

EEM-AR : MODELISER L'ATTENUATION ET L'ADAPTATION DU SYSTEME ENERGETIQUE DANS UN PLAN CLIMAT TERRITORIAL

20/5/2014

RESTITUTION DES RÉSULTATS

APR 2010


Programme GICC



OBJECTIFS

ORGANISATION DE LA RECHERCHE

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

- Identifier les choix technologiques, énergétiques et les investissements appropriés dans le secteur énergétique pour à la fois atténuer les émissions de GES et adapter le système énergétique face au CC. 
- Réaliser une analyse coût/efficacité des mesures d'un plan climat territorial liées au secteur énergétique à l'aide du modèle ETEM.
- Appliquer des techniques de modélisations stochastique et robuste afin de recommander un portefeuille diversifié de mesures de précaution.

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

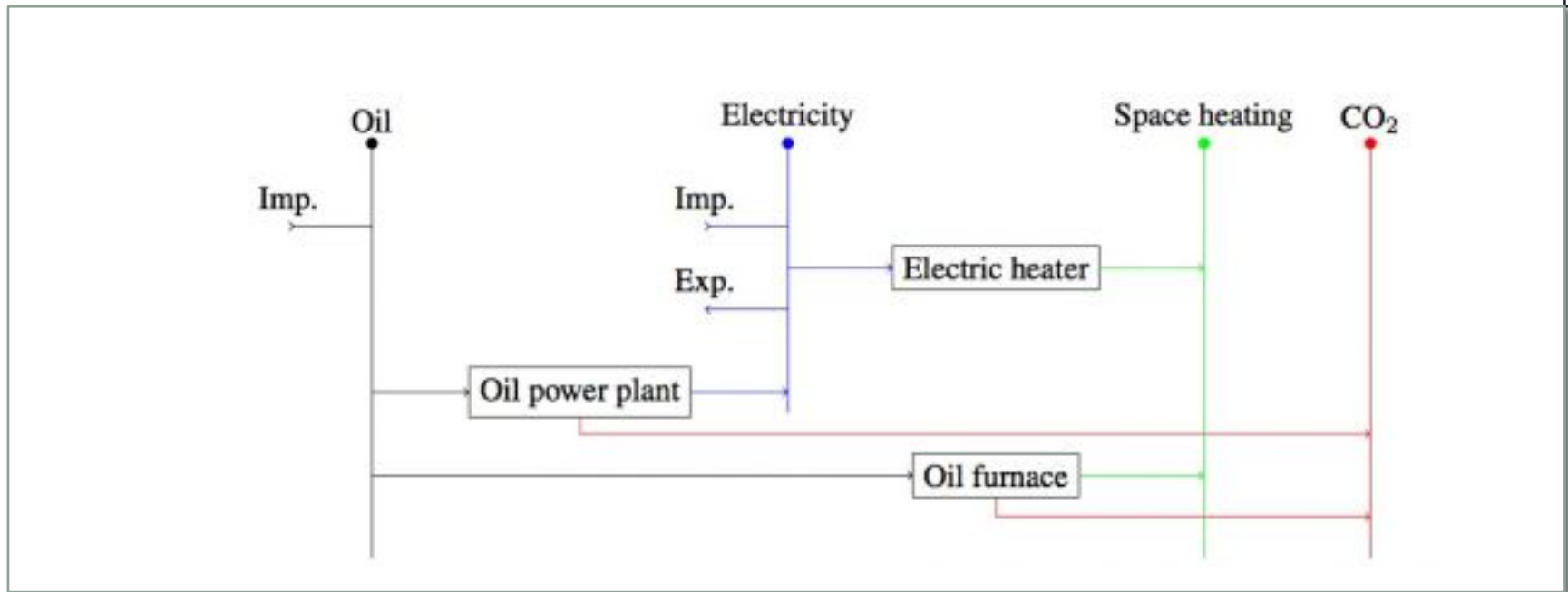
- Identifier les choix technologiques, énergétiques et les investissements appropriés dans le secteur énergétique pour à la fois atténuer les émissions de GES et adapter le système énergétique face au CC.
- Réaliser une analyse coût/efficacité des mesures d'un plan climat territorial liées au secteur énergétique à l'aide du modèle ETEM.
- Appliquer des techniques de modélisations stochastique et robuste afin de recommander un portefeuille diversifié de mesures de précaution.

OBJECTIFS DE LA RECHERCHE

- Identifier les choix technologiques, énergétiques et les investissements appropriés dans le secteur énergétique pour à la fois atténuer les émissions de GES et adapter le système énergétique face au CC.
- Réaliser une analyse coût/efficacité des mesures d'un plan climat territorial liées au secteur énergétique à l'aide du modèle ETEM.
- Appliquer des techniques de modélisations stochastique et robuste afin de recommander un portefeuille diversifié de mesures de précaution.

TROIS ATELIERS

1. Proposer un cadre de modélisation intégrée mise en œuvre au niveau territorial, suivant la ligne esquissée par le modèle ETEM. Introduire l'analyse multicritère ou la programmation par objectifs dans ETEM.



TROIS ATELIERS

1. Proposer un cadre de modélisation intégrée mise en œuvre au niveau territorial, suivant la ligne esquissée par le modèle ETEM. Introduire l'analyse multicritère ou la programmation par objectifs dans ETEM.
2. Développer une approche opérationnelle pour identifier des stratégies robustes face à plusieurs sources d'incertitude (certains paramètres du modèle, les impacts des changements climatiques, etc.)

- F. Babonneau, A. Kanudia, M. Labriet, R. Loulou, and J.-P. Vial, "Energy security: a robust optimization approach to design a robust European energy supply via TIAM," *Environmental Modeling and Assessment*, vol. 17, no. 1, pp. 19–37, 2012.
- F. Babonneau, M. Vielle, A. Haurie and R. Loulou, *Combining Stochastic Optimization and Monte-Carlo Simulation to Deal with Uncertainties in Climate Policy Assessment*, *Environmental Modeling and Assessment*, 17(1), p51-76, 2012.

TROIS ATELIERS

1. Proposer un cadre de modélisation intégrée mise en œuvre au niveau territorial, suivant la ligne esquissée par le modèle ETEM. Introduire l'analyse multicritère ou la programmation par objectifs dans ETEM.
2. Développer une approche opérationnelle pour identifier des stratégies robustes face à plusieurs sources d'incertitude (certains paramètres du modèle, les impacts des changements climatiques, etc.)
3. Appliquer cette modélisation en réalisant une mise en œuvre pilote sur la région Midi-Pyrénées, en partenariat avec OREMIP/ARPE et l'ensemble des acteurs locaux par le truchement d'un comité de suivi.



SITE INTERNET ETEM-AR

<http://etem-ar.ordecsys.com/>

etem-ar.ordecsys.com

ETEM-AR | GICC Le programme Gestion et Impact du Changement Climatique

ACCUEIL | LE PROJET | LES METHODES | APPLICATION EN MIDI - PYRENEES

CONTACTS

Accueil

Ce site internet présente de manière interactive la méthodologie, les observations, les données, la modélisation et les résultats d'une analyse prospective de l'adaptation au changement climatique du système énergétique de la région Midi-Pyrénées. Cette analyse a été effectuée en utilisant des techniques d'optimisation stochastique ou robuste.

Il est possible de télécharger le rapport final du projet, ou un article scientifique résumant les principales avancées dans cette recherche en cliquant sur les boîtes situées à droite de cette page.

Dans le cadre du programme GICC (Gestion et Impact du Changement Climatique), ORDECSYS en collaboration avec KanLo a été mandaté pour développer un modèle de simulation énergétique prenant en compte l'adaptation et la robustesse (ETEM-AR). Le programme GICC est piloté par le MEDDE (Ministère du Développement Durable et de l'Énergie) et le projet a été soutenu financièrement par l'ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie) et a bénéficié de la collaboration de l'OREMIP (Observatoire Régional de l'Énergie en Midi-Pyrénées).

Sur ce site, on trouvera toutes les informations sur la conception, le développement et les résultats du projet

BIENVENUE SUR LE SITE DU PROJET ETEM-AR

Ce site est particulièrement adapté à l'utilisation du navigateur Firefox.

RAPPORT FINAL

ADEME

France

UN DIDACTITIEL

Pour la mise à disposition, au bénéfice des institutions responsables de l'établissement de PCET, d'un outil open-source pour planifier les activités d'atténuation et d'adaptation liées au secteur énergétique dans leurs régions sur des horizons de 20 à 50 ans.

Didacticiel

Boîte de réception (7 934) x www.gip-ecofor.org/doc/ x Ministère du Développement x ETEM-AR - Approche et m x ETEM-AR - Approche et m x

etem-ar.ordecys.com/base.php?s=3

ACCUEIL | **LE PROJET** | **LES METHODES** | **APPLICATION EN MIDI - PYRENEES**

VULNERABILITE | INCERTITUDES DES PREVISIONS CLIMATIQUES | DE ETEM VERS ETEM-A | DE ETEM-A VERS ETEM-A | MODE OPERATOIRE POUR DEVELOPPER UNE MODELISATION

APPROCHES ET METHODES

Ce chapitre décrit les différentes méthodes utilisées tant pour créer des indicateurs du changement climatiques. Le modèle vers le modèles ETEM-AR (Adaptation et Robustesse).

VULNERABILITE
INCERTITUDES DES PREVISIONS CLIMATIQUES
SCENARIOS ET MODELES CLIMATIQUES
MODÉLISATION ETEM
DE ETEM VERS ETEM-A
DE ETEM-A VERS ETEM-AR (OPTIMISATION ROBUSTE)
SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE
MODE OPERATOIRE POUR DEVELOPPER UNE MODELISATION ETEM-AR POUR VOTRE REGION

LES CLIMATIQUES | MODÉLISATION ETEM
MES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE

