

Contexte et points abordés

Colloque de Meudon

Contexte et objectif

Dans les débats actuels, les questions sur les **incertitudes afférentes aux différentes composantes de l'adaptation** (de la mesure des phénomènes, de leurs représentations à la formulation des politiques publiques et à la prise de décision publique ou privée) ont pris une importance considérable. Le GIEC en fait un sujet fondamental et différentes initiatives internationales ou européennes ont été lancées récemment sur ce sujet (PROVIA de l'UNEP, Eranet CIRCLE 2, ..)

L'objectif du colloque est d'examiner **comment les incertitudes sont appréhendées à différentes échelles de temps et d'espace** et dans les différentes approches théoriques, méthodologiques et empiriques des recherches sur l'adaptation au changement climatique.

La première journée du colloque sera consacrée à « **l'incertitude comme fait scientifique** » et la seconde à « **l'incertitude et la décision** ». Les interdépendances entre les deux journées sont évidentes et une mise en débats est prévue par un temps notable réservé aux échanges avec la salle.

Points abordés

Suivant les domaines, la représentation des incertitudes s'appuie sur des approches très diverses qui seront introduites de façon générale, puis déclinées domaine par domaine, **des mathématiques à la philosophie**, des projections climatiques aux impacts du changement climatique. Les perspectives sur la quantification, la réduction des incertitudes et le « faire avec » (to cope with) lorsque celles-ci sont irréductibles, seront envisagées dans une **perspective de compréhension intégrée de la complexité et de la dynamique des systèmes socio-naturels**.

Concernant la prise en compte des incertitudes dans les processus de décision, si elle doit s'appuyer sur un passage de témoin spécifique provenant des sphères scientifiques, elle a ses propres dynamiques et contraintes face aux représentations et enjeux sociaux collectifs ainsi qu'aux échelles temporelles et spatiales des différents risques. Ce sont ces éléments qui seront mis en débat la deuxième journée avec la participation d'acteurs institutionnels qui sont déjà amenés à prendre des décisions sous incertitude face au changement climatique.

Incertitude et Modélisation Intégrée

Alain Haurie

ORDECSYS

Uni-Genève

Quelques résultats d'expériences basées sur la
programmation stochastique et l'optimisation
robuste

Modélisation intégrée Climat-économie-énergie

Synscop15

GICC Le programme Gestion et Impacts du Changement Climatique

Français

HOME TOOLS AND METHODS COP-15 COP-16 INTERACTIVE WORKSPACE

Welcome to Synscop15: an interactive assessment tool for the COP-15 and ensuing negotiations

This website allows you to assess different scenarios concerning the evolution of climate change policies discussed at the UN COP-15 and COP-16 Conferences. It evaluates the consequences of such policies on economy, energy and climate.

AUDIO-VISUAL PRESENTATION OF THIS WEB SITE

<http://synscop15.ordecsys.com>

Prise en compte de l'incertain en Modélisation Intégrée

- La programmation dynamique stochastique (commande stochastique) ou la théorie de la viabilité (commande robuste) sont les méthodes permettant de piloter des systèmes dynamiques dans l'incertain.
 - Problème! La malédiction de la dimension fait qu'il est très difficile de traiter, selon ces méthodes des systèmes ayant plus de 5 variables d'état (R^5).
 - Espoir! Combiner simulation et optimisation (robuste) dans des méta-modèles construits à partir d'émulation statistiques de modèles de simulation numérique de grande taille.
-

Exemples récents

■ Commande stochastique

Bahn O., A. Haurie and R. Malhamé, *A stochastic control model for optimal timing of climate policies*, **automatica** June 2008.

■ Simulation et optimisation

Frédéric Babonneau, Alain Haurie, Richard Loulou and Marc Vielle. *Combining Stochastic Optimization and Monte Carlo Simulation to Deal with Uncertainties in Climate Policy Assessment*. **Environmental Modeling and Assessment** Numbers 1-2 / March 2012 pp. 51-76

■ Méta-modélisation

Haurie A. and M. Vielle, *A Metamodel of the Oil Game under Climate Treaties*, **INFOR**, vol. 48, num. 4, p. 215-228, 2011.

Optimisation robuste et PS

Applicable à de gros modèles de PL

- Tant que l'on reste dans le domaine propre à la PL, les méthodes d'optimisation robuste (OR) et de programmation stochastique (PS) peuvent s'associer pour traiter efficacement de l'incertitude.
 - Le projet en cours ETEM-AR MiP doit fournir une démonstration de « l'à propos » de ces méthodes.
-



ACCUEIL

LE PROJET

LES METHODES

APPLICATION EN MIDI - PYRENEES

Modéliser l'atténuation et l'adaptation dans le secteur de l'énergie

Le projet ETEM-AR a pour objectif d'aider les acteurs régionaux à identifier les mesures d'atténuation et d'adaptation appropriées à l'aide d'une modélisation systémique de type coût/efficacité, adaptée aux données du territoire, des activités du secteur énergétique face aux changements climatiques possibles. Une mise en œuvre pilote sera réalisée dans la région Midi-Pyrénées

OBJECTIFS

1. 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.

ETEM-AR

une évolution majeure du modèle technico-économique Bottom-up ETEM, simulant des investissements de capacités de conversion et production énergétiques pour répondre à un ensemble de demandes utiles.



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

ETEM-AR MiP

Optimisation robuste et Stoch. Prog.

- ETEM-AR *modéliser l'atténuation et l'adaptation dans un plan climat territorial*, utilisation de l'outil de modélisation énergétique ETEM, en y incluant les activités d'adaptation pour la région Midi-Pyrénées, études en cours.
-

ETEM-AR MiP

incertitudes

Nous considérons des sources d'incertitudes liées à l'évolution conjointe de l'**économie** et du **climat** qui peuvent affecter les paramètres suivants :

- les demandes utiles (par exemple, différents taux de croissance économique, possibilité de plus de climatisation en cas d'augmentation de température, hausse de la demande d'électricité due à la pénétration des voitures électriques),
 - l'efficacité des technologies (par exemple, l'efficacité des centrales hydro, des centrales nucléaires affectée par les modifications climatiques),
 - les disponibilités des technologies (par exemple, disponibilité réduite des centrales en cas de fortes chaleurs, passage à un système de réseau intelligent (smart-grid))
 - les coûts des technologies (par exemple, incertitudes sur les coûts d'installation des technologies de production des énergies renouvelables)
 - les prix des sources d'énergie (pétrole, gaz, bois, biomasse etc.).
-

