), utilisés aux échelles locales, régionales, globales. Les applications actuelles d'ETEM concernent le canton de Genève (Suisse) et le duché du Luxembourg. L'horizon de planification visé est la période 2000-2050. ETEM est un programme facilement adaptable dont la maintenance est assurée par ORDECSYS, qui permet de représenter en détails le système énergétique de référence d'une région et d'explorer différents scénarios d'évolution en tenant compte de contraintes environnementales. Le programme lui-même est mis à disposition d'utilisateurs éventuels en application libre (*open source*) et l'utilisation d'optimiseurs eux aussi *open source*, comme *glsol* ou ceux disponibles sur le site COIN-OR³ (par exemple CLPL), permet de réduire les coûts de mise en œuvre. Le système énergétique est décomposé en niveaux d'énergies primaires (gaz, eau, bois, charbon, géothermie, etc.), énergies finales (électricité, gaz, carburants, chaleur, eau chaude, etc.) et énergies utiles (services énergétiques demandés, par exemple transport, climatisation, etc.). Un ensemble de technologies de production (centrale thermique, hydraulique, solaire, géothermique, etc.) et de demande (véhicules automobiles, systèmes de chauffage et de climatisation, etc.) assurent les transformations le long de la chaîne énergétique afin de satisfaire les demandes utiles. Ce faisant, ETEM calcule un cadastre d'émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre liés à l'utilisation et à la localisation de ces technologies. Le modèle permet de comptabiliser les émissions, mais aussi de trouver une politique respectant une contrainte environnementale (par exemple une limitation des émissions de GES ou une contrainte sur les pics d'ozone en zone urbaine). ETEM propose un choix efficace en terme d'investissements et de plan de production. ETEM modélise implicitement le cycle de vie des technologies utilisées, et permet de travailler sur des horizons allant de quelques années à quelques dizaines d'années. La dimension énergétique des politiques de développement durable compatibles avec des objectifs environnementaux à long terme peut être ainsi analysée⁴.

ETEM peut s'utiliser de façon harmonisée avec d'autres modèles⁵ spécialisés dans un domaine particulier, comme des modèles de qualité de l'air et des modèles de planification du trafic automobile. Associé à l'outil d'optimisation par oracle OBOE, ETEM peut être utilisé de façon harmonisée avec ces modèles dans la recherche de politiques de développement durable. La méthodologie et son application à une étude de cas correspondant à Genève sont présentées dans *Carlson et al. 2004* et *Haurie et al. 2003*. ETEM peut traiter l'incertitude concernant certaines données, par exemple la demande en chauffage, le prix de l'électricité, le rendement de la prochaine génération de luminaire, le coût d'installation d'une centrale ou d'un réseau, etc. ETEM propose une décision de couverture optimale qui est robuste face à l'incertitude modélisée. Pour ce faire, ETEM utilise la programmation stochastique (*Fraginière et Haurie 1996*) et l'outil DET2STO⁶ qui automatise l'intégration de l'incertitude représentée par des arbres d'événements dans des modèles d'optimisation dynamique (*Thénié, Vial et van Delft 2007*).

³ www.coin-or.org

⁴ Un exemple d'application à l'exploration du futur des automobiles à pile à combustible est présenté dans *Caratti et al. 2003*.

⁵ ETEM peut s'harmoniser et compléter les études faites selon l'approche MEDEE, comme déjà indiqué lors d'une application de la modélisation MARKAL au Québec en 1987 (Berger et al. 1987).

⁶ DET2STO est diffusé librement par ORDECSYS, www.ordecsys.com/fr/det2sto.

En collaboration avec le CRTE TUDOR, et dans le cadre du projet LEAQ financé par le Fond National de Recherche du Luxembourg, ETEM est utilisé pour représenter le système énergétique du Grand Duché du Luxembourg et ses liens avec la qualité de l'air. ETEM est l'aboutissement de recherches menées dans le cadre de plusieurs projets européens : EUREKA AIDAIR, FP5 SUTRA et EUREKA WEBAIR (*Caratti et al 2003, Borrego et al 2003, Fedra and Haurie 1999*). Une version préliminaire d'ETEM, appelée MARKAL-LITE a été utilisée, dans le cadre du projet EU-FP6 SUTRA pour modéliser les systèmes énergétiques de différentes régions en Europe, en particulier Lisbonne (Portugal), la Ligurie (Italie), Thessalonique (Grèce).

La nécessité d'amplifier la gestion de l'incertain pour inclure l'adaptation

S'adapter face aux changements climatiques, c'est anticiper ce que seront ces changements, et prévoir ce que pourraient être les impacts associés. Supposer que l'on connaît ces changements/ces impacts permettrait d'organiser le plan de production énergétique de façon optimale. Faire une telle hypothèse n'est que pure utopie. Le long de la chaîne logique «*changement climatique -> vulnérabilité -> impact*» les incertitudes interviennent à tous les niveaux. Dans une approche globale, la première incertitude est certainement la trajectoire d'émission mondiale de gaz à effet de serre (GES). Les intérêts des parties divergent malgré la prise de conscience du problème du réchauffement climatique, et il est difficile de prévoir avec certitude l'évolution de la concentration de GES, même si certaines limites peuvent être posées. Ensuite la seconde incertitude réside dans la sensibilité du climat, lien difficilement quantifiable (*Roe and Baker 2007*) entre la concentration de GES et l'augmentation de la température. Cette dernière est un des changements climatiques, mais il y en a de nombreux autres. Les modélisations actuelles quantifient les dommages liés aux changements climatiques comme un coût, fonction (souvent un polynôme d'ordre 2 ou 3) de l'augmentation de la température, comme dans les modèles de croissance économique tels DICE (*Nordhaus and Boyer 2000*), WITCH (*Bosetti et al. 2006*), CWS (*Eyckmans and Tulkens 2003*). Cette représentation, assez bien reconnue dans des modélisations globales pour lesquelles les différences locales et incertitudes s'amenuisent du fait de l'agrégation, se limite cependant à considérer que l'impact du changement climatique n'est qu'un coût. Au delà du fait que cette fonction coût peut être considérée comme inconnue (*Dumas and Ha-Duong 2005*), certains proposent de prendre en compte la méconnaissance de la valeur de la sensibilité du climat (*Loulou, Labriet et Kanudia 2009a et 2009b, Bosetti and Tavoni 2009, Bréchet et al. 2010*).

