

# Impact macroéconomique du rythme de déclassement des centrales nucléaires sur la période 2010-2050

---

Note du CIREN à la commission Energie 2050

Ruben Bibas, Sandrine Mathy, Jean-Charles Hourcade

9 février 2012





## Table des matières

1	IMACLIM-R : un outil d'analyse dédié à la prospective .....	6
2	Scénarios de référence .....	7
2.1	Hypothèses .....	7
2.2	Les scénarios de référence.....	7
2.3	Les politiques et mesures .....	12
2.4	Des politiques et mesures plus ambitieuses dans le secteur électrique .....	15
3	Scénarios Facteur 4 .....	20
3.1	Passage de l'étude des scénarios de référence aux scénarios Facteur 4.....	20
3.2	Explicitation des hypothèses de scénarisation.....	21
3.2.1	Contrainte d'émissions .....	21
3.2.2	Niveau futur des prix mondiaux des fossiles .....	21
3.2.3	Mise en place de politiques et mesures (résidentiel et transport) .....	21
3.2.4	Coûts du nucléaire à construire .....	22
3.2.5	Scénarios de déclassement du nucléaire existant.....	22
3.2.6	Mise en place de politiques et mesures de maîtrise de la demande d'électricité.....	22
3.2.7	Mode de recyclage de la taxe carbone .....	23
3.3	Scénarios Facteur 4 .....	23
3.3.1	Valeur de la taxe.....	23
3.3.2	Effet macroéconomique .....	25
3.3.3	Prix de l'électricité.....	28
3.3.4	Coûts complets de l'électricité.....	29
3.3.5	Coûts d'investissement du secteur électrique .....	30
4	Conclusion .....	31
5	Annexe : graphes illustrant les alternatives Facteur 4.....	32
5.1	Déterminants de la valeur de la taxe C nécessaire pour un Facteur 4 en 2050 .....	32
5.1.1	Avec possibilité de construire de nouveaux réacteurs nucléaires .....	32
5.1.2	Sous contrainte de sortie du nucléaire (à court, moyen ou long terme).....	36
5.2	Déterminants des pertes de PIB.....	39
5.2.1	Avec possibilité de construire de nouveaux réacteurs nucléaires .....	39
5.2.2	Sous contrainte de sortie du nucléaire (à court, moyen ou long terme).....	43
5.3	Secteur électrique .....	46
5.3.1	Avec possibilité de construire de nouveaux réacteurs nucléaires .....	46
5.3.2	Sous contrainte de sortie du nucléaire (à court, moyen ou long terme).....	50
6	Bibliographie.....	54

## Table des tableaux

Tableau 1: Valeur de la taxe selon les paramètres (€2004/tCO <sub>2</sub> ) .....	24
Tableau 2 : PIB per capita selon les paramètres (€2001/cap) .....	25
Tableau 3 : PIB per capita selon les paramètres (base 1 en 2010) .....	27
Tableau 4 : Augmentation du prix de l'électricité selon les paramètres (par rapport à 2010) .....	28
Tableau 5 : Coûts complets de l'électricité selon les paramètres en €/Mtep .....	29
Tableau 6 : Coûts d'investissement totaux selon les paramètres .....	30

## Table des figures

Figure 1 : Architecture récursive et modulaire du modèle IMACLIM-R .....	7
Figure 2 : Ecart de prix de l'électricité entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prix le plus bas (prolongation de toutes les centrales nucléaires et de coût bas du nouveau nucléaire).....	9
Figure 3 : Budget énergie des ménages entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prolongation de la durée de vie de toutes les centrales avec coût bas de l'EPR .....	9
Figure 4 : Emissions de CO2 entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire).....	10
Figure 5 : PIB entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prolongation de la durée de vie de toutes les centrales avec coût bas de l'EPR .....	10
Figure 6 : Capacités installées dans le secteur électrique (scénarios de référence) .....	11
Figure 7 : Capacités installées dans le secteur électrique dans les scénarios avec politiques et mesures.....	13
Figure 8 : Ecart de prix de l'électricité entre 2010 et 2050 dans les scénarios de PM en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prix le plus bas (prolongation de toutes les centrales nucléaires et de coût bas du nouveau nucléaire) du scénario de référence.....	14
Figure 9 : Evolution du budget énergie des ménages dans les scénarios avec politiques et mesures en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence .....	14
Figure 10 : Evolution du PIB dans les scénarios avec politiques et mesures en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence.....	15
Figure 11 : Emissions de CO2 entre 2010 et 2050 dans les scénarios de politiques et mesures en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) .....	15
Figure 12 : Ecart de prix de l'électricité entre 2010 et 2050 dans les scénarios de PM + en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prix le plus bas (prolongation de toutes les centrales nucléaires et de coût bas du nouveau nucléaire) du scénario de référence.....	16
Figure 13 : Evolution du budget énergie des ménages dans les scénarios PM+ en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence.....	17
Figure 14 : Evolution du PIB dans les scénarios PM+ en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence.....	17
Figure 15 : Emissions de CO2 entre 2010 et 2050 dans les scénarios de politiques et mesures en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) .....	18
Figure 16 : Capacités installées dans le secteur électrique dans les scénarios PM+.....	19
Figure 17 : Contrainte d'émission pour atteindre un Facteur 4 .....	21
Figure 18 : Scénarios alternatifs de déclassement des capacités nucléaires (GW).....	22
Figure 19 : Valeur de la taxe endogène - cas nouveau nucléaire autorisé.....	35
Figure 20 : Valeur de la taxe endogène - cas nouveau nucléaire banni.....	38
Figure 21 : PIB par tête - cas nouveau nucléaire autorisé.....	42

Figure 22 : PIB par tête - cas nouveau nucléaire banni .....	45
Figure 23 : Etude électricité - cas nouveau nucléaire autorisé.....	49
Figure 24 : Etude électricité - cas nouveau nucléaire banni .....	53

## 1 IMACLIM-R : un outil d'analyse dédié à la prospective

IMACLIM-R est un modèle d'équilibre général calculable (MEGC) développé pour la prospective appliquée aux domaines énergétique et environnemental dans le cadre de la recherche sur le changement climatique. Comme tout modèle d'équilibre général conventionnel, IMACLIM-R fournit un cadre macroéconomique permettant d'étudier les relations entre économie et énergie. Il représente les interactions entre les secteurs et les régions dans le temps à travers l'équilibre du marché des biens et simule l'impact économique des changements qui surviennent dans le secteur énergétique aussi bien au niveau macroéconomique (modification du bien-être, gains ou pertes de compétitivité) qu'au niveau microéconomique (poids de l'énergie dans la structure de coûts de production ou dans la dépense des ménages).

Des efforts ont été faits pour construire une architecture de modélisation permettant d'incorporer aisément dans les simulations des avis d'experts et/ou des résultats de modèles sectoriels. IMACLIM-R est un modèle hybride dans la mesure où il repose sur une description explicite de l'économie à la fois en valeurs monétaires et en quantités physiques, les deux étant liées par le jeu des prix relatifs. Grâce à cette représentation de variables physiques explicites, le modèle fournit une vision duale de l'économie permettant de vérifier si l'économie projetée repose sur une réalité technique plausible et à l'inverse si le système technique sous-jacent peut s'insérer dans un contexte économique cohérent, notamment avec le système de prix relatifs interdépendants. Les variables physiques du modèle permettent aussi de transcrire explicitement les informations sectorielles. Ces informations comprennent (i) les dires d'experts sur les économies d'échelle, les mécanismes d'apprentissage et les asymptotes de saturation du progrès technique, (ii) des connaissances empiriques sur l'efficacité des instruments économiques, les imperfections de marché, les contraintes institutionnelles et la rationalité limitée des comportements. Au final, il s'agit de représenter comment la demande finale et les systèmes techniques sont transformés par les signaux économiques et les politiques publiques, surtout dans des scénarios de bifurcation importante par rapport à un scénario de référence.

Une spécificité centrale du modèle, liée à cette description duale de l'économie, réside dans l'abandon des fonctions de production conventionnelles KLE ou KLEM, censées reproduire de manière agrégée l'ensemble des techniques disponibles et les contraintes techniques sur une économie. La solution retenue dans IMACLIM-R est fondée sur la constatation qu'il est difficile de trouver des fonctions mathématiquement tractables qui permettent de représenter sur un siècle des écarts forts vis-à-vis de l'équilibre de référence et qui soient assez flexibles pour rendre compte de différents scénarios du changement structurel résultant de l'interaction entre styles de consommation, technologies et schémas de localisation (Hourcade 1993). À chaque date, les caractéristiques techniques de l'économie, ainsi que leur évolution entre  $t$  et  $t + n$ , dérivent de l'échange récursif d'informations (Figure 1: Architecture récursive et modulaire du modèle IMACLIM-R) entre :

- un module d'équilibre statique annuel, dans lequel les stocks d'équipements et les capacités de production sont fixes et où la seule flexibilité technologique est le taux d'utilisation de ces capacités. Résoudre cet équilibre en  $t$  fournit un 'cliché' de l'économie à cette date : un ensemble de prix relatifs, les niveaux de production, les flux physiques, les taux de profit pour chaque secteur et l'allocation des investissements entre les secteurs.
- Des modules dynamiques, incluant démographie, accumulation du capital, ainsi que des formes réduites de modèles sectoriels détaillés qui représentent les choix technologiques des secteurs et d'équipement des ménages. Ces formes réduites calculent, en fonction des valeurs prises dans les équilibres statiques précédents et des anticipations qu'elles permettent de formuler, la réaction des systèmes techniques, et renvoient cette information au module statique sous la forme de nouveaux coefficients pour calculer l'équilibre suivant. Chaque année, les choix

techniques incorporés dans les nouveaux équipements sont flexibles ; ils induisent une modification à la marge des coefficients input-output et de la productivité globale, en tenant compte des technologies déjà encapsulées dans les équipements existants, qui résultent des choix techniques passés. Cette hypothèse générale dite *putty-clay* est au centre des discussions sur l'inertie des systèmes techniques et sur le fait que l'économie s'adapte non seulement au niveau et à la direction des signaux économiques mais aussi à leur volatilité.

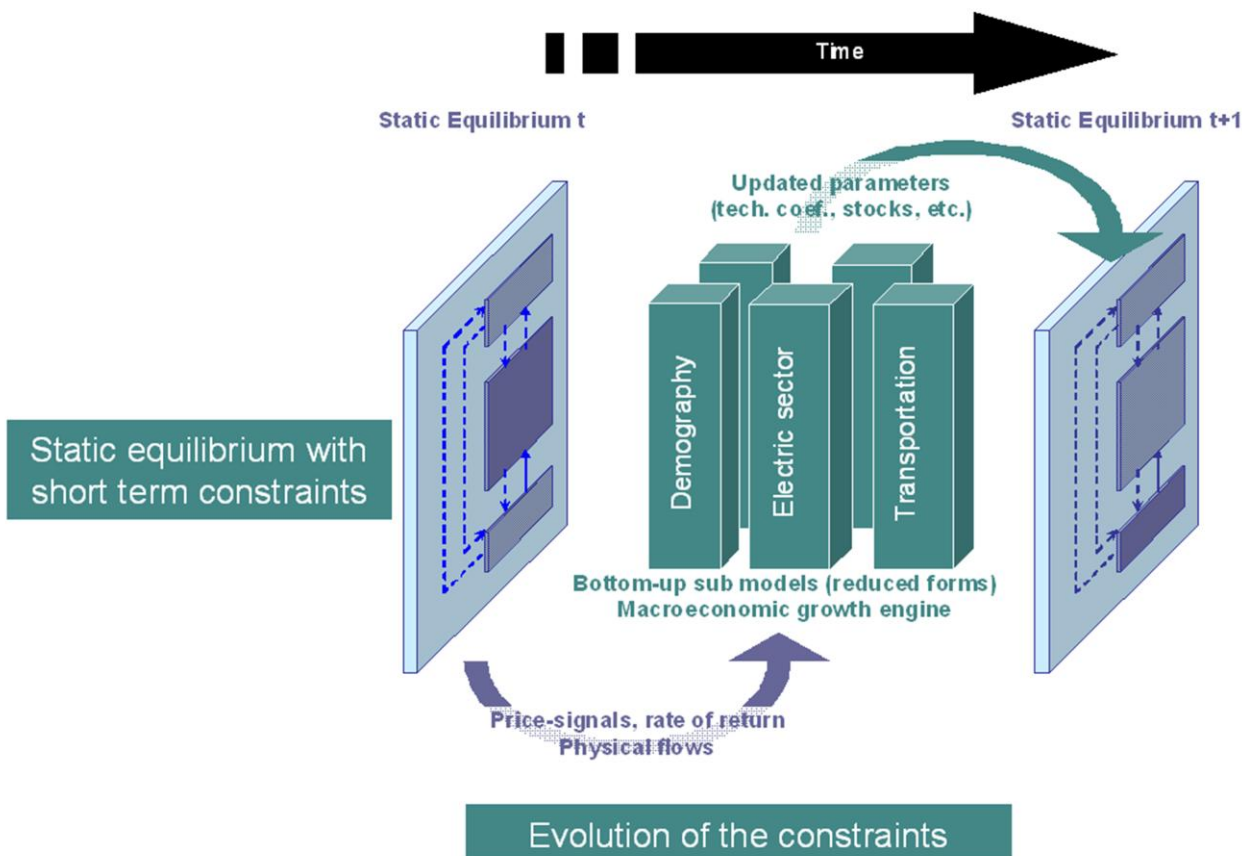


Figure 1 : Architecture réursive et modulaire du modèle IMACLIM-R

Cette architecture permet de décrire des équilibres de second rang qui intègrent les inerties dans la dynamique d'équipement et les possibilités de sous-emploi des facteurs de production (capital et travail).

## 2 Scénarios de référence

### 2.1 Hypothèses

Les scénarios étudiés respectent les hypothèses suivantes :

- Prix du pétrole calé sur le prix de l'AIE (2011)
- Coût de prolongation des centrales : 700M€/MW

### 2.2 Les scénarios de référence

Ces scénarios n'incluent pas de politiques climatiques, ni de politiques de maîtrise de la demande d'électricité ou d'énergie, ni de déploiement particulièrement important des ENR. Ils montrent tous une demande en électricité sensiblement identique, qui est décidée de manière endogène dans le modèle par un traitement spécifique selon les types de consommation d'électricité. Ainsi, sur les



consommations de chauffage, dans le cas de scénario avec rénovation thermique, la décision de rénovation et de changement d'équipement de chauffage (chaudière gaz, PAC, biomasse ou fioul) prend en compte les croyances sur les niveaux de prix relatifs et donc l'évolution du prix des énergies. Pour les consommations de chauffage de l'année en cours, une courbe de comportement (isoélastique ou logistique selon les variantes) permet de prendre en compte l'effet rebond sur les consommations de chauffage dans le cas de travaux de rénovations thermique ou de bâtiments basse consommation. Sur les consommations d'électricité spécifique, il y a une élasticité prix (-0.5) et une élasticité revenu (2). Dans les secteurs productifs, il y a une substitution des énergies en fonction de leurs prix relatifs.

9 scénarios sont étudiés croisant :

- les 3 scénarios de rythme de déclassement des centrales nucléaires existantes:
  - déclassement des centrales à 40 ans (sc1),
  - déclassement de la moitié environ des centrales à 40 ans (les plus anciennes) et prolongation des autres de 20 ans (sc2)
  - prolongation de toutes les centrales de 20 ans (sc3)
- avec 3 hypothèses concernant le déploiement de nouvelles centrales nucléaires
  - Hypothèses de coût élevé à 3636€/kW correspondant à un EPR à 5,8Mds €
  - Hypothèse de coût bas à 2909€/kW correspondant à un EPR à 4,6 Mds €
  - Sortie du nucléaire

Les scénarios de prolongation des centrales (en vert) conduisent au prix de l'électricité les plus bas quelle que soit l'hypothèse retenue quant au nucléaire futur.

Les scénarios les plus chers en termes de prix de l'électricité sont les scénarios de sortie du parc nucléaire à 40 ans (noir).

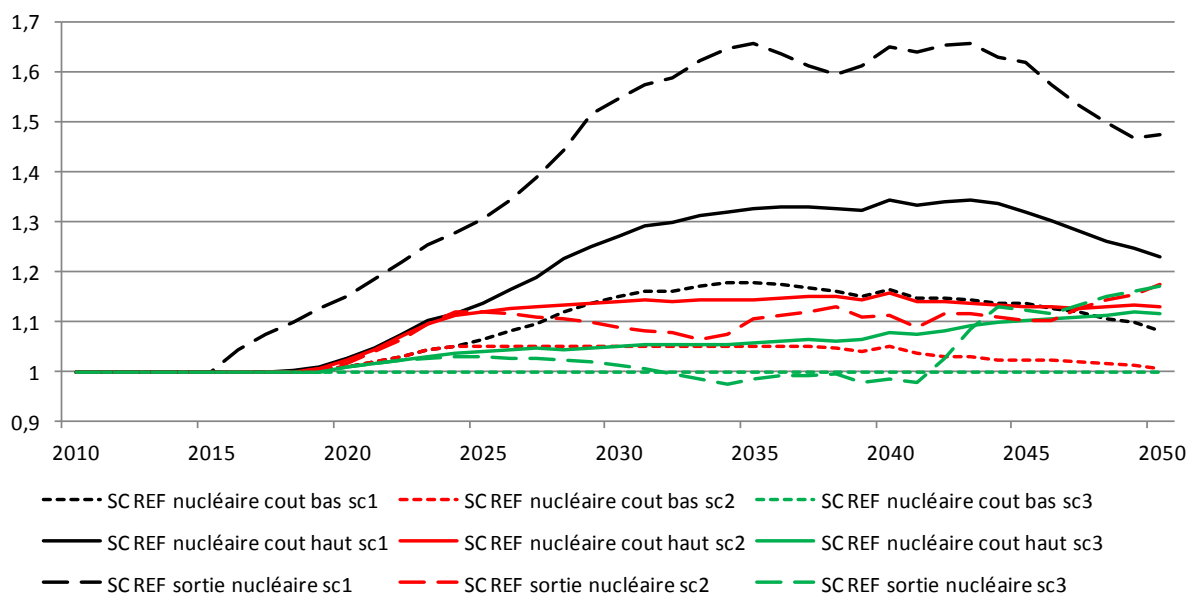
Deux scénarios se démarquent, les autres scénarios présentant des écarts de prix très faibles. Le scénario de sortie du nucléaire sans prolongation de la durée de vie des centrales montre un prix de l'électricité qui est de 60% supérieur environ aux autres scénarios à partir de 2030. Le scénario avec des hypothèses hautes du coût de l'EPR sans prolongation de la durée de vie des centrales nucléaires existantes montre un prix de 30% supérieur sur la même période.

Ces tendances se retrouvent dans l'évolution du budget énergie des ménages (transports + résidentiel) mais avec des écarts moindres car l'électricité ne représente qu'une part minoritaire dans les consommations d'énergie.

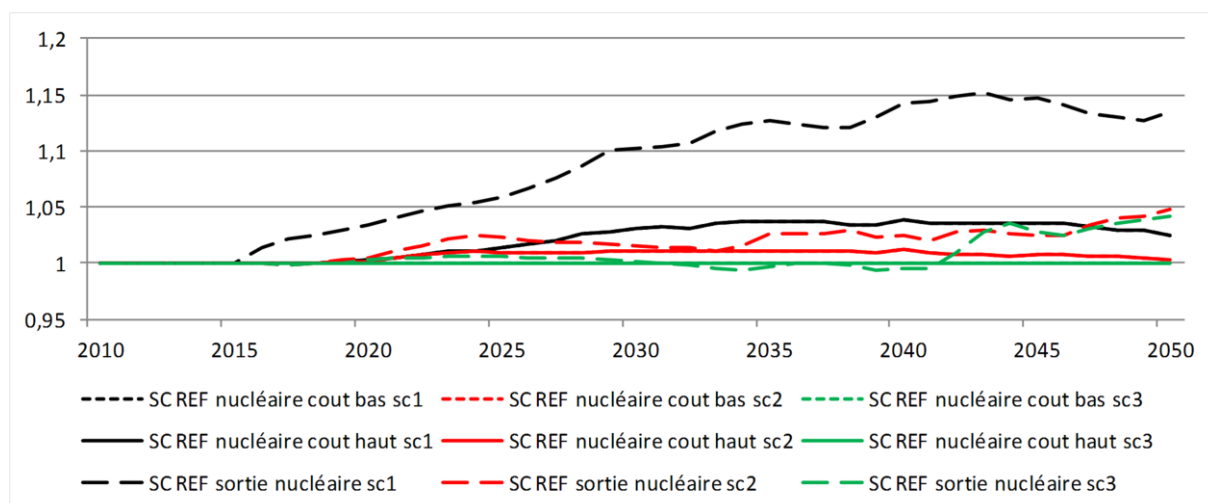
L'impact sur la croissance de ces scénarios différenciés sur le secteur électrique est très faible puisque l'écart de croissance entre les scénarios est de 2% sur 40 ans, ce qui représente un écart de taux de croissance annuel de 0,05%.

L'impact est par contre très marqué pour les émissions, puisque la sortie du nucléaire, sans accompagnement par des politiques climatiques conduit à une remontée marquée des émissions du fait du recours au gaz pour remplacer les centrales sortantes alors que dans les autres scénarios, le nucléaire conserve une place importante.