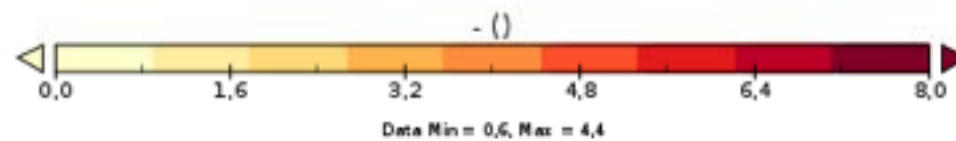
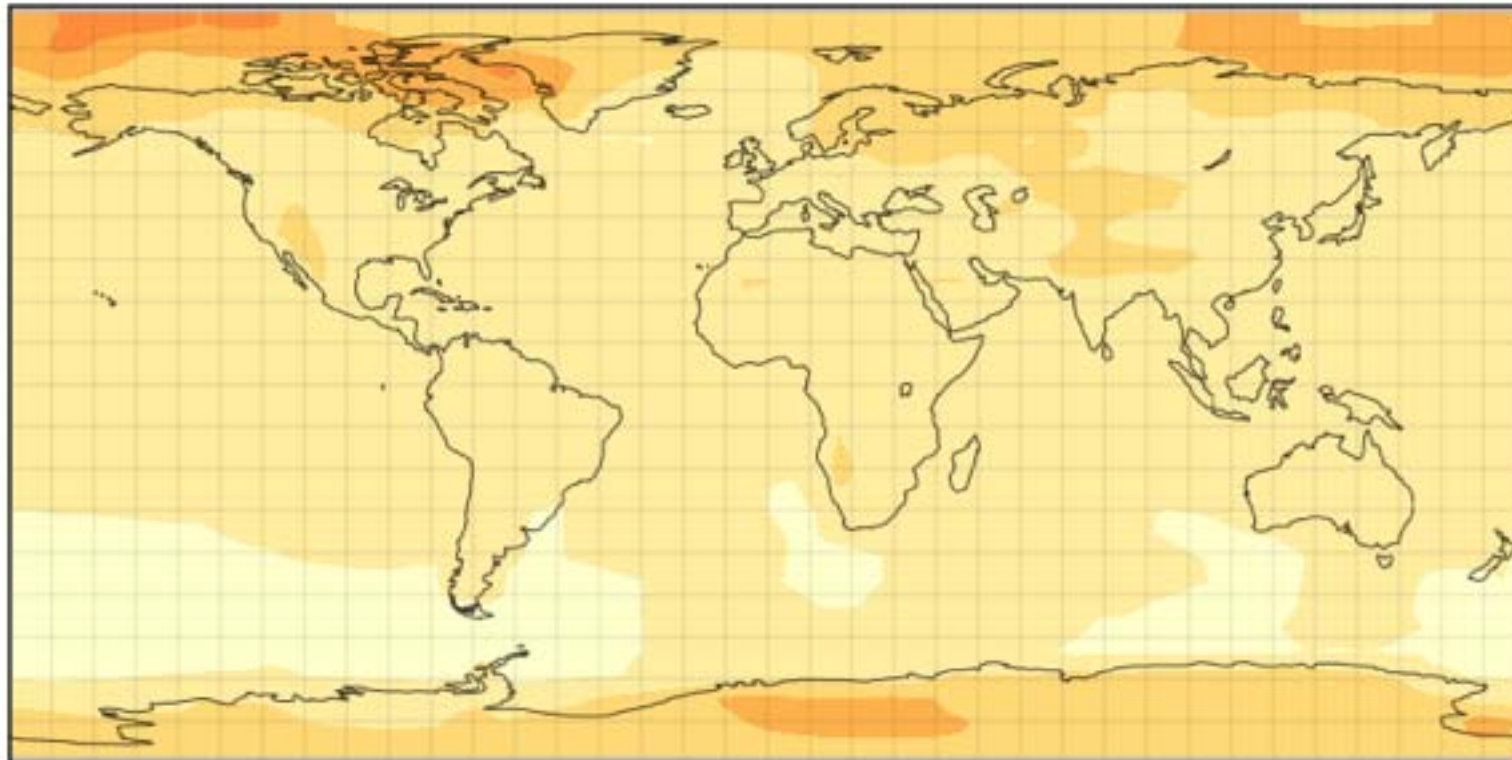
ETEM-AR MiP

Le modèle

- Modèle dynamique d'expansion de capacité;
 - Prise en compte des coûts systémiques et des effets de filière (*technology option*);
 - Considération de l'ensemble des secteurs énergétiques et de leurs interactions (par exemple adaptation du secteur agricole pour la production de biomasse comme source d'énergie renouvelable)
 - Prise en compte de l'évolution des demandes (par exemple demande d'électricité accrue), etc...
 - Structure de programme linéaire "dynamique"
 - Programmes stochastiques pour tenir compte de processus aléatoires (arbres d'événements);
 - Optimisation robuste pour tenir compte d'incertitudes "structurelles"
-