Dans l'approche de modélisation d'un plan climat territorial, l'évolution des émissions de GES est exogène. Il faut prendre en compte les éventuels changements climatiques locaux comme données d'entrée du modèle et ces données doivent nécessairement être considérées comme incertaines. La modélisation ou l'évaluation des impacts de ces changements climatiques sur le système énergétique dépend d'indicateurs de la vulnérabilité du système énergétique établis à partir de données du territoire. Ces évaluations comportent elles aussi une grande part d'incertitude. Cette incertitude se compose avec celles qui affectent les paramètres de base du modèle du système d'énergie tels les prix du pétrole et du gaz, les coûts d'investissement dans les nouvelles technologies, etc.

La littérature propose de nombreux développements de techniques permettant de prendre en compte l'incertitude dans des modèles technico-économiques. Il s'agit soit d'une analyse de sensibilité de divers scénarios utilisant une version purement déterministe, ou bien le développement de méthode d'optimisation dans l'incertain, telle que la programmation stochastique. Cette dernière reste cependant limitée par la malédiction de la dimension, qui lui interdit de travailler sur de trop larges instances ou bien de prendre en compte trop de variations possibles de l'aléa du fait d'une explosion de la taille du problème à traiter, et donc d'une explosion du temps de calcul. Notre modèle, d'envergure locale, est de taille plus modeste que les modèles mondiaux. Il souffrira donc moins vite de la malédiction de la dimension. Nous avons d'ores et déjà un outil qui permet l'insertion automatique de l'optimisation stochastique dans ETEM (*Thenie, Vial and van Delft 2007*). Cette méthode permet de prendre en compte

l'incertitude de certains paramètres si tant est qu'une information probabiliste est à disposition de modélisateur. Si tel n'est pas le cas, il convient d'utiliser des techniques autres, comme la programmation robuste.

La programmation robuste (*Ben Tal et al. 2009*) est une technique récente, et très performante, permettant de prendre en compte l'incertitude d'un ou plusieurs paramètres tout en ne faisant pas d'hypothèse sur la loi de distribution de l'aléa. Ordecys possède une expérience importante dans ce domaine puisque proposant une formation traitant de cette technique et en publiant des articles scientifiques traitant de programmation robuste (*Babonneau, Vial, Apparigliato 2010*). De plus, Ordecys et Kanlo viennent de collaborer à la rédaction d'un article scientifique traitant de la prise en compte de l'incertitude sur la disponibilité de l'approvisionnement en pétrole dans le modèle TIAM grâce à la programmation robuste (*Babonneau et al. 2010*).

Mise en oeuvre pilote en région Midi-Pyrénées

Vers un développement économique et démographique soutenu et de forts potentiels dans les énergies renouvelables

La place de la région dans la France

En 2008, Midi-Pyrénées compte 2 837 500 habitants et représente 4,6% de la population de la France métropolitaine (62 131 000 habitants). La consommation d'énergie finale est de 6,1 millions de tep en 2007 (soit 3,8% de la consommation nationale). En termes de consommation énergétique unitaire (par habitant), un habitant de Midi-Pyrénées a consommé en 2007 en moyenne 2,2 tep soit 15% de moins qu'un français (2,6 tep/hab en 2007). Ceci s'explique notamment par une industrie peu énergivore (pas de sidérurgie ; crise du textile ; arrêt d'AZF en 2001). Cependant Midi-Pyrénées se caractérise par un secteur des transports en explosion, une hausse soutenue du résidentiel/tertiaire.

La production d'énergie finale est de 6,5 millions de tep en 2007 (soit 4,8% de la production nationale). La production régionale d'énergie finale en 2007 est essentiellement d'origine nucléaire (77% ; Golfech), hydraulique (11%) et biomasse (9%). Avec 8,5 GWh, Midi-Pyrénées représente 14% de la production nationale d'hydroélectricité en France (deux châteaux d'eau : le Massif central et les Pyrénées), et de l'ordre de 7% de la production de bois (Midi-Pyrénées est la troisième forêt de France).

Ses spécificités régionales

Dans la région, la taille des ménages diminue d'année en année. Chaque logement de Midi-Pyrénées compte 2,2 personnes en moyenne (2,3 en France). D'autre part le parc de logements régional (1 476 069 logements en 2006) est caractérisé par une part importante de maisons individuelles (66%) et de logements anciens, construits avant les premières réglementations thermiques de 1975 (54%) et de résidences secondaires (17%). Le transport routier représente plus de 90% des consommations énergétiques du transport régional. Il est caractérisé par un kilométrage par véhicule particulier et un taux d'équipement supérieurs à la moyenne nationale. La région Midi-Pyrénées est faiblement industrialisée et l'industrie pèse faiblement dans le bilan régional (18%). Quatre secteurs (chimie ; productions matériaux non métalliques, métallurgie et agro alimentaire) concentrent la consommation énergétique régionale. Le secteur agricole représente une part significative des émissions, la part des émissions de CH₄ et N₂O représentent 40% des émissions régionales visées par le protocole de Kyoto. Selon une étude CEREN, le taux de climatisation du résidentiel est passé de 1,4% en 1999 à 5,1% en 2006. Bien que le développement de la climatisation en Midi-Pyrénées soit supérieur au taux moyen observé en France métropolitaine, il reste en dessous de la « zone climatique méditerranéenne ». Dans le tertiaire, la climatisation s'est diffusée à un rythme de 0,7 points en moyenne sur la période 1999-2003 avec une légère accélération en fin de période puisque le taux de climatisation est de 0,9%/an entre 2003 et 2005 (réaction à la canicule de 2003). Aujourd'hui un quart des bâtiments du tertiaire est climatisé. Deux logements sur cinq utilisent du bois pour se chauffer, en appoint d'une autre énergie de chauffage ou juste pour le confort et le

loisir (2,7 millions de stères en 2008). L'âge moyen du parc des appareils de chauffage au bois est de 9,5 ans et la durée de vie moyenne des équipements est de 20 ans. Actuellement l'efficacité énergétique du parc est de 37% alors que le rendement des équipements neufs dépasse les 70%.

Une région caractérisée par un développement soutenu

Entre 2005 et 2030, selon le scénario central de l'INSEE, la population de Midi-Pyrénées devrait augmenter de 21,8% (en France l'évolution serait de 10,7%). Le transport routier évolue rapidement (+47% depuis 1990). L'explosion démographique n'est pas le seul facteur explicatif de cette évolution. Plus de 60% des consommations de carburant sont dues aux particuliers dont la consommation unitaire est supérieure à la moyenne française.