Projet soutenu par le GICC, financé par l'ADEME et piloté par le MEEEDDM

design & development Induxia

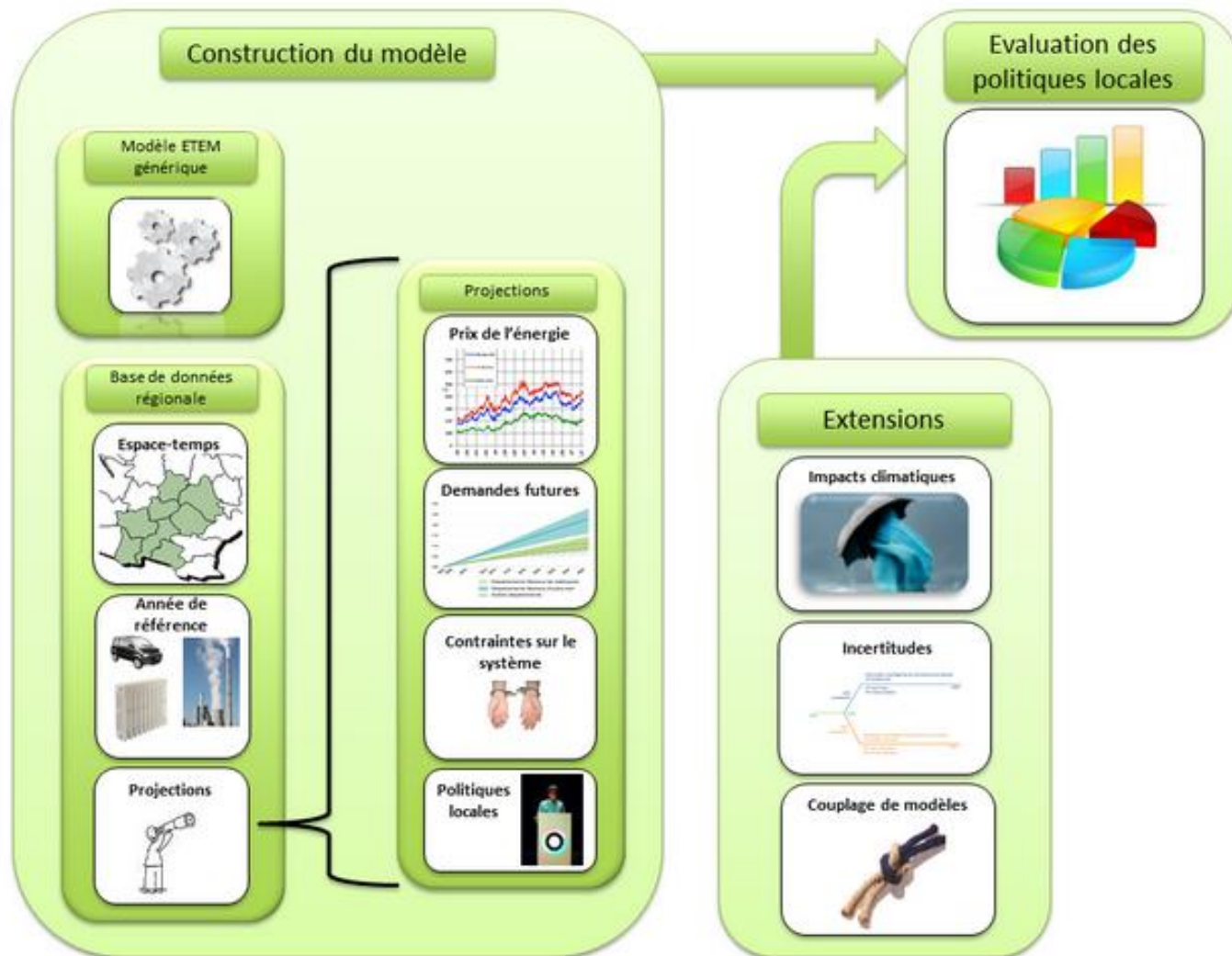
ACCUEIL
LE PROJET
LES METHODES
APPLICATION EN MIDI-PYRENNÉES

etem-ar.ordecys.com/base.php?code=39

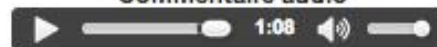
Didacticiel

Mode opératoire pour développer une modélisation ETEM-AR pour votre région

(Veuillez sélectionner une des images afin d'approfondir le sujet!)



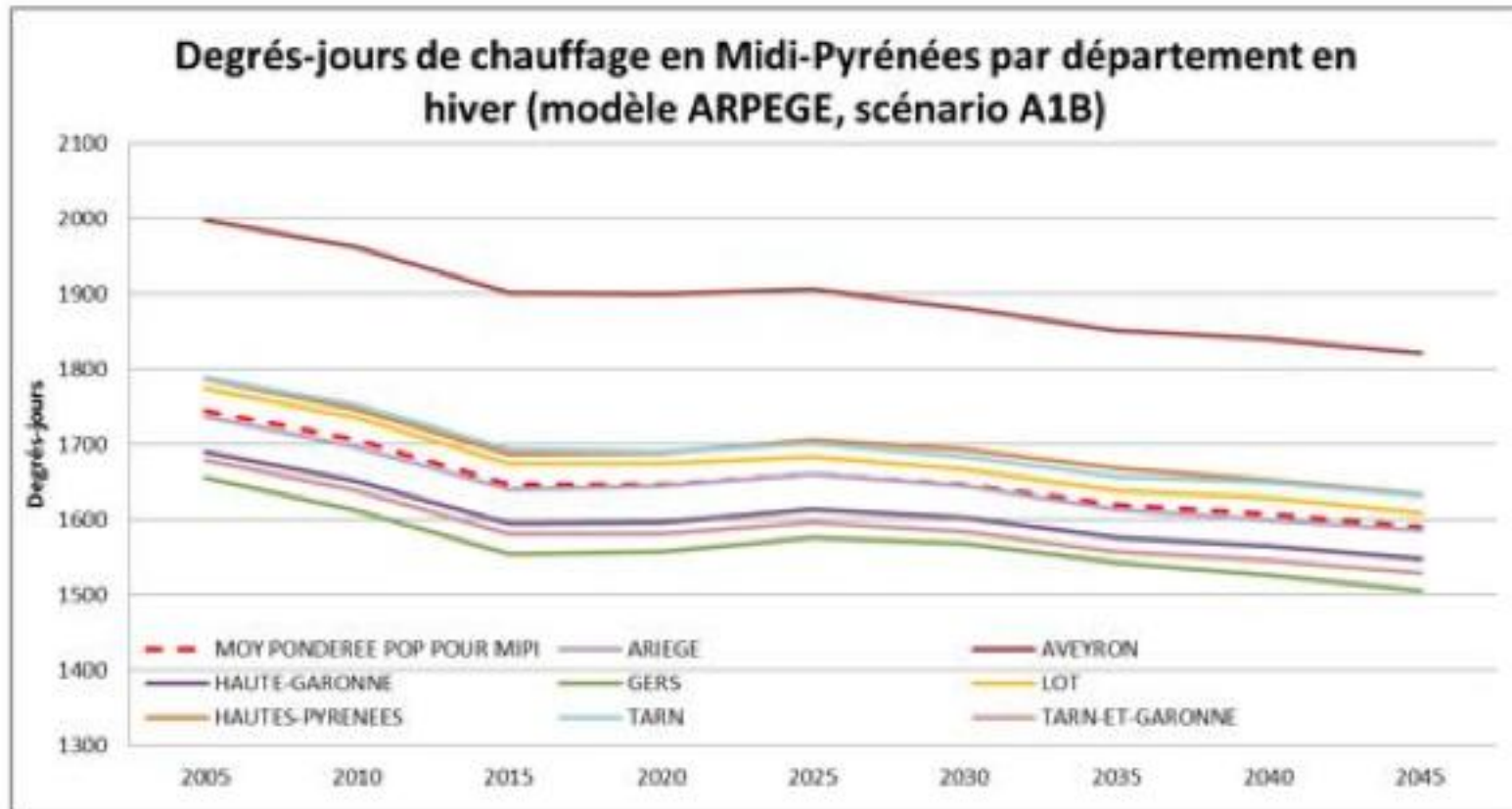
Commentaire audio



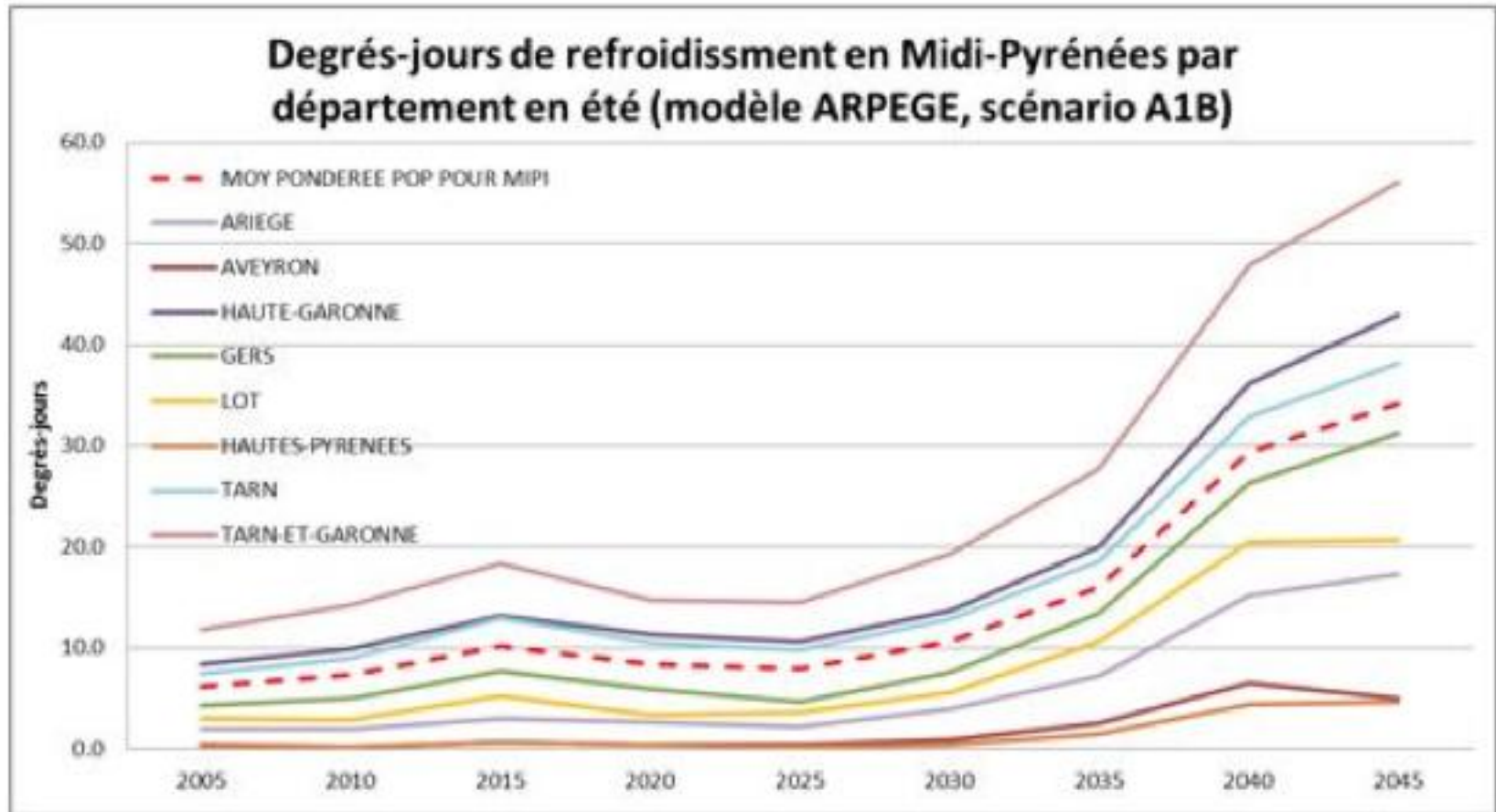
ETUDE PILOTE EN MIDI-PYRÉNÉES

Une démonstration de la faisabilité de l'approche de modélisation proposée pour identifier des stratégies robustes d'adaptation et d'atténuation du secteur énergétique face au CC.

Degrés jours chauffage



Degrés jours de refroidissement



UN GUICHET CARTOGRAPHIQUE

Pour la mise à disposition des données géographiques représentatives du changement climatique.

Systèmes d'Informations Géographiques (SIG)

INTÉRÊT DES SIG DANS LE PROJET

La plupart des décisions relatives au système énergétique d'un pays ou d'une région sont dépendantes de l'environnement local. L'adaptation au changement climatique est un des domaines dans lequel la prise en compte de la localisation des différents éléments du système énergétique est particulièrement importante. Les impacts climatiques ainsi que leur variabilité temporelle peuvent fortement varier d'un lieu à l'autre. Par exemple, les températures moyennes estivales et hivernales peuvent augmenter dans une région, en raison du changement climatique, et diminuer dans une autre, ce qui aura un impact différent, notamment sur les demandes de chauffage ou de climatisation.

L'intérêt d'intégrer les SIG dans le projet ETEM-AR est de faciliter la prise en considération des caractéristiques locales du système énergétique dans son analyse et sa représentation.

1. AVANTAGES DES SIG DANS LA REPRÉSENTATION DES DONNÉES

Les SIG sont de puissants outils d'analyse mais aussi dans la transmission de l'information. Ainsi, les visualisations graphiques et localisées de résultats facilitent souvent l'appropriation par les décideurs des résultats d'analyse d'aide à la décision: une image est en général plus explicite qu'un long texte. De plus, ces représentations graphique reposent généralement sur une grande masse d'information. Ainsi, un objet visuel n'est pas simplement une image, mais une entité que nous pouvons faire parler à travers l'information qu'elle possède en arrière fond (Figure 1).