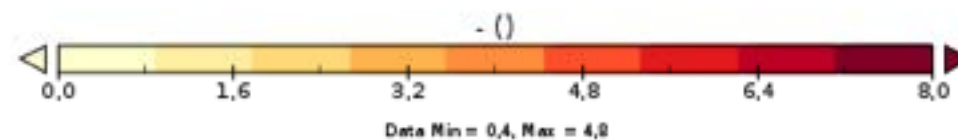
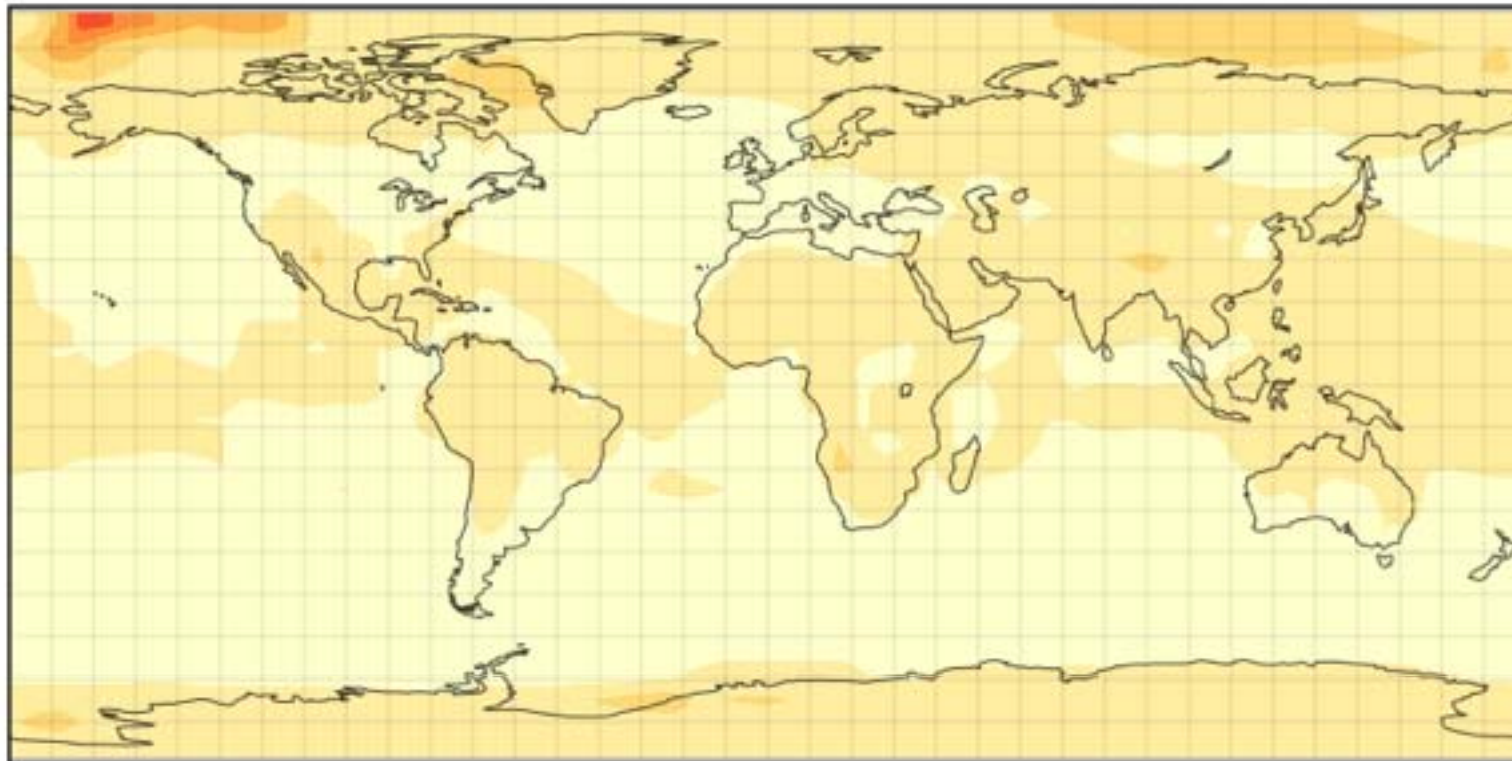
Risques climatiques