Des potentiels importants dans le développement des énergies renouvelables

Midi-Pyrénées compte 676 centrales hydrauliques (5,6 MW) dont 72 grandes centrales représentant 90% de la production régionale. Selon une étude AEAG/ADEME le potentiel mobilisable (dont optimisation de l'existant) serait de 2,6 TWh. En Midi-Pyrénées, la consommation de bois de chauffage par les ménages est de l'ordre de 420 ktep et représente la majorité de la consommation régionale de bois énergie. Dans le cadre du Plan bois énergie, 88 chaufferies automatiques ont été mises en place entre 2000 et 2008 représentant une puissance installée de 30 MW. Le Conseil régional de Midi-Pyrénées a instauré un plan bois triennal favorisant le développement des réseaux de chaleur au bois. Ce plan a permis de financer 19 chaufferies représentant une puissance installée de plus de 21,6 MW. Avec 14 719 chauffe-eau solaires individuels installés entre 1999 et 2008 dans le cadre du PRELUDE, la région Midi-Pyrénées se place en tête des régions de France. 280 chauffe-eau solaires collectifs (7 855 m²) et 1 480 systèmes solaires combinés ont été également installés en Midi-Pyrénées (au total 65 000 m² de panneaux solaires ont été installés depuis 2000 soit 9% des surfaces installées en France). Midi-Pyrénées compte 123 éoliennes en 2008, correspondant à une puissance installée de 236 MW (4.5% de la puissance installée en France). Midi-Pyrénées pourrait compter de l'ordre de 1000 MW de puissance installée d'ici 2010. En 2008, 3 MW de panneaux photovoltaïques sont connectés au réseau d'électricité en Midi-Pyrénées (48 MW en France métropolitaine). Ainsi Midi-Pyrénées se place en 4^{ème} position après Languedoc Roussillon, Rhône Alpes et Pays de la Loire.

Plan de recherche détaillé

Méthodologie

Le schéma général de cette recherche suit donc la logique « changement climatique → vulnérabilité → impact » tenant compte : (i) des indicateurs de prévision de modification des variables climatiques (température, précipitations, événements extrêmes,...), (ii) des zones et activités vulnérables dans le territoire concerné et (iii) des indicateurs d'impacts possibles. La logique globale du projet est de construire une représentation systémique de l'ensemble des activités liées à la production, consommation et utilisation des différentes formes d'énergie dans le territoire concerné, d'y représenter les vulnérabilités aux changements climatiques et les impacts possibles, tant sur l'offre que sur la demande, sous la forme de scénarios aléatoires ou incertains, et d'identifier les politiques efficaces de couverture des risques climatiques, combinant atténuation et adaptation. Cette logique se décline en une succession d'étapes qui se réaliseront dans trois ateliers :

1. **Etape de modélisation énergétique du territoire (ETEM)** : Mettre à jour le modèle ETEM d'analyse intégrée du système énergétique et de ses émissions (production d'énergie, habitat et services, transports, industrie – avec aussi éventuellement agriculture et gestion forestière). Développer une version du modèle spécifique à la région Midi-Pyrénées.

2. **Etape d'identification de l'équation Vulnérabilité -> Impacts -> Adaptation pour la région Midi-Pyrénées :**
 - a. Obtenir des météorologues un ensemble de scénarios d'évolution du climat sur le territoire pour cet horizon (variation de températures, variation de précipitations, fréquence d'événements extrêmes [rafales de vent, tempêtes, glissements de terrain]).
 - b. Construire un indicateur des vulnérabilités dans le territoire géolocalisé et en lien avec les changements climatiques potentiels définis en 2a.
 - c. Etablir un recensement des actions d'adaptation proactive ou réactive (liées à l'indicateur défini en 2b) qui ont une incidence sur le système énergétique (production ou demande) en particulier celles qui ont un lien avec les activités d'atténuation.
3. **Etape d'élargissement du modèle au cadre de l'adaptation (ETEM-A) :** Faire évoluer le modèle ETEM en ETEM-A (pour adaptation), en y intégrant les impacts possibles des mesures d'atténuation et des changements climatiques sur les demandes de services énergétiques (par exemple modification des demandes de climatisation et de chauffage des locaux) ou sur la disponibilité des technologies d'offre (par exemple baisse de productivité des centrales nucléaires, modification des apports d'eau dans les barrages hydroélectriques).
4. **Etape d'inclusion de la gestion du risque et de la robustification des analyses de politique d'atténuation et d'adaptation (ETEM-AR) :** Développer un modèle ETEM-AR (pour adaptation robuste) en incluant les incertitudes reflétées dans les scénarios d'évolution du climat définis en 2. Les paramètres technologiques et économiques dépendront de l'état du climat et des mesures d'adaptation décidées. La modélisation stochastique permettra alors d'identifier les mesures d'atténuation et les mesures d'adaptation proactives à entreprendre dans le contexte d'incertitude. Ajouter au modèle des éléments d'analyse multicritère ou de programmation par objectifs afin de pouvoir prendre en compte des critères de différentes nature, par exemple la vulnérabilité climatique, dans l'évaluation de politiques d'adaptation.
5. **Etape de Recommandation auprès du comité de suivi :** Finalement, produire un ordre de préférence des politiques d'atténuation et une recommandation de politique d'atténuation «robuste» liés aux divers changements climatiques locaux envisagés.

Résultats attendus et aspect innovants

1. **Une évolution majeure du modèle ETEM :** le modèle ETEM-AR sera une évolution majeure d'ETEM version 2.1 dans le sens où il permettra la modélisation de l'adaptation du système énergétique face au changement climatique, il supportera l'utilisation de la programmation robuste comme méthode de résolution tout en maintenant sa compatibilité déjà existante avec la programmation stochastique, il comportera des protocoles d'échanges avec de modèles type TIMES et avec des Système d'Information Géographique, il supportera la présence de variables binaires permettant de représenter des choix discrets (Programmation Mixte) et enfin il supportera diverses fonctions objectifs.
2. **Un mode opératoire complet de mise en œuvre d'ETEM-AR pour l'aide à l'élaboration d'un plan climat territorial dans une région :** à travers l'étude pilote, un mode opératoire complet sera réalisé en partant de l'importation des informations nécessaires au renseignement de la base de données jusqu'à l'aide à l'exportation des résultats et l'interprétation de politiques robustes.
3. **Une étude pilote pour la région Midi-Pyrénées :** L'application du mode opératoire, durant son élaboration, sur la région Midi-Pyrénées avec la création d'un ETEM-AR région Midi-Pyrénées et la représentation du système énergétique de la région, une évaluation des liens changements climatiques -> vulnérabilité du territoire -> impacts

sur l'offre et la production d'énergie, des propositions de plan de production et d'investissements robustes vis-à-vis des possibles changements climatiques.