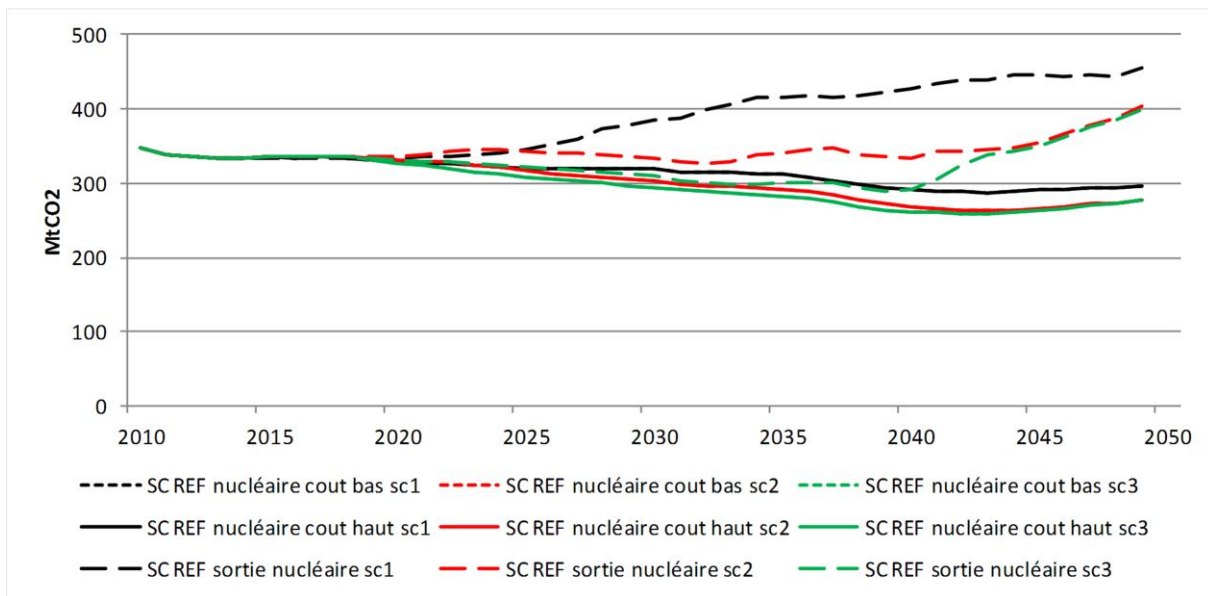
Dans les trois scénarios sc3 de prolongation, les différences sont le coût d'investissement pour les EPR et l'hypothèse de sortie du nucléaire. Selon que l'on est dans un schéma ou un autre, les acteurs dès 2020 prennent des décisions différentes puisque les technologies qu'ils ont à disposition des 2012 pour investir dans des capacités nouvelles sont différentes.



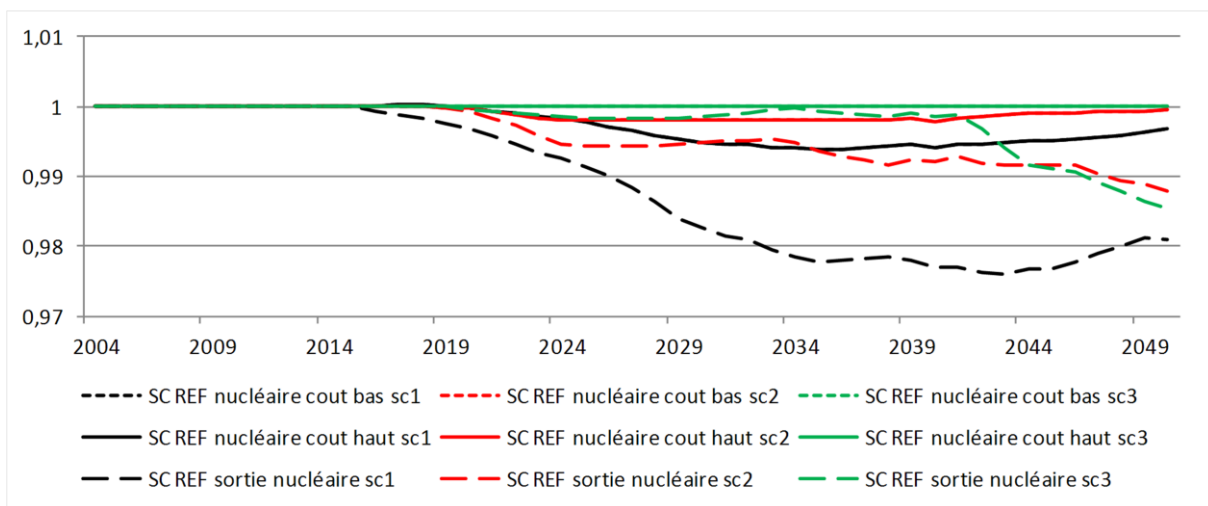
**Figure 2 : Ecarts de prix de l'électricité entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclasséement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prix le plus bas (prolongation de toutes les centrales nucléaires et de coût bas du nouveau nucléaire)**



**Figure 3 : Budget énergie des ménages entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclasséement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prolongation de la durée de vie de toutes les centrales avec coût bas de l'EPR**



**Figure 4 : Emissions de CO2 entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire)**



**Figure 5 : PIB entre 2010 et 2050 dans les scénarios de référence en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prolongation de la durée de vie de toutes les centrales avec coût bas de l'EPR**

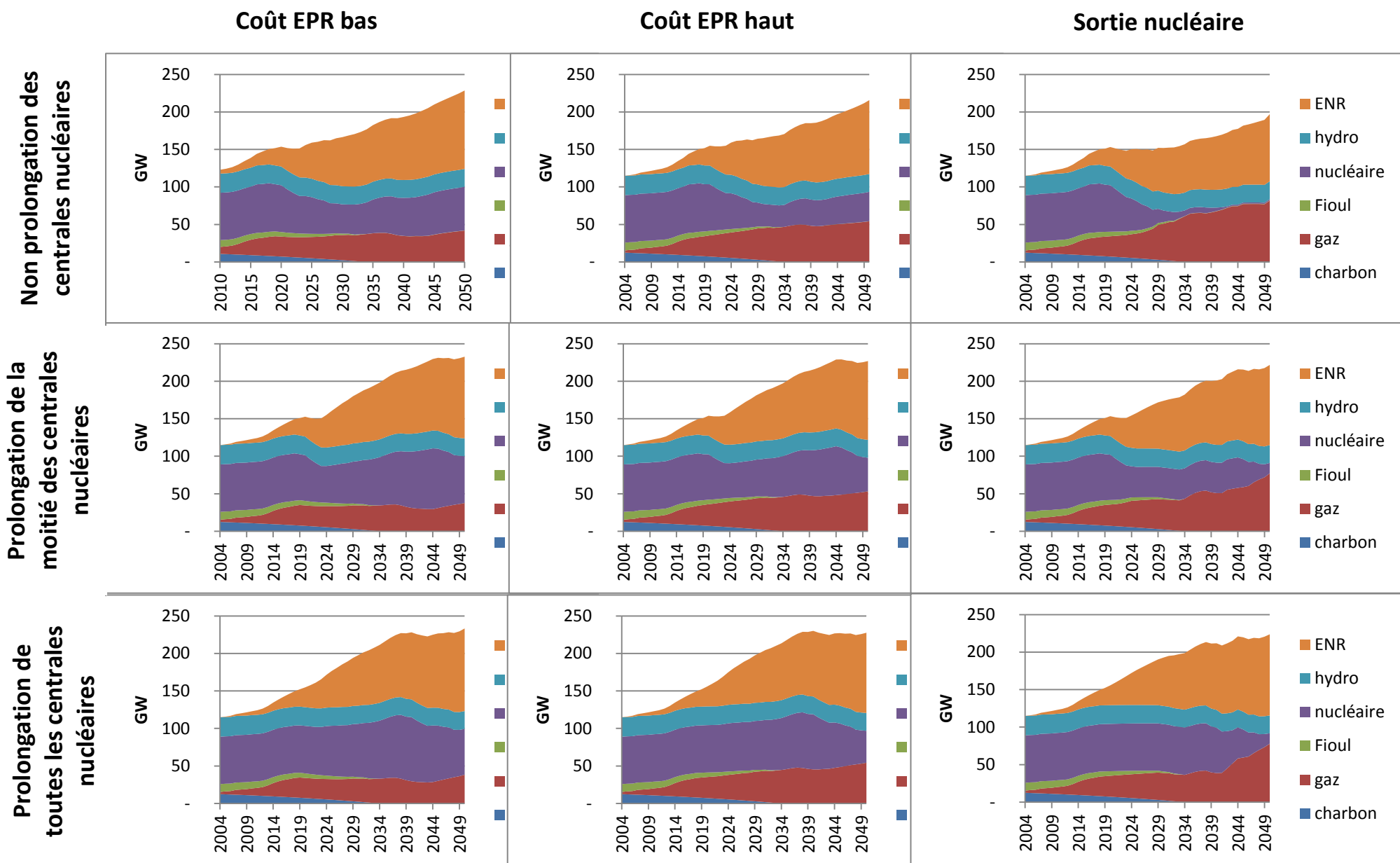


Figure 6 : Capacités installées dans le secteur électrique (scénarios de référence)

## 2.3 Les politiques et mesures

Dans cette partie, des politiques et mesures (PM) de réduction de la demande d'énergie sont mises en œuvre :

- dans le secteur des transports (bonus-malus, politiques d'infrastructures alternatives à la route, maîtrise de l'étalement urbain, déploiement des transports collectifs, amélioration de la logistique du fret...),
- dans le secteur résidentiel/tertiaire (renforcement des dispositifs de crédit d'impôt développement durable et d'écoprêt à taux zéro, obligation de rénovation),
- dans le secteur électrique (MDE contribuant à l'aplatissement de la courbe de charge) sont mis en œuvre.

Les autres hypothèses sont conservées identiques.

L'impact sur la demande d'électricité et sur les capacités installées est sensible mais peu prononcé car les mesures dans le secteur électrique sont modérément volontaristes. De la même manière que dans les scénarios de référence, le gaz se développe un peu aux côtés des renouvelables, mais le nucléaire quelle que soit l'hypothèse de coût retenue reste dominant dans les scénarios sans sortie du nucléaire.

Néanmoins, l'introduction des PM conduit à des niveaux de prix inférieurs à ceux du scénario de référence. Le prix du scénario le plus haut (sortie du nucléaire sans prolongation de la durée de vie des centrales) baisse de 10% environ entre 2030 et 2040 par rapport au scénario de référence. Les autres scénarios voient une stabilisation du prix de l'électricité sur toute la période. L'écart entre les scénarios extrêmes tombe à 50% entre 2030 et 2040.

Cette baisse sensible du prix de l'électricité se retrouve dans l'évolution du budget énergie des ménages par rapport au scénario de référence (le graphique est en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec une hypothèse de coût bas du nucléaire). Cette baisse est en partie due à la baisse du prix de l'électricité, mais elle est surtout imputable aux économies d'énergies du fait des politiques et mesures. Au final l'impact des PM sur le budget des ménages est plus important que le choix du scénario de prolongation des centrales et de choix technologique sur le recours au nucléaire ou non.

L'impact sur la croissance de ces politiques et mesures est légèrement positif, notamment à court terme, ce qui permet d'amortir une partie du choc d'une sortie sans prolongation de la durée de vie des centrales dans les scénarios sc1. Les autres scénarios se retrouvent avec des gains sur l'ensemble de la période.

Les politiques et mesures permettent de réduire drastiquement les émissions de CO2 dans tous les scénarios. Néanmoins, les scénarios de sortie du nucléaire restent beaucoup plus émetteurs que les autres du fait du recours au gaz. Dans tous les autres scénarios, les émissions ont chuté de moitié depuis 2005 alors que dans les scénarios de sortie du nucléaire, elles n'ont baissé que de 8 à 23% par rapport à 2005.

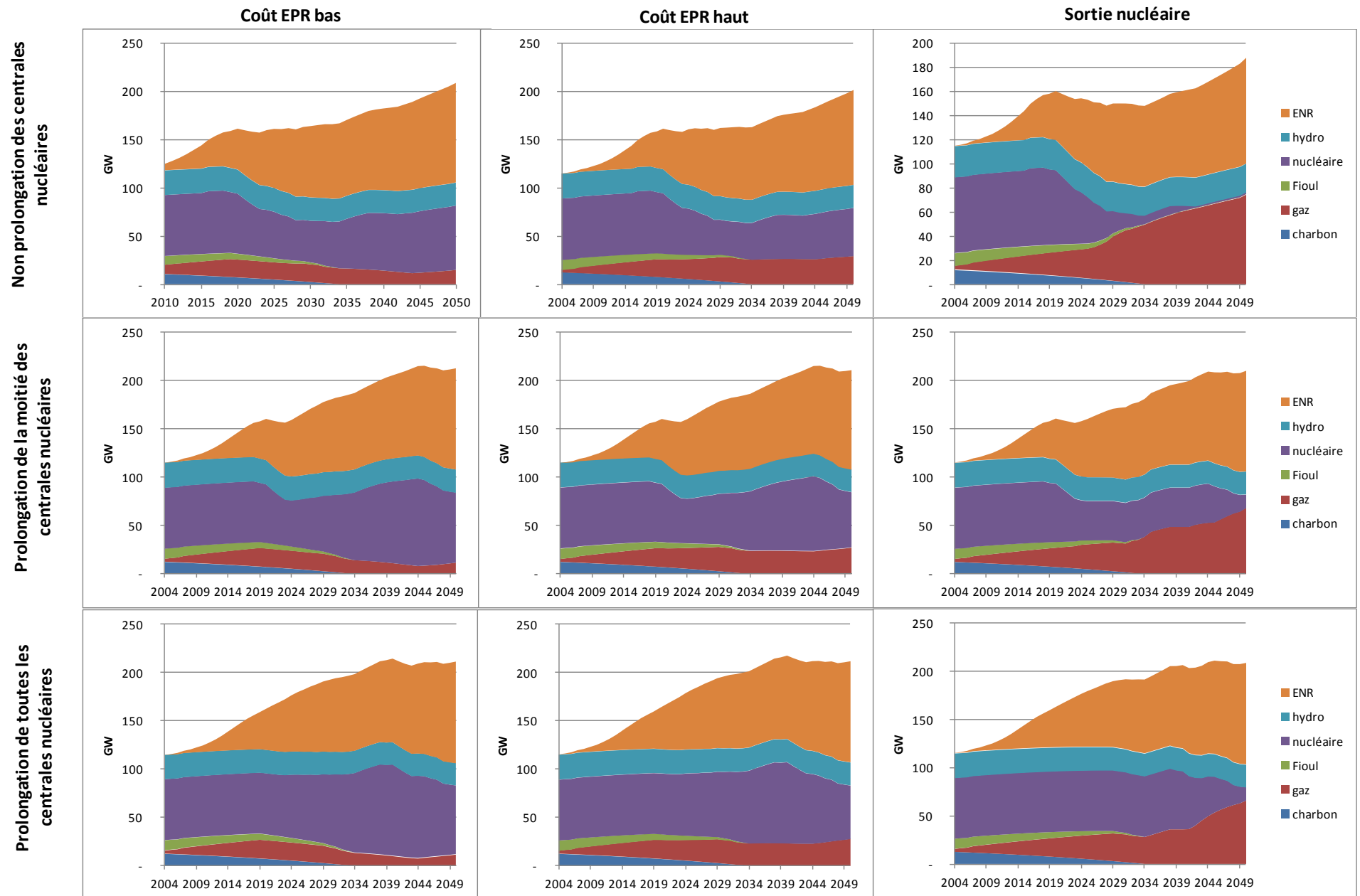
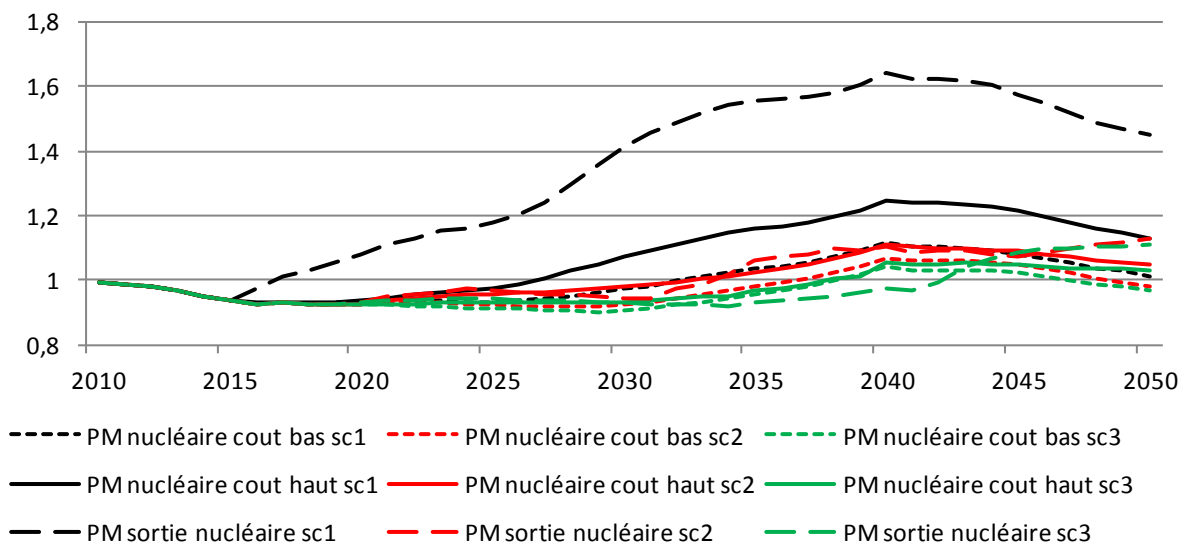
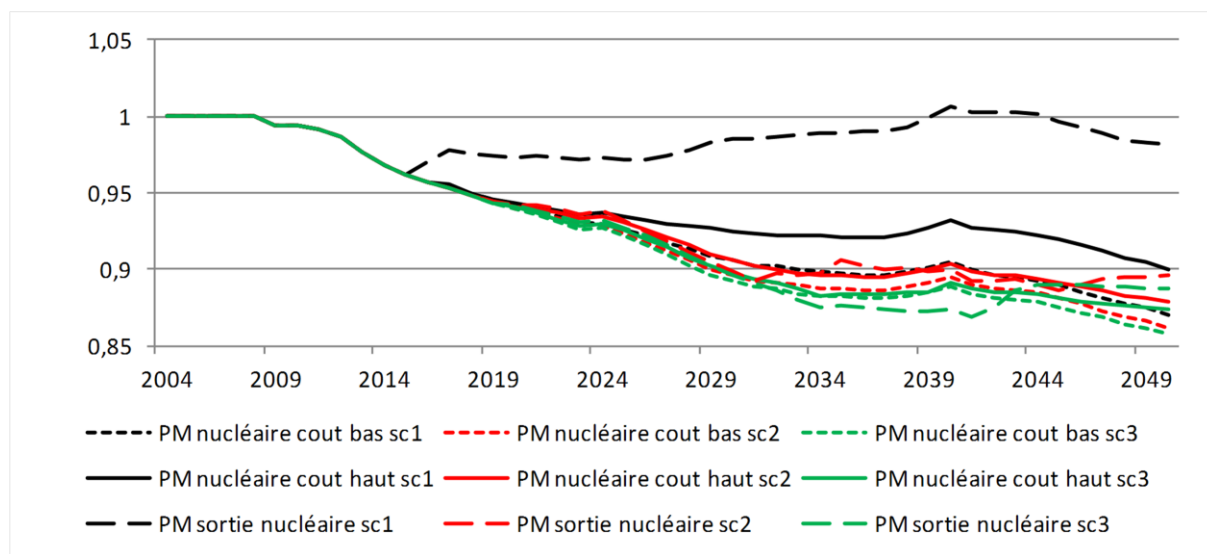


Figure 7 : Capacités installées dans le secteur électrique dans les scénarios avec politiques et mesures



**Figure 8 : Ecarts de prix de l'électricité entre 2010 et 2050 dans les scénarios de PM en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire) en indice par rapport au scénario de prix le plus bas (prolongation de toutes les centrales nucléaires et de coût bas du nouveau nucléaire) du scénario de référence**



**Figure 9 : Evolution du budget énergie des ménages dans les scénarios avec politiques et mesures en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence**

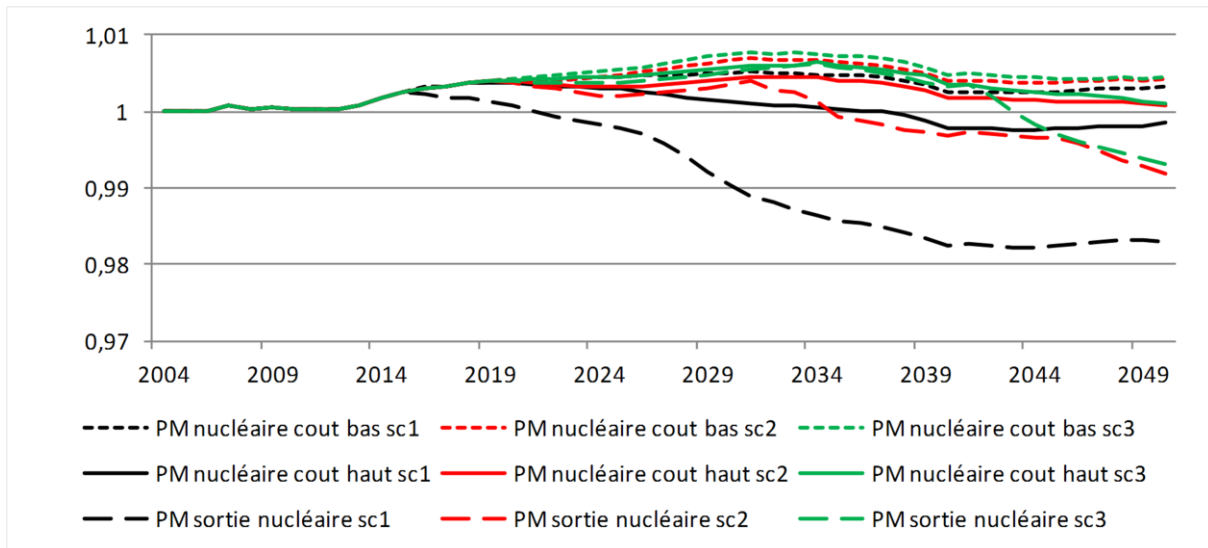


Figure 10 : Evolution du PIB dans les scénarios avec politiques et mesures en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence

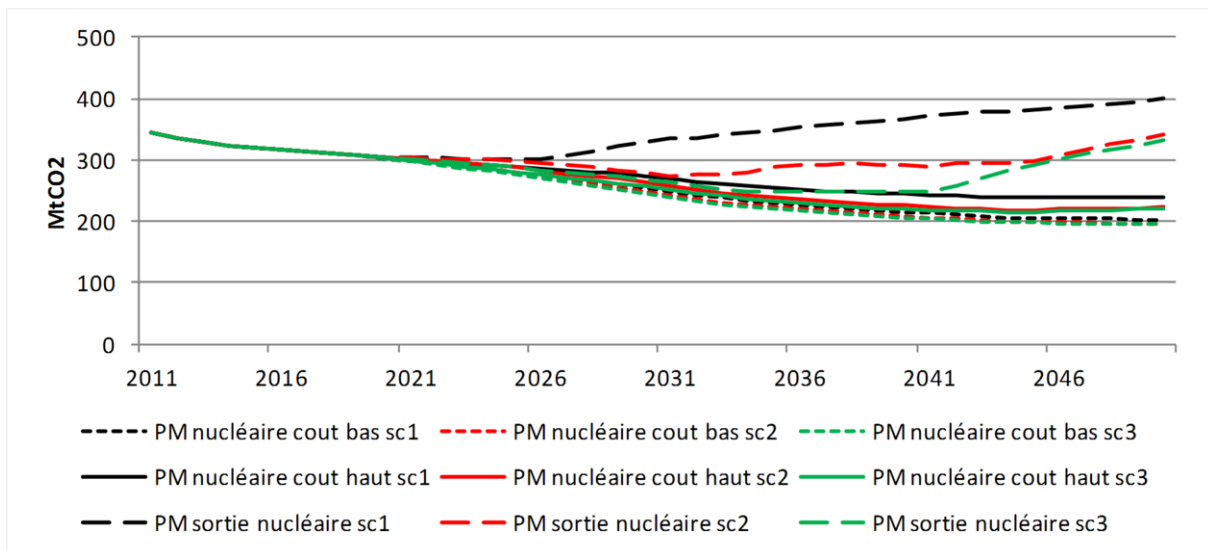


Figure 11 : Emissions de CO2 entre 2010 et 2050 dans les scénarios de politiques et mesures en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire)

## 2.4 Des politiques et mesures plus ambitieuses dans le secteur électrique

Les politiques et mesures de la partie précédente étaient peu volontaristes sur la MDE et sur le potentiel de déploiement des ENR. Dans cette partie nous nous efforçons de retranscrire des potentiels de MDE et d'ENR plus importants que dans la partie précédente. Là aussi, les scénarios de demande d'électricité sont les mêmes quelle que soient les hypothèses sur les technologies retenues (prolongation de la durée de vie des centrales ou non, sortie du nucléaire ou non). Cette famille de scénario est notée PM+ dans la suite.