Variation espérée de T



Risques climatiques

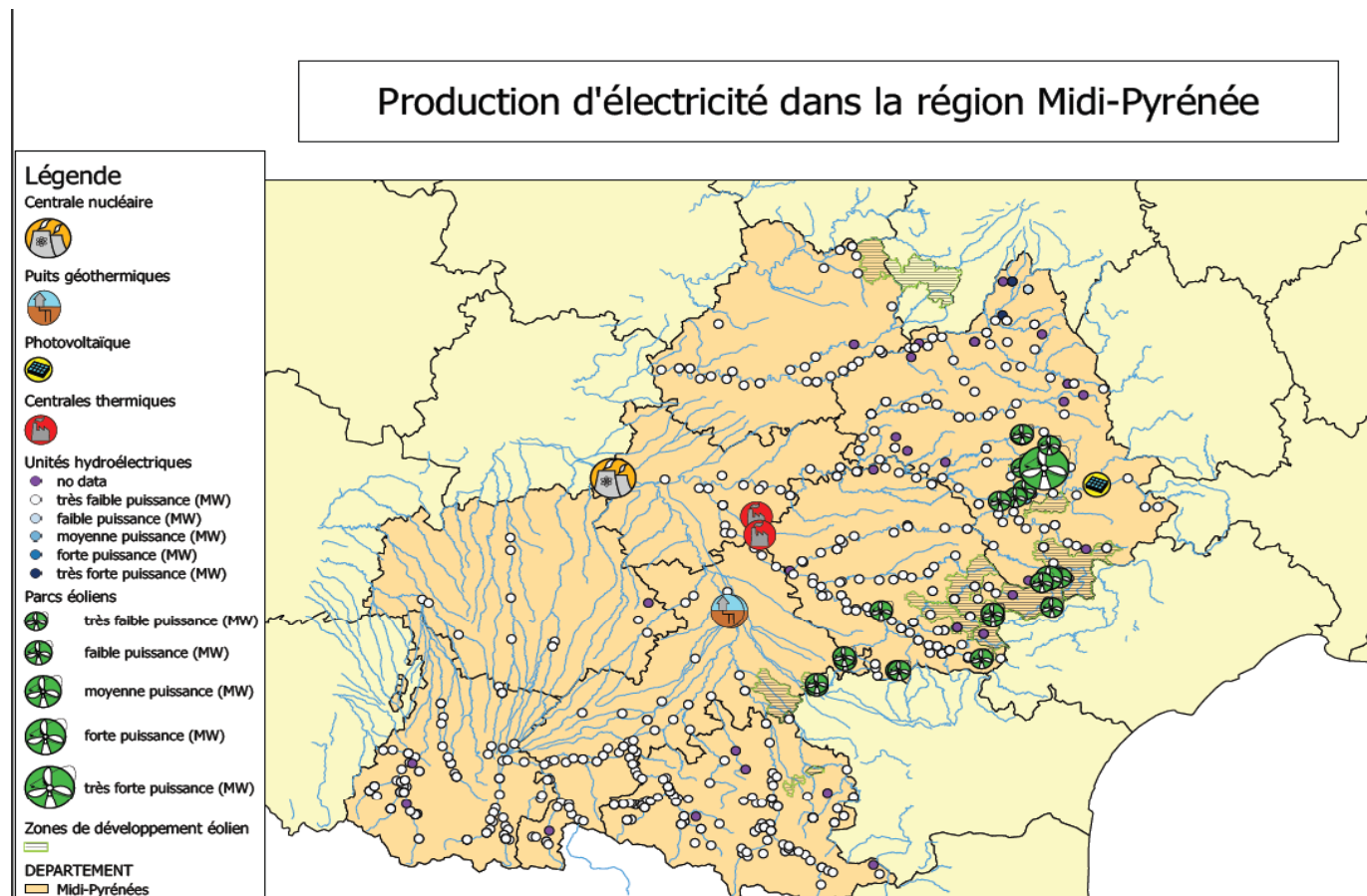
écart-type variation de T



Evaluation locale des risques

Analyses géoréférencées

- Unités de production exposées à des risques climatiques



Calculer le facteur de disponibilité pour chaque unité et ses aléas

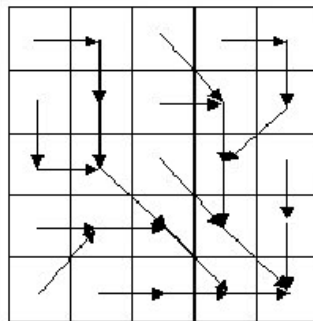


Figure 7a. Flow direction grid for a small area. Arrows show down-slope direction.

1	2	1	1	2
1	3	1	3	3
2	6	1	7	1
1	3	10	9	2
1	1	2	13	25

Figure 7b. Flow accumulation counts for each cell inclusive.

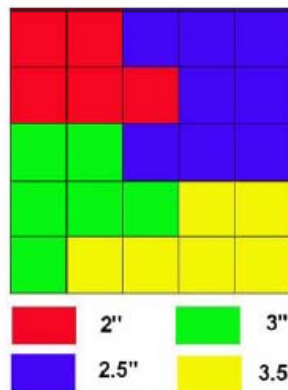


Figure 7c. Precipitation grid for small area with values from 2 to 3.5 inches.

2	4	2.5	2.5	5
2	6	2	7	7.5
5	14	2.5	17	2.5
3	9	26	23	6
3	3.5	7	36.5	69

Figure 7d. Flow-accumulated precipitation. The count for each cell is the sum of the upstream precipitation values (in inches).

2	2	2.5	2.5	2.5
2	3	2	2.33	2.5
2.5	2.33	2.5	2.43	2.5
3	9	2.6	2.56	3
3	3.5	7	2.81	2.76

Figure 7e. The average precipitation for the drainage area above each cell in inches.

... en utilisant des rasters (matrices de pixels) où chaque pixel comprend la valeur de potentiel calculée

Adaptation

Mesures de couverture de risque

- **Adaptation "réactive"**: mesures contingentes adaptées à la réalisation de processus aléatoires décrivant l'évolution du contexte climatique et économique; technique utilisée: programmation stochastique et règles de décision (affines).
 - **Adaptation "proactive"**: mesures structurelles propres à rendre le système plus "robuste" face aux incertitudes affectant un ensemble de paramètres; technique utilisée: Optimisation robuste.
 - **La capacité d'adaptation** est, finalement, représentée par la définition de politiques de couverture des risques.
-

Programmation stochastique

Smart-Grid et renouvelable dans le canton de Genève

F. Babonneau, A. Haurie and J. Thénié, *Assessing the Future of Renewable and Smart Grid Technologies in Regional Energy Systems*, **Swiss Journal of Economics and Statistics**, 2012, to appear

Les réseaux régionaux de distribution d'électricité vont évoluer vers des configurations "intelligentes" permettant une communication bi-directionnelle entre producteur et consommateur.

Le futur des voitures électriques hybrides rechargeable peut alors impliquer une utilisation comme unités de stockage temporaire de l'électricité et favoriser ainsi l'implantation des énergies renouvelables.

Programmation stochastique

ETEM-SG

Indexer les variables sur un arbre d'événement

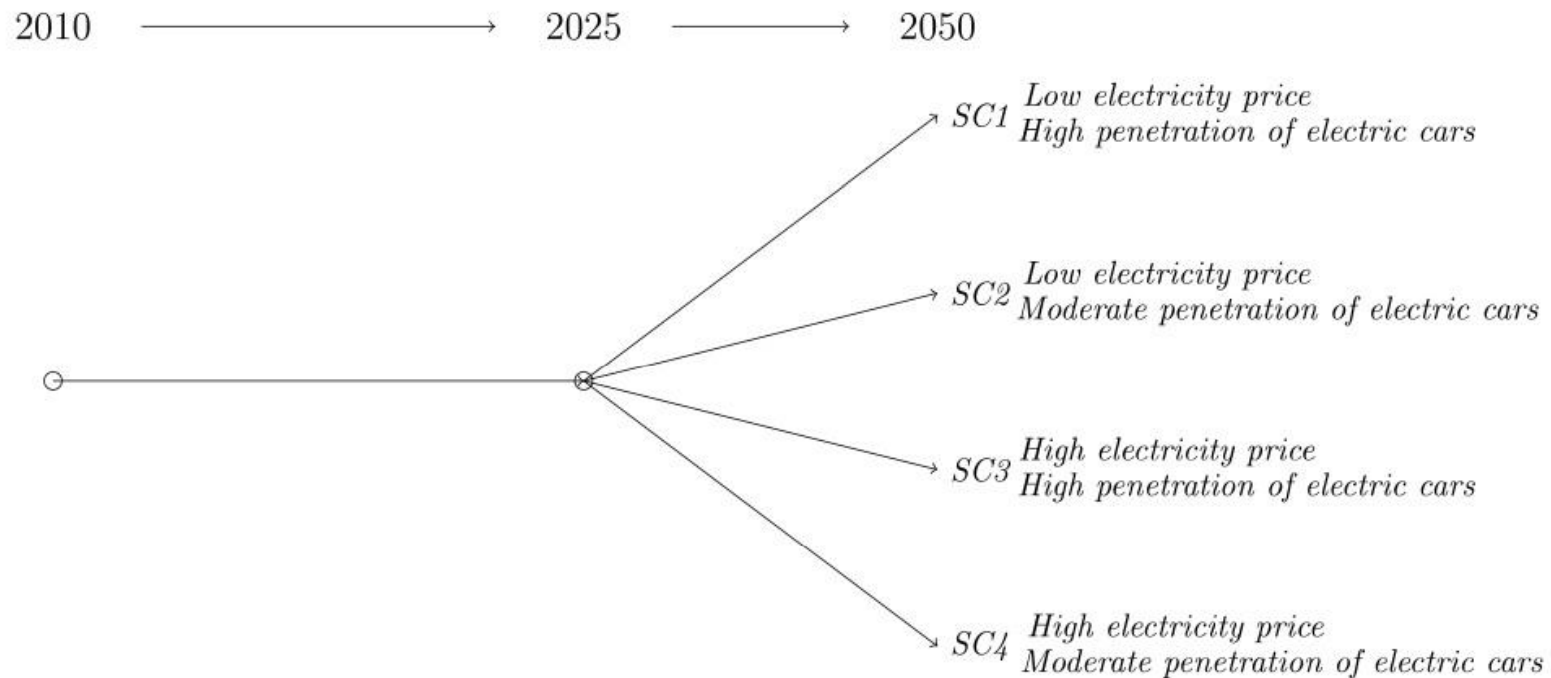


Figure 1 : Exemple d'arbre d'événements (Babonneau et al. 2012)