Cliquer sur l'image pour agrandir

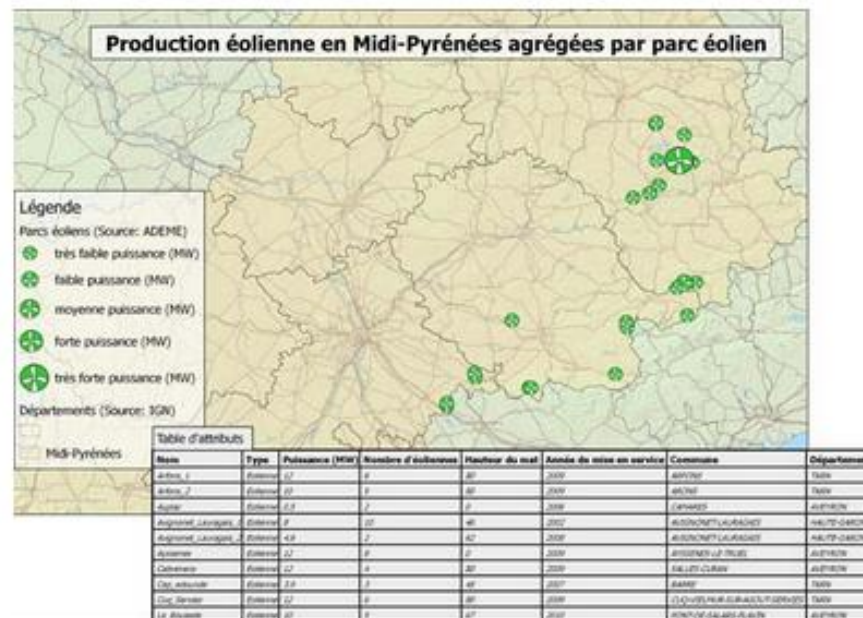


Fig 1 : Chaque ligne de la table d'attributs correspond à un symbole de parc éolien se trouvant sur la carte.

GUICHET CARTOGRAPHIQUE DES SYSTEMES ÉNERGÉTIQUES D'ETEM-AR

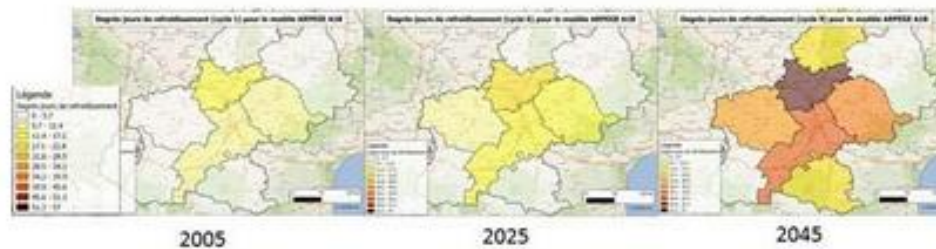


CENTRE CARTOGRAPHIQUE

L'ensemble des données SIG concernant les données climatiques ou énergétiques se trouvent dans le centre cartographique.

[Cliquez ici pour accéder au centre cartographique.](#)

SIG



3. GUICHETS CARTOGRAPHIQUES

En plus de créer de l'information « visuellement agréable », il est important de la diffuser de manière appropriée. Une diffusion via Internet constitue une approche aisée et conviviale, reposant sur des guichets cartographiques. Ces guichets cartographiques sont des moyens dynamiques et interactifs d'utiliser l'information géoréférencée. L'utilisateur peut lui-même sélectionner l'information désirée à travers une interface simple d'utilisation.

3.1. Utilisation

Dans un premier temps, nous diffusons nos données cartographiques à travers l'interface QGISCloud, développée par Sourcepole (<http://sourcepole.com>).

SIG

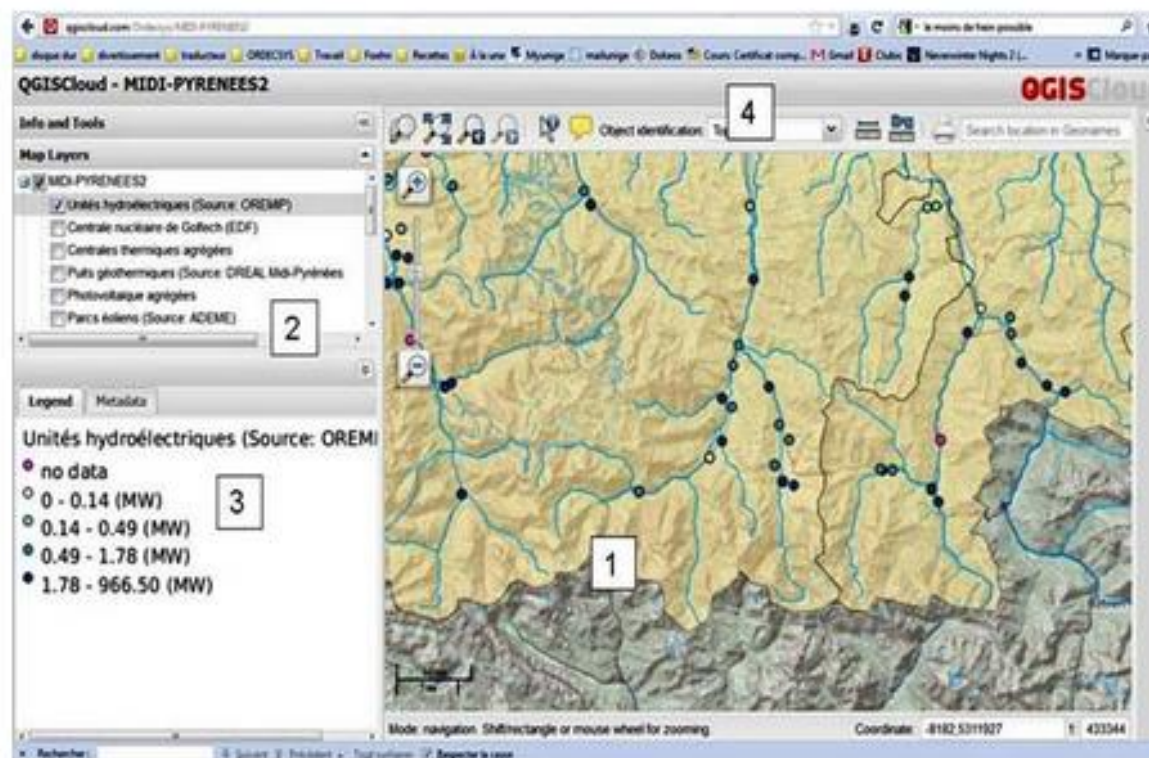
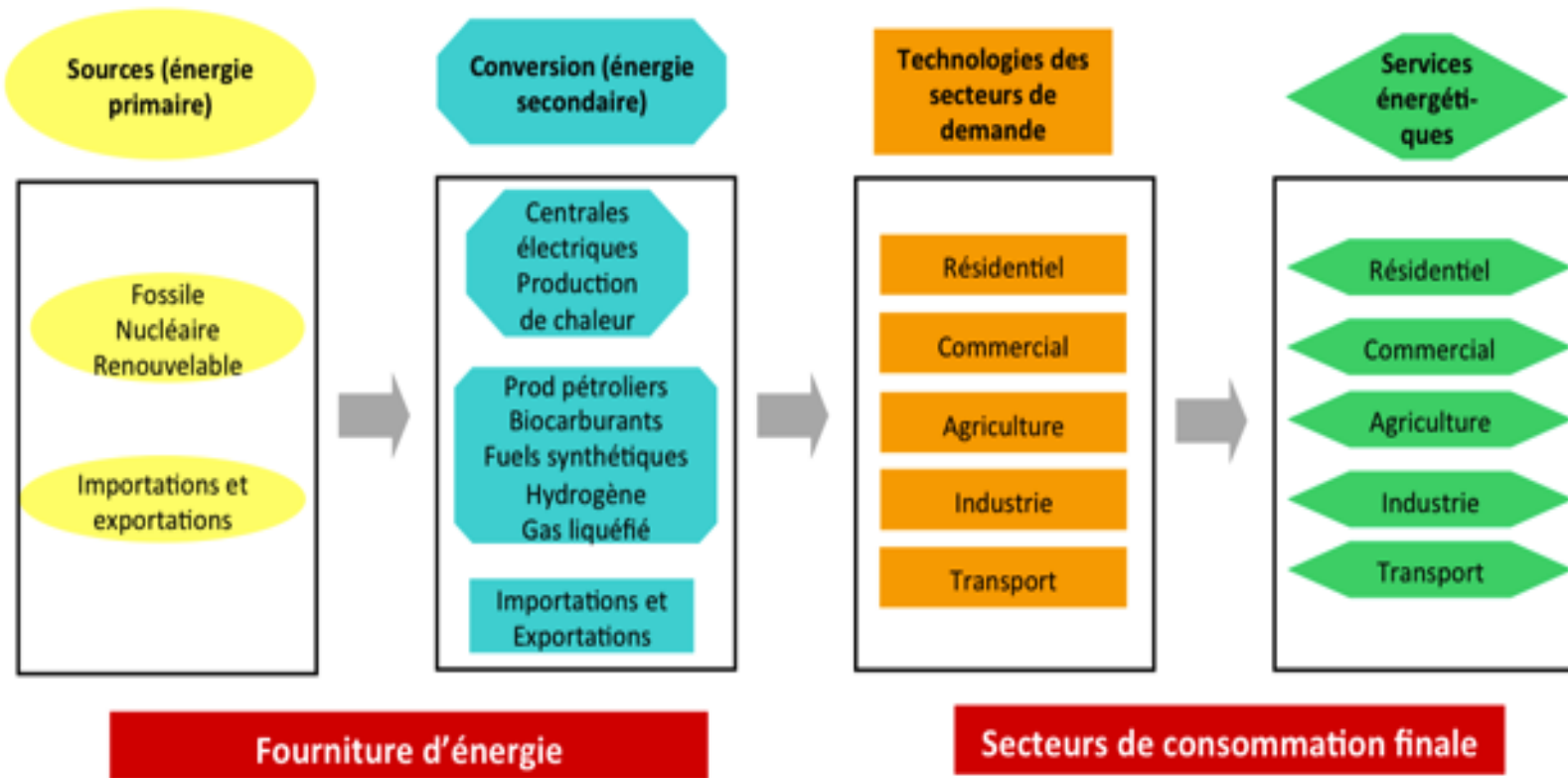


Fig.4 : Le guichet cartographique a une interface très simple et permet d'interagir avec la carte. 1. Fenêtre de visualisation des données ; 2. Sélection des différentes couches de la carte ; 3. Légende d'une ; 4. Outils de zoom, d'impression et d'interaction avec la carte.