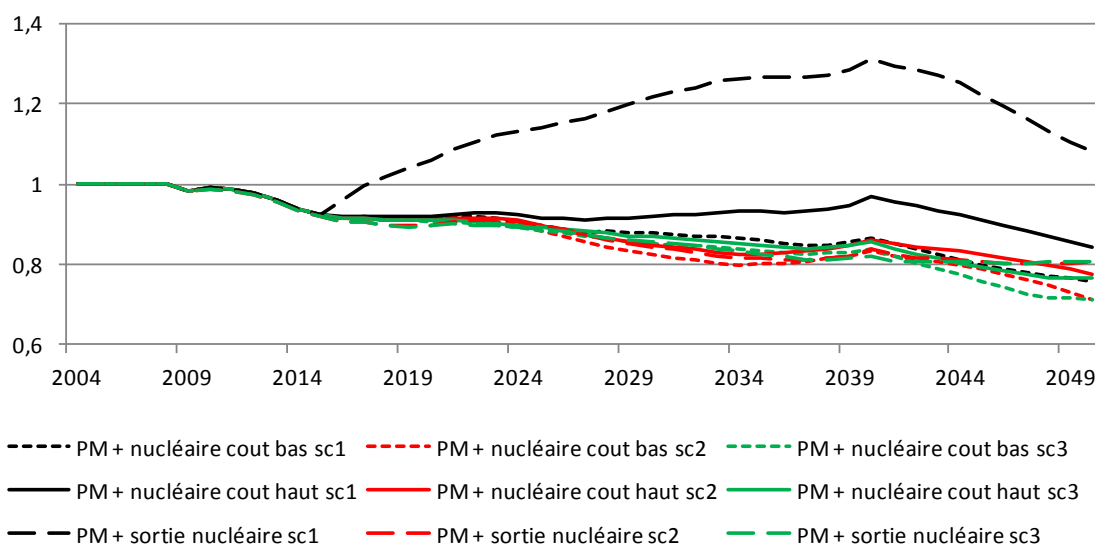
L'impact direct est bien sûr une part plus importante des ENR dans les capacités installées et donc un parc résiduel fossile et/ou nucléaire réduit. L'impact direct est bien sûr des réductions d'émissions dans les scénarios de sortie nucléaire puisqu'une partie du recours au gaz dans les scénarios précédents est alors remplacée par les renouvelables. La part restante au gaz est de ce fait

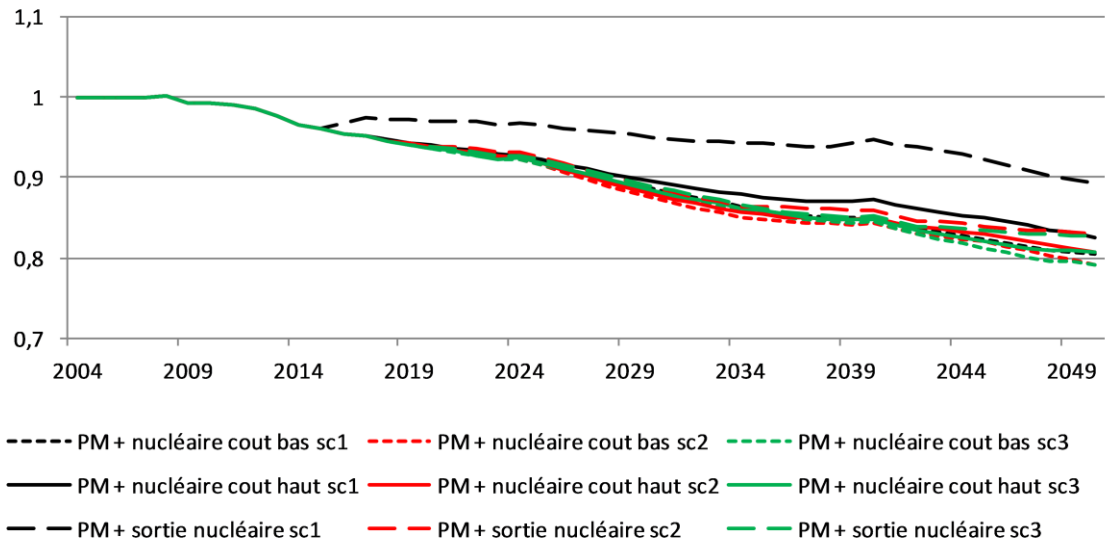


très restreinte. Ce sont donc les scénarios de sortie du nucléaire qui bénéficient le plus de réductions d'émissions inhérentes au développement accru des ENR.

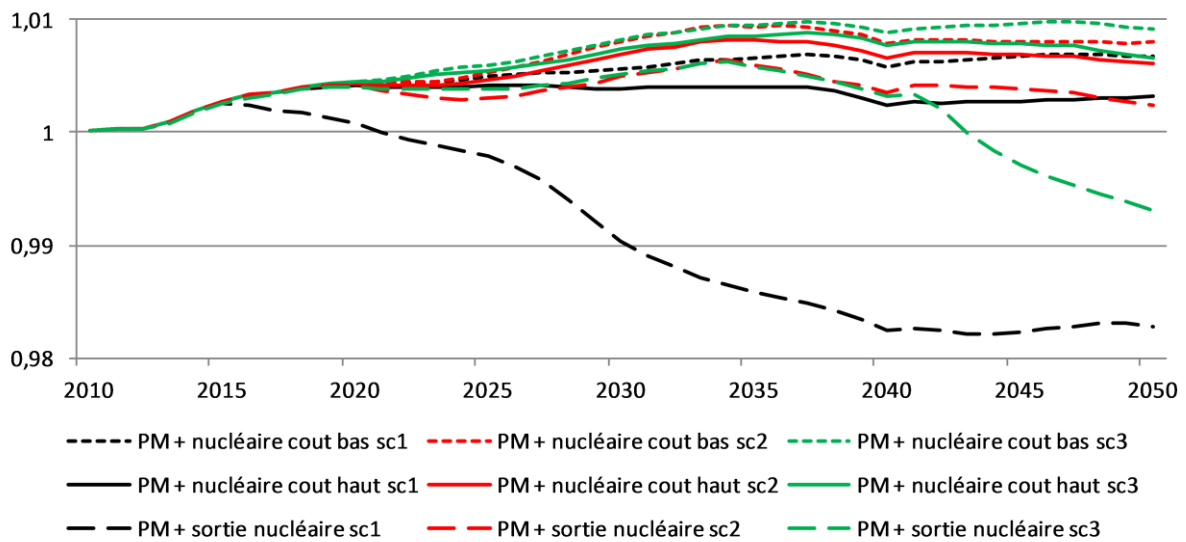
Ce développement accru des ENR dans tous les scénarios montrés s'accompagne d'une baisse du prix de l'électricité par rapport aux scénarios de PM de la partie précédente. Cette baisse s'accompagne d'un resserrement sur les écarts de prix entre les scénarios qui tombe à 40%.

L'impact de ces prix couplés à des demandes d'électricité réduites par rapport aux deux familles de scénarios précédentes (référence et PM) conduit à des budgets énergie des ménages de 10% inférieurs environ aux budgets énergie dans la famille de scénarios PM et de 20 à 25% inférieurs environ aux budgets énergie dans la famille de scénarios de référence. Ces gains dus à la mise en œuvre de politiques et mesures sont plus importants que l'écart du au choix technologique entre les scénarios de prolongation des centrales nucléaires d'une part et le recours ou non au nucléaire pour les nouvelles centrales.

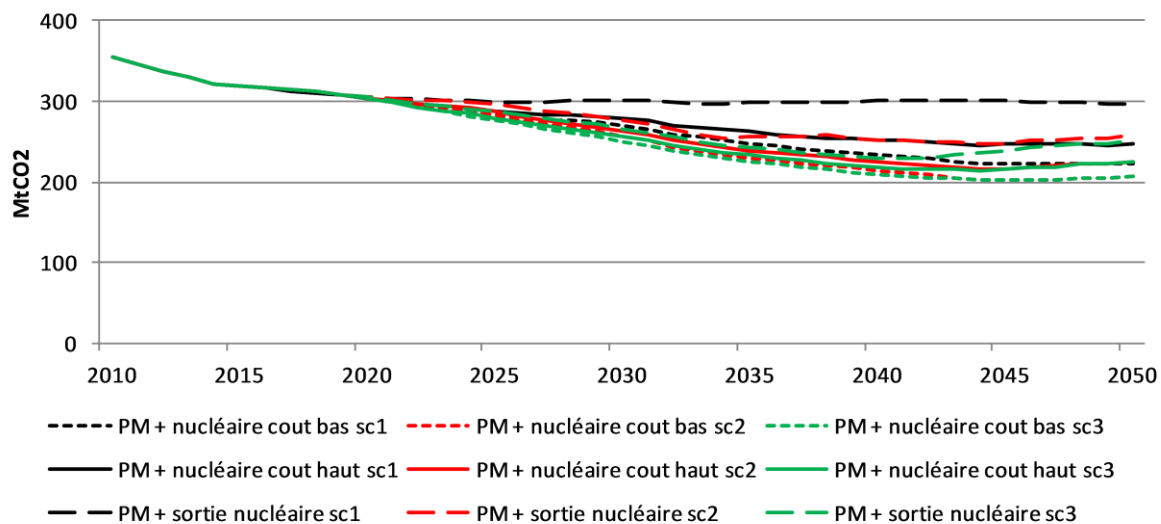




**Figure 13 : Evolution du budget énergie des ménages dans les scénarios PM+ en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence**



**Figure 14 : Evolution du PIB dans les scénarios PM+ en indice par rapport au scénario de prolongation de toutes les centrales avec coût bas du nucléaire dans le scénario de référence**



**Figure 15 : Emissions de CO2 entre 2010 et 2050 dans les scénarios de politiques et mesures en fonction du rythme de déclassement des centrales nucléaires et du nouveau nucléaire (coût élevé, bas ou sortie du nucléaire)**

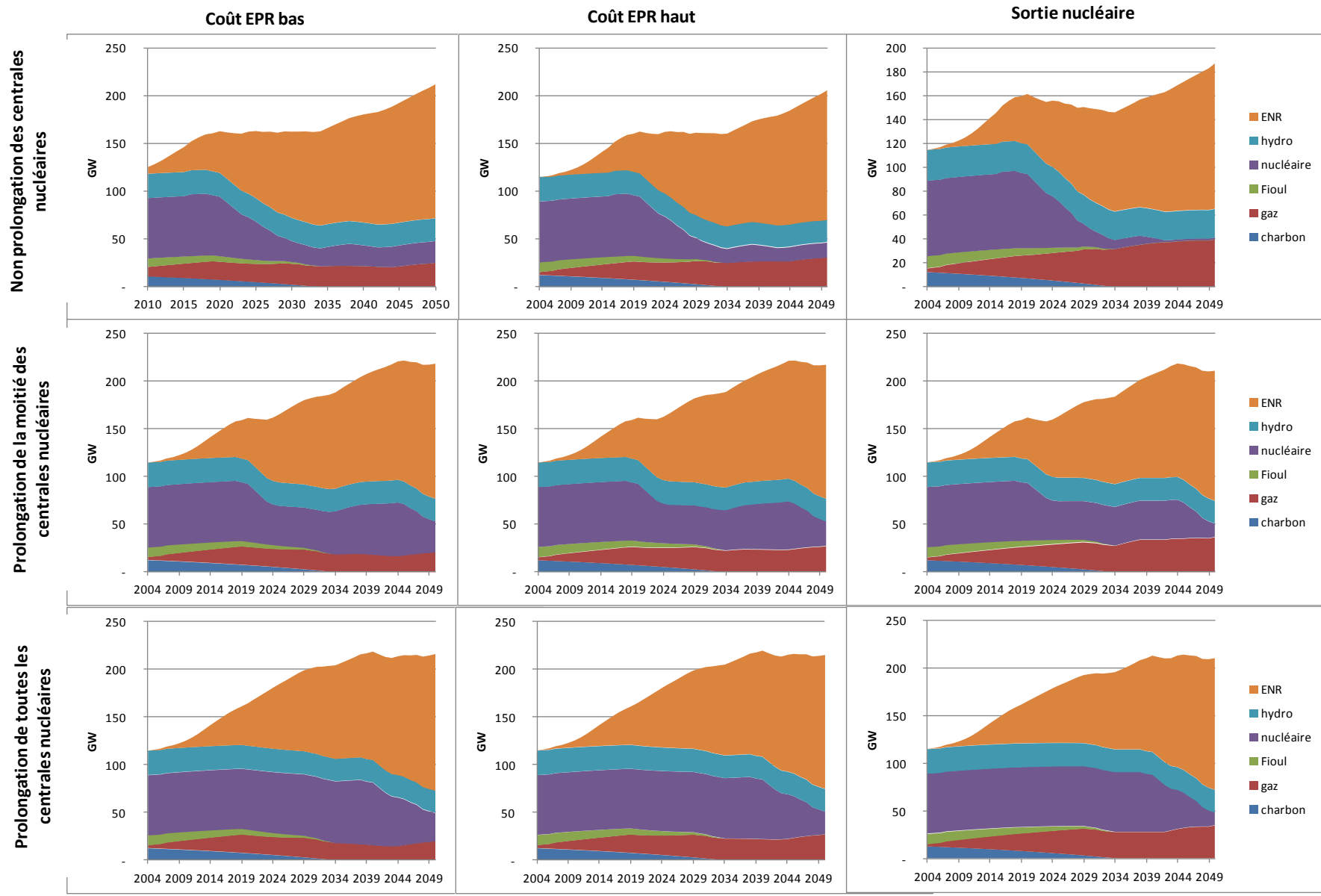


Figure 16 : Capacités installées dans le secteur électrique dans les scénarios PM+

## 3 Scénarios Facteur 4

### 3.1 Passage de l'étude des scénarios de référence aux scénarios Facteur 4

La partie 2 (Scénarios de référence, ci-dessus) présente l'impact du déclassement des centrales nucléaires sur l'évolution future du mix énergétique, sous l'angle croisé des coûts du nucléaire (une sortie définitive du nucléaire revenant à estimer le coût du risque à l'infini) et du rythme de déclassement. Ceci est fait dans trois cas, un scénario « REF » au fil de l'eau (i.e. *Business As Usual*, BAU), un scénario « PM » avec politiques et mesures impactant principalement les secteurs résidentiel et transports, ainsi qu'un scénario « PM+ » impactant également le secteur électrique.

Cette partie s'attache à explorer l'incertitude autour de l'impact macroéconomique de politiques climatiques visant un facteur 4. L'analyse s'articule autour d'une discussion sur le rythme de déclassement et les coûts d'investissement des nouveaux réacteurs nucléaires. S'y ajoutent plusieurs alternatives sur les visions du futur, que nous traitons par l'exploration combinatoire de scénarios. Ces alternatives sont ainsi sur :

- le niveau futur des prix mondiaux des fossiles,
- la mise en place de politiques et mesures (principalement sur le résidentiel et le transport) véritablement ambitieuses et efficaces,
- l'alternative sur les coûts futurs du nucléaire à construire
- les 3 scénarios de déclassement des centrales nucléaires existantes
- la mise en place de politiques et mesures de maîtrise de la demande d'électricité (MDE)
- une alternative sur le mode de recyclage de la taxe carbone mise en place pour atteindre le facteur 4
- une alternative sur le futur de la balance commerciale française.

Ces alternatives débouchent sur  $N = 576$  scénarios pour chaque hypothèse de taxation du carbone (référence, taxe EU-ETS sur les secteurs soumis à un marché de quotas, taxe endogène nécessaire pour atteindre un facteur 4). Dans ce rapport, seule sera évoquée la taxe endogène (c'est-à-dire calculée par le modèle annuellement pour satisfaire la contrainte d'émissions), car l'évaluation de la taxe EU-ETS fournie n'est en effet pas suffisante pour induire une mutation profonde des secteurs énergétiques.

## 3.2 Explication des hypothèses de scénarisation

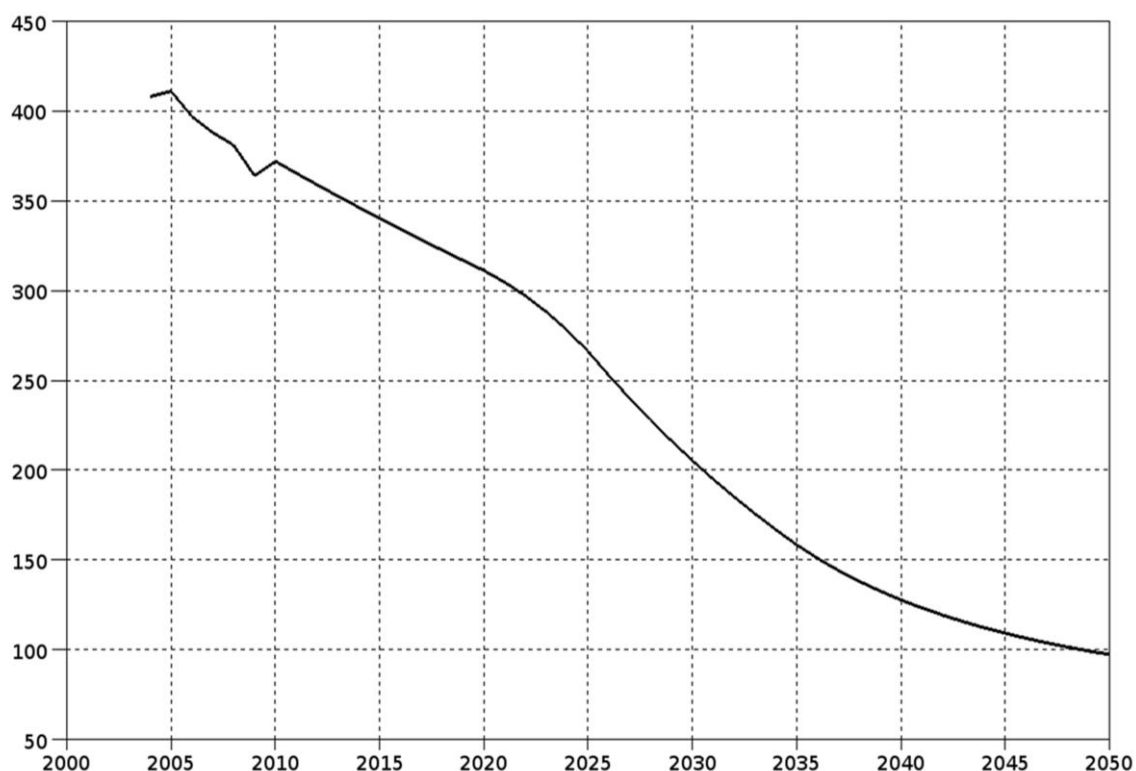


Figure 17 : Contrainte d'émission pour atteindre un Facteur 4

### 3.2.1 Contrainte d'émissions

Présentée dans la Figure 17 : Contrainte d'émission pour atteindre un Facteur 4, celle-ci passe par un objectif de -20% en 2020 pour atteindre un Facteur 4 en 2050.