Liste des livrables :

Les livrables sont notés Dx(.x).

Le projet fera l'objet d'un rapport intermédiaire (D1) à mi-parcours faisant état de l'avancement des travaux, puis d'un rapport final (D2) qui inclura notamment :

- D2.1 : Une mise à jour du manuel de référence d'ETEM pour la nouvelle version ETEM-AR, et le code informatique du modèle.
- D2.2 : Un descriptif du mode opératoire de mise en oeuvre d'ETEM-AR dans le cadre de la réalisation d'un plan climat territorial dans une région.
- D2.3 : Les résultats de l'étude pilote sur la région Midi-Pyrénées

Programme de travail

Le programme de travail s'articule autour de 3 ateliers (A) centraux organisés en différentes tâches (T) :

- **Atelier 1 : Evolution du modèle ETEM**
 - a. Mise à jour et amélioration de la base de données génériques d'ETEM à partir de modèles similaires de type TIMES (valeurs par défaut pour les technologies de production courantes par exemple).
 - b. Faire évoluer ETEM (ETEM-A) pour permettre la représentation de l'adaptation : nouvelles activités, modification d'activités existantes, divers scénarios de demande de service énergétique.
 - c. Permettre une liaison aisée entre ETEM et un Système d'information géographique (protocole d'échange d'information).
 - d. Faire évoluer le modèle à un modèle avec plusieurs critères de performance (programmation par objectifs)
 - e. Faire évoluer le modèle vers un modèle prenant en compte certains choix discrets (programmation entière mixte) et proposer un optimiseur libre (ou non le cas échéant) permettant de résoudre un tel problème.
- **Atelier 2 : Robustification de l'approche de modélisation**
 - a. Identifier les paramètres pouvant être pris en compte de façon stochastique et/ou robuste.
 - b. Intégrer la gestion de la programmation robuste au sein d'ETEM (ETEM-AR).
 - c. Adapter la gestion de la programmation stochastique à la présence simultanée éventuelle de la programmation robuste.
 - d. Définir un mode opératoire pour l'analyse de sensibilité sur des modèles multicritères.
- **Atelier 3 : Réalisation d'une mise en oeuvre pilote**
 - a. Renseignement et adaptation de la base de données du système énergétique de référence pour construire ETEM - Midi-Pyrénées.
 - b. Etablissement de divers scénarios d'évolution climatique sur la région jusqu'en 2050.
 - c. Recensement géoréférencé des zones et des activités vulnérables de la région Midi-Pyrénées à un changement climatique et établissement d'indicateurs d'impact.
 - d. Liste d'activités d'adaptation envisageables et identification des liens possibles avec la politique d'atténuation.
 - e. Recommandation auprès du comité de suivi à partir d'un classement des politiques avec utilisation de ETEM-AR pour effectuer les arbitrages efficaces entre adaptation et atténuation en tenant compte de différents critères.

Planning

	Semestre 1						Semestre 2						Semestre 3						Semestre 4					
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Atelier 1	tache 1a	(*)																						
	tache 1b			(*)																				
	tache 1c																							
	tache 1d																							
	tache 1e																							
Atelier 2	tache 2a																							
	tache 2b																							
	tache 2c																							
	tache 2d																							
Atelier 3	tache 3a							(**)						(***)										
	tache 3b																							
	tache 3c																							
	tache 3d																							
	tache 3e																							

(*) Le développement d'ETEM est étroitement lié à celui d'ETEM-MIP, ce dernier permettant la validation des développements d'ETEM.

(**) ETEM-MIP opérationnel au mois 12, mais des ajustements potentiels peuvent se poursuivre ensuite.

(***) ETEM-MIP incluant les mesures d'adaptation est opérationnel mois 18, des ajustements potentiels peuvent se poursuivre ensuite.

La liste des taches des partenaires est indiquée dans le tableau ci-dessous.

Atelier / leader	Tâche	KANLO	ORDECSYS	OREMIP
A1 / Kanlo	T1a	x	x	
	T1b	x	x	
	T1c		x	
	T1d	x	x	
	T1e	x	x	
A2 / Ordecys	T2a	x	x	x
	T2b		x	
	T2c		x	
	T2d	x	x	x
A3 / Oremip	T3a	x	x	x
	T3b	x	x	x
	T3c	x	x	x
	T3d	x	x	x
	T3e	x	x	x

Comité de suivi des travaux

Un élément essentiel de la réussite de ce travail est l'implication, la contribution des acteurs locaux de la région Midi-Pyrénées au projet, puisque l'approche de modélisation proposée sera adaptée à cette région. A cet effet, un comité de suivi sera mis en place. Il s'appuiera sur le comité de pilotage de l'OREMIP composé d'acteurs institutionnels, industriels et associatifs, et permettra à terme une appropriation du modèle ETEM-AR par la région. Il faut noter qu'une première réunion afin de présenter le projet a eu lieu le 12 mars 2010 dans les locaux de l'Agence Régionale Pour l'Environnement regroupant les représentants locaux de l'ARPE, de l'ADEME, de la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du logement, et du Conseil Régional. Cette rencontre a permis de s'assurer de l'implication de ces acteurs locaux.

Une première réunion de lancement du projet sera réalisée puis on peut envisager 2 à 3 autres réunions au cours du déroulement du projet. Ce comité de suivi facilitera de plus la construction de la banque de données du modèle ainsi que la réalisation des scénarios.

Valorisations :

La première valorisation réside dans les livrables, et plus particulièrement :

- D2.1 : les évolutions du modèle ETEM vers ETEM-AR seront mises à disposition des utilisateurs. Le manuel de référence sera mis à jour et mis à disposition sur internet.
- D2.2 : Le mode opératoire se veut un cadre d'étude précis pouvant servir aux autres régions. La valorisation de ce mode opératoire pourrait se faire à travers les outils de communication propre au GICC et plus indirectement au MEEDDM, ou bien lors de réunion des instances régionales des observatoires de l'énergie.
- D2.3 : L'outil mis à disposition et les résultats de l'étude pilote se veulent des aides à la décisions pour la mise en place de politique climatique locale qui seront présentées à travers les outils de communications de l'OREMIP, instance publique au service du citoyen.