SYSTEME ÉNERGÉTIQUE DE RÉFÉRENCE

Scénario BAU

Systeme énergétique de référence



Demandes utiles

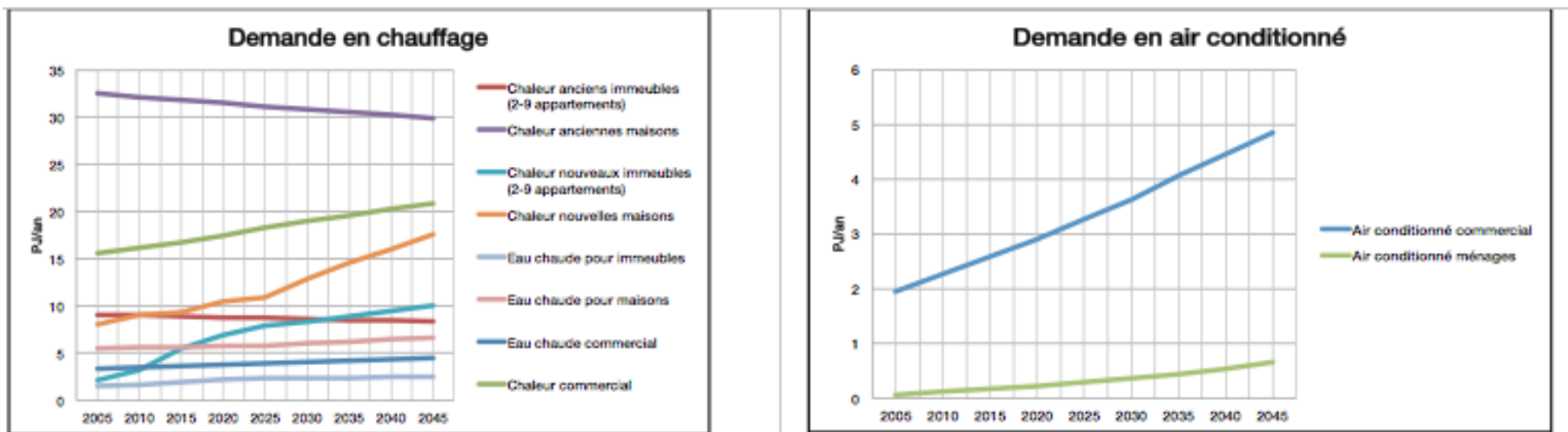
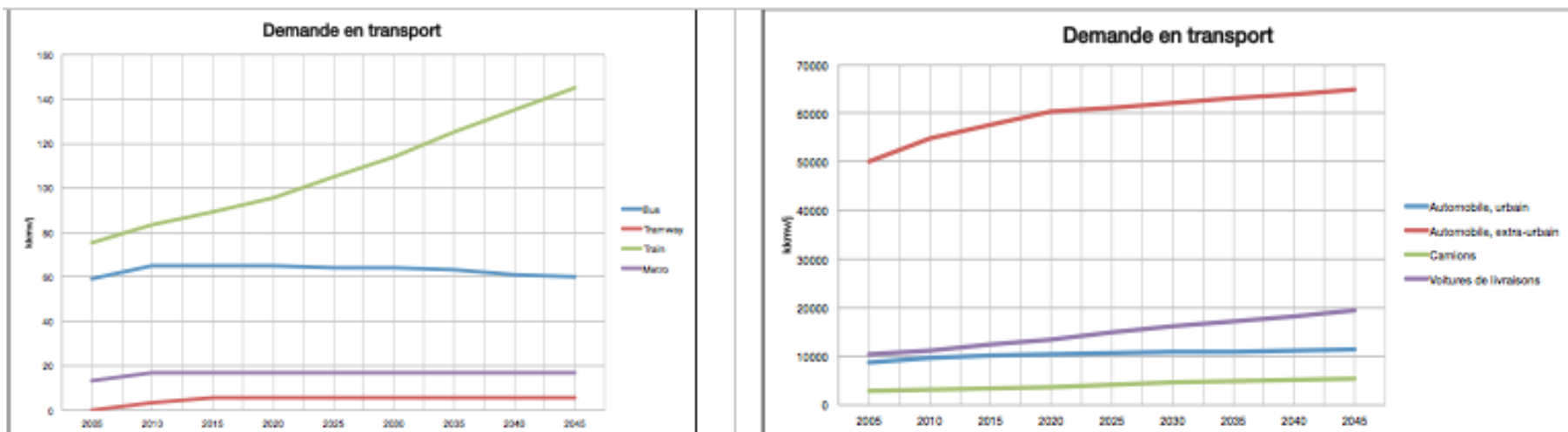


Figure 2 : Demandes utiles en chauffage et air conditionné



Modèle déterministe

$$\min \quad f(X, C, I, E)$$

$$I_{it} + \sum_k X_{ikt}^{\text{out}} = E_{it} + \sum_k X_{ikt}^{\text{in}} + d_{it}$$

$$\sum_j \beta_{ijkt} X_{jkt}^{\text{in}} = X_{jkt}^{\text{out}}$$

$$\sum_i X_{ikt}^{\text{out}} \leq \alpha_{kt} \gamma_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \neq t} C_{kl} \right)$$

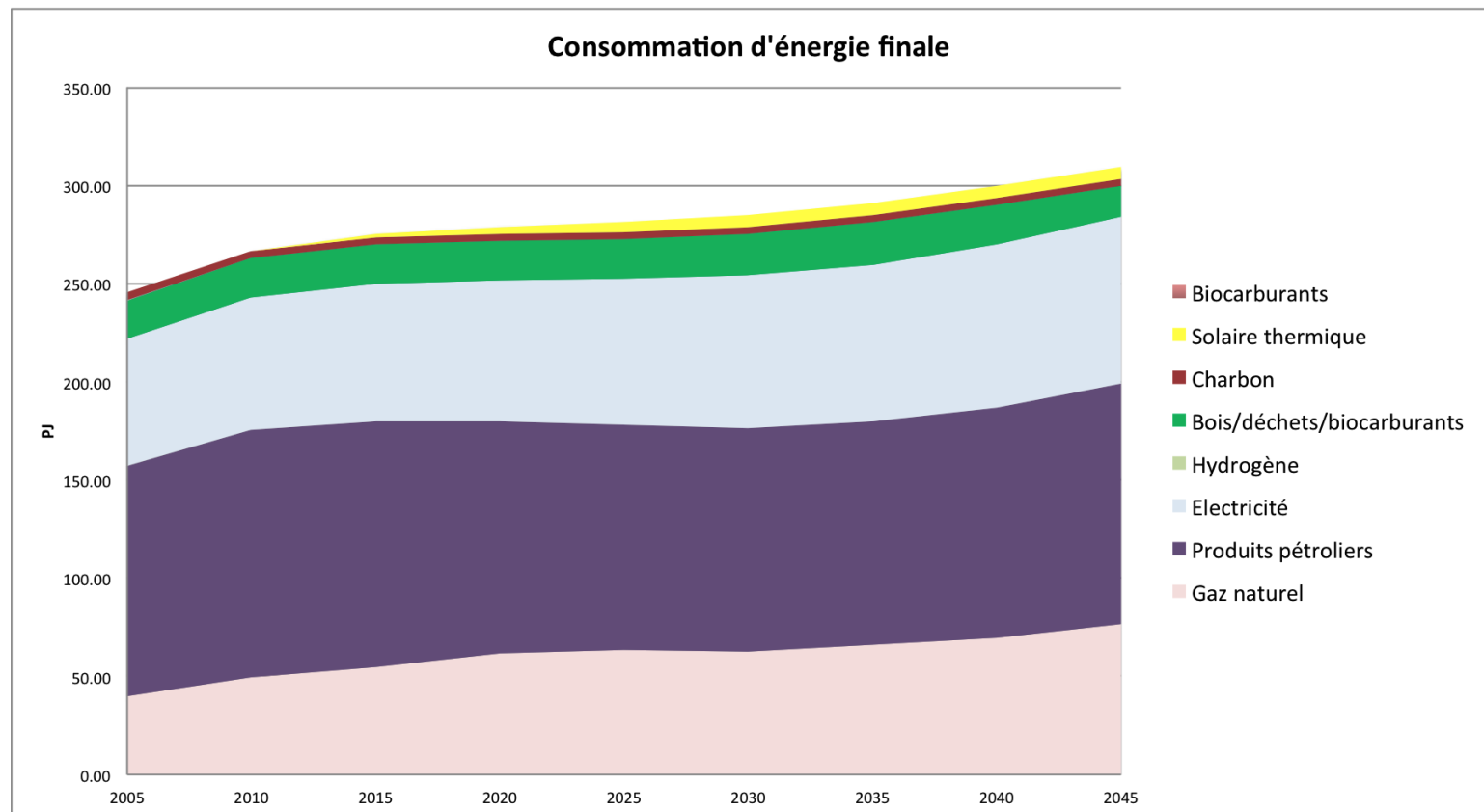
$$g_m(X, C, I, E) \leq 0$$

scénario énergétique de référence

- aucune contrainte sur les émissions de GES n'est imposée et
- aucune incertitude induite par le changement climatique n'est introduite.
- On optimise le coût systémique total constitué de la somme actualisée au taux de 3% annuel, des coûts d'importation, de production, d'investissement

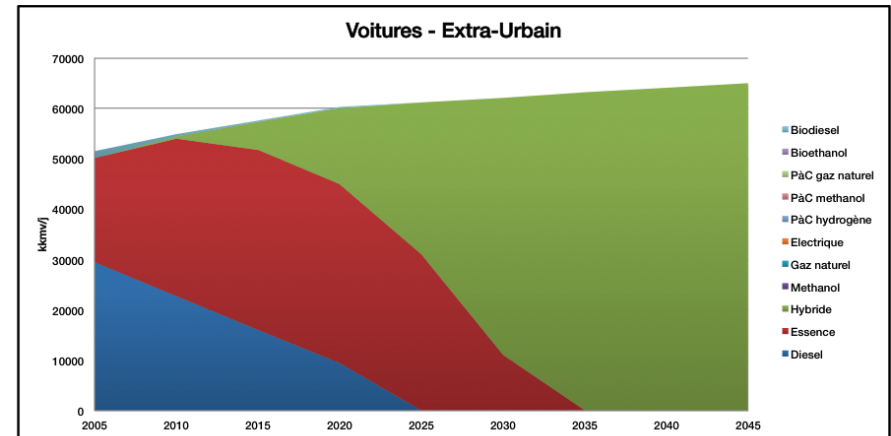
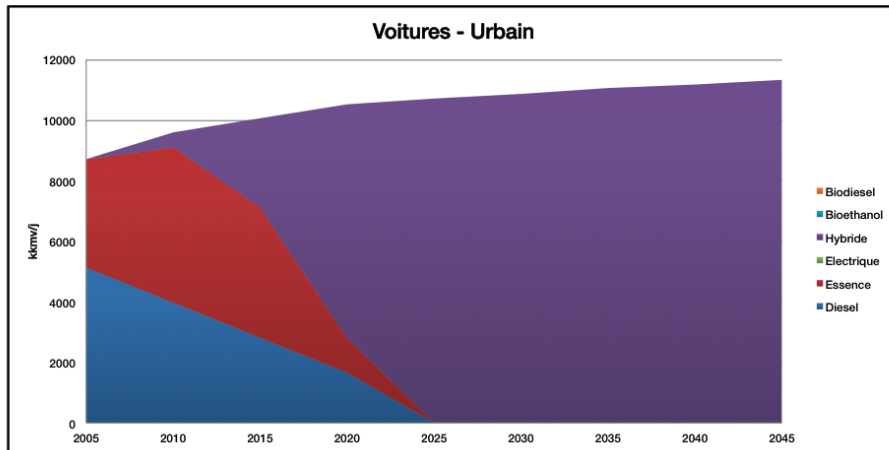
Bilan énergétique

- Sur l'horizon 2045, on observe une croissance dans la consommation totale et une relative stabilité dans les proportions relatives des différentes formes d'énergie finale dans le bilan énergétique.



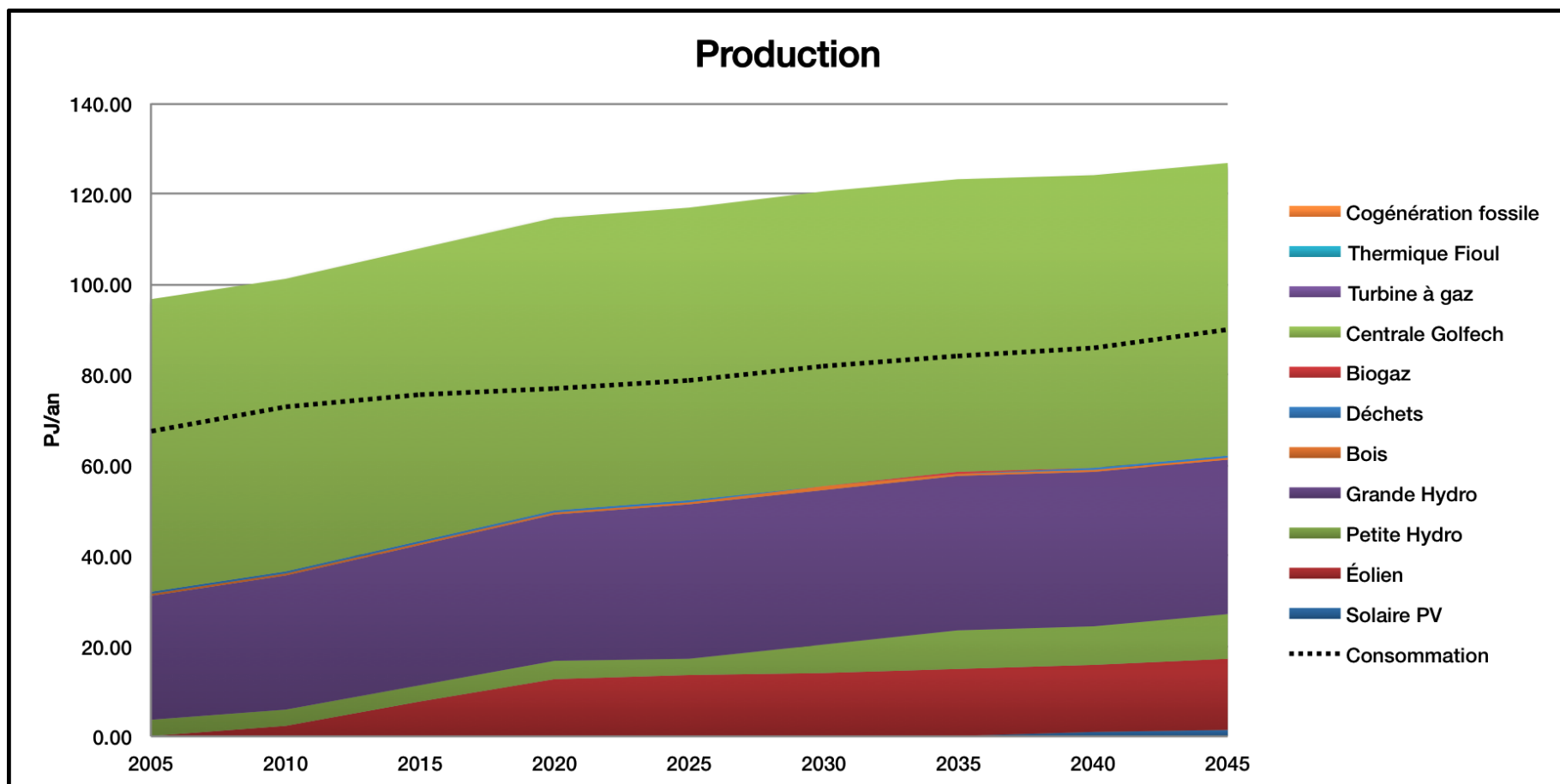
Transport

- Pour le transport, on observe une domination des véhicules hybrides pour le transport individuel urbain et extra-urbain et des véhicules diesel pour le transport commercial.