### 3.2.2 Niveau futur des prix mondiaux des fossiles

Les prix mondiaux des biens, et notamment des énergies proviennent de résultats de simulation du modèle IMACLIM-R Monde. Ces prix sont donc exogènes à Imacsim-R France (un modèle d'équilibre général en économie ouverte). L'hypothèse de base rejoint les coûts de l'AIE (2011). L'alternative est une montée plus forte des prix des fossiles, pour atteindre un niveau de 30% supérieur en 2050. L'hypothèse basse (notée 0) sera représentée en noir tandis que l'hypothèse haute (notée 1) sera représentée en rouge<sup>1</sup>.

### 3.2.3 Mise en place de politiques et mesures (résidentiel et transport)

- Résidentiel
  - Eco-PTZ
  - Crédit d'impôt développement durable
  - Réglementation thermique
  - Obligation de rénovation
- Transports
  - Bonus-Malus sur véhicules neufs
  - Politiques d'infrastructures (formes urbaines, multimodalité des infrastructures)

<sup>1</sup> Les couleurs indiquées dans cette partie renvoient à l'annexe et aux figures qui y sont rassemblées.

- Logistique transport de fret
- Electricité
  - Politiques de soutien aux technologies non carbonées
- Modes de vie
  - Sobriété (décroissance du contenu matériel des préférences des ménages)

L'hypothèse sans politiques et mesures (notée 0) sera représentée en noir tandis que l'hypothèse avec politiques et mesures (notée 1) sera représentée en rouge.

### 3.2.4 Coûts du nucléaire à construire

L'incertitude sur les coûts d'investissement est décrite par deux scénarios alternatifs pour les nouvelles constructions : 2909 €/kW pour l'hypothèse basse et 3636 €/kW pour l'hypothèse haute.

### 3.2.5 Scénarios de déclassement du nucléaire existant

L'hypothèse basse (sortie rapide – notée 0) sera représentée en noir tandis que l'hypothèse moyenne (prolongement de 20 ans d'une centrale sur deux – notée 1) sera représentée en rouge et l'hypothèse haute (prolongement de 20 ans de toutes les centrales – notée 2) sera représentée en vert.

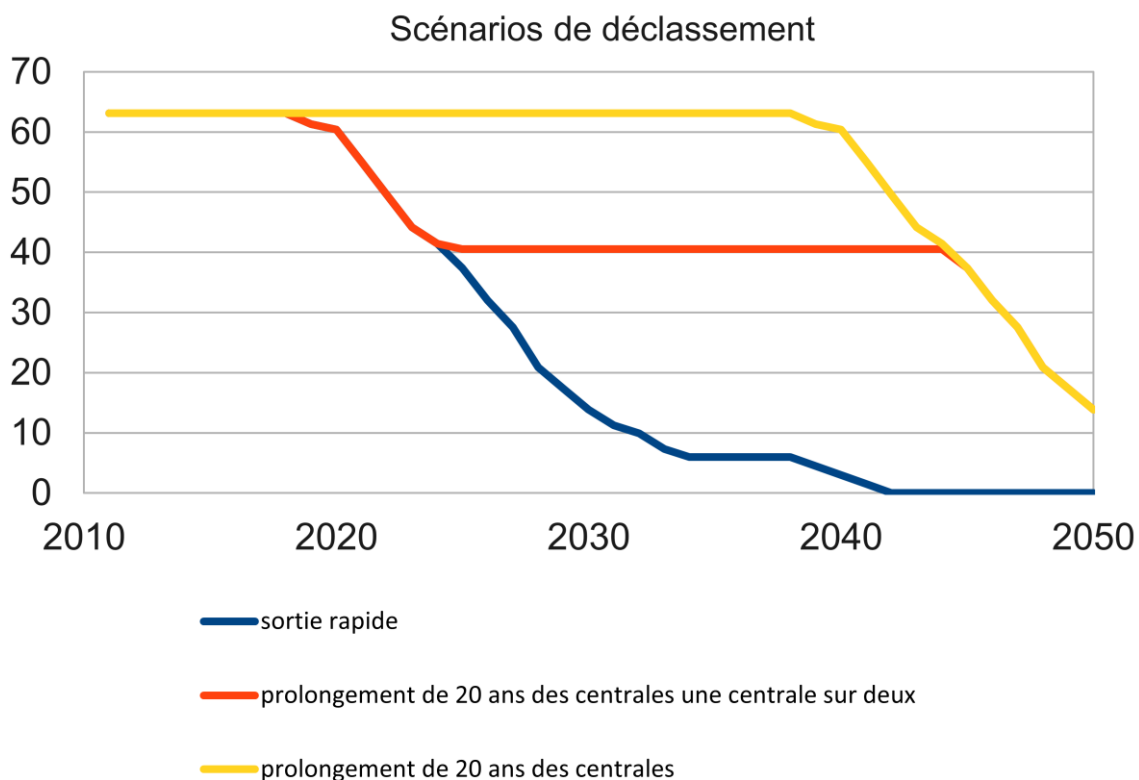


Figure 18 : Scénarios alternatifs de déclassement des capacités nucléaires (GW)

### 3.2.6 Mise en place de politiques et mesures de maîtrise de la demande d'électricité

Ces mesures, additionnelles aux mesures citées à la section 4.2.3 concernent spécifiquement le secteur électrique. Elles se composent de deux volets : promotion accrue des ENR intermittentes au sein du mix électrique (qui présupposent notamment une adaptation du réseau électrique et/ou des moyens de pointe et/ou des moyens de stockage) et des mesures de MDE renforcées pour aplanir la courbe de charge (voire réduire la charge totale demandée).

Dans les graphes en annexe, l'hypothèse basse (aucune mesure de MDE – notée 0) sera représentée en noir tandis que l'hypothèse moyenne (MDE aplanissant la courbe de charge sans réduction additionnelle de la demande et pénétration équivalente des ENR intermittentes – notée 1) sera représentée en rouge et l'hypothèse haute (MDE aplanissant la courbe de charge avec réduction additionnelle de la demande et pénétration renforcée des ENR intermittentes – notée 2) sera représentée en vert.

### 3.2.7 Mode de recyclage de la taxe carbone

L'atteinte du Facteur 4 passe, dans la modélisation Imaclim, par la mise en place d'un ensemble de politiques climatiques dont une taxe carbone et des politiques d'infrastructure. Les revenus de la taxe carbone sont récoltés par l'Etat et peut être réutilisée de plusieurs manières: versement d'un chèque vert au ménages, diminution des charges sur le travail pour renforcer la compétitivité de la France, subventions à la R&D « verte » ou à l'efficacité énergétique, l'aide aux ménages les plus précaires, un remboursement de la dette de la France, etc... Ici, nous retenons deux possibilités (par souci de simplification de l'analyse).

La recette de la taxe carbone peut être réutilisée intégralement lors du versement d'un chèque vert au ménage. Ces recettes peuvent alternativement être réutilisées pour diminuer les charges sur le travail, avec pour ambition de promouvoir la compétitivité de la France.

L'alternative « Chèque vert » (notée 0) sera représentée en noir tandis que l'alternative « Baisse des charges sur le travail » (notée 1) sera représentée en rouge.

## 3.3 Scénarios Facteur 4

### 3.3.1 Valeur de la taxe

Le Tableau 1: Valeur de la taxe selon les paramètres (€2004/tCO<sub>2</sub>) présente les valeurs moyennes de la taxe endogène le long de la trajectoire Facteur 4 (endogène dans le modèle), pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050 en fonction des valeurs des paramètres. Chaque valeur représente la valeur moyenne sur le nombre total de scénarios étant donné une valeur spécifique de paramètres (soit la moyenne sur N / 2 scénarios lorsque deux alternatives sont possibles ou N/3 lorsque trois alternatives sont possibles où N = 576 scénarios).

On doit d'abord remarquer la très grande différence entre la première période jusqu'à 2020 par rapport à la seconde période entre 2030 et 2050. En effet, les valeurs moyennes de taxe pour la première période sont inférieures à 75 €/tCO<sub>2</sub>, ce quelle que soit l'alternative choisie, la fourchette allant de 19 à 75 €/tCO<sub>2</sub>. Ceci retranscrit la faible ambition de l'objectif de réduction des émissions de GES en 2020 (-20%) au vu de la baisse des émissions induite par la crise économique et financière depuis 2008.

Sur la seconde période, les valeurs moyennes de la taxe carbone croissent en revanche très fortement pour atteindre des valeurs comprises entre 400 et 1200 €/tCO<sub>2</sub> en 2050 avec des variations très importantes selon les alternatives considérées<sup>2</sup>.

L'étude plus approfondie de ce tableau nous permet de déceler des déterminants importants de la taxe carbone, soit pour le court terme soit pour le plus à long terme. Ainsi, le prix international des ressources fossiles (paramètre exogène dans Imaclim-R France), détermine de manière incontestable la valeur de la taxe carbone en 2020. Ainsi, les valeurs moyennes pour un prix bas des énergies fossiles (respectivement un prix haut) correspondent aux valeurs de taxe les plus hautes (respectivement les plus basses) en 2020 comparativement aux autres paramètres. A cet horizon, la hausse du prix des ressources fossiles à court terme joue comme un signal carbone suffisant pour

---

<sup>2</sup> Ces chiffres qui peuvent paraître démesurément hauts se situent dans un contexte de très forte baisse des consommations d'énergie et se traduisent par des augmentations très modérées des budgets énergie des ménages.



réduire les émissions au niveau requis. En revanche, de manière contre-intuitive, à partir de 2040, la valeur moyenne de la taxe pour des prix des ressources fossiles élevées est supérieure à la valeur moyenne de la taxe pour des prix des ressources fossiles faibles. Au début de la période, le prix élevé des ressources fossiles a renforcé la décarbonisation de l'économie en pesant sur les choix où un signal faible est suffisant mais a de ce fait diminué le signal carbone en début de période jouant sur les décisions prises à long terme où un signal fort est nécessaire pour enclencher une transition. C'est par exemple le cas des transports et du résidentiel, secteurs à forte inertie pour lesquels un signal prix sur le court terme élevé est nécessaire pour permettre de générer des réductions d'émissions sur le long terme.

Année		2020	2030	2040	2050
Prix FF	Bas	75	631	809	830
	Haut	19	544	981	962
Politiques et Mesures	Sans	70	702	1072	1165
	Avec	23	474	718	627
Recyclage	Chèque vert	45	543	860	930
	Baisse charges travail	49	633	930	862
MDE	Sans	55	630	946	992
	MDE légère	47	586	903	898
	MDE forte	39	547	836	798
Nucléaire	CI <sup>3</sup> Faible	46	583	894	888
	CI <sup>3</sup> Fort	48	592	896	904
Scénario de déclassement	Sortie rapide	53	732	1071	925
	Prolongement 1/2	53	553	801	835
	Prolongement toutes	35	478	812	928

**Tableau 1: Valeur de la taxe selon les paramètres (€2004/tCO<sub>2</sub>)**

Ce diagnostic reste tout à fait valable sur les deux paramètres concernant la mise en place de politiques et mesures (paramètre sur transport et résidentiel et paramètre de MDE dans le secteur électrique). Les politiques et mesures sur les transports et le résidentiel diminuent la taxe carbone de deux tiers la valeur à court terme (2020) et de moitié à long terme (2050), notamment du fait du desserrement de la contrainte pesant sur ces secteurs à forte inertie. De la même manière, les politiques de MDE dans le secteur électrique (comprenant un renforcement des politiques ENR), impactent à court comme à long terme la valeur de la taxe (un tiers en 2020 et 20% en 2050 pour l'hypothèse la plus forte par rapport à la moins forte). Il est important de noter que dans l'espace des hypothèses étudiées, un renforcement de l'ambition des politiques et mesures s'accompagne toujours d'une baisse de la taxe

La différenciation entre les deux hypothèses de recyclage provient du fait qu'une baisse des charges sur le travail a un impact positif sur l'économie, ce surplus d'activité nécessitant alors une taxe plus importante pour atteindre un niveau donné d'émissions. A long terme (2050), la taxe se trouve être moins élevée du fait de la constance d'un signal fort sur toute la durée 2020-2040 (et

<sup>3</sup> Coût d'investissement

préparant l'économie à la transition).

Deux paramètres concernent le nucléaire : le paramètre de prolongation des centrales existantes et le coût des nouvelles centrales.

Comparativement aux autres paramètres étudiés ici, le coût d'investissement des nouvelles centrales n'a que très peu d'impact sur la valeur de la taxe, les deux alternatives conduisant aux mêmes taux de pénétration du nucléaire.

En revanche, l'alternative sur le déclassement a un fort impact, tout au moins à court terme. De manière homogène, sur la période 2020-2030, la prolongation de la durée de vie des centrales diminue la valeur de la taxe, car rend l'objectif plus facile à atteindre (en permettant la production d'une énergie moins carbonée). A plus long terme, le scénario le plus favorable semble être le scénario médian (prolongement d'une centrale sur deux). La sortie rapide du nucléaire a ainsi permis l'entrée de plus de gaz au sein du mix électrique, renforçant le poids de la contrainte carbone. La prolongation de toutes les centrales a eu pour effet d'atténuer les efforts sur le court terme (notre modélisation reposant sur l'hypothèse d'agents myopes).

### 3.3.2 Effet macroéconomique

Année		2020	2030	2040	2050
Prix FF	Bas	27635	28410	32804	36669
	Haut	27334	28159	31484	35625
Politiques et Mesures	Sans	27322	27772	31517	35129
	Avec	27647	28797	32770	37164
Recyclage	Chèque vert	27454	27962	31694	35582
	Baisse charges travail	27515	28607	32594	36712
MDE	Sans	27429	28029	31836	35664
	MDE légère	27481	28265	32055	36047
	MDE forte	27543	28559	32540	36730
Nucléaire	CI <sup>4</sup> Faible	27491	28316	32169	36200
	CI <sup>4</sup> Fort	27478	28253	32118	36094
Scénario de déclassement	Sortie rapide	27440	27352	31158	35844
	Prolongement 1/2	27446	28526	32604	36448
	Prolongement toutes	27568	28976	32669	36149

**Tableau 2 : PIB per capita selon les paramètres (€2001/cap)**

Le Tableau 2 : PIB per capita selon les paramètres (€2001/cap) présente les valeurs moyennes du PIB réel (endogène dans le modèle) le long de la trajectoire Facteur 4, pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050 en fonction des valeurs des paramètres. Chaque valeur représente la valeur moyenne sur le nombre total de scénarios étant donné une valeur spécifique de paramètres (soit la moyenne sur N / 2 scénarios lorsque deux alternatives sont possibles ou N/3 lorsque trois alternatives sont possibles où N = 576 scénarios).

<sup>4</sup> Coût d'investissement

L'impact des scénarios de prix des ressources fossiles sur le PIB est relativement faible sur le moyen terme (2030) avec un PIB plus haut pour des valeurs des fossiles plus faibles, malgré une taxe carbone bien plus élevée. A long terme (2050), la différence s'amplifie. L'effet cumulé de prix fossiles élevés et d'une taxe carbone plus importante pèse alors fortement sur le PIB. Cette différence de niveau de PIB, aussi bien à long terme qu'à court terme, traduit le fait que dans les deux cas, l'on assiste à une augmentation des prix de l'énergie. Dans le premier cas, cela traduit une augmentation de la rente qui sort de l'économie pour aller rétribuer les producteurs de fossiles alors que dans le second cas, cette rente, via la taxe carbone payée à l'Etat, est recyclée dans l'économie.

L'impact des politiques et mesures et de la MDE sont quant à elles toutes positives. Plus elles sont ambitieuses, plus la valeur moyenne du PIB augmente. Ce résultat est la combinaison d'un découplage plus fort de l'économie et de l'énergie, donc une plus forte résilience à la hausse des prix de l'énergie et d'un niveau requis moindre de la taxe puisque les PM contribuent à la décarbonisation. A l'horizon 2050, l'impact des politiques et mesures permet d'atteindre un PIB de 6% plus élevé que sans PM, et les mesures de MDE permettent d'atteindre un PIB moyen de 3% supérieur.

Un recyclage dans un chèque vert forfaitaire va stimuler la croissance via la consommation des ménages et leur investissement dans l'appareil productif. Un recyclage dans la baisse des charges sur le travail permet une baisse des coûts de production et donc stimule la compétitivité des industries. Ceci se ressentira au niveau national où le prix moyen du bien (respectivement la quantité produite à valeur équivalente) sera diminué (respectivement augmentée). En outre, au niveau international, à prix extérieurs égaux (ce qui est une hypothèse de scénarisation), la production française sera plus compétitive. Ceci explique pourquoi le PIB avec recyclage du produit de la taxe carbone vers une baisse des charges sur le travail est en moyenne plus élevé sur toute la période que le PIB où le produit de la taxe est recyclé vers un chèque vert forfaitaire.

En ce qui concerne les hypothèses nucléaires, le coût d'investissement (parmi les alternatives étudiées) du nucléaire n'a que très peu d'impact sur la valeur moyenne du PIB, le niveau de pénétration du nucléaire étant équivalent dans les deux cas. En revanche, le scénario de déclassement a un fort impact, tout au moins à court terme. De manière homogène, sur la période 2020-2030, la prolongation de la durée de vie des centrales augmente la valeur moyenne du PIB, car rend l'objectif plus facile à atteindre (en permettant la production d'une énergie décarbonée). A plus long terme, le scénario le plus favorable semble être le scénario médian (prolongement d'une centrale sur deux). La sortie rapide du nucléaire a ainsi permis l'entrée de plus de gaz au sein du mix électrique, renforçant le poids de la contrainte carbone. Comme pour l'étude de la taxe, la prolongation de toutes les centrales a eu pour effet d'atténuer les efforts sur le court terme (notre modélisation reposant sur l'hypothèse d'agents myopes).

Enfin, ressort ici un des éléments de conclusions de la partie 3 précédente à savoir que le choix de la prolongation de la durée de vie des centrales existantes est d'un ordre de grandeur moindre que la mise en place de politiques et mesures ambitieuses, y compris du point de vue de l'atteinte du Facteur 4. De manière homogène, sur la période 2020-2030, la prolongation de la durée de vie des centrales diminue la valeur de la taxe, car rend l'objectif plus facile à atteindre (en permettant la production d'une énergie décarbonée). Par contre, à plus long terme, aucun scénario de déclassement ne se démarque réellement. Le scénario médian (prolongement d'une centrale sur deux) présente un léger avantage. En effet, le renouvellement du parc est plus étalé dans le temps et la contrainte carbone s'applique donc sur une quantité plus faible de nouveaux moyens de production. La sortie rapide du nucléaire a ainsi permis l'entrée de plus de gaz au sein du mix électrique, renforçant le poids de la contrainte carbone dès le court terme, ce qui permet de mieux se préparer pour le plus long terme et de bénéficier d'effets d'apprentissages sur les technologies non carbonées, ce qui n'est pas possible dans le cas de la prolongation de la durée de vie de toutes les centrales. La prolongation de toutes les centrales a donc pour effet d'atténuer les efforts sur le court

et moyen terme (notre modélisation reposant sur l'hypothèse d'agents myopes).

Au travers de l'analyse de l'impact des différentes alternatives, il ressort que le paramètre le plus déterminant de l'impact macroéconomique est celui des politiques et mesures. Le paramètre de recyclage de la taxe permet également d'amortir l'impact de la taxe. Le paramètre inhérent au déclasserement des centrales nucléaires est important à moyen terme, mais moins déterminant à long terme.

Année		2020	2030	2040	2050
Prix FF	Bas	1,11	1,14	1,32	1,47
	Haut	1,10	1,13	1,26	1,43
Politiques et Mesures	Sans	1,10	1,11	1,26	1,41
	Avec	1,11	1,16	1,31	1,49
Recyclage	Chèque vert	1,10	1,12	1,27	1,43
	Baisse charges travail	1,10	1,15	1,31	1,47
MDE	Sans	1,10	1,12	1,28	1,43
	MDE légère	1,10	1,13	1,29	1,45
	MDE forte	1,11	1,15	1,31	1,47
Nucléaire	CI <sup>5</sup> Faible	1,10	1,14	1,29	1,45
	CI <sup>5</sup> Fort	1,10	1,13	1,29	1,45
Scénario de déclasserement	Sortie rapide	1,10	1,10	1,25	1,44
	Prolongement 1/2	1,10	1,14	1,31	1,46
	Prolongement toutes	1,11	1,16	1,31	1,45
Politiques et Mesures + MDE forte	Sans	1.09	1.10	1.25	1.40
	Avec	1.11	1.17	1.33	1.52

Tableau 3 : PIB per capita selon les paramètres (base 1 en 2010)

<sup>5</sup> Coût d'investissement

### 3.3.3 Prix de l'électricité

Le Tableau 4 : Augmentation du prix de l'électricité selon les paramètres présente les valeurs moyennes du prix de l'électricité (endogène dans le modèle) le long de la trajectoire Facteur 4, pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050 en fonction des valeurs des paramètres. Chaque valeur représente la valeur moyenne sur le nombre total de scénarios étant donné une valeur spécifique de paramètres (soit la moyenne sur N / 2 scénarios lorsque deux alternatives sont possibles ou N/3 lorsque trois alternatives sont possibles où N = 576 scénarios).