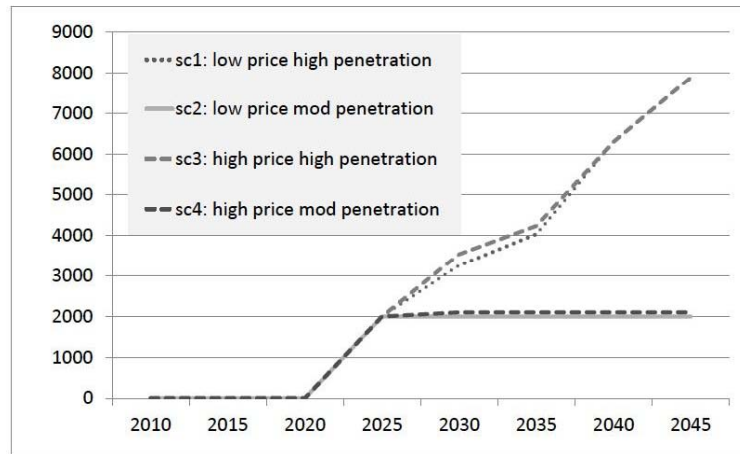


Figure 21: Activity of electric cars (in 1000 km × vehicle / day).

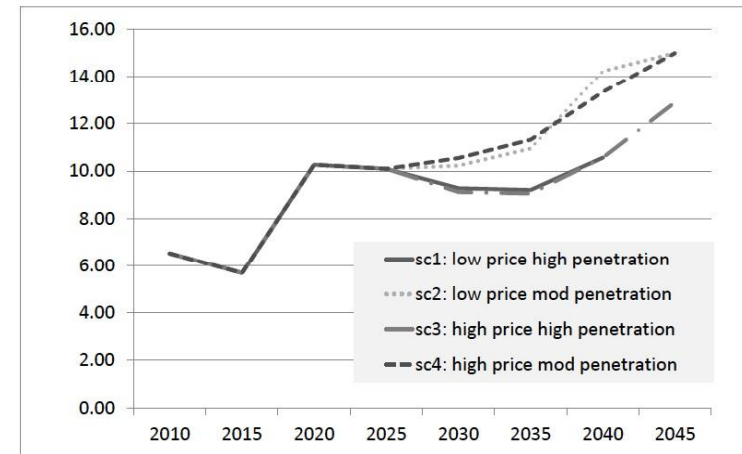


Figure 22: Electricity imports (PJ/Y).

In 2025, the electric vehicles penetrate for all scenarios at a moderate level, which corresponds roughly to the bound imposed for the electrical vehicle fleet in scenarios 2 and 4. In scenarios 1 and 3, electric vehicles are used very intensively after 2030. It appears that the main driver of the stochastic analysis is the availability of electric cars, the higher price of electricity having a relatively small impact on electric car penetration (Figure 21) and electricity imports (Figure 22). In Scenario 4, the number of electric cars is restricted and one must invest in other clean technologies to satisfy the emission constraints and consume the stored electricity. Therefore we observe a penetration of electric heat and hot water technologies for houses and buildings. As expected, the constraint on emissions is active for all scenarios.

Recours...

Arbre d'événement multi-stage

- C'est le cas lorsque l'arbre représente les histoires possibles d'un processus stochastique.
 - On risque d'avoir une explosion de la dimension du problème déterministe équivalent.
 - Méthodes d'approximation diverses.
 - Utilisation de règles de décisions affines (ADR), bons résultats sur plusieurs modèles.
-