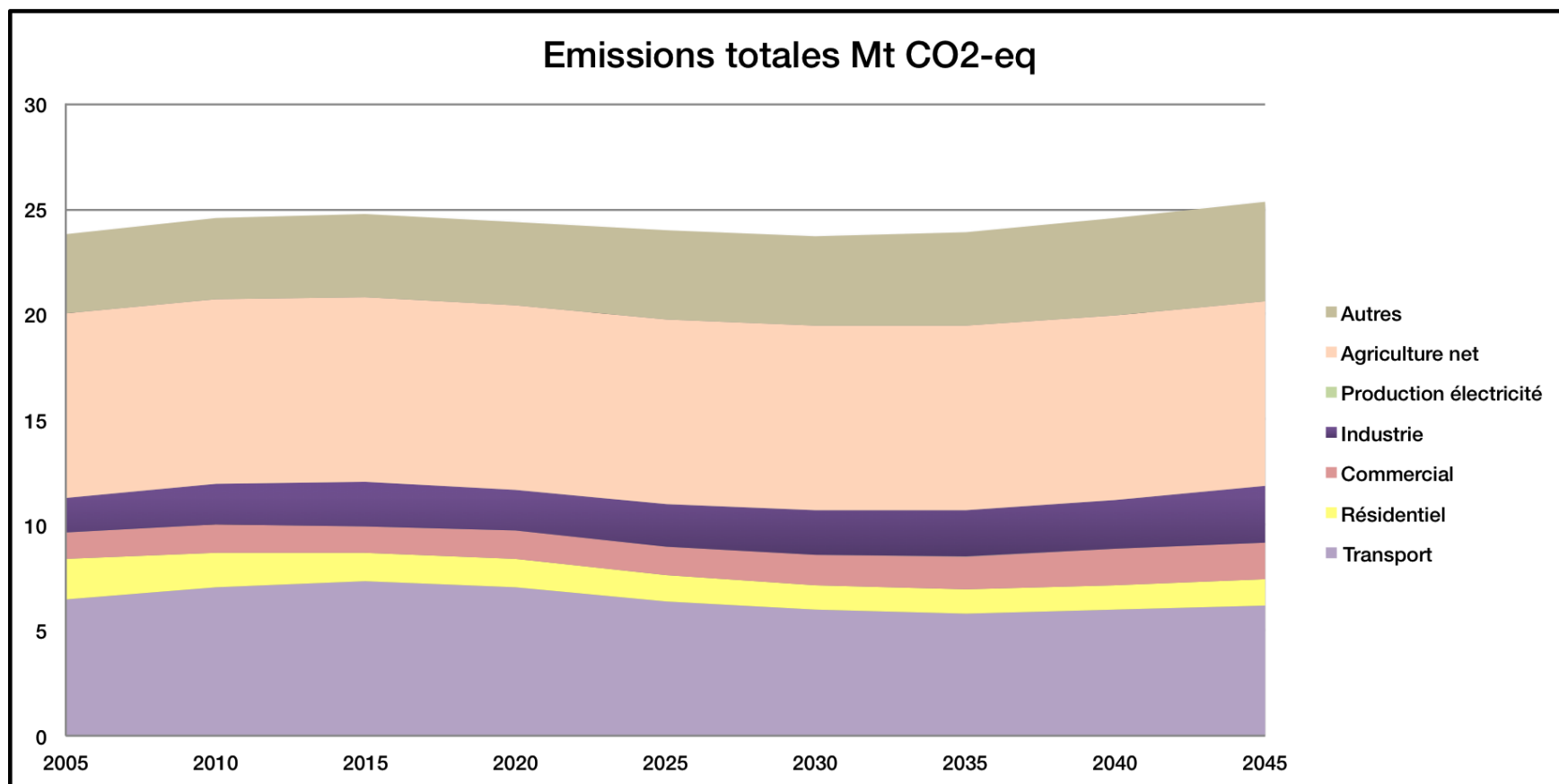
Production d'électricité

- Pour la production d'électricité, on observe une légère croissance de la production éolienne et des petites unités hydro-électriques. Dans la modélisation, nous avons imposé que les exportations vers le reste de la France demeurent constantes sur tout l'horizon et dans tous les scénarios.



Emissions de GES

- Les émissions de GES sont relativement stables à long terme, malgré l'augmentation de la demande en transport. Cela est dû à la forte pénétration des véhicules hybrides.

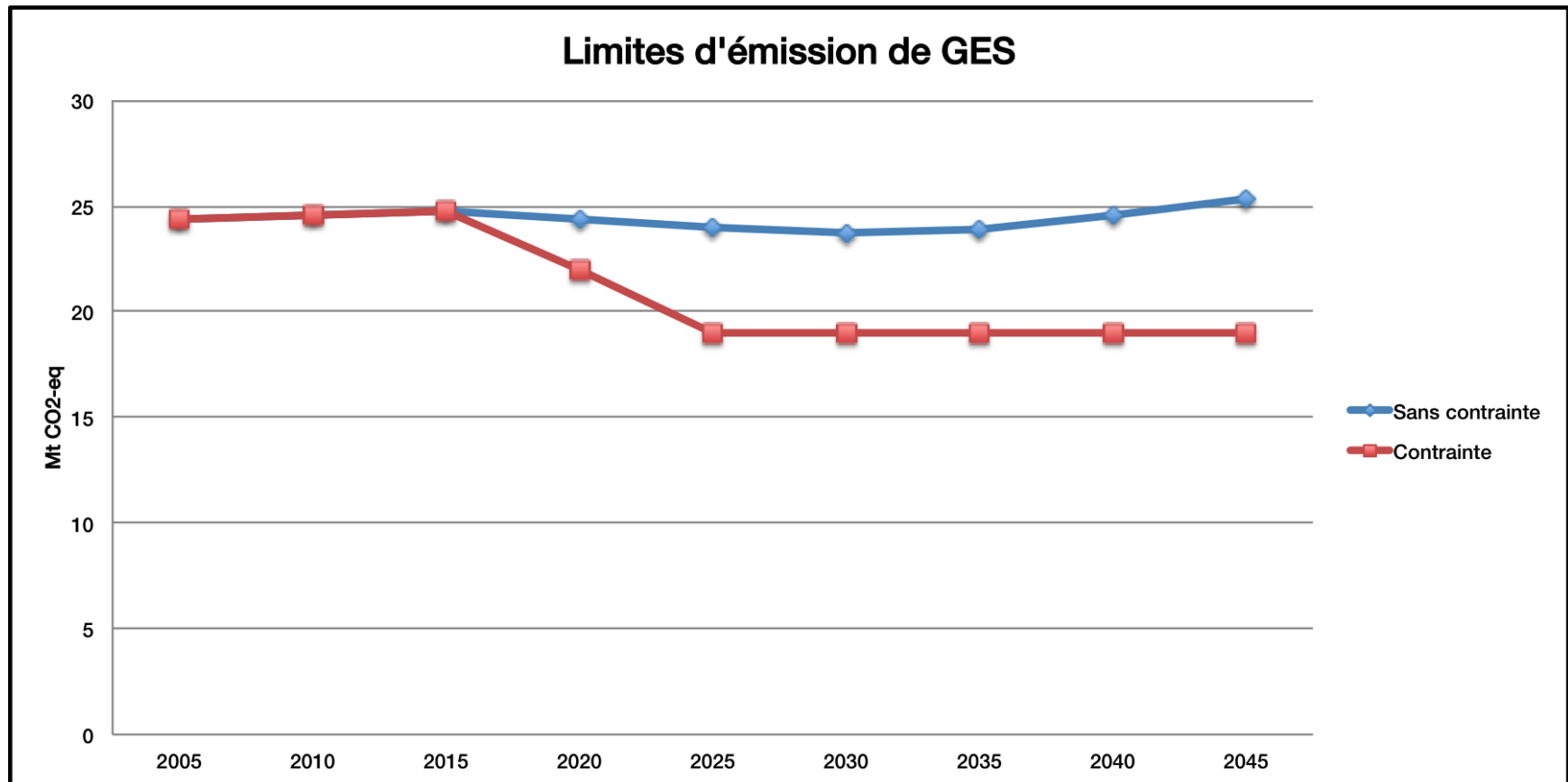


MODÉLISATION STOCHASTIQUE ET ROBUSTE

Le développement de méthodes de prise en compte de l'incertitude permettant de « robustifier » les modèles d'analyse d'activité.

Objectif d'atténuation

- Nous imposerons au système énergétique de réduire de 25% les rejets de GES à horizon 2045.



Problématique de la robustesse en adaptation

- **Adaptation au CC :**
 - **mesures d'adaptation proactive**, qui sont des investissements fournissant une couverture des risques,
 - **mesures d'adaptation réactive**, qui sont prises pour pallier les effets du changement climatique au moment où ils se manifestent.
- **Difficultés épistémologiques** (Dessai et Hulme, 2004 ; Dessai et Hulme, 2007) :
 - l'incertitude qui subsiste dans les modèles climatiques est trop grande, en particulier au niveau des impacts régionaux, pour que l'on puisse envisager une approche coût/bénéfice, basée sur de simples prévisions. Ces auteurs, associés à Lempert et Pielke (Dessai et al, 2009), proposent alors une approche basée sur la recherche de "**politiques robustes**".
- **Robustification de l'analyse des politiques :**
 - dans la modélisation technico-économique ETEM-AR, s'appuyant sur un paradigme d'optimisation, la recherche de politiques robustes s'effectue en combinant la **programmation stochastique** et **l'optimisation robuste**.