Année		2020	2030	2040	2050
Prix FF	Bas	2.7%	66.1%	12.7%	-7.7%
	Haut	-5.1%	64.1%	54.6%	8.8%
Politiques et Mesures	Sans	4.5%	77.8%	33.9%	1.5%
	Avec	-6.9%	52.3%	33.5%	-0.4%
Recyclage	Chèque vert	-1.5%	59.5%	31.7%	1.1%
	Baisse charges travail	-0.9%	70.7%	35.6%	0.0%
MDE	Sans	1.5%	83.6%	53.9%	13.3%
	MDE légère	-0.5%	69.4%	40.2%	8.7%
	MDE forte	-4.5%	42.3%	6.9%	-20.5%
Nucléaire	CI <sup>6</sup> Faible	-1.5%	63.3%	31.8%	-2.0%
	CI <sup>6</sup> Fort	-0.9%	66.8%	35.5%	3.1%
Scénario de déclassement	Sortie rapide	0.8%	137.8%	99.1%	14.2%
	Prolongement 1/2	0.3%	43.9%	6.6%	-5.7%
	Prolongement toutes	-4.7%	13.4%	-4.7%	-6.9%

**Tableau 4 : Augmentation du prix de l'électricité selon les paramètres (par rapport à 2010)**

<sup>6</sup> Coût d'investissement

### 3.3.4 Coûts complets de l'électricité

Le Tableau 5 : Coûts complets de l'électricité selon les paramètres présente les valeurs moyennes des coûts complets de l'électricité le long de la trajectoire Facteur 4 (endogène dans le modèle), pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050 en fonction des valeurs des paramètres. Chaque valeur représente la valeur moyenne sur le nombre total de scénarios étant donné une valeur spécifique de paramètres (soit la moyenne sur N / 2 scénarios lorsque deux alternatives sont possibles ou N/3 lorsque trois alternatives sont possibles où N = 576 scénarios).

Année		2020	2030	2040	2050
Prix FF	Bas	402	719	539	426
	Haut	378	714	781	522
Politiques et Mesures	Sans	412	775	669	483
	Avec	368	659	652	465
Recyclage	Chèque vert	389	688	641	475
	Baisse charges travail	391	746	679	473
MDE	Sans	400	802	784	542
	MDE légère	393	739	698	516
	MDE forte	377	610	499	362
Nucléaire	CI <sup>7</sup> Faible	389	708	650	462
	CI <sup>7</sup> Fort	391	726	670	485
Scénario de déclassement	Sortie rapide	397	1072	1040	555
	Prolongement 1/2	395	609	501	434
	Prolongement toutes	378	469	440	432

Tableau 5 : Coûts complets de l'électricité selon les paramètres en €/Mtep<sup>8</sup>

<sup>7</sup> Coût d'investissement

<sup>8</sup> Pour avoir le cout en €/MWh il faut multiplier par 0.086.

### 3.3.5 Coûts d'investissement du secteur électrique

Le Tableau 6 : Coûts d'investissement totaux selon les paramètres présente les valeurs moyennes de l'investissement total dans le secteur électrique le long de la trajectoire Facteur 4 (endogène dans le modèle), pour les années 2020, 2030, 2040 et 2050 en fonction des valeurs des paramètres. Chaque valeur représente la valeur moyenne sur le nombre total de scénarios étant donné une valeur spécifique de paramètres (soit la moyenne sur N / 2 scénarios lorsque deux alternatives sont possibles ou N/3 lorsque trois alternatives sont possibles où N = 576 scénarios).

Année		2020	2030	2040	2050
Prix FF	Bas	5213	8455	12745	7292
	Haut	5906	8841	12167	9107
Politiques et Mesures	Sans	6016	8570	13446	8175
	Avec	5103	8726	11466	8223
Recyclage	Chèque vert	5531	8366	12357	8298
	Baisse charges travail	5587	8931	12555	8101
MDE	Sans	5990	9464	13006	7959
	MDE légère	5829	9557	12766	8191
	MDE forte	4859	6924	11597	8448
Nucléaire	CI <sup>9</sup> Faible	5524	8373	12302	8182
	CI <sup>9</sup> Fort	5595	8923	12610	8216
Scénario de déclassement	Sortie rapide	5603	8743	12652	7549
	Prolongement 1/2	5759	9125	12307	7638
	Prolongement toutes	5316	8076	12410	9412

**Tableau 6 : Coûts d'investissement totaux selon les paramètres**

<sup>9</sup> Coût d'investissement

## 4 Conclusion

L'analyse des différents scénarios de la partie 3 – scénarios de référence, sans taxe carbone – montre que dans l'ensemble des scénarios qui sont étudiés combinant les 3 hypothèses de prolongation des centrales nucléaires existantes (non prolongation, prolongation de la moitié des centrales, prolongation de toutes les centrales), et 3 hypothèses quant au développement de futures centrales nucléaires (coût élevé, coût modéré et sortie du nucléaire), le résultat le plus sensible est celui des émissions de gaz à effet de serre. Une sortie du nucléaire conduit à un remplacement du parc par des ENR et des centrales au gaz. Avec des hypothèses peu ambitieuses sur les potentiels tant techniques, qu'économiques des ENR, les hausses d'émissions sont très importantes. Les autres paramètres analysés ici que sont le prix, le PIB ou le budget énergie des ménages ne se distinguent guère au gré des scénarios. Seuls 2 présentent un impact plus marqué, en cas de non prolongation de la durée de vie des centrales, le scénario de coût haut du nucléaire à 3636€/kW et le scénario de sortie du nucléaire. Néanmoins les prix plus hauts de l'électricité ne se retrouvent que partiellement dans le budget des ménages puisque l'électricité ne constitue qu'une part minoritaire du panier énergétique des ménages. Enfin l'impact sur le PIB reste faible pour ces deux scénarios. Ces tendances haussières du prix de l'électricité et du budget énergie des ménages, ainsi que la forte hausse des émissions dans le cas d'une sortie du nucléaire sont par contre amorties par des politiques et mesures permettant de réduire la demande d'énergie dans tous les secteurs.

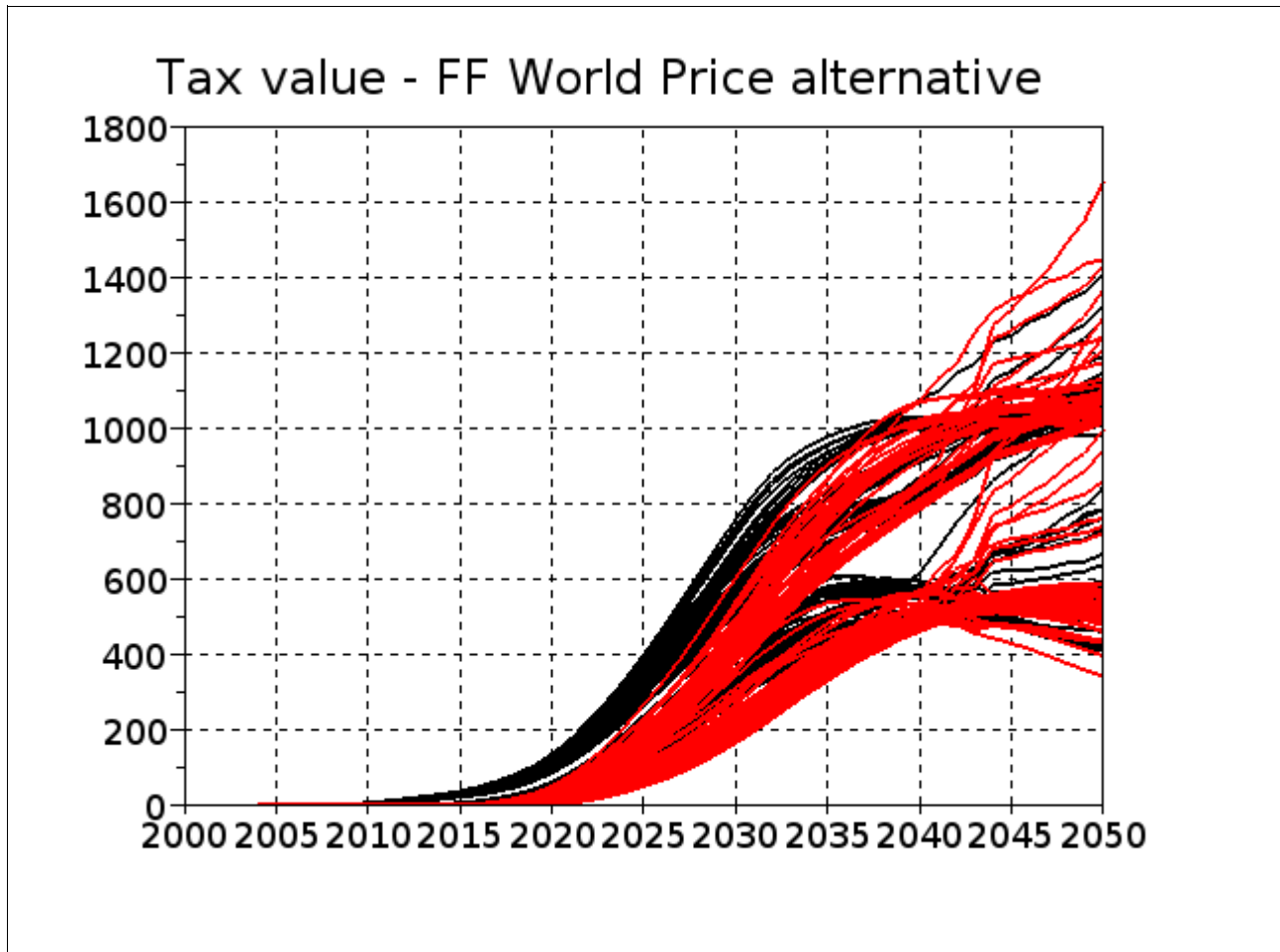
Dans le cadre de scénarios facteur 4, et de la mise en œuvre d'une taxe carbone endogène au modèle pour respecter cette contrainte, l'analyse de sensibilité aux paramètres que sont le prix des énergies fossiles, la mise en œuvre de politiques et mesures, et de maîtrise de la demande d'électricité, le recyclage des revenus de la taxe carbone, le coût d'investissement des EPR et le rythme de déclassement des centrales s'est concentrée sur la valeur de la taxe à mettre en œuvre et sur l'impact sur le PIB. Ces deux éléments d'analyse montrent que le facteur le plus important pour faire baisser la taxe carbone nécessaire pour respecter la contrainte et ne pas grever la croissance économique est la mise en œuvre de politiques et mesures ambitieuses de maîtrise de la demande d'énergie. Le recyclage des revenus de la taxe sur la baisse des charges sur le travail contribuent également à la croissance économique même si du coup le niveau de taxe nécessaire s'avère plus élevé. L'impact du rythme de déclassement des centrales est important mais principalement sur le moyen terme et peu sur le long terme.



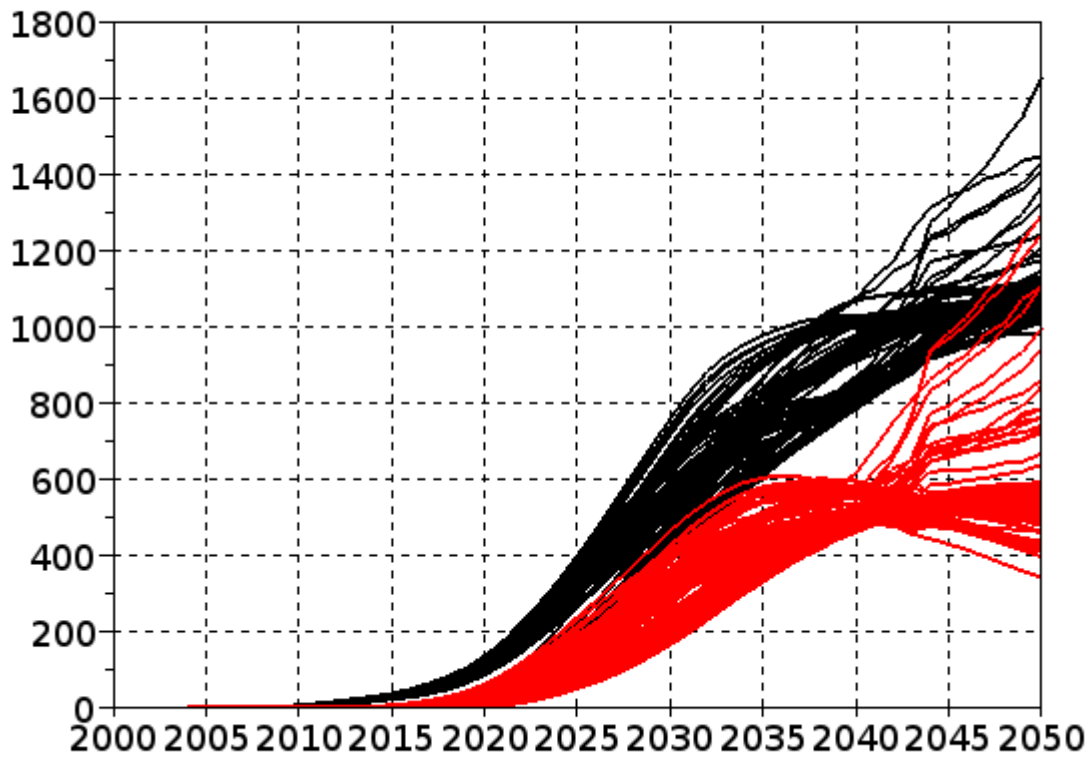
## 5 Annexe : graphes illustrant les alternatives Facteur 4

### 5.1 Déterminants de la valeur de la taxe C nécessaire pour un Facteur 4 en 2050

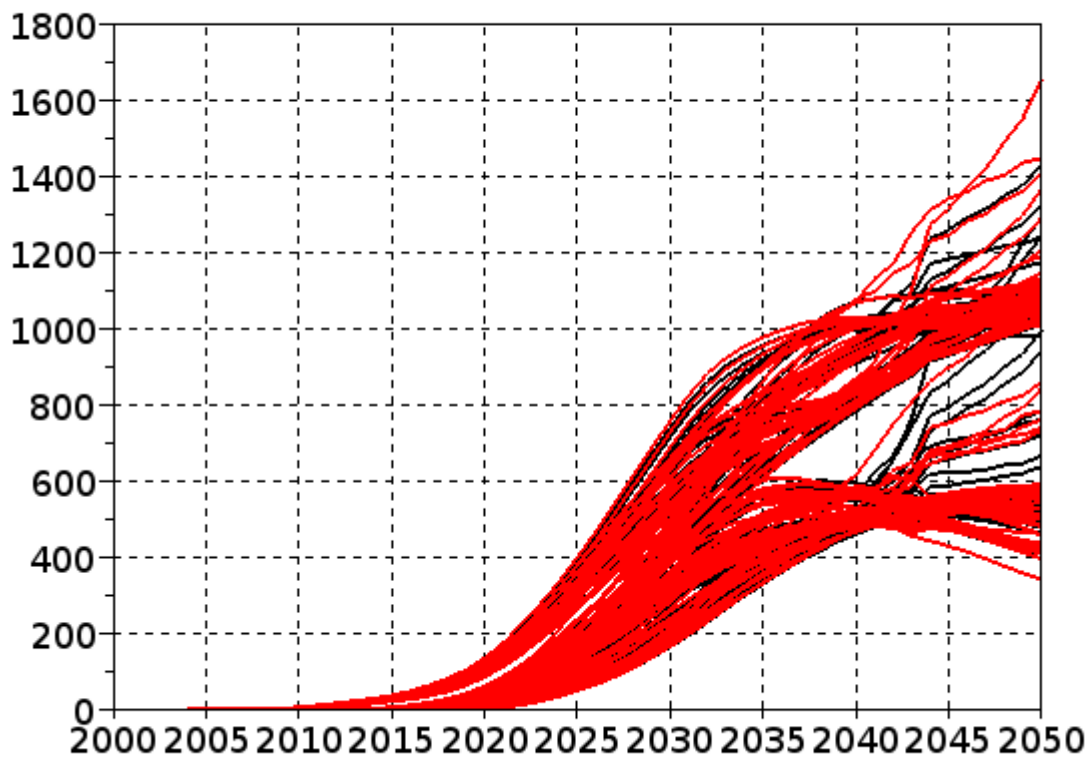
#### 5.1.1 Avec possibilité de construire de nouveaux réacteurs nucléaires



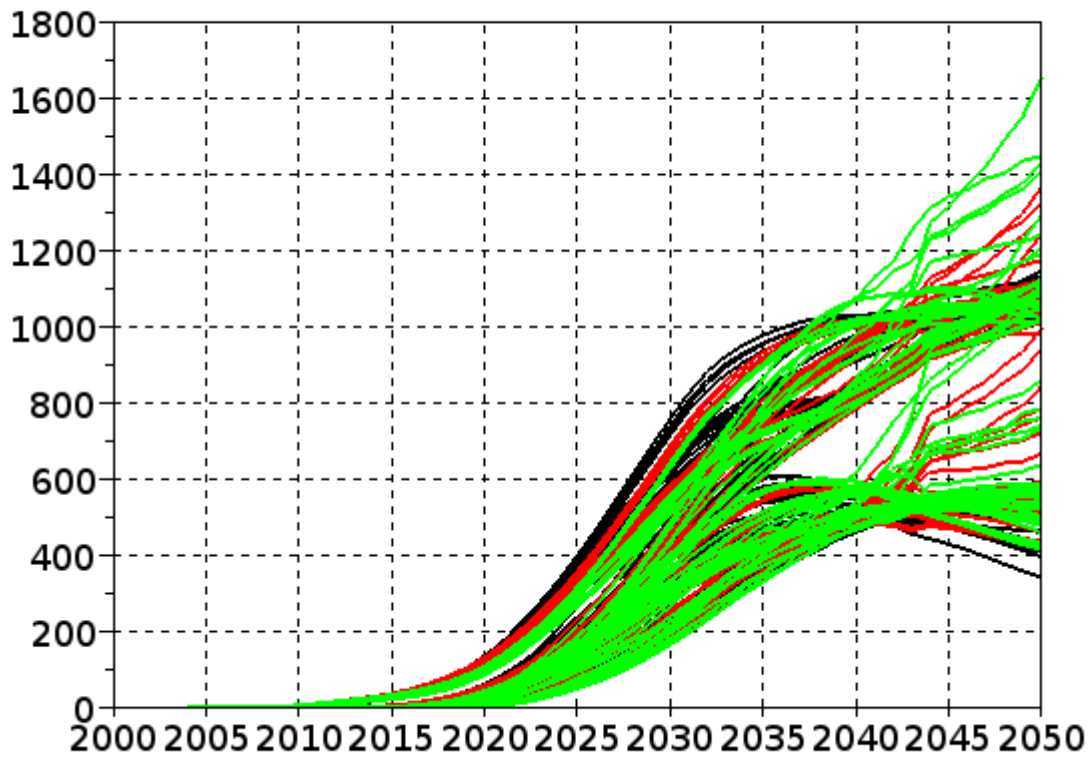
Tax value - Policies and Measures alternative