La seconde valorisation, et non des moindres, est la contribution scientifique de la prise en compte de la robustesse et de l'intégration de l'adaptation qui pourront faire l'objet d'articles scientifiques publiables dans des revues internationales à comité de lecture.

Equipe de recherche

La société KANLO

La Sarl KANLO a été créée en 2003, pour valoriser en France et en Europe la recherche universitaire conduite depuis les années 1980 par l'équipe universitaire « Énergie » dirigée par Alain Haurie et Richard Loulou. KANLO regroupe des chercheurs ayant de nombreuses années d'expérience, ayant œuvré dans le cadre des compagnies HALOA (créée en 1987 à Montréal par R. Loulou et A. Haurie), et KANORS (créée en 2001 par Amit Kanudia). KANLO a à son actif plusieurs projets sponsorisés par la Commission européenne (projet NEEDS : New Energy Externalities Developments for Sustainability, projet TOCSIN, projet PLANETS, projet REACCESS, projet REALISEGRID) et par ETSAP (Agence Internationale de l'Énergie).

Personnes impliquées :

- *Richard Loulou*, PhD, possède plus de 20 ans d'expérience dans le domaine de la modélisation et l'analyse des réductions d'émissions atmosphériques à l'aide de modèles technico-économiques de grande taille. En particulier, il a dirigé, de 1999 à 2003, l'équipe chargée de la modélisation et l'analyse des politiques canadiennes de réduction des GES. De 1997 à 2001 Il a agi comme auteur principal (lead author) pour le troisième rapport d'évaluation du GIEC (IPCC). Il a collaboré de 1999 à 2001 à la création du modèle SAGE (une variante du modèle MARKAL) mis sur pied au US Department of Energy (Energy Information Administration) pour la production du rapport annuel International Energy Outlook (IEO). Il est, avec Amit Kanudia et Maryse Labriet, l'auteur principal du modèle TIMES mondial, modèle qui est impliqué dans plusieurs forums de l'énergie.

- *Maryse Labriet*, PhD, a contribué au développement de plusieurs modèles de type MARKAL ou TIMES, que ce soit pour des applications nationales (au Canada, en Suisse, en Espagne) ou mondiales. Elle assure la responsabilité, partagée avec Richard Loulou, du développement et des applications du modèle multirégional réalisées dans le cadre de plusieurs projets internationaux et de l'EMF (Energy Modelling Forum), et centrées sur l'étude de politiques ou régimes climatiques appropriés. Elle a contribué à l'harmonisation des modèles TIAM et GEMINI-E3. Elle a aussi collaboré aux applications réalisées avec le modèle TIMES Pan-Européen (PET) dans le cadre de plusieurs projets européens. Elle connaît donc particulièrement bien le modèle TIMES qui sera au cœur des travaux proposés. Sa participation à des activités de coopération internationale en matière d'énergie et d'environnement lui permet également de suivre de près les enjeux entourant les négociations internationales sur le climat.

- *Amit Kanudia*, PhD, chercheur et consultant en modélisation énergétique depuis 1993, est expert en développement méthodologique (modèles technico-économiques MARKAL / TIMES), construction de modèles de grande taille, application des modèles en vue de l'aide à la décision, et définition et développement d'interfaces avancées d'utilisation des modèles. Il a publié plus

de 20 articles et monographies. Il a été et est une ressource clé pour le développement et l'utilisation des modèles MARKAL et TIMES (appliqués aux plans national, européen, mondial) dans plusieurs projets de recherche, ainsi qu'au sein de la communauté des développeurs et utilisateurs de ces modèles.

La société ORDECSYS

La Sarl ORDECSYS a été créée en 2002 à Genève pour valoriser en Europe la recherche universitaire conduite depuis la fin des années 70 jusqu'en 2006 par les équipes de recherche de Alain Haurie et Jean-Philippe Vial, professeurs à l'Université de Genève (Faculté des SES). ORDECSYS a conduit en particulier des projets de R&D pour EDF (modélisation de la gestion de la production, analyse de faisabilité pour un modèle énergétique européen, gestion de l'incertain par optimisation robuste) et pour la Commission européenne (EFDA, en collaboration avec HALOA). ORDECSYS a été partenaire de l'IFRI dans un projet subventionné par Le GICC sur la géostratégie des marchés énergétiques à long terme et partenaire de KANLO dans un projet subventionné par le GICC sur les négociations climatiques dans un régime fragmenté, ainsi que sur l'élaboration d'un système d'analyse et de suivi des négociations COP15. ORDECSYS participe à plusieurs projets européens (FP-6 TOCSIN, FP-7 PLANETS) portant sur l'économie des politiques climatiques.

Personnes impliquées :

- *Alain Haurie*, Dr d'état, a initié avec Richard Loulou les programmes canadiens et québécois de recherche sur le modèle MARKAL (prédécesseur de TIMES). Avec Emmanuel Fragnière il a contruit un modèle MARKAL pour le canton de Genève, en y intégrant une technique de programmation stochastique pour prendre en compte les incertitudes majeures. Ce modèle a évolué vers une version Appelée MARKAL-LITE qui a été utilisée pour modéliser des systèmes énergétiques régionaux dans le cadre de projets EUREKA (AIDAIR) et EU-FP6 (SUTRA). Plus récemment le modèle a été complètement mis à jour et reprogrammé en offrant plus de flexibilité au modélisateur et porte dorénavant le nom ETEM. Il a co-édité plusieurs ouvrages sur le couplage entre les dynamiques économiques et climatiques (numéro spécial de la revue EMA en 2003, livre sur le couplage des dynamiques climatiques et économiques publié chez Springer en 2005 et livre sur la décision environnementale dans l'incertain publié chez Springer en 2009). Il a dirigé plusieurs projets d'envergure du Fond national Suisse et de l'UE sur la modélisation énergie-environnement. Avec Laurent Drouet il a développé des méthodes permettant de coupler MARKAL avec un modèle d'équilibre général (GEMINI-E3), ou de coupler des modèles de croissance économiques avec des modèles climatiques de complexité intermédiaire et, plus récemment, une méthode permettant de calculer des équilibres normalisés par une méthode basée sur des « oracles » (en l'occurrence des parties du modèles GEMINI-E3).

- *Julien Thénier*, Dr, est spécialisé dans les modèles technico-économiques et l'optimisation sous incertitude. Il a collaboré à la mise en place d'un modèle énergétique dans le duché du luxembourg et a développé des méthodes innovantes de programmation stochastique pour l'approximation de problème d'optimisation sous incertitude de grande taille.