La principale leçon

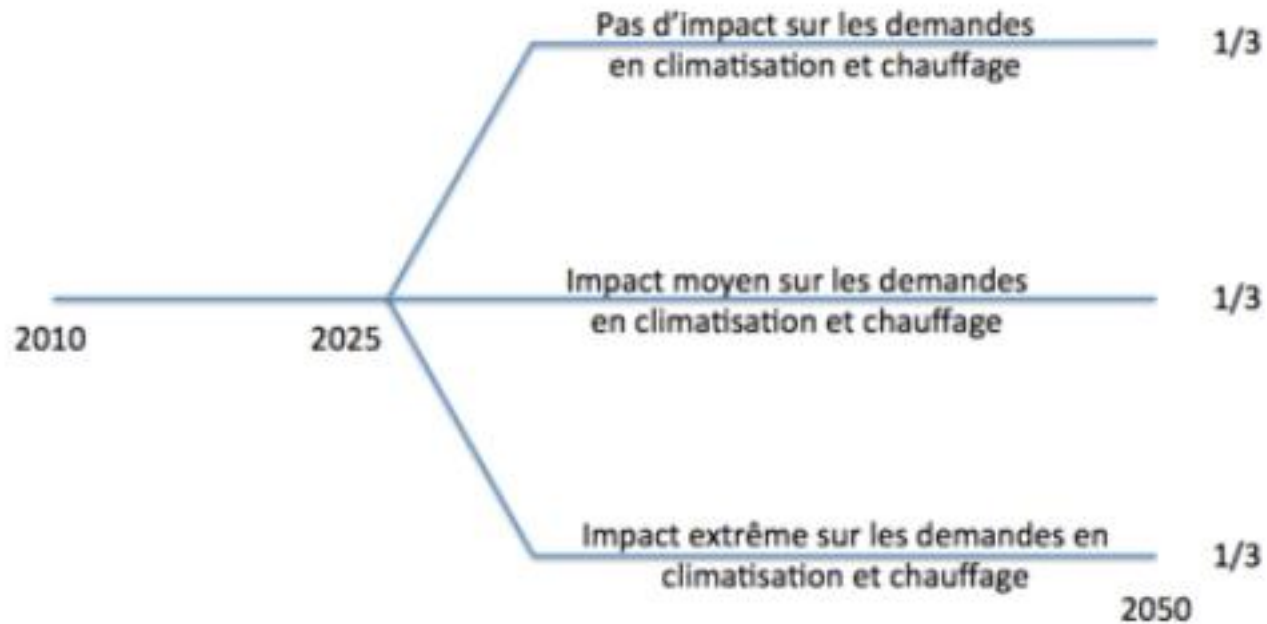
Modéliser l'adaptation signifie

1. Prendre en compte une incertitude considérable
2. Proposer des politiques contingentes et robustes

PROGRAMME STOCHASTIQUE

A partir d'un arbre d'événements

Arbre d'événement décrivant l'impact sur les demandes utiles



Modèle stochastique

$$\min \sum_{\omega} \pi_{\omega} f(X^{\omega}, C^{\omega}, I^{\omega}, E^{\omega})$$

$$I_{it}^{\omega} + \sum_k X_{ikt}^{out,\omega} = E_{it}^{\omega} + \sum_k X_{ikt}^{in,\omega} + d_{it}$$

$$\sum_j \beta_{ijkt} X_{jkt}^{in,\omega} = X_{jkt}^{out,\omega}$$

$$\sum_i X_{ikt}^{out,\omega} \leq \alpha_{kt} \gamma_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl}^{\omega} \right)$$

$$g_m(X^{\omega}, C^{\omega}, I^{\omega}, E^{\omega}) \leq 0$$

$$X_{ikt}^{\omega} = X_{ikt}^{\bar{\omega}}, \quad C_{ikt}^{\omega} = C_{ikt}^{\bar{\omega}}, \quad I_{it}^{\omega} = I_{it}^{\bar{\omega}}, \quad E_{it}^{\omega} = E_{it}^{\bar{\omega}} \quad \forall t \leq \bar{t}$$

ROBUSTIFICATION

Couverture de risques non
probabilisables.

Disponibilité de la centrale de Golfech

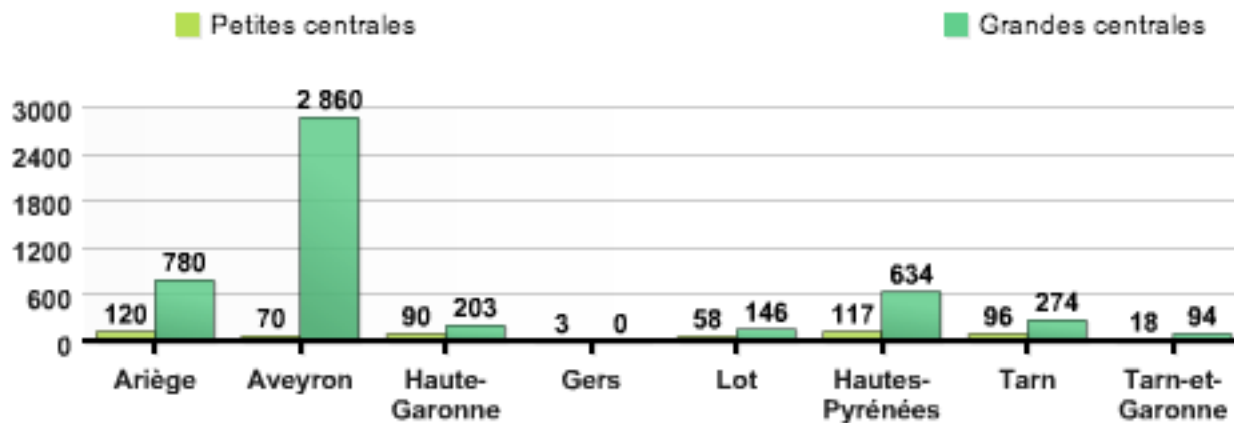
- L'évaluation de l'amplitude des vagues de chaleur (plus de 30°C pendant plus de six jours) a notamment permis d'évaluer la baisse possible de la disponibilité de la centrale de Golfech, estimée au maximum à 7 points de pourcentage en été.
- Une des conséquences directes du changement climatique est le risque de dépassement des températures maximales de rejets (28°C) en raison du réchauffement de l'eau.



Disponibilité des nouvelles petites centrales hydro

- L'impact conjugué de l'acceptabilité sociale et des possibles conséquences des changements climatiques, estimées à partir des vagues de sécheresses observées dans les scénarios climatiques (données de sécheresse météorologique: nombre de jours où les précipitations ne dépassent pas 1mm/jour durant au moins 6 jours) peut résulter en (i) 74% de la capacité non disponible pour les nouvelles petites unités et (ii) une réduction de 7 points de pourcentage du facteur de disponibilité en été.

Répartition départementale des puissances installées (en MW)



Les petites centrales représentent 10% de la puissance installée en Midi-Pyrénées (571 MW).
La puissance installée des grandes centrales est de 5 GW.

Disponibilité des éoliennes

- L'étude des variations des vents moyens dans différents modèles climatiques ne permet pas de dégager de variation explicite. Toutefois, un autre facteur d'incertitude important qualifie la capacité installée future des éoliennes : **leur acceptabilité sociale**.
- Une **variation de 50% du facteur de disponibilité** a été choisie, aux fins du présent exercice, pour refléter la possible résistance de la population à l'installation de nouvelles éoliennes sur le territoire de Midi-Pyrénées.



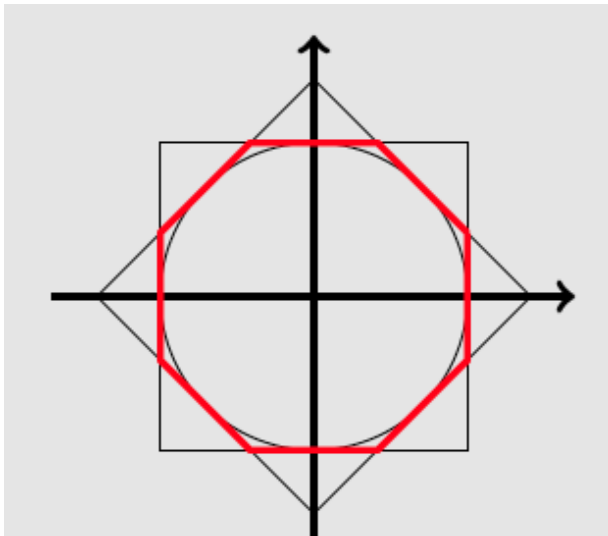
Coût des installations solaires

- Une incertitude sur le coût des installations destinées à exploiter le potentiel solaire de la région MIP est considérée à partir de 2025.
- Une augmentation d'au maximum 50% est envisagée.



Approche Robuste - « Spirit »

1. On démarre avec un modèle simplifié, non probabiliste de l'incertitude en définissant la notion d'ensemble d'incertitude.
2. On cherche des solutions qui restent réalisables pour tous les événements dans cet ensemble d'incertitude.



Observation: De manière générale, les réalisations pour lesquelles tous les aléas prennent leur pire valeur simultanément ont une probabilité très faible. Il semble raisonnable de les exclure de l'ensemble d'incertitude.

Modèle robuste-1

nous avons donc créé et introduit dans le modèle ETEM, pour chaque période de temps, une nouvelle contrainte qui est la somme des contraintes individuelles incertaines.

$$\sum_{ik} X_{ikt}^{out} \leq \sum_k \alpha_{kt} \gamma_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right) \quad (3)$$

Cette nouvelle contrainte concerne donc la capacité totale dans le système énergétique pour les technologies dites incertaines. Nous proposons par la suite de robustifier ces nouvelles contraintes.

Avant d'appliquer les techniques de l'optimisation robuste, il nous faut définir un modèle d'incertitude pour les facteurs de disponibilité. Nous posons :

$$\alpha_{kt} = \bar{\alpha}_{kt} + \xi_{kt} \tilde{\alpha}_{kt}$$

où, pour chaque technologie k , $\bar{\alpha}_{kt}$ est la valeur nominale du facteur de disponibilité, $\tilde{\alpha}_{kt}$ sa variabilité, et ξ_{kt} est une variable aléatoire indépendante dans l'intervalle $[-1, 1]$. Ainsi, $[\bar{\alpha}_{kt} - \tilde{\alpha}_{kt}, \bar{\alpha}_{kt} + \tilde{\alpha}_{kt}]$ donne l'intervalle de variation pour le facteur de disponibilité. Pour un t donné, la contrainte (3) s'écrit alors

$$\sum_{ik} X_{ikt}^{out} \leq \sum_k (\bar{\alpha}_{kt} + \xi_{kt} \tilde{\alpha}_{kt}) \gamma_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right)$$

Modèle robuste-2

Ceci est équivalent à

$$\left[\sum_{ik} X_{ikt}^{out} - \gamma_{kt} \bar{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right) \right] - \left[\sum_k \gamma_{kt} \xi_{kt} \tilde{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right) \right] \leq 0 \quad (4)$$

La première somme dans la contrainte (4) est une expression linéaire déterministe, tandis que la seconde est aléatoire. L'approche robuste dans (Ben-Tal et al, 2009) consiste alors à remplacer la partie aléatoire de la contrainte (4) par un facteur de sécurité. L'objectif de ce facteur est de garantir la satisfaction de la contrainte pour un ensemble "raisonnable" de réalisations de l'incertitude, nommé ensemble d'incertitude. Dans ce papier, nous considérons l'ensemble d'incertitude \mathcal{E}_t , très souvent utilisé, défini par l'intersection des boules l_1 et l_∞ :

$$\mathcal{E}_t = \left\{ \xi \mid \sum_k |\xi_{kt}| \leq \kappa, |\xi_{kt}| \leq 1, \forall k \right\}$$

Modèle robuste-3

Cet ensemble permet d'exclure du domaine les réalisations incertaines extrêmes peu pertinentes.

Une solution est alors dite "robuste" si elle satisfait la contrainte robuste suivante

$$\left[\sum_{ik} X_{ikt}^{out} - \gamma_{kt} \bar{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right) \right] - \left[\sum_k \gamma_{kt} \xi_{kt} \tilde{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right) \right] \leq 0, \quad \xi \in \Xi_t \quad (5)$$

L'optimisation robuste s'appuie essentiellement sur la théorie de la dualité en optimisation convexe, pour substituer partie incertaine de la contrainte originale par son pire cas dans l'ensemble d'incertitude. La contrainte robuste est ainsi transformée en un nombre fini d'inégalités, appelé équivalent robuste.