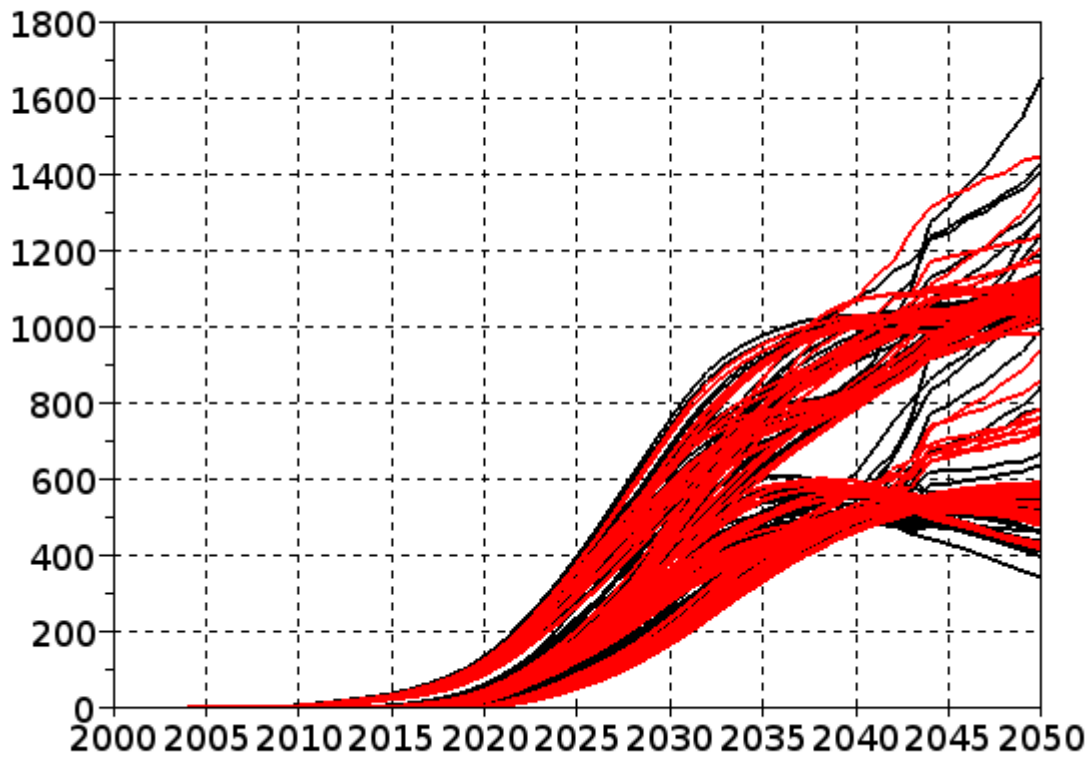
Tax value - Nuclear Cost alternative



Tax value - Nuclear Scenario alternative



Tax value - Flat LDC alternative



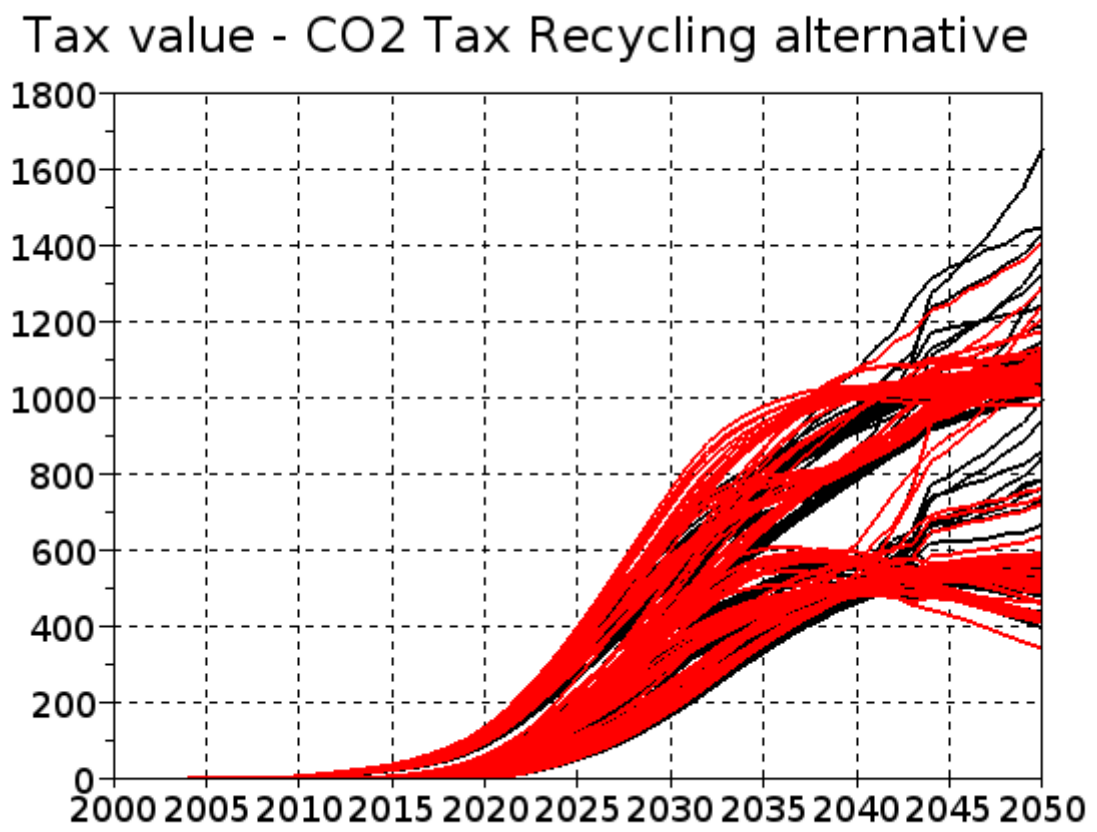
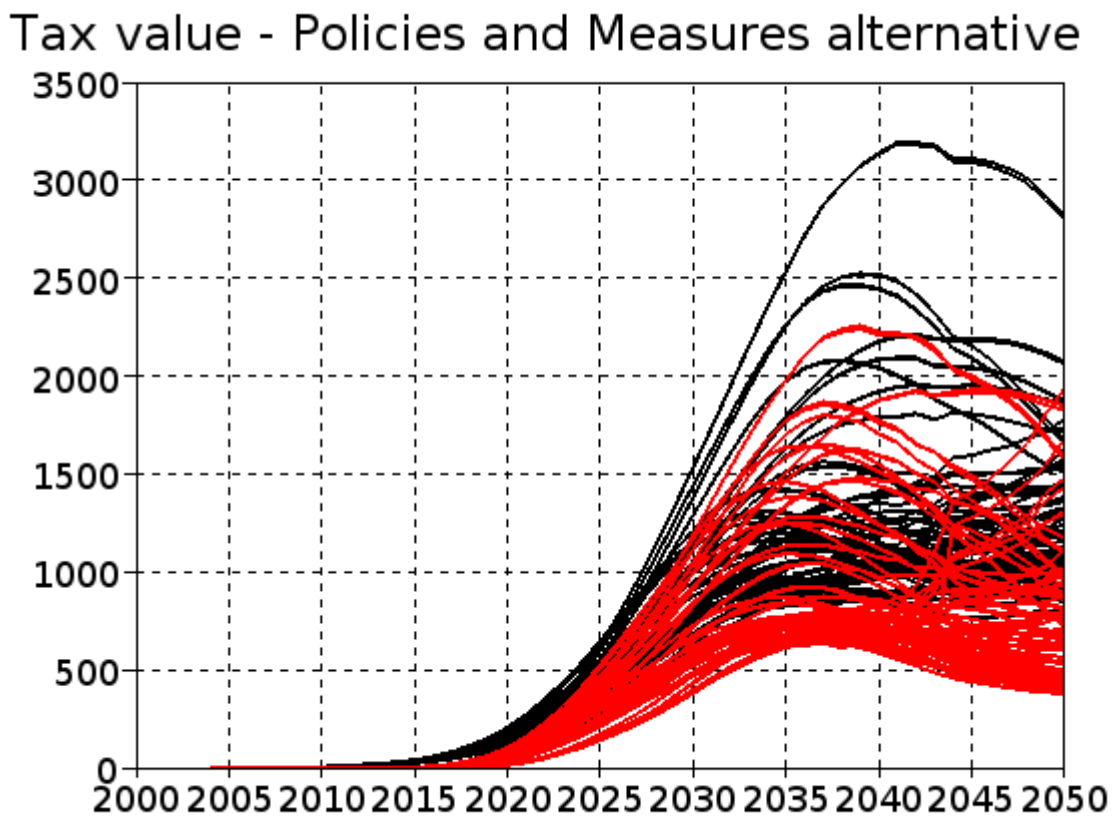
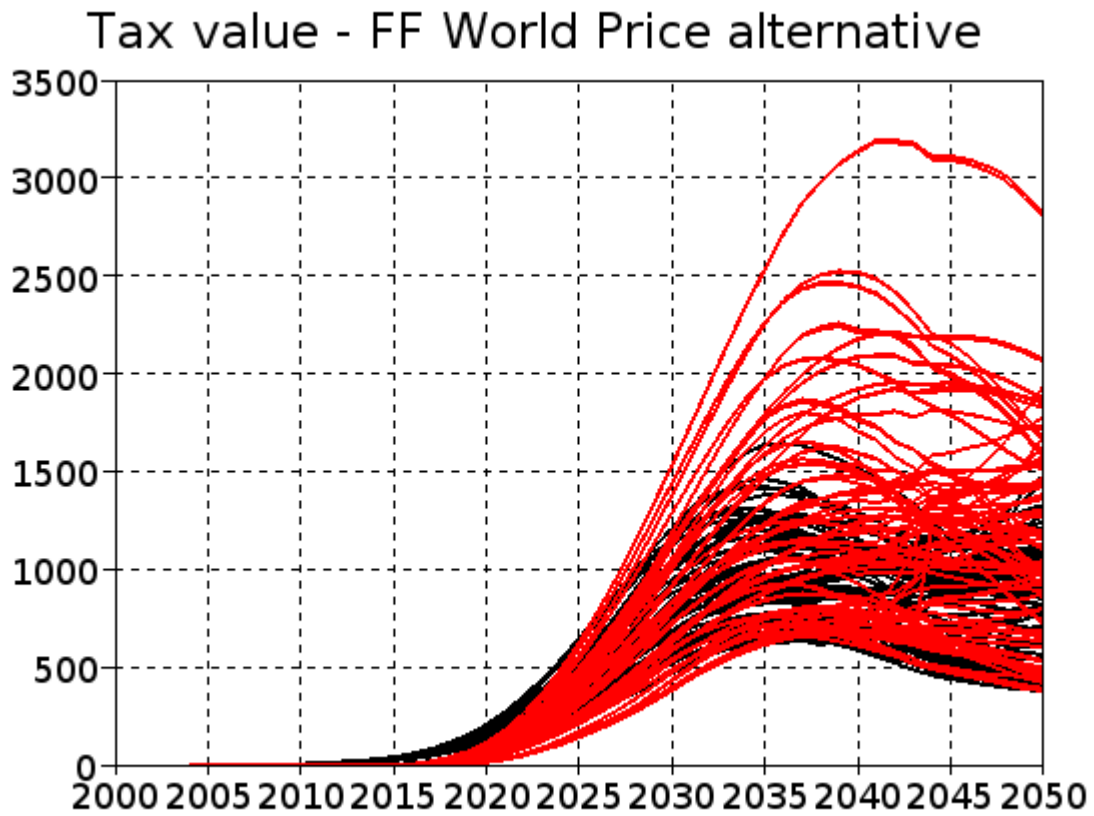
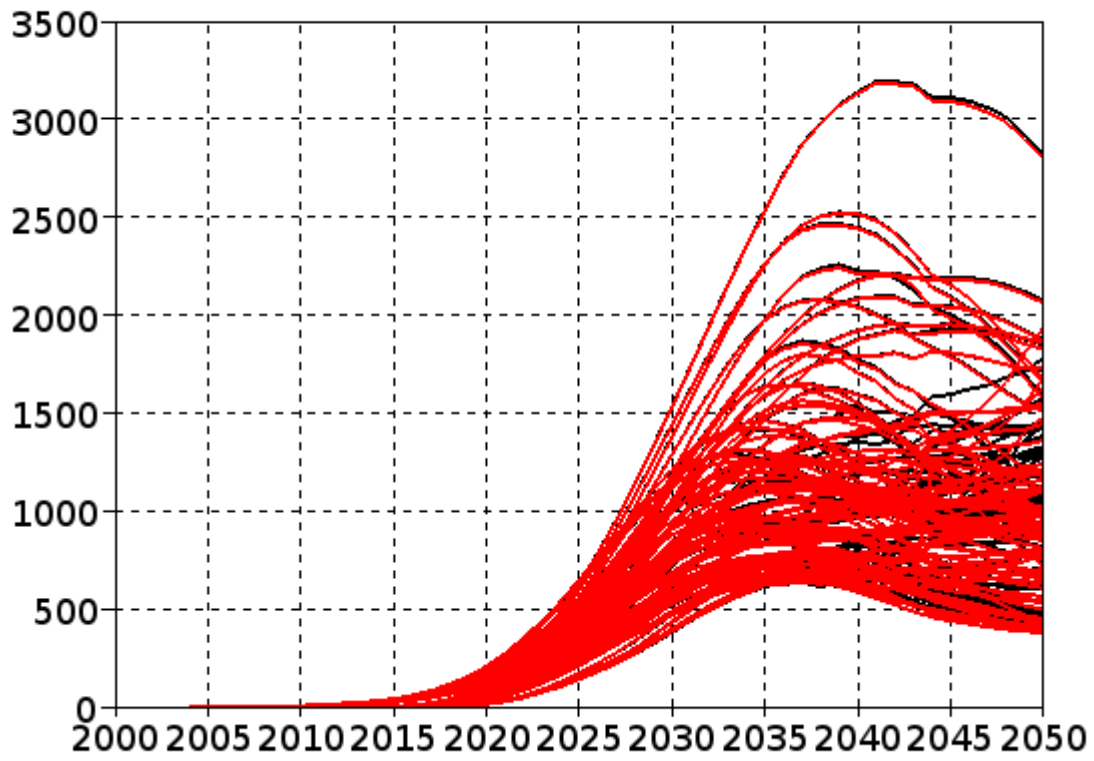


Figure 19 : Valeur de la taxe endogène - cas nouveau nucléaire autorisé

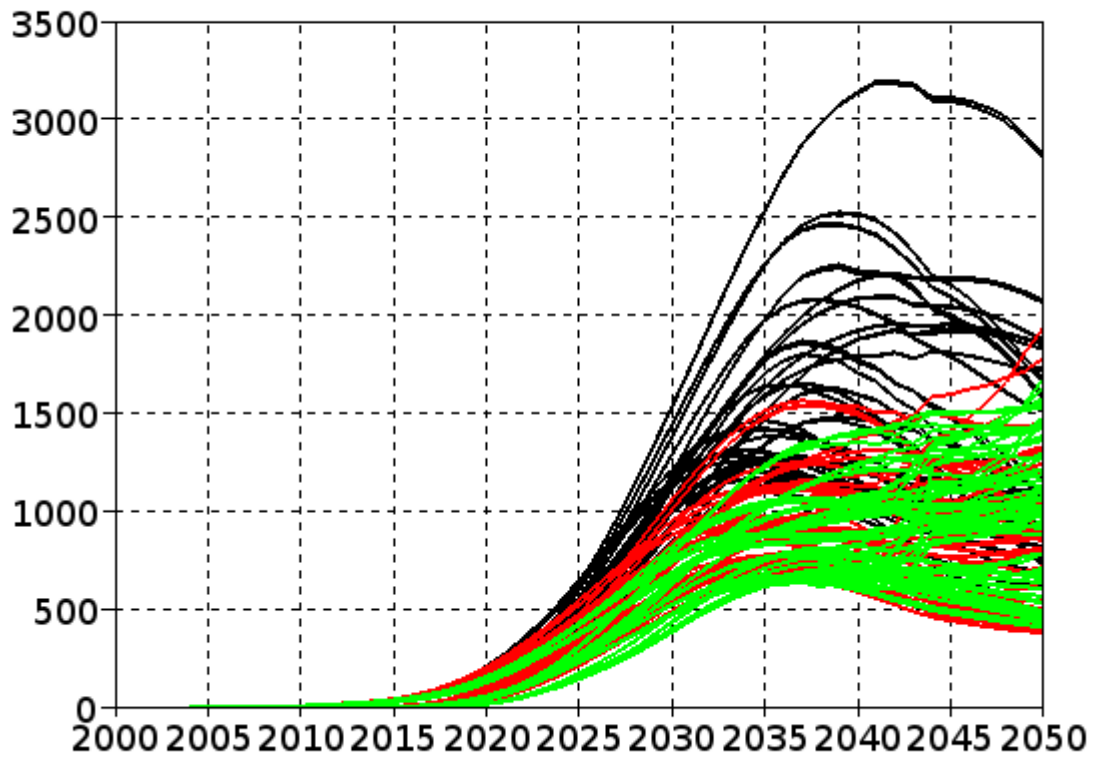
### 5.1.2 Sous contrainte de sortie du nucléaire (à court, moyen ou long terme)



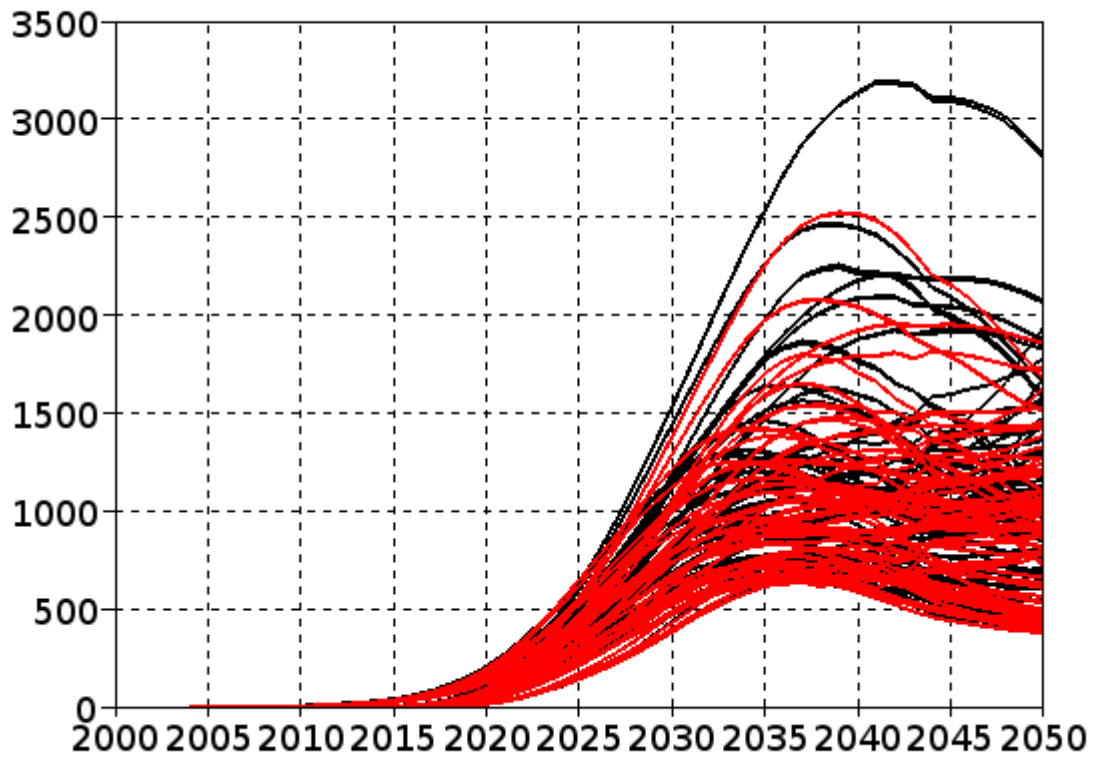
Tax value - Nuclear Cost alternative



Tax value - Nuclear Scenario alternative



### Tax value - Flat LDC alternative



### Tax value - CO2 Tax Recycling alternative

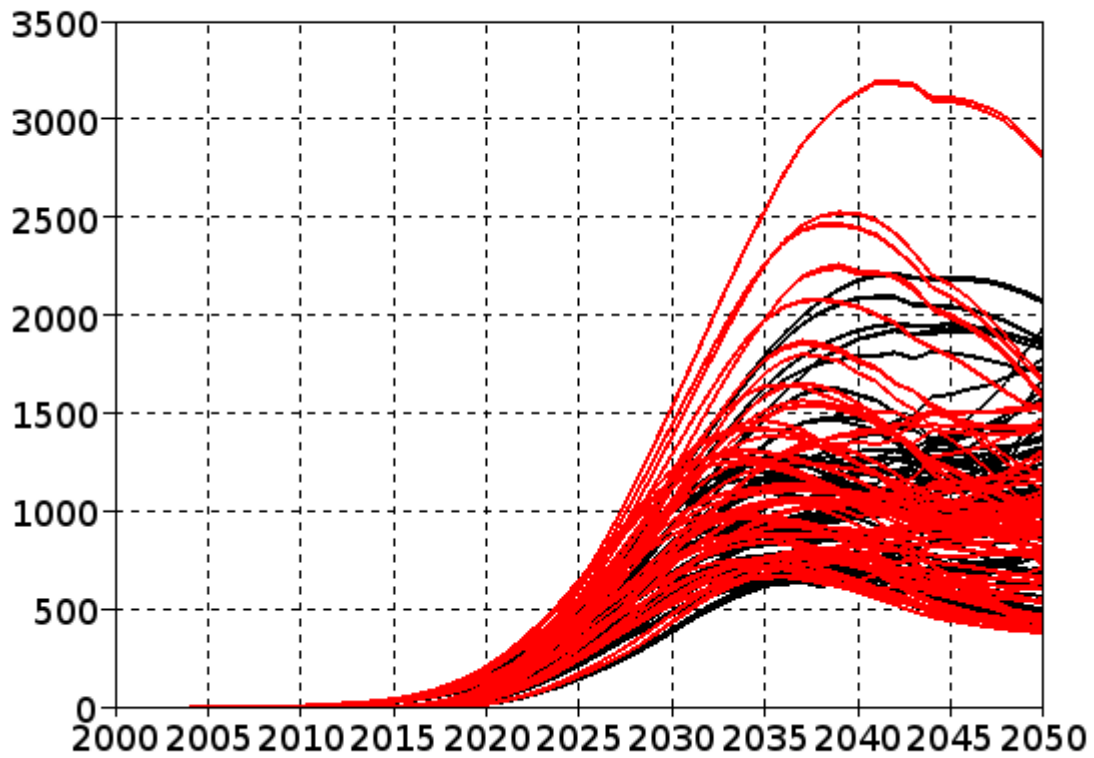
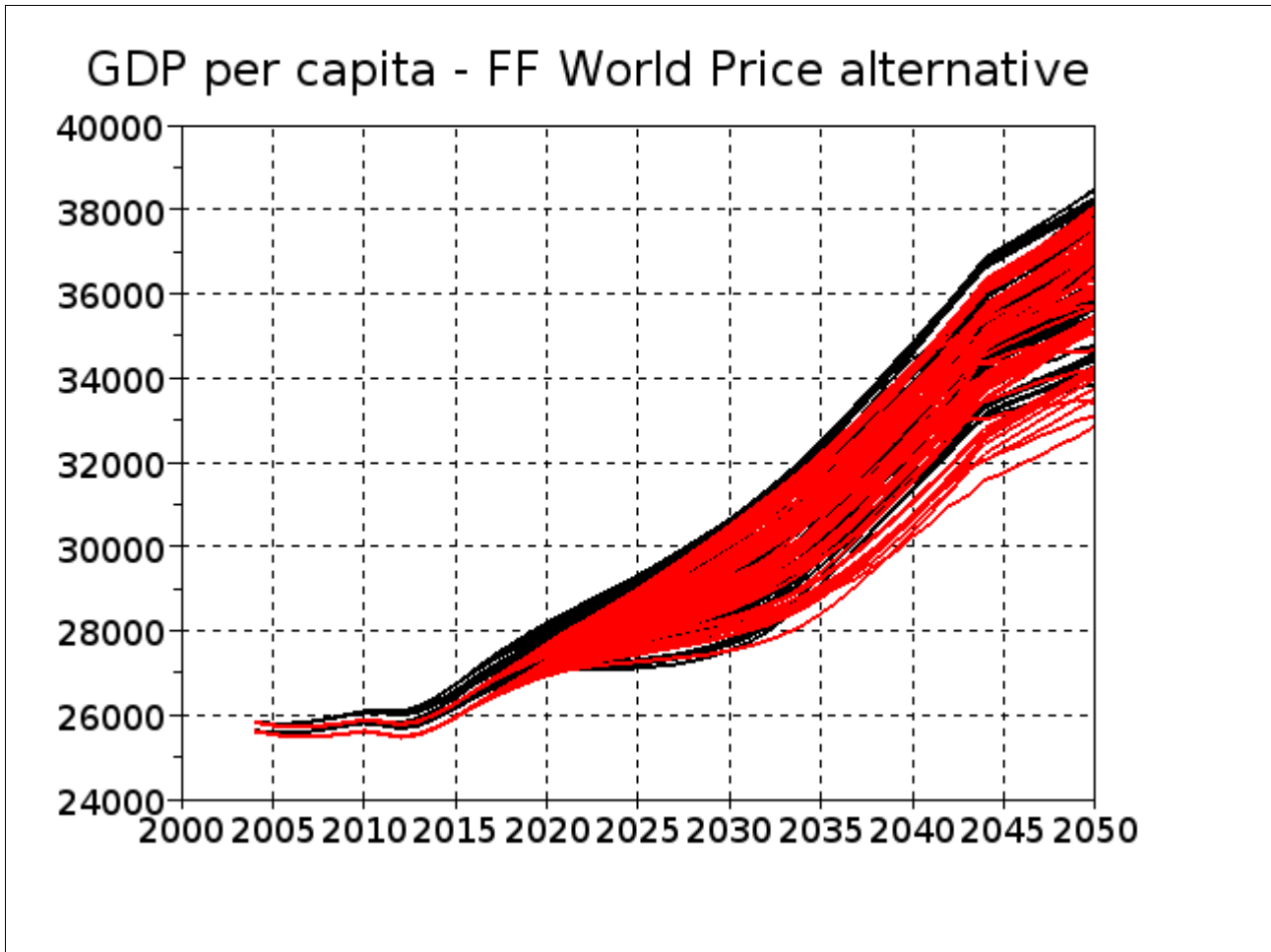