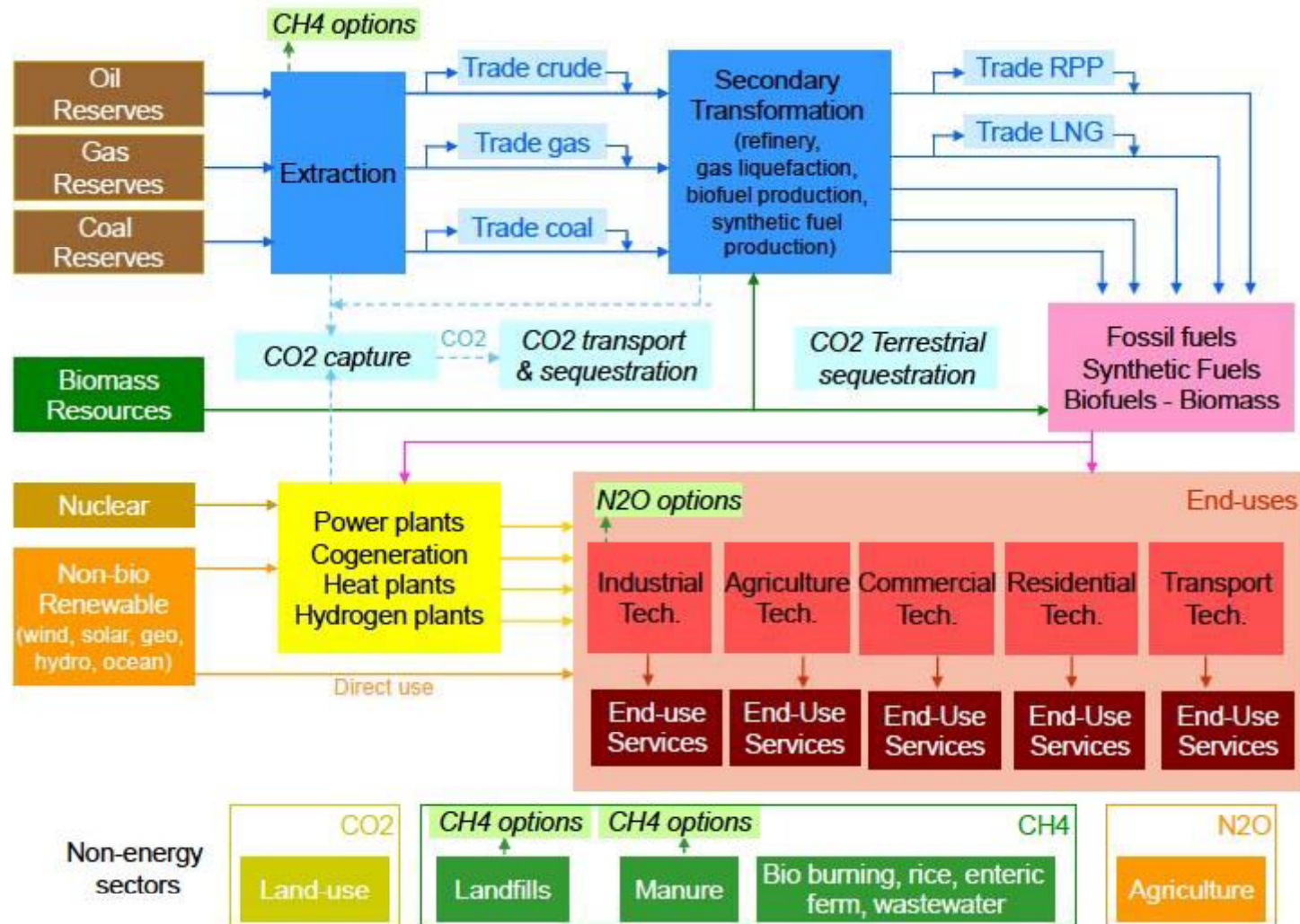
Optimisation robuste

Babonneau F., Vial J.-P., and Apparigliato R., *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. Springer Verlag, 2010.

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***, special issue on *Modeling Uncertainty and the Economics of Climate Change: Recommendations for Robust Energy Policy*, A. Haurie, M. Tavoni, B van der Zwaan eds., vol. 17, no. 1, pp. 19–37, 2012.

Le modèle TIAM

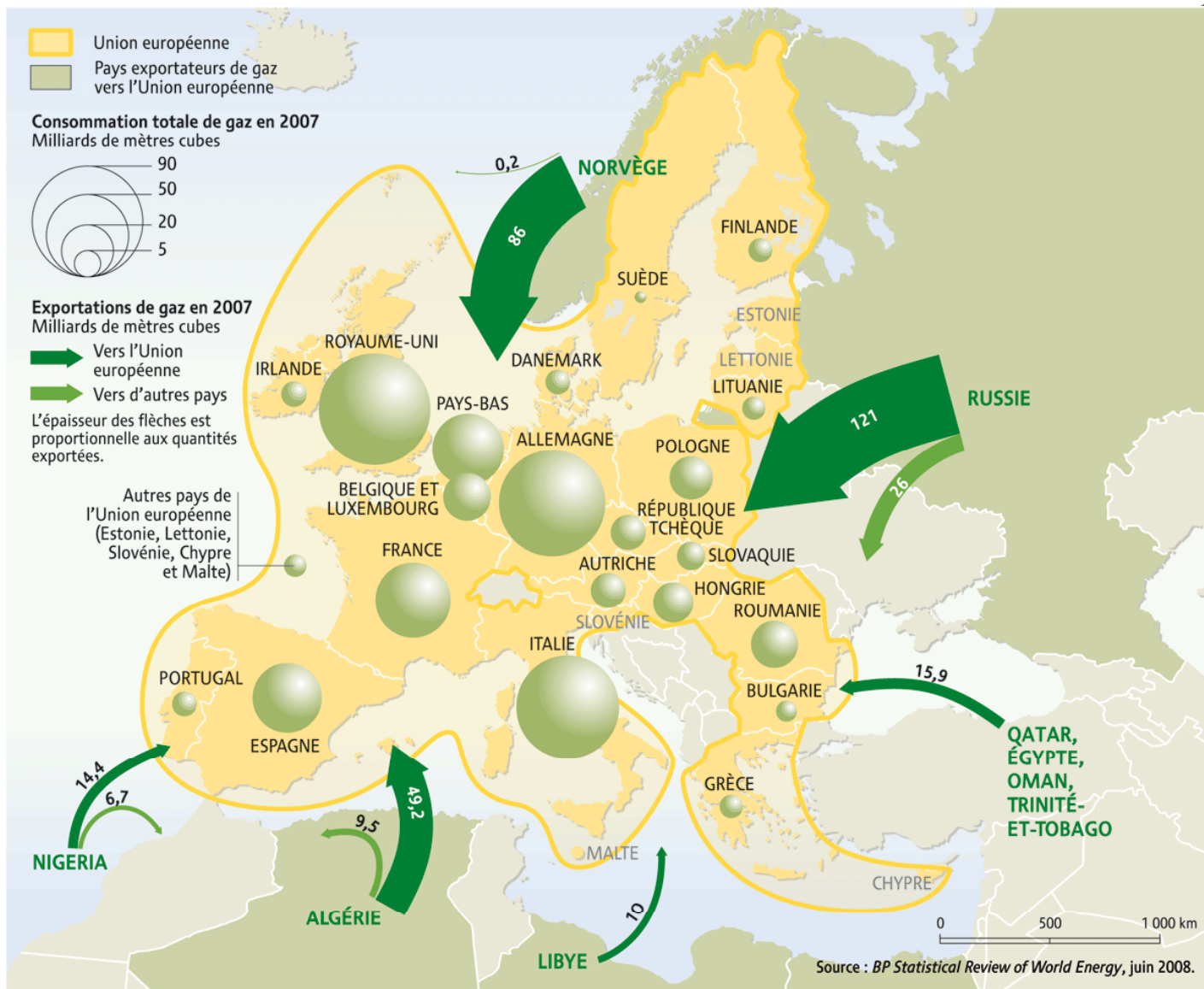
- TIAM (TIMES Integrated Assessment Model) est un modèle d'évaluation intégré qui représente le système énergétique de 16 régions dans le monde, avec les échanges, les productions, les extractions, les demandes.
 - TIAM est un modèle riche en technologies.
 - TIAM dispose aussi d'un module climatique relativement simplifié.
 - TIAM a la structure d'un programme linéaire de grande dimension (> 100'000 variables ou contraintes)
-



Le système énergétique de référence dans TIAM

Sécurité des approvisionnements énergétiques pour l'UE

- L'union européenne importe plusieurs formes d'énergie;
 - certains de ces canaux ou corridors d'importation sont incertains et pourraient s'avérer moins disponibles dans le futur.
 - Question: Proposer une politique énergétique à long terme qui soit robuste par rapport à la disponibilités des divers corridors.
-



Corridors d'approvisionnement du gaz en Europe

Analyse du problème de la sécurité d'approvisionnement

- UE est agrégée en une région;
- Elle est reliés aux 15 autres régions par 67 corridors d'approvisionnement énergétique;
- Chaque corridor est décrit par une "technologie" ayant une "capacité" et une "activité";

$$ACT_{k,t} \leq AF_{k,t} \times CAP_{k,t}$$

L'activité est bornée par la capacité multipliée par un facteur de disponibilité.