L'équivalent robuste de (5) s'écrit

$$\left[\sum_{ik} X_{ikt}^{out} - \gamma_{kt} \bar{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right) \right] + \left[v_t + \kappa \sum_k u_{kt} \right] \leq 0$$

$$v_t + u_{kt} \geq \gamma_{kt} \tilde{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right)$$

$$v_t + u_{kt} \geq -\gamma_{kt} \tilde{\alpha}_{kt} \left(c_{kt} + \sum_{l \leq t} C_{kl} \right)$$

$$v \geq 0, \quad u \geq 0$$

Analyse des résultats

- **Les mesures d'adaptation proactive ne sont pas mises en œuvre.** Le système énergétique possède les capacités de s'adapter rapidement et efficacement lorsque les perturbations dues au changement climatique apparaissent. *On observe en effet que les choix technologiques sur la période 2010-2025 dans une approche scénario par scénario coïncident avec ceux de l'approche de la programmation stochastique décrits ci-dessus*
- **La combinaison de l'adaptation et de l'atténuation résulte en une hausse de la demande en électricité,** compensée en partie par une progression de l'utilisation de biocarburants dans le secteur des transports.
- **Les secteurs qui contribuent le plus à l'atténuation des émissions de GES sont le transport individuel extra-urbain ainsi que le chauffage résidentiel.** *La robustesse de ces politiques est obtenue en composant un portefeuille technologique diversifié. Les voitures électriques, hybrides et à biocarburant se partagent le marché.*
- **L'augmentation éventuelle de la demande en climatisation se traduit essentiellement par une hausse de la demande en électricité.** *L'incertitude due à l'acceptabilité des éoliennes et à la disponibilité des petites centrales hydro-électriques ainsi que celle de la centrale nucléaire de Golfech se traduit par la pénétration de turbines à gaz en fin d'horizon et l'augmentation des achats d'électricité sur les marchés.*

Analyse prospective

Pour chaque point analysé nous produisons quatre graphiques :

- Le premier correspondant au cas de référence
- Les trois autres aux trois scénarios de l'arbre d'événement.

Rappelons que, dans ces trois derniers scénarios, les valeurs des variables de décision sont forcément identiques pour les périodes 2005 à 2025.

Emissions de GES

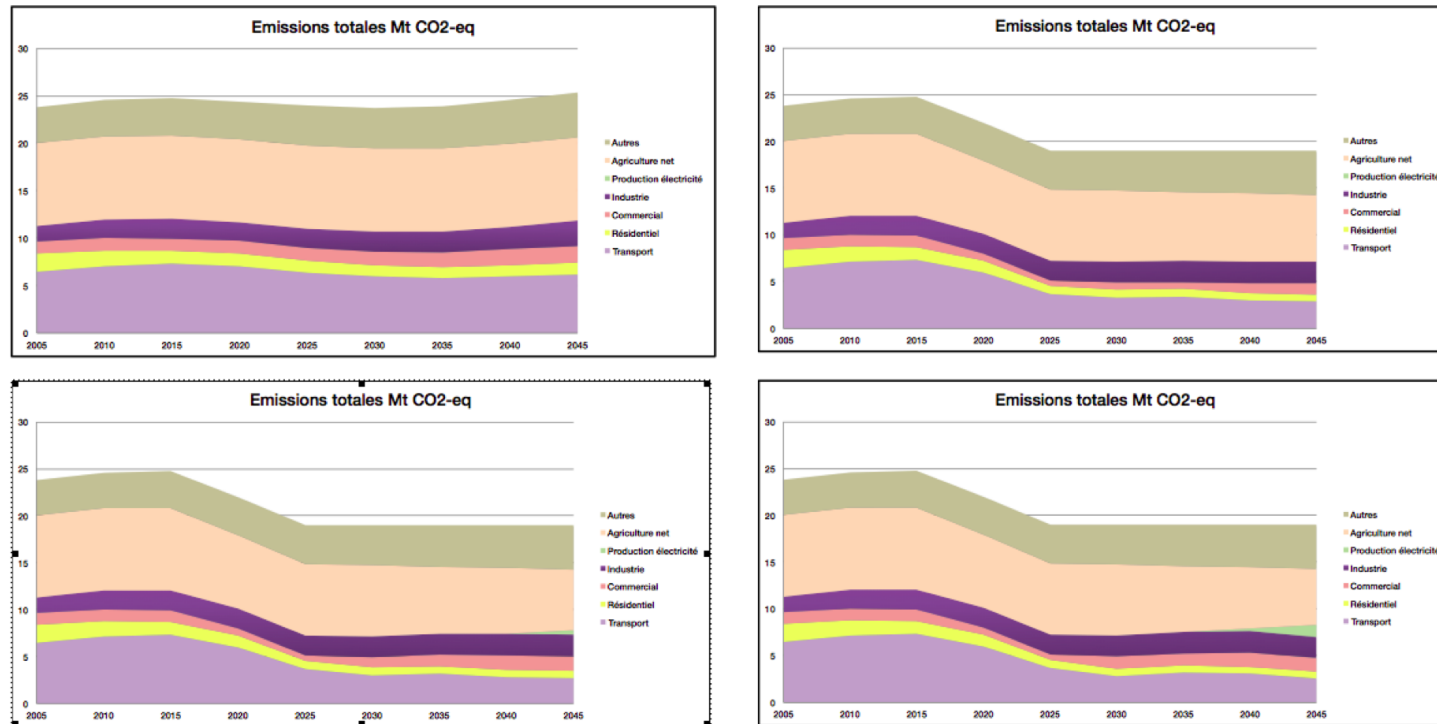


Figure 12 : Emissions de GES (Scénario de Référence et Scénarios Stochastiques Robustes)

Transport individuel

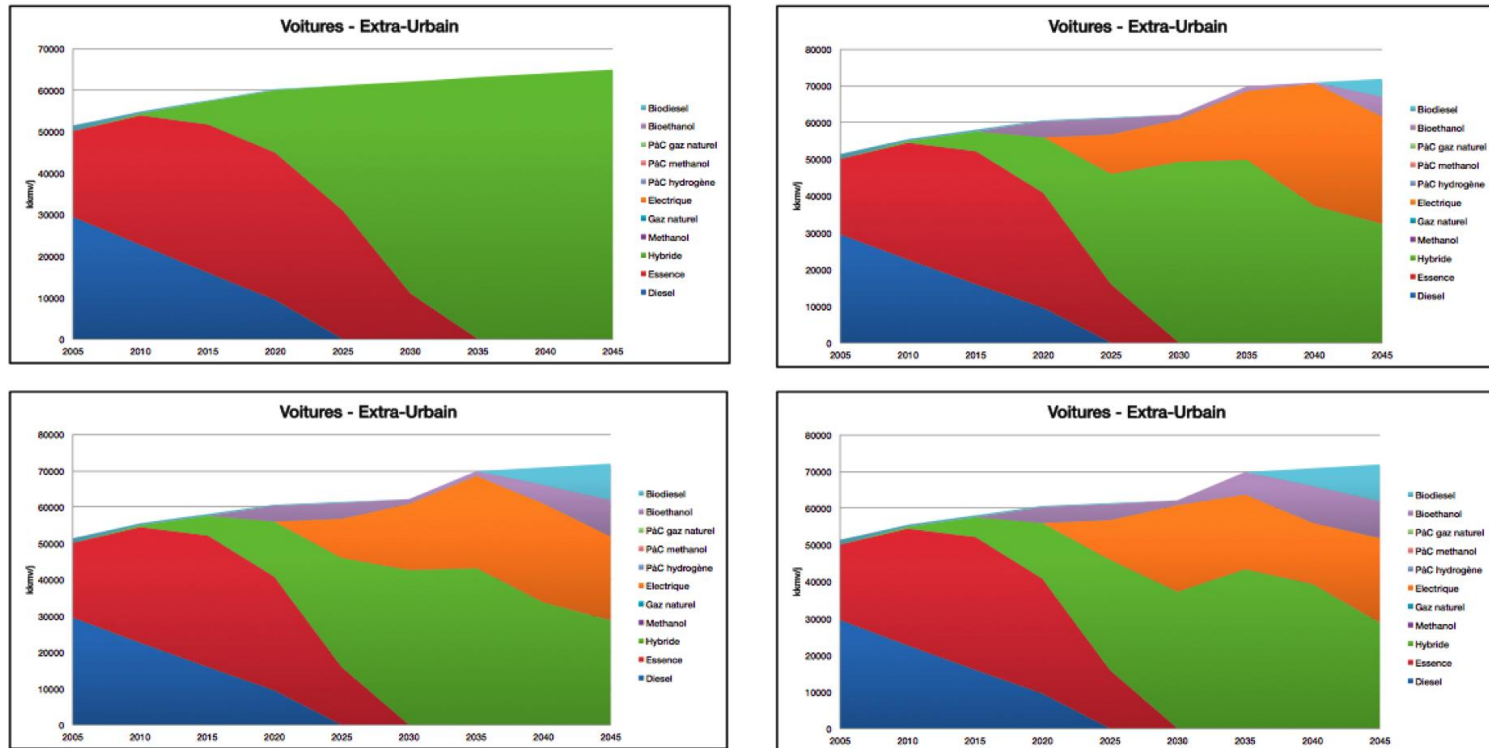


Figure 13 : Transport individuel (Scénario de Référence et Scénarios Stochastiques Robustes)

Transport

- C'est dans le secteur du transport que les choix technologiques sont les plus contrastés.
- Alors que dans le scénario de référence la voiture hybride dominait le marché, dans les scénarios robustes avec contrainte sur les émissions de GES, on voit apparaître un florilège de technologies « 0-émission » . .
- L'incertitude sur les coûts des voitures entraîne une diversification des technologies envisagées.
- La contrainte climatique favorise la pénétration des voitures électriques et de celles consommant des biocarburants.
- On remarque un effet induit par l'augmentation des demandes en climatisation qui a tendance à réduire la part du transport électrique au profit des biocarburants.

Production d'électricité

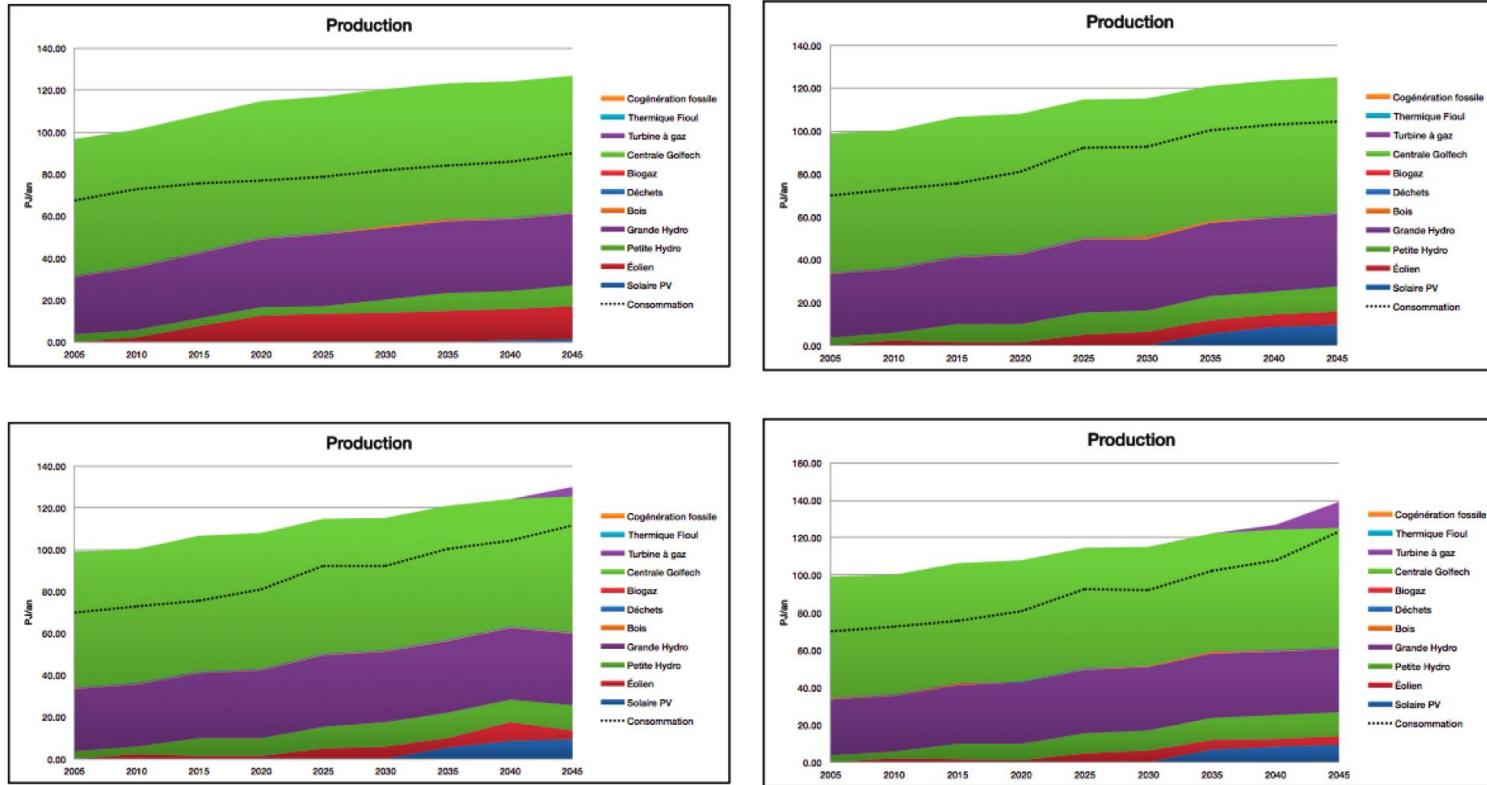


Figure 14 : Production électrique (Scénario de Référence et Scénarios Stochastiques Robustes)

Production d'électricité

- L'incertitude sur la disponibilité de l'éolien entraîne une baisse de l'activité des éoliennes par rapport au scénario de référence.
- La pénétration de l'énergie solaire dans les scénarios stochastiques à partir de 2030 est motivée par la réduction imposée des émissions de GES.
- En fin d'horizon, en 2040, des turbines à gaz apparaissent pour satisfaire la hausse de la demande d'électricité, du fait de la demande plus élevée en climatisation, tout en assurant les exportations d'électricité (utilisation de Golfech au plan national).