Figure 20 : Valeur de la taxe endogène - cas nouveau nucléaire banni

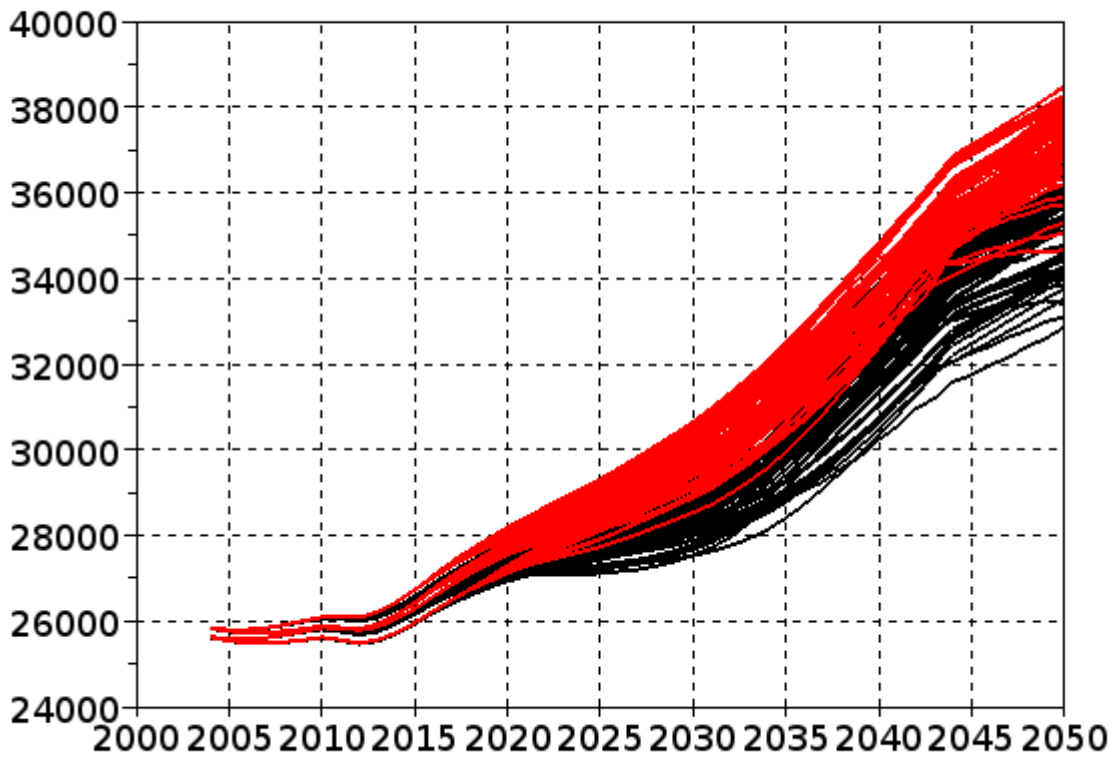
## 5.2 Déterminants des pertes de PIB

### 5.2.1 Avec possibilité de construire de nouveaux réacteurs nucléaires

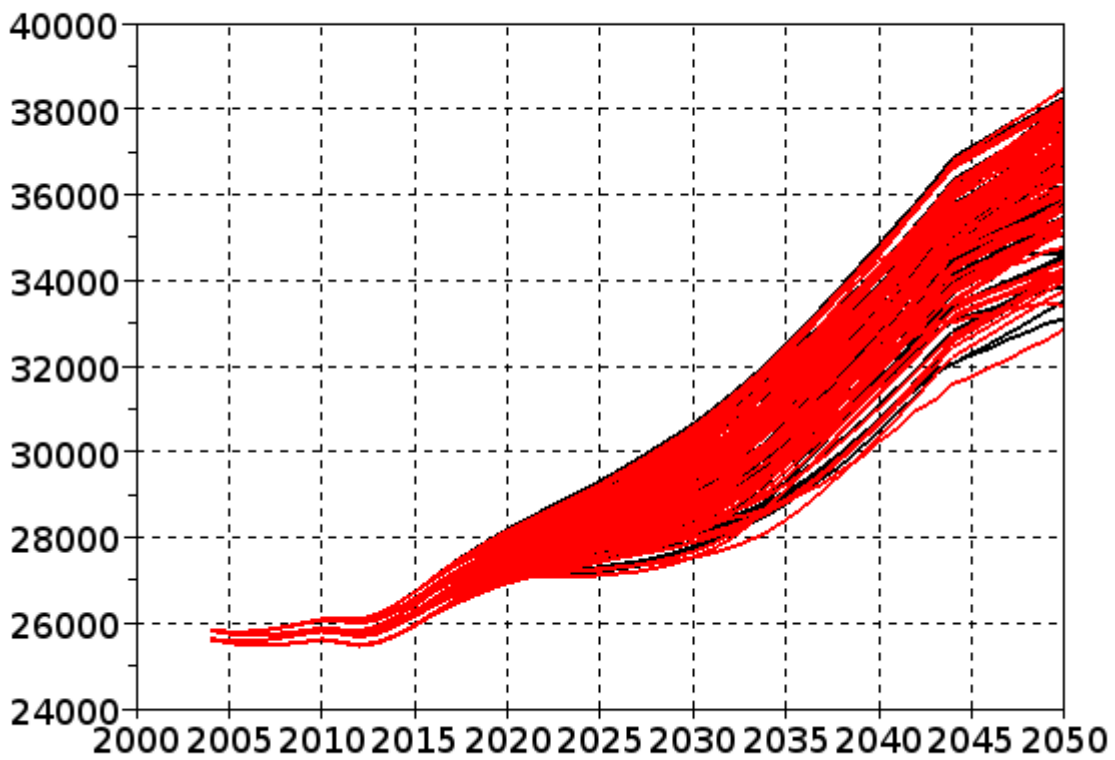




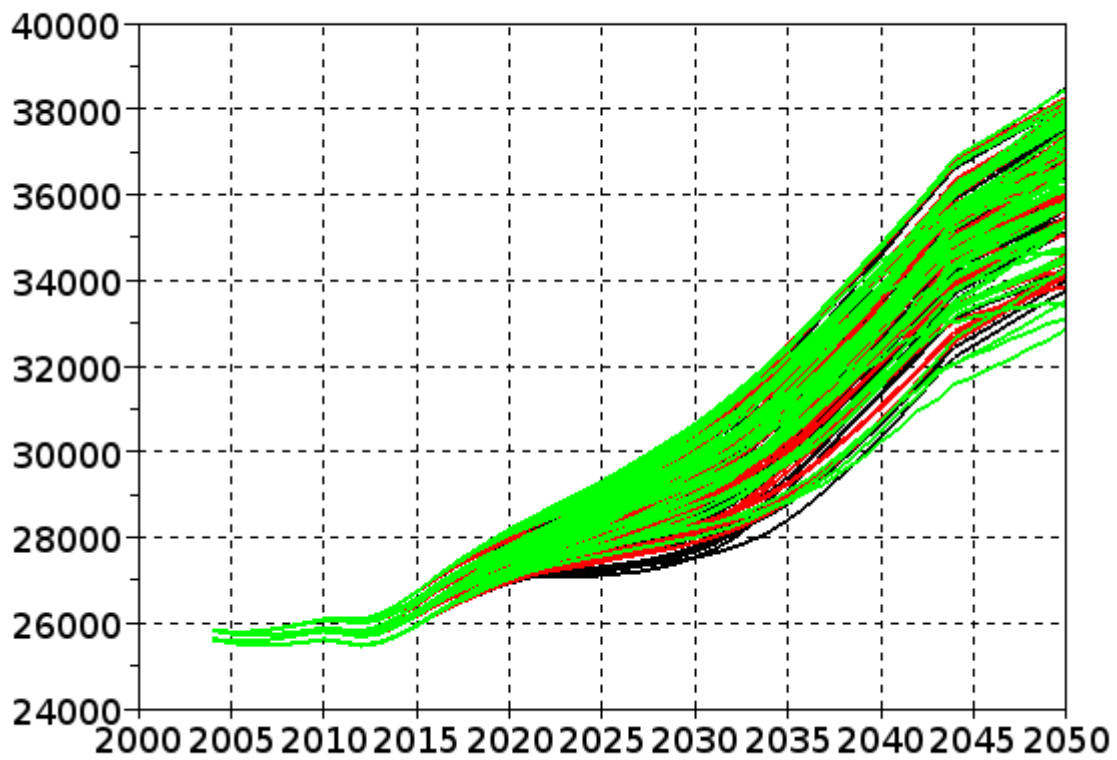
### DP per capita - Policies and Measures alternative



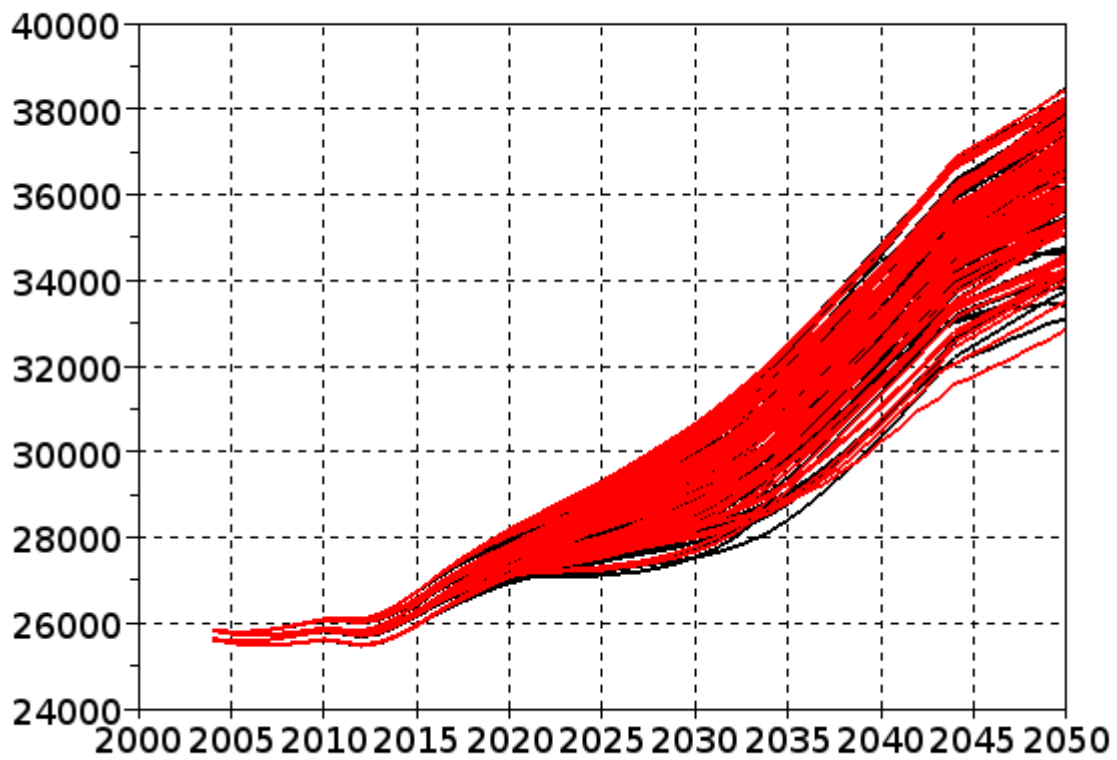
### GDP per capita - Nuclear Cost alternative



### GDP per capita - Nuclear Scenario alternative



### GDP per capita - Flat LDC alternative



# GDP per capita - CO2 Tax Recycling alternative

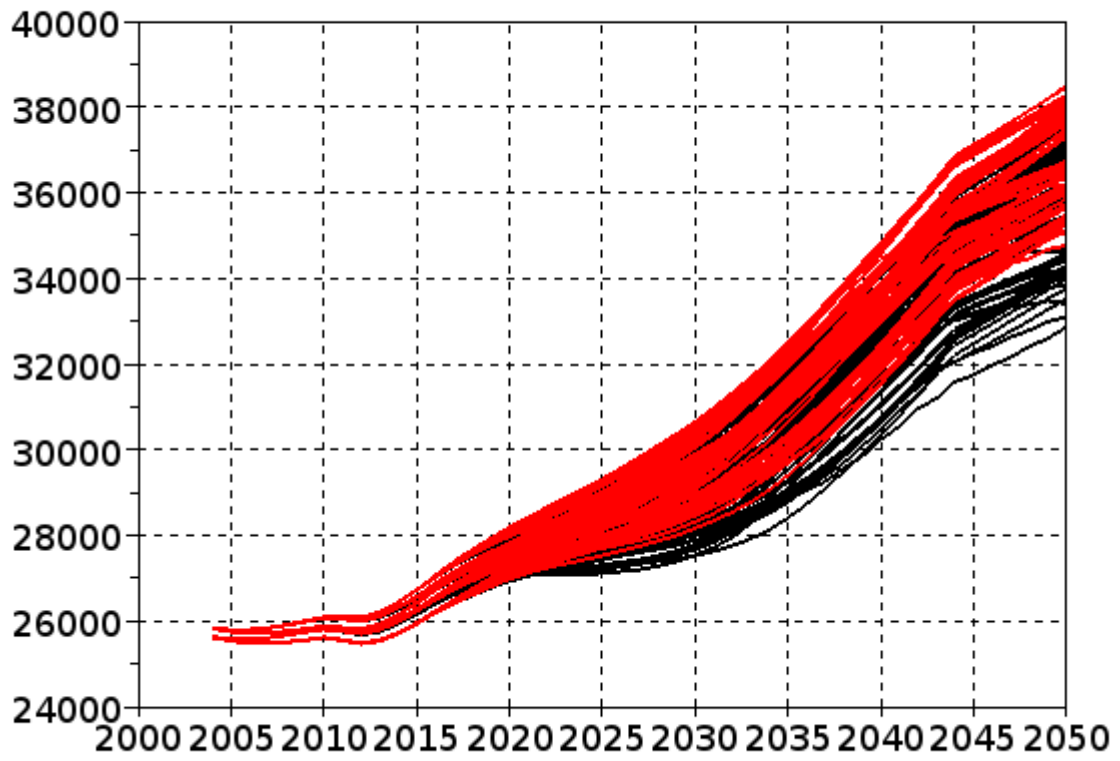
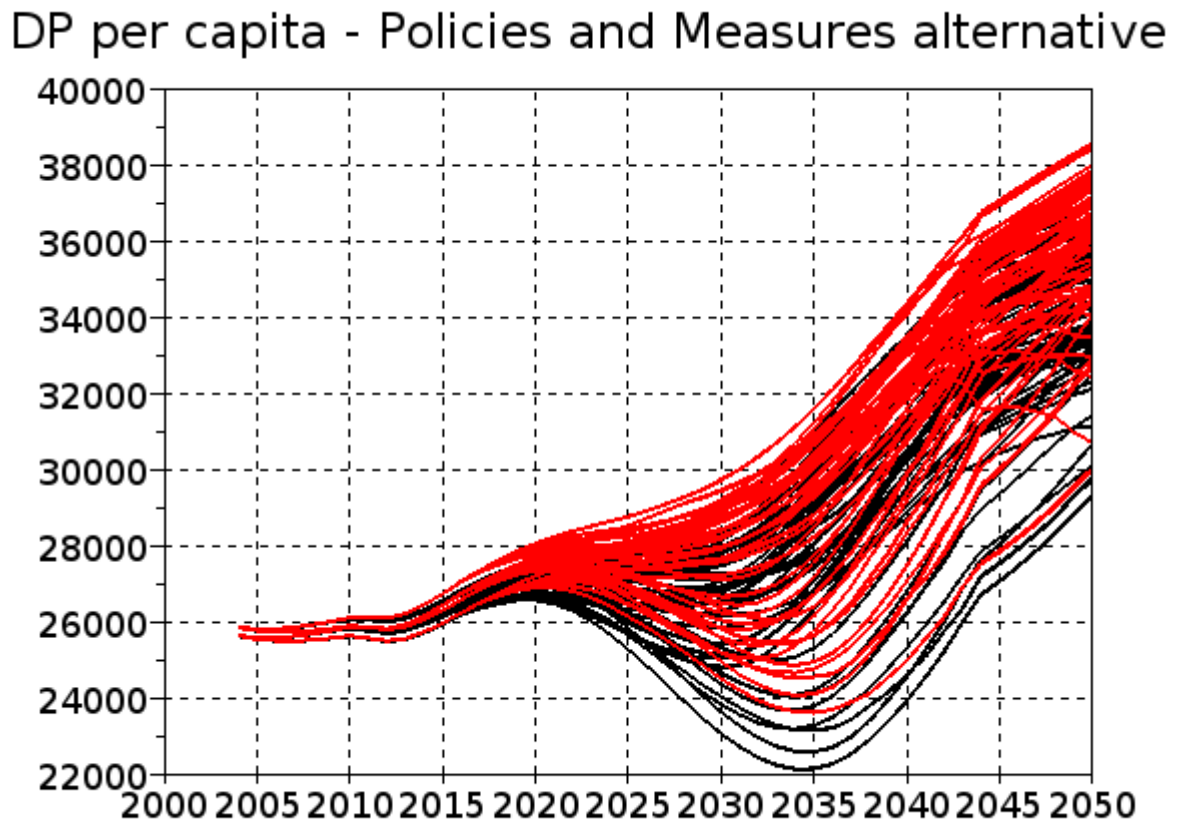
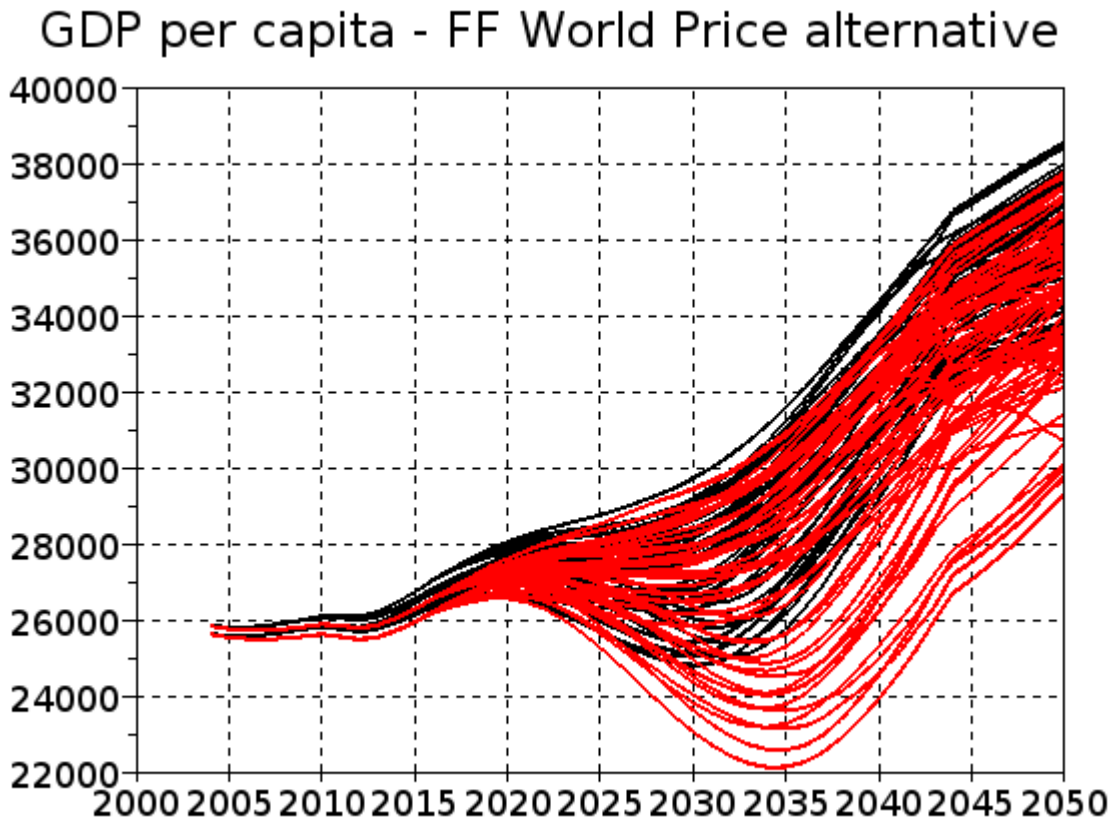
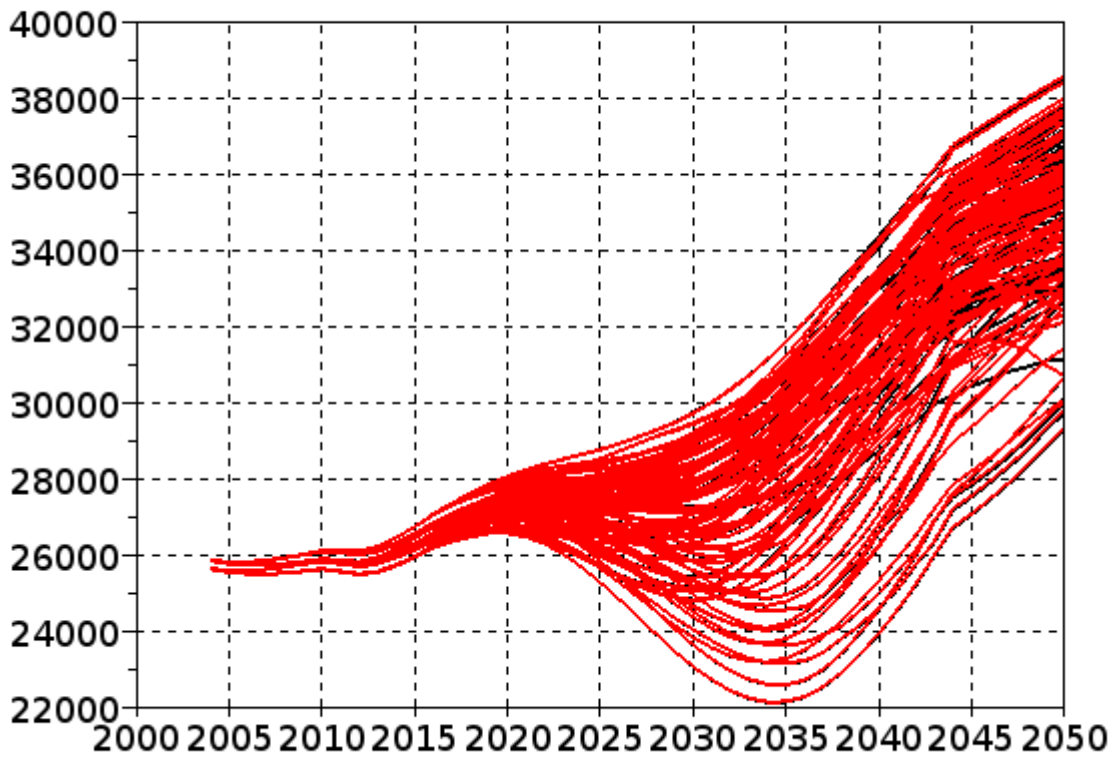