Ce facteur de disponibilité est incertain (aléatoire)

Equation de capacité incertaine

On robustifie une contrainte composite

Une partie de la capacité peut disparaître

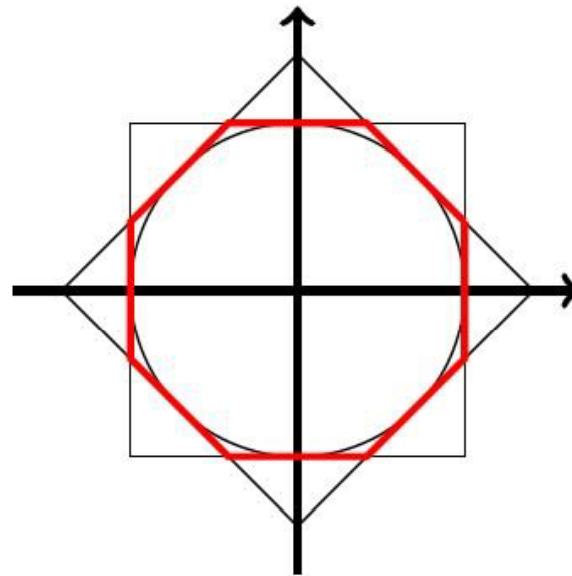
$$\underbrace{\sum_k (ACT_k - CAP_k)}_{\text{certain}} + \underbrace{\sum_k d_k \cdot CAP_k \cdot \xi_k}_{\text{uncertain}} \leq 0.$$

- $0 \leq d_k \leq 1$ is a measure of the severity of the risk of corridor k
 - ξ is the set of independent random variables with support $[0, 1]$ and mean μ
 - $[1 - d_k, 1]$ is the range of uncertainty of the factor AF_k
 - A small d_k means that the corridor has little variability, and conversely when $d_k = 1$, there is the possibility of a complete corridor shutdown
-

Ensemble d'incertitude

Approximation polyhédrale

$$\Xi = \{\xi \mid 0 \leq \xi_k \leq 1, \forall k, \sum_k |\xi_k| \leq \kappa\}$$



Contrepartie robuste

On ajoute des variables et des contraintes

Skipping all technical details, the robust constraint of

$$\sum_k (ACT_k - CAP_k) + \sum_k d_k \cdot CAP_k \cdot \xi_k \leq 0$$

is given by deterministic system of inequalities

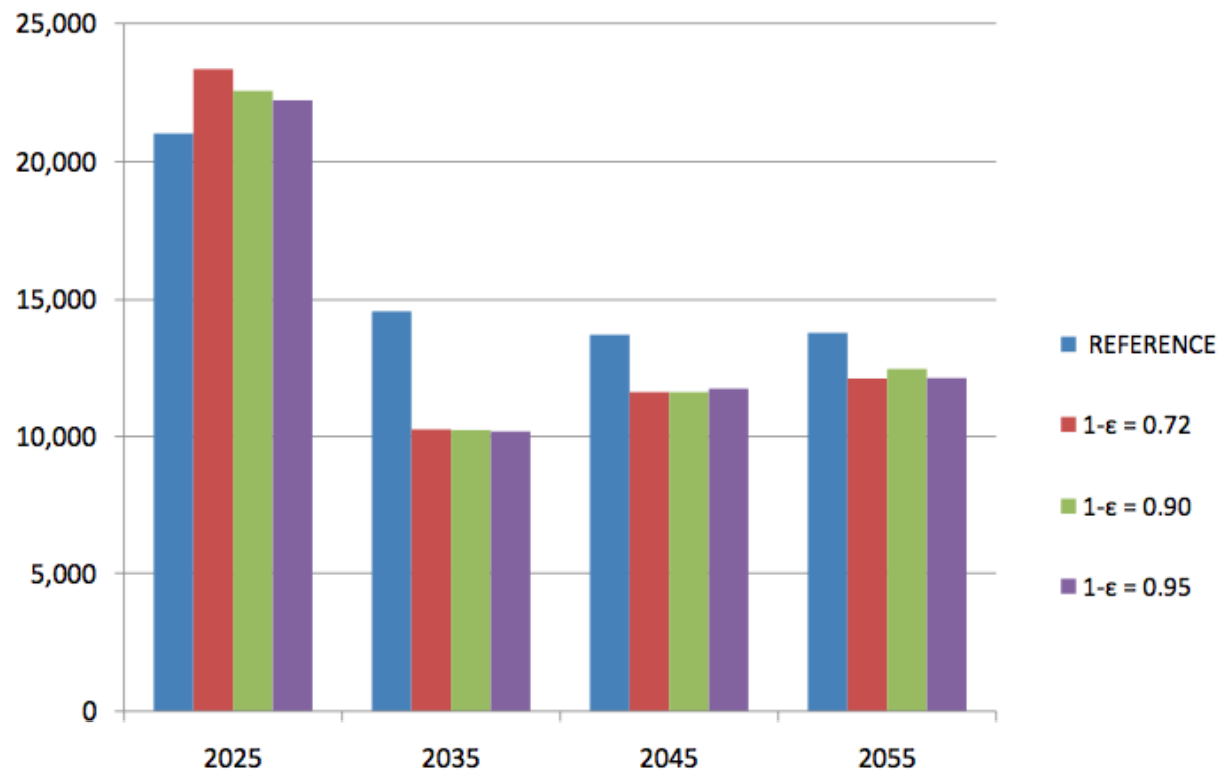
$$\sum_k (ACT_k - CAP_k) + d_k \mu_k CAP_k + \sum_k (1 - \mu_k) u_k + \sqrt{\frac{K}{2} \ln \frac{1}{\epsilon}} \cdot v \leq 0 \quad (2a)$$