Chauffage & eau chaude

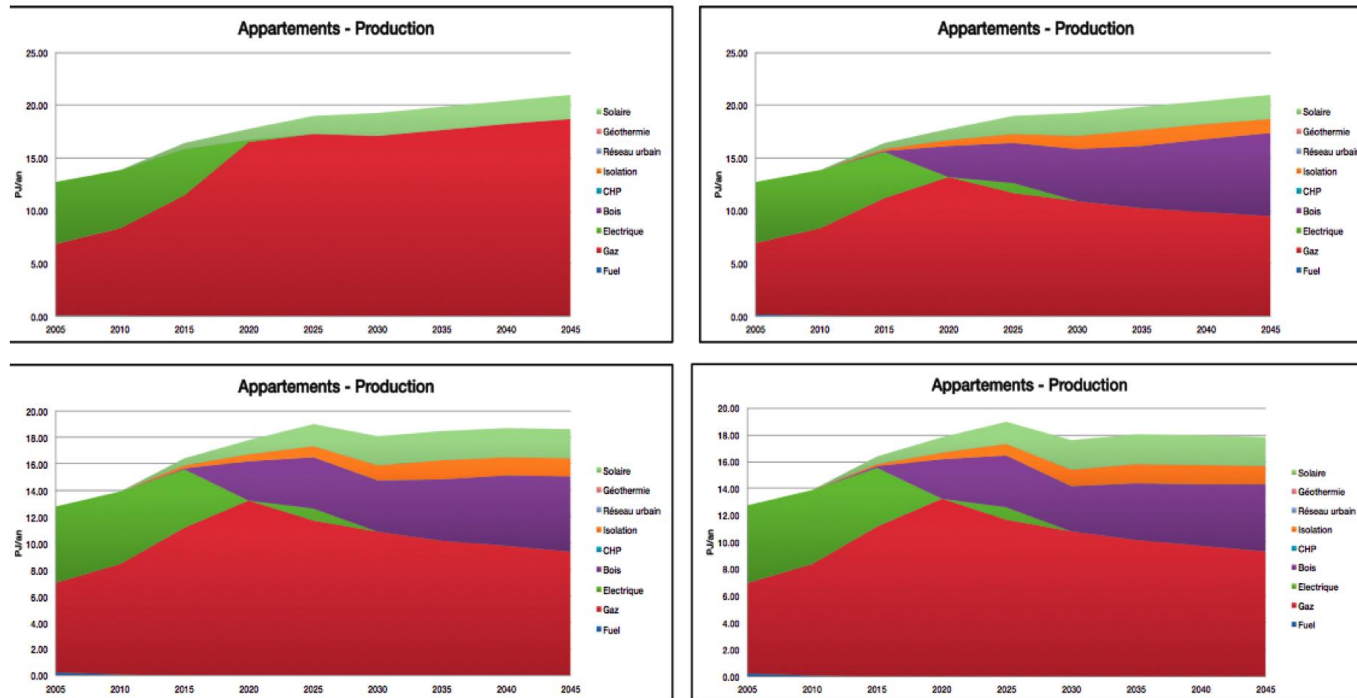


Figure 15 : Chauffage et eau chaude appartements (Scénario de Référence et Scénarios Stochastiques Robustes)

Chauffage et climatisation

- La solution robuste propose une diversification de technologies "vertes", par exemple
 - le chauffage au bois,
 - la géothermie,
 - le solaire,
 - le chauffage en réseau urbain,
 - l'isolation .
- La pénétration de ces technologies fait que ce secteur contribue à la baisse des émissions de GES.

Imports

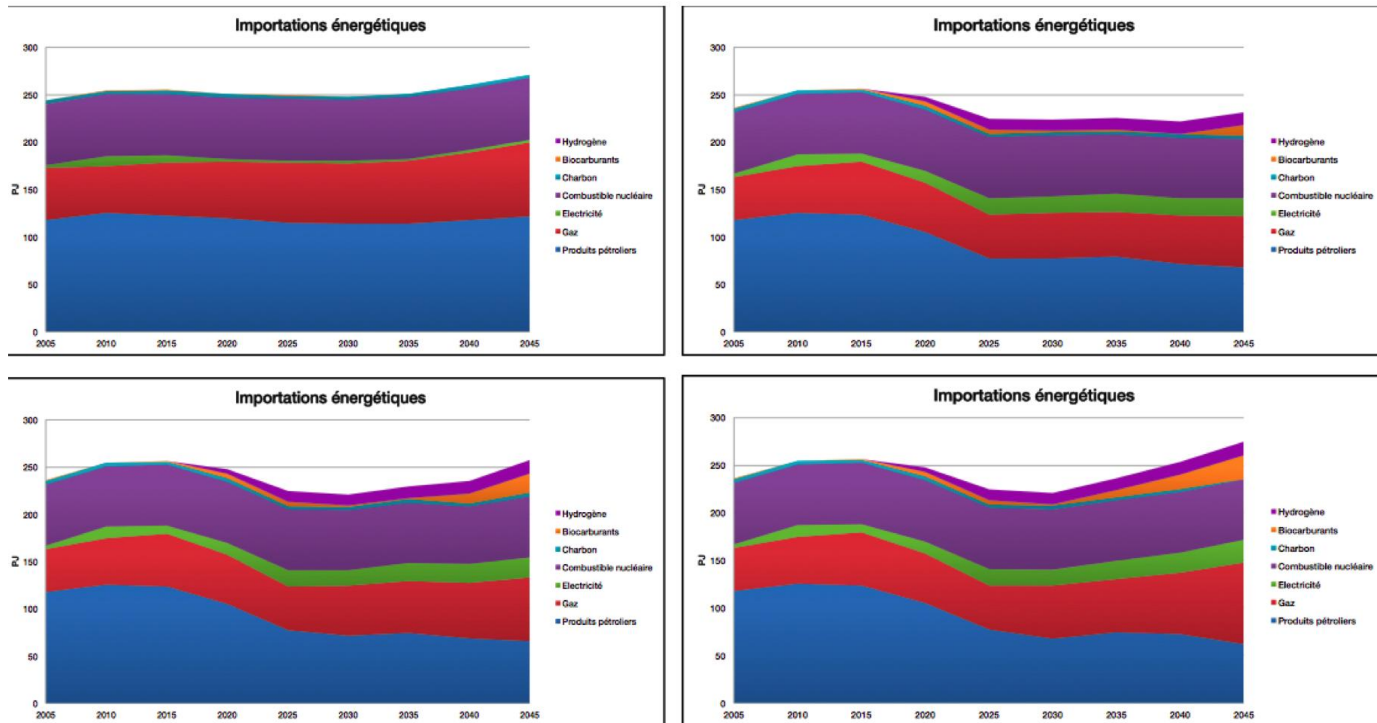


Figure 16 : Importations (Scénario de Référence et Scénarios Stochastiques Robustes)

Imports énergétiques

- **Les achats de produits pétroliers baissent** (effet de la contrainte sur les émissions).
- Le système énergétique compense les risques liés à l'incertitude de la production électrique locale par des **importations en électricité**, cependant que Golfech continue à satisfaire une partie de la demande nationale. *(on peut connecter le modèle régional à un modèle national pour aborder la problématique des échanges d'électricité).*
- On observe **une utilisation accrue de biocarburants** pour libérer de l'électricité utilisée pour satisfaire la demande accrue en climatisation.
- Des **achats d'hydrogène** sont faits pour le secteur du transport des camions et des bus (piles à hydrogène).

IMPACT SUR LE SECTEUR AGRICOLE

Adaptation à la production de biocarburants, par exemple

Une recherche parallèle (Luxembourg)

- Dans le projet LUCAS dirigé par une équipe du Centre de recherche publique TUDOR, notre équipe a proposé un modèle de **programmation linéaire par objectifs** pour analyser les adaptations possibles du secteur agricole d'une région pour augmenter la production locales de biocarburants.
- Ce modèle peut être intégré comme un **sous-module de ETEM-AR**, ce qui permet d'analyser la possibilité d'une offre locale de bio-carburants, dans un Plan énergie climat territorial.

Application of three independent consequential LCA approaches to the agricultural sector in Luxembourg

Ian Vázquez-Rowe, Sameer Rege, Antonino Marvuglia, Julien Thénie, Alain Haurie & Enrico Benetto

The International Journal of Life Cycle Assessment

ISSN 0948-3349

Int J Life Cycle Assess
DOI 10.1007/s11367-013-0604-2



Application of three independent consequential LCA approaches to the agricultural sector in Luxembourg

Ian Vázquez-Rowe · Sameer Rege · Antonino Marvuglia ·
Julien Thénie · Alain Haurie · Enrico Benetto

Received: 7 March 2013 / Accepted: 19 May 2013
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013

Abstract

Purpose Consequential Life Cycle Assessment (C-LCA) is a “system modelling approach in which activities in a product system are linked so that activities are included in the product system to the extent that they are expected to change as a consequence of a change in demand”. Hence, C-LCA focuses on micro-economic actions linked to macro-economic consequences, by identifying the (marginal) suppliers and technologies prone to be affected by variable scale changes in the demand of a product. Detecting the direct and indirect environmental effects due to changes in the production system is not an easy task. Hence, researchers have combined the consequential perspective with different econometric models. Therefore, the aim of this study is to assess an increase in biocrops cultivation in Luxembourg using three different consequential modelling approaches to understand the benefits, drawbacks and assumptions linked to each approach as applied to the case study selected.

Methods Firstly, a partial equilibrium (PE) model is used to detect changes in land cultivation based on the farmers’

revenue maximisation. Secondly, another PE model is proposed, which considers a different perspective aiming at minimising a total adaptation cost (so-called opportunity cost) to satisfy a given new demand of domestically produced biofuel. Finally, the *consequential system delimitation for agricultural LCA* approach, as proposed by Schmidt (Int J Life Cycle Assess 13:350–364, 2008), is applied.

Results and discussion The two PE models present complex shifts in crop rotation land use changes (LUCs), linked to the optimisation that is performed, while the remaining approach has limited consequential impact on changes in crop patterns since the expert opinion decision tree constitutes a simplification of the ongoing LUCs. However, environmental consequences in the latter were considerably higher due to inter-continental trade assumptions recommended by the experts that were not accounted for in the economic models. Environmental variations between the different scenarios due to LUCs vary based on the different expert- or computational-based assumptions. Finally, environmental consequences as compared with the current state-of-the-art are lame due to the limited impact of the shock within the global trade market.

Conclusions The use of several consequential modelling approaches within the same study may help widen the

MERCI POUR VOTRE
ATTENTION

WWW.ORDECSYS.COM