Figure 21 : PIB par tête - cas nouveau nucléaire autorisé

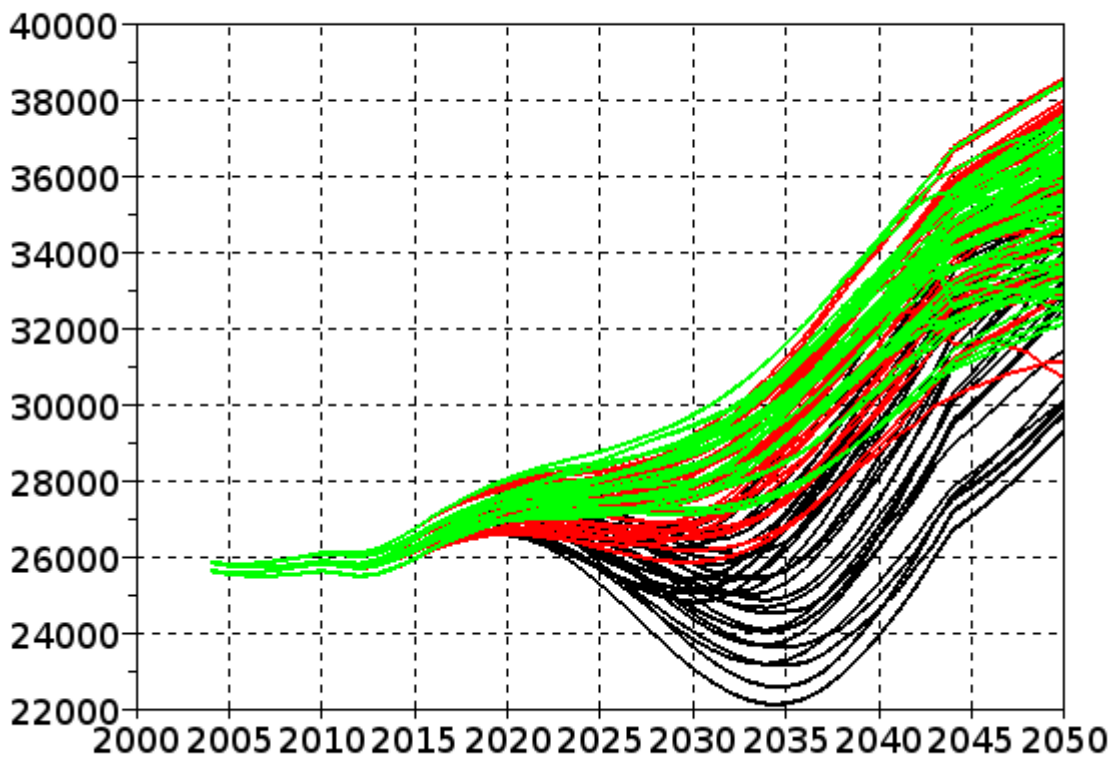
5.2.2 Sous contrainte de sortie du nucléaire (à court, moyen ou long terme)



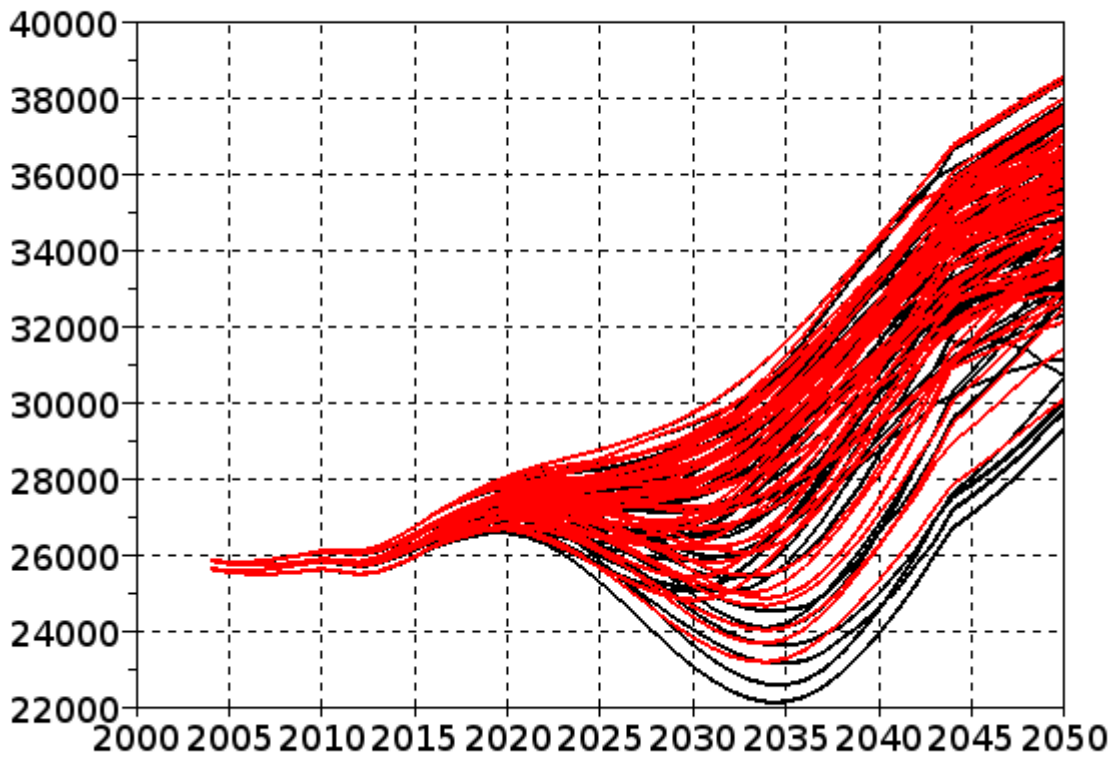
### GDP per capita - Nuclear Cost alternative



### GDP per capita - Nuclear Scenario alternative



GDP per capita - Flat LDC alternative



GDP per capita - CO2 Tax Recycling alternative

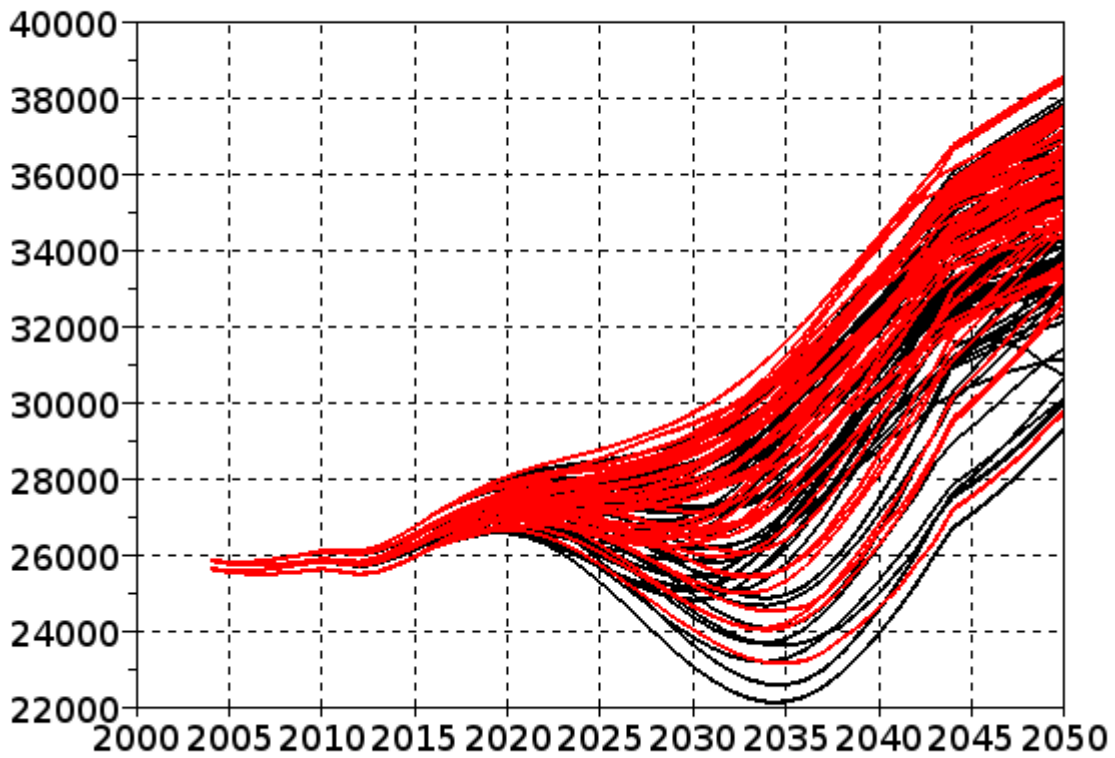
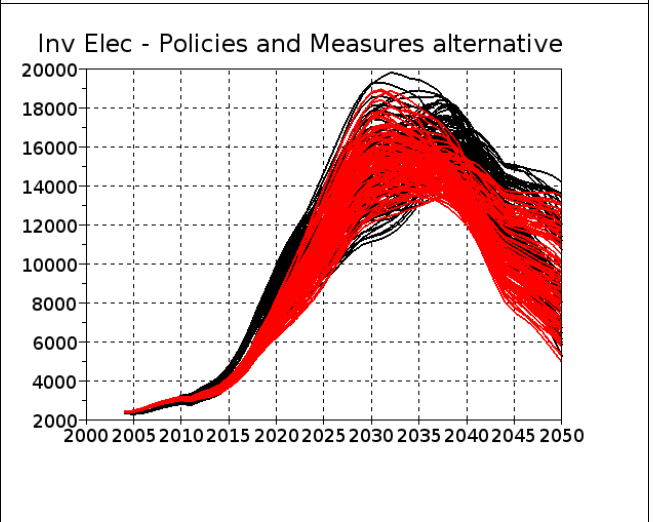
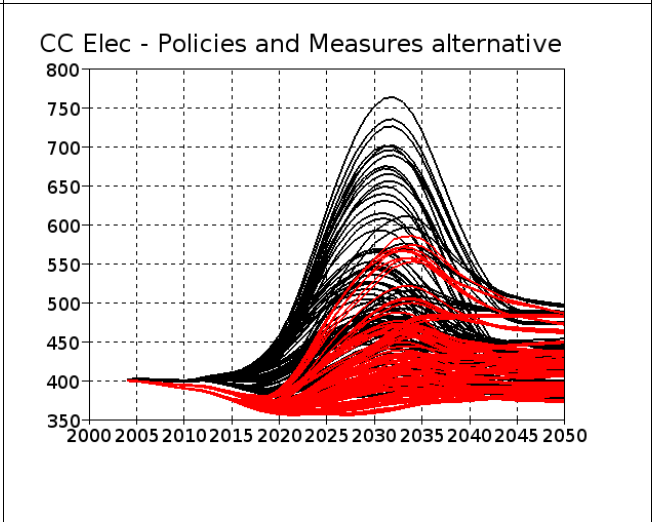
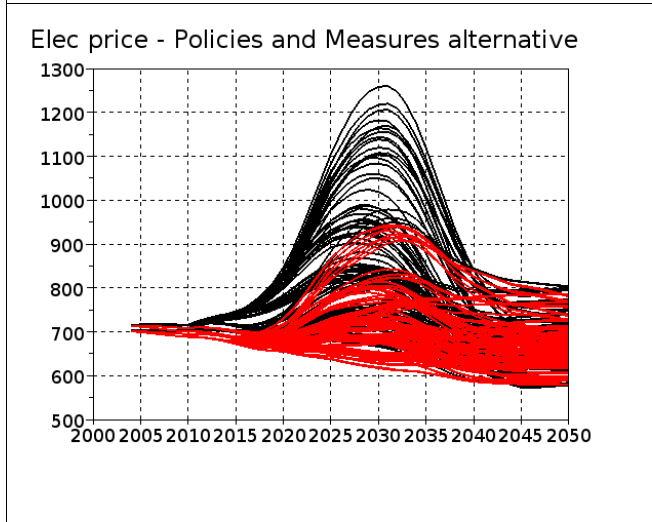
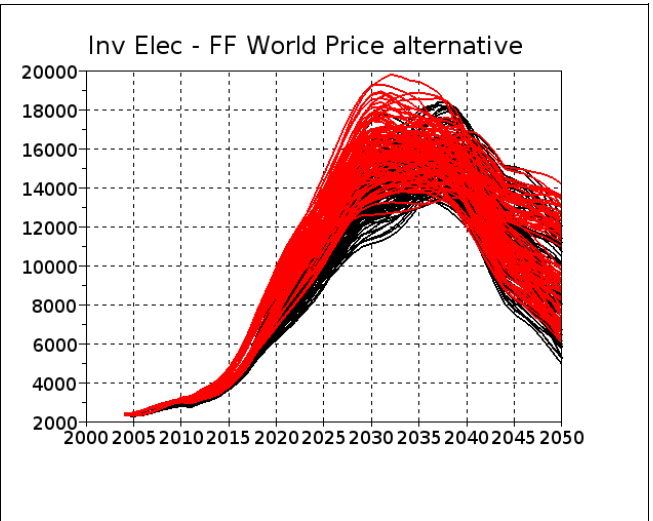
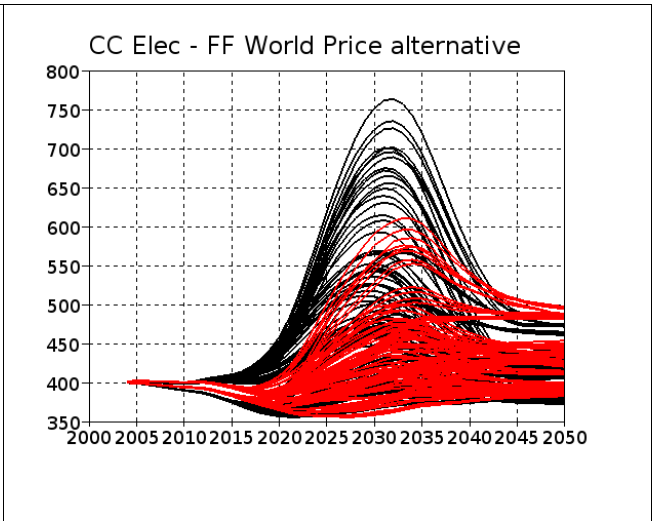
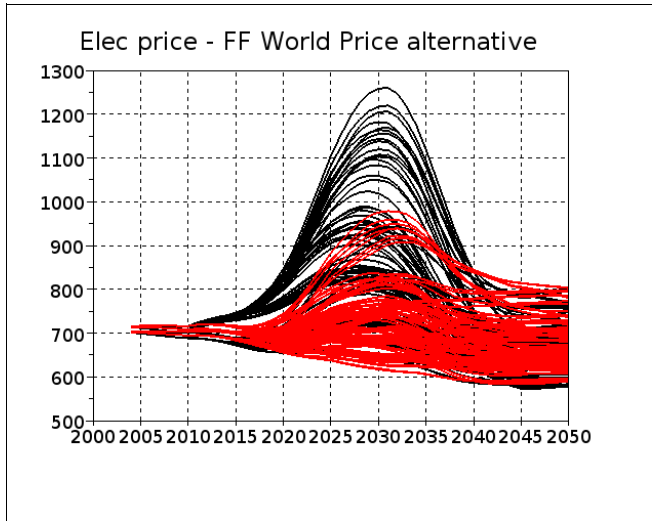


Figure 22 : PIB par tête - cas nouveau nucléaire banni

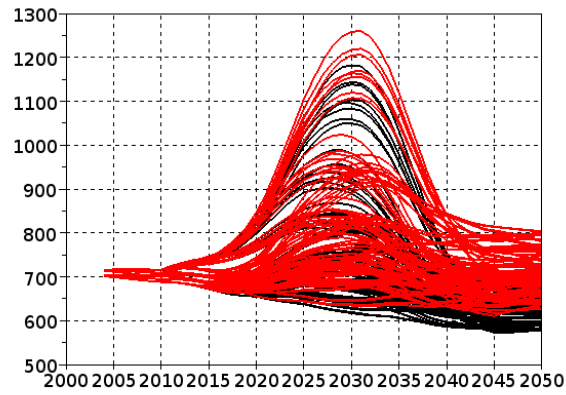
## **5.3 Secteur électrique**

### **5.3.1 Avec possibilité de construire de nouveaux réacteurs nucléaires**

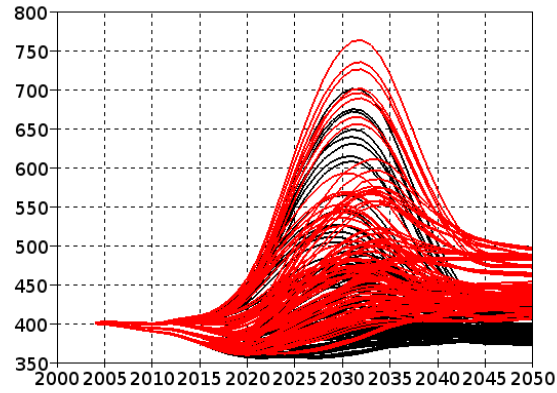




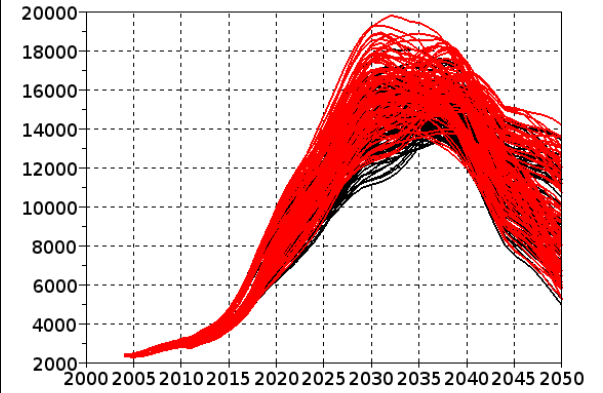
Elec price - Nuclear Cost alternative



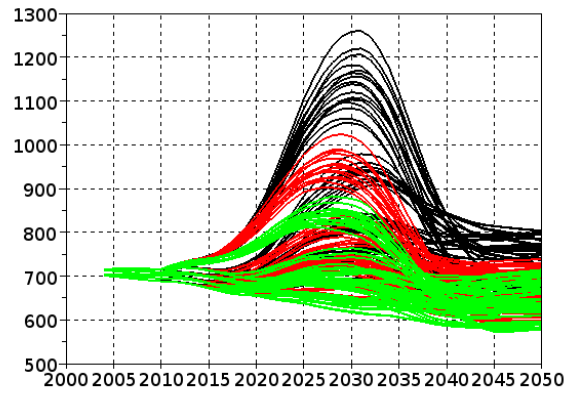
CC Elec - Nuclear Cost alternative



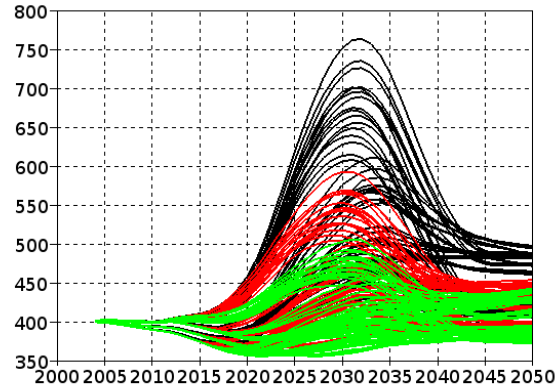
Inv Elec - Nuclear Cost alternative