$$u_k + v - CAP_k \cdot d_k \geq 0, \quad k = 1, \dots, K \quad (2b)$$

$$u_k \geq 0, \quad v \geq 0, \quad k = 1, \dots, K \quad (2c)$$

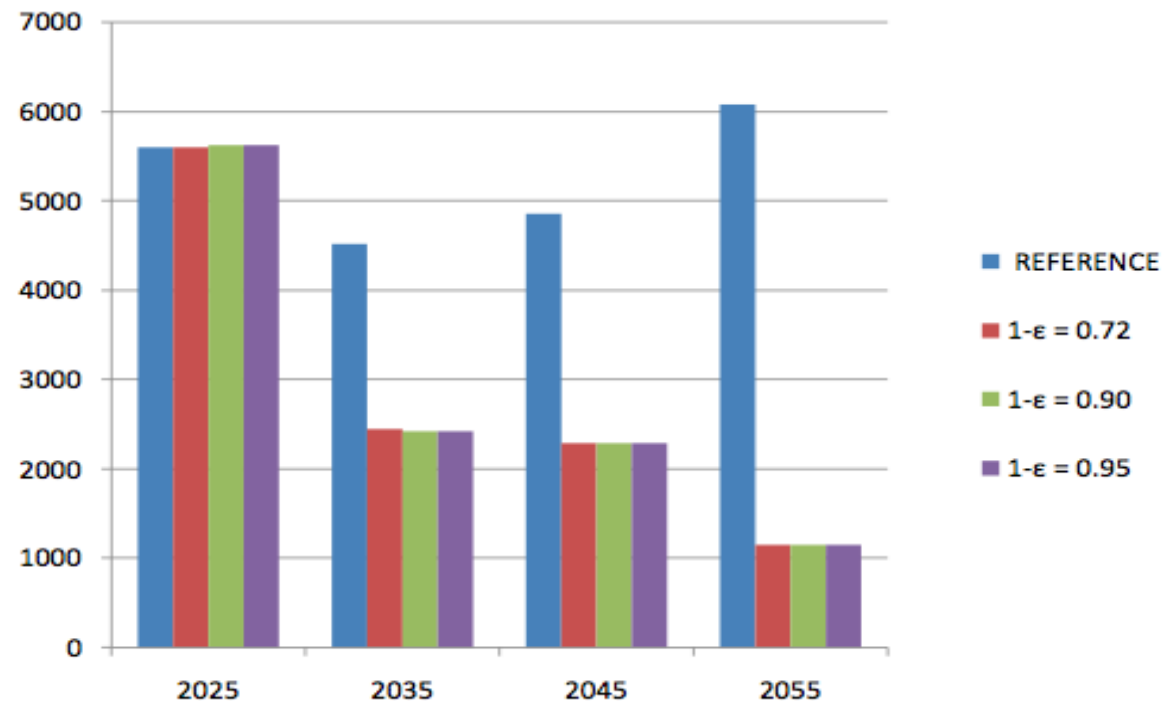
The solution of (2) satisfies the energy constraint with probability at least $(1 - \epsilon)$.

Réduction des importations



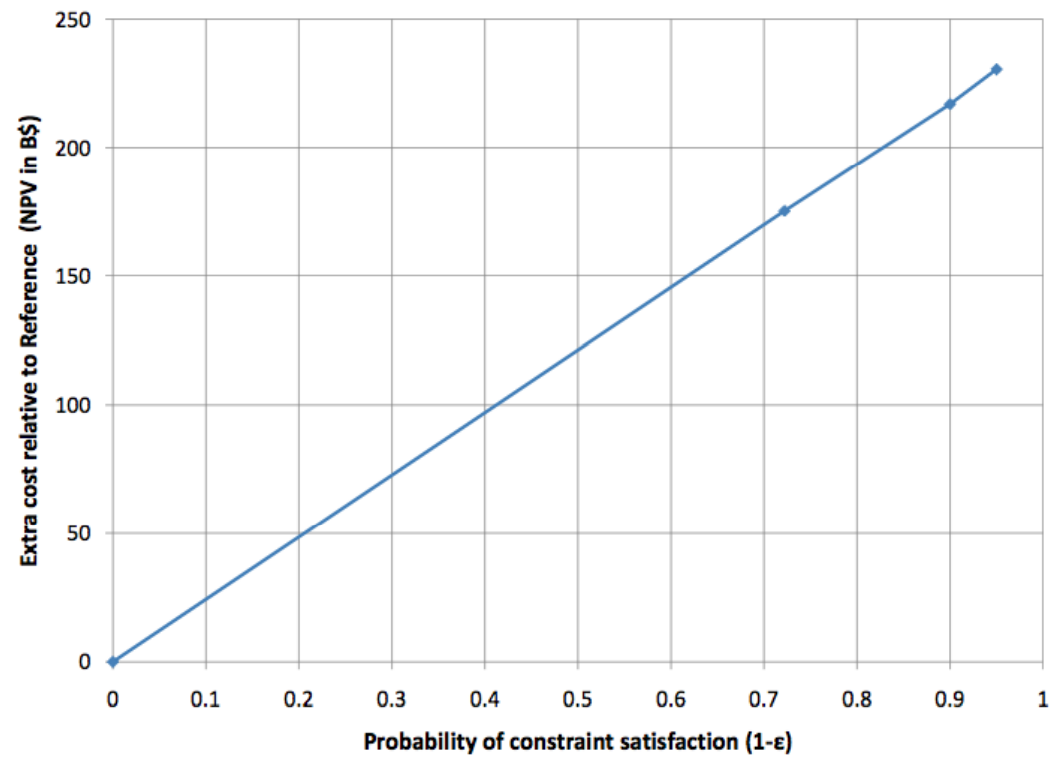
On remplace une partie des importations par de l'énergie produite localement (moins risqué).

Réduction des dominances sur le marché



On tend à mieux répartir les importations entre les différents fournisseurs. Ainsi le risque associé à chacun des fournisseurs est limité.

Coût de la robustesse



En bref

Dans un contexte d'aide à la décision

- Construire un modèle réduit, par émulation statistique de modèles numériques, éventuellement couplés. Traiter le modèle réduit (méta-modèle) par les techniques de contrôle stochastique ou de viabilité.
 - Formuler un modèle « BU » en restant dans le cadre de la « PL » et y appliquer les techniques « d'OR » et de « PS », avec, éventuellement usage de « ADR » pour tenir compte des adaptations sur plusieurs stages.
-