- *Jean-Philippe Vial*, Dr d'état, est un spécialiste de l'optimisation et de la gestion du risque. Il a développé de nouvelles techniques d'optimisation et conçu des logiciels pour résoudre les problèmes d'optimisation de grande taille que l'on rencontre dans la planification multirégionale ou dans la prise en compte de l'incertain. Il a appliqué ces techniques à la logistique d'entreprise (gestion de la supply chain, planification d'investissement de capacité, transport) et dans la gestion de l'environnement (e.g., couplage de modèles énergétiques régionaux). Il est également spécialiste de l'optimisation robuste et a utilisé ces nouvelles techniques pour gérer l'incertitude dans des problèmes d'ingénierie (télécommunications), de logistique (supply chain) et d'environnement (systèmes énergétiques régionaux ou mondiaux). Il est l'auteur d'une centaine d'articles publiés dans des revues scientifiques internationales et d'un livre. Il a été président de la Société de Programmation Mathématique.

- *Marc Vielle*, Dr, a réalisé ses principales contributions dans le domaine de la modélisation économique. Il a tour à tour construit et/ou géré les modèles Hermès-France, Micro-Mélodie, Midinette, GEM-E3, PRIMES et GEMINI-E3. Son activité récente est principalement dédiée à la construction et à l'utilisation du modèle GEMINI-E3. Ses compétences ont trait aux outils et

concepts nécessaires à la modélisation économique : comptabilité nationale, économétrie, théorie macro-économique, algorithmes de résolution numérique et économie de l'énergie. Il a été expert auprès de divers organismes internationaux tel que l'OCDE, l'AIEA, L'UE en tant que représentant français. Dernièrement, il a participé au rapport « Effet de Serre » du Conseil d'Analyse Economique présidé Roger Guesnerie, et au groupe « Valeur Tutélaire du Carbone » du Centre D'Analyse Stratégique présidé par Alain Quinet. Il a intégré l'EPFL depuis 2007 et a depuis contribué à de nombreuses études financées par la confédération Helvétique. Il est actuellement notamment en charge d'une étude visant à évaluer les comportements d'adaptation face aux changements climatiques pour l'Office Fédérale de l'Environnement Suisse. Il est régulièrement associé aux travaux de l'Energy Modeling Forum basé à Stanford.

OREMIP

L'Observatoire Régional de l'Energie en Midi-Pyrénées (OREMIP) a pour mission d'accompagner les politiques énergétiques régionales. C'est un outil d'observation de la situation énergétique régionale, un lieu de concertation entre les acteurs régionaux de l'énergie et de communication doté d'une force de proposition. Mis en place en octobre 2003, il a pour mission d'accompagner les politiques énergétiques et régionales.

L'Observatoire régional se fixe les objectifs fondamentaux suivants :

- la connaissance de la situation énergétique de Midi-Pyrénées grâce à :
 - l'élaboration de bilans énergétiques ;
 - la réalisation des inventaires des émissions de gaz à effet de serre liés à la consommation d'énergie ;
 - le développement d'indicateurs de suivi et d'efficacité énergétique ;
 - la collecte de données relatives à certains domaines jugés comme prioritaires tels que les énergies renouvelables ;
- l'analyse de la situation énergétique de la région grâce à :
 - la réalisation d'études sectorielles spécifiques ;
 - la réalisation d'études géographiques spécifiques ;
 - l'analyse prospective ;
- la mise en place d'outils d'évaluation des programmes des acteurs énergétiques régionaux ;
- des propositions de nouveaux programmes d'actions ;
- la communication et la concertation entre les acteurs énergétiques.

L'OREMIP est inscrit dans le contrat de projets Etat-Région de Midi-Pyrénées ainsi que dans le Programme Régionale de Lutte contre l'effet de serre et pour le Développement Durable (PRELUDE II), signé en 2007 par l'Etat, l'ADEME et le Conseil régional Midi-Pyrénées pour 7 ans. Son comité de pilotage est présidé par le Conseil régional de Midi-Pyrénées, l'Etat en assure la vice-présidence. L'OREMIP est géré et animé par l'Agence Régionale Pour l'Environnement (ARPE), opérateur du Conseil régional Midi-Pyrénées.

L'OREMIP publie régulièrement le Bilan énergétique de Midi-Pyrénées, les chiffres clés de l'énergie et des gaz à effet de serre en Midi-Pyrénées et a réalisé de nombreuses études monographiques sur l'énergie dans sa région (cf son site Web). En 2009 il a réalisé une étude sur les perspectives énergétiques à l'horizon 2030 en Midi-Pyrénées à l'aide du modèle Med Pro. Outre un scénario tendanciel, cette étude a évalué les implications du Grenelle de l'environnement sur la région.

Personnes impliquées :

Martine Mathorel est responsable du pôle animation collectivités locales à l'Agence régionale pour l'environnement Midi-Pyrénées, diplômée de l'École nationale supérieure de chimie de Toulouse et de l'Institut d'administration des entreprises. Elle travaille depuis 15 ans dans le domaine de l'environnement en région Midi-Pyrénées et est spécialisée depuis 10 ans dans le domaine du développement durable pour accompagner les Agendas 21 locaux et les plans climat territoriaux des collectivités et animer le réseau des territoires durables de Midi-Pyrénées.

Julien Lavaud a fait un Mastère en Gestion Sociale de l'Environnement à Albi. Il est conseiller technique de l'ARPE Midi-Pyrénées, Chargé de Mission Changement climatique. Il a réalisé l'étude de préfiguration pour la mise en place de l'observatoire du changement climatique dans les Pyrénées lancé en janvier 2009 au Conseil régional de Midi-Pyrénées. Il accompagne les

Plans Climat Territoriaux pour l'observation locale du changement climatique et la préparation d'adaptation.

Bénédicte Riey est titulaire d'un DEA ERNEA (Economie de l'Environnement, des ressources naturelles, de l'énergie et de l'agriculture) et d'un Magistère d'économiste statisticien de Toulouse. Tout d'abord statisticienne (OCDE-AIE entre 1997-2003), chargée de la publication « CO2 Emissions from Fuel combustion », elle est depuis 2003 animatrice de l'Observatoire Régional de l'Energie de Midi-Pyrénées, outil d'observation et d'information sur la situation énergétique régionale, ainsi qu'un lieu de concertation entre les acteurs régionaux de l'énergie, doté d'une capacité de proposition.

Ci-dessous une liste partielle des projets auxquels KANLO et ORDECSYS ont participé durant les deux dernières années et qui traitent de sujets connexes au présent Appel d'Offre :

LEAQ⁷ Project (Fond National de Recherche Luxembourgeois) : en collaboration avec le Centre de Recherche Henri Tudor, ORDECSYS a réalisé le couplage du modèle technico-économique ETEM avec un modèle de qualité de l'air. Le modèle ETEM a été aménagé pour intégrer la localisation des activités, pour interagir avec une base de données pour le renseignement du système énergétique de référence, et enfin un cadre de couplage a été proposé autour de l'optimiseur non linéaire ACCPM.

SynsCOP-15⁸ (GICC APR 2008) : KANLO et ORDECSYS collaborent actuellement au sein du projet Synscop15 dans lequel ils harmonisent l'utilisation des modèles TIAM (énergie), GEMINI-E3 (économie) et GENIE (climat) pour l'évaluation et le suivi des négociations autour de COP-15. Cet outil, disponible en ligne sur <http://synscop15.ordecsys.com>, permet d'évaluer les conséquences de la mise en place de politiques climatiques ciblées.

PLANETS⁹ (7^{ème} Programme Cadre Européen) : KANLO et ORDECSYS participent à ce projet EU-FP7 s'intéressant à la gestion de l'incertitude dans des modèles comme TIAM et GEMINI-E3. Ils ont mis en place et testé des techniques de prise en compte de l'incertitude (programmation stochastique, programmation robuste) dans de nombreux modèles (TIAM, GEMINI-E3, DEMETER, WITCH).

TOCSIN¹⁰ (6^{ème} Programme Cadre Européen) : KANLO et ORDECSYS ont collaboré à ce projet sur les stratégies de coopération technologique notamment avec la Chine et l'Inde, visant la réduction des émissions de gaz à effet serre ; en particulier, un couplage entre le modèle technico-économique TIAM et le modèle macro-économique GEMINI-E3 a été développé.

⁷ <http://www.crphl.lu/cms/crte/content.nsf/id/LEAQ>

⁸ <http://synscop15.ordecsys.com>

⁹ <http://www.feem-project.net/planets/>

¹⁰ <http://tocsin.ordecsys.com/>

Bibliographie

- Adger W.N., (2006) Vulnerability, **Global Environmental Change**, 16, p. 268-281.
- Ambrosi, P. and Courtois, P., (2004). «Impacts du changement climatique et modélisation intégrée, la part de l'arbitraire.» **Nature Sciences et Sociétés** 12: 375-386.
- Anthoff, David and Cameron Hepburn and Richard S.J. Tol «Equity weighting and the marginal damage costs of climate change», **Ecological Economics**, Volume 68, Issue 3, Pages 836-849, 2009.
- Babonneau, F., J.-P. Vial, and R. Apparigliato. Robust optimization for environmental and energy planning. In J.A. Filar and A. Haurie, editors, Handbook on “Uncertainty and Environmental Decision Making”, International Series in Operations Research and Management Science, pages 79–126. SpringerVerlag, 2010.
- Babonneau, F., Kanudia, A., Labriet, M., Loulou, R., Vial, J.-Ph., Energy Security: a robust optimization approach to design a robust European energy supply via TIAM, soumis à Environmental modeling and assessment , 2010.
- Bankoff G., Frerks G., Hilhorst D, (Eds.), (2004) **Mapping vulnerability: disasters, development and people**. Earthscan, London, 236 p.
- Ben-Tal, A., L. El Ghaoui, and A. Nemirovski. Robust Optimization. Princeton University Press, 2009.
- Berger C., Haurie A., Lafrance G., Loulou R., Savard G. and Surprenant J.-P., MEDEQ-MARKAL: Un couplage entre deux modèles techno-économiques du système énergétique du Québec, RAIRO, Recherche opérationnelle, Vol. 21, no 1, pp.21-50, 1987.
- Bell, M.L., B.F. Hobbs and H. Ellis. 2003. *The use of multi-criteria decision-making methods in the integrated assessment of climate change: implications for IA practitioners*. **Socio-Economic Planning Sciences** 37(4):289-316.
- Borrego, C., A. I. Miranda, J. Valente, M. Lopes, J.M. Couto, A. Haurie, A. Dubois & L. Drouet, Studying the impact of urban sustainable transportation on Lisbon air quality, in C.A Brebbia & F. Patania eds. Air Pollution XI, pp. 583-592, WIT Press, Southampton, 2003.
- Bosetti, V., C. Carraro, M. Galeotti, E. Masseti, M. Tavoni, WITCH: A World Induced Technical Change Hybrid Model, **The Energy journal**, Special Issue Hybrid Modeling of Energy-Environment policies: Reconciling bottom-up and top-down, pp 13-38, 2006.
- Bosetti, V. and M. Tavoni, Uncertain R D, backstop technology and GHGs stabilization, **Energy Economics**, 31, pp S18-S26, 2009.
- Bréchet T., J. Thénié, T. Zeimes, S. Zuber, The benefits of cooperation under uncertainty: the case of climate change, Technical paper, CORE, UCL, 2010.
- Caratti, P., A. Haurie, D. Pinelli, D.S. Zachary, Exploring the Fuel Cell Car Future: an Integrated Energy Model at the City Level, in L. J. Sucharov, and C. A. Brebbia eds., Urban Transport IX, Proceedings Urban Transport 2003, Ninth International Conference on Urban Transport and the Environment in the 21st Century, 10 - 12 March 2003 Crete, Greece, WIT Press, Southampton, 2003
- Carlson D., Haurie A., J.-P. Vial and Zachary D.S., Large scale convex optimization methods for air quality policy, **Automatica**, pp. 385–395, January 2004.
- Ching-Pin Tung-Nien-Ming Hong-Ming-hsu Li (2009) Interval number fuzzy linear programming for climate change impact assessments of reservoir active storage **Paddy Water Environ** 7:349–356
- Clarke, L.; Edmonds, J.; Krey, V.; Richels, R.; Rose, S. & Tavoni, M. International climate policy architectures: Overview of the EMF 22 international scenarios **Energy Economics**, Volume 31, Supplement 2, December 2009, Pages S64-S81, 2009
- Cutter S. and Scott S. M. (1997) Handbook for Conducting a GIS-based Hazard Assessment at the county level. University of South Carolina.
- de Bruin, K. et al. (2009) *Adapting to climate change in The Netherlands: an inventory of climate adaptation options and ranking of alternatives*. **Climatic Change**
- de Bruin K. C. , R. B. Dellink and R. S. J. Tol (2009) *AD-DICE: an implementation of adaptation in the DICE model*, **Climatic Change** Vol. 95, pp. 63–81
- Dessai, S., and M. Hulme. (2004). *Does climate adaptation policy need probabilities?* **Climate Policy** 4:107-128.
- Dessai, S., and M. Hulme. (2007). *Assessing the robustness of adaptation decisions to climate change uncertainties: A case study on water resources management in the East of England*. **Global Environmental Change** 17:59-72.
- Dessai, S., X. F. Lu, and J. S. Risbey. (2005). *On the role of climate scenarios for adaptation planning*. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions** 15:87-97.
- Dessai S. and J. van Sluijs (2007) *Uncertainty and Climate Change Adaptation - a Scoping Study*. Copernicus Institute, Utrecht.
- Dessai, S. and Hulme M. (2004). «Does climate adaptation policy need probabilities?» **Climate Policy** 4: 107-128.

- DET2STO, **Génération automatique de modèles de programmation stochastique**, réalisé par J. Thénié, Outil logiciel disponible en version libre à <http://www.ordecys.com/en/det2sto>.
- Drouet, L. and J. Thénié, An Energy-Technology-Environment Model to Assess Urban Sustainable Development Policies - Reference Manual, Ordecys Technical Reports, V2.1, 2009
- Dumas, P. and M. Ha-Duong, An Abrupt Stochastic Damage Function to Analyze Climate Policy Benefits, in *The Coupling of Climate and Economic Dynamics*, Vol 22, Springer editors, pp97-111, 2005.
- Fedra K. and Haurie A., A decision support system for air quality management combining GIS and Optimization techniques, in Fragnière E. (ed), "Applications of Decision Analysis to Environmental Problems", Special Issue of *Int. J. of Environment and Pollution*, Vol.12, No. 2/3, pp.125-146,1999.
- Fragnière E. and Haurie A., A stochastic programming model for energy/environment choices under uncertainty, *Int. J. Environment and Pollution*, Vol. 6, Nos. 4-6, pp.587-603, 1996.
- Füssel, H.-M. (2007) Adaptation planning for climate change: concepts, assessment approaches, and key lessons, **Sustainability science**, Vol.2, No 2, pp. 265-275.
- Füssel, H.-M. (2009) *Ranking of national-level adaptation options. An editorial comment. Climatic Change*
- Hallegatte S., (2009) *Strategies to adapt to an uncertain climate change, Global Environmental Change*, 19, p. 240-247.
- Hamalainen, R.P. and R. Karjalainen. 1992. *Decision support for risk analysis in energy policy. European Journal of Operational Research* 56:172-183.
- Haurie A., J. Kübler, A. Clappier and H. vanden Bergh , A Metamodeling Approach for Integrated Assessment of Air Quality Policies, **Environmental Modeling and Assessment**, Vol.9, pp. 1-12, 2003.
- Hulme, Mike (2008) *Predicting, deciding, learning: can one evaluate the 'success' of national climate scenarios?*. **Environmental Research Letters** 3(4)
- Hulme, Mike (2008) *Governing and adapting to climate. A response to Ian Bailey's Commentary on 'Geographical work at the boundaries of climate change'*. **Transactions of the Institute of British Geographers**.
- Kelly P. M. and Adger, N. W. (2000). «Theory and Practice in Assessing Vulnerability to Climate Change and facilitating Adaptation.» **Climatic Change** 47: 325-352.
- Larrivée, C. and Simonet G. (2007). The use of climate scenarios at the municipal level. In *Climate Change : A Guide to Policy and Practice for Canadian Municipalities*.
- Lecocq F. and Z. Shalizi (2007) *Balancing Expenditures on Mitigation of and Adaptation to Climate Change* WP 4299, World Bank, Washington.
- Lempert, R.J., Groves, D.G., Popper, S.W., Bankes, S.C., (2006) *A general, analytic method for generating robust strategies and narrative scenarios. Management Science* 52 (4), 514-528.
- Loulou, R., M. Labriet, A. Kanudia (2009a) Deterministic and Stochastic Analysis of alternative climate targets under differentiated cooperation regimes, **Energy Economics**, 31, supp. 2, S131-S143.
- Loulou, R., M. Labriet, A. Kanudia (2009b), Modeling Uncertainty in a Large scale integrated Energy-Climate Model, special issue of **Environmental Modeling and Assessment**.
- Magnan A., B. Garnaud, R. Billé, F. Gemenne, S. Hallegatte (2009) **La Méditerranée au futur des impacts du changement climatique aux enjeux de l'adaptation**, IDDRI.
- Mirasgedis, S., Y. Sarafidis, E. Georgopoulou, V. Kotroni, K. Lagouvardos, D.P. Lalas, *Modeling framework for estimating impacts of climate change on electricity demand at a regional level: Case of Greece, Energy conversion and management* 48 (2007).
- Nordhaus and Boyer, «Warming the World: Economic Models of Global Warming», MIT Press, Cambridge, Mass, 2000.
- OBOE, **Oracle Based Optimization Engine**, logiciel libre réalisé sous la direction de J.-Ph. Vial, disponible sur le site COIN-OR, <http://www.coin-or.org/projects/OBOE.xml>.
- Ouranos (2004). S'adapter aux changements climatiques, Montréal. 91 p. <http://www.ouranos.ca/fr/publications/resultats.php?q=&t=&tri=&p=1#rs>
- Quinet Alain, «La valeur tutélaire du carbone», Centre d'Analyse Stratégique, 2009
- Roe, G. H. and Marcia B. Baker, Why Is Climate Sensitivity So Unpredictable?, **Science**, vol.318, 5850, pp 629-632, 2007.
- Simonet, Guillaume (2009) *Le concept d'adaptation : polysémie interdisciplinaire et implication pour les changements climatiques. Natures Sciences Sociétés* 17(4).
- Stern, N. «The economics of climate change: the Stern review» *Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2006*
- Thénié, J., J.-Ph. Vial, Ch. van Delft, Automatic formulation of stochastic programs via an algebraic modeling language, **Computational Management Science**, 4(1), p.17-40, 2007.
- Winkler, Julie A. (2010) *A conceptual framework for multi-regional climate change assessments for international market systems with long-term investments. Climatic Change*.

- Yohe G. (2000) «Assessing the Role of Adaptation in Evaluating Vulnerability to Climate Change.» **Climatic Change** 46: 371-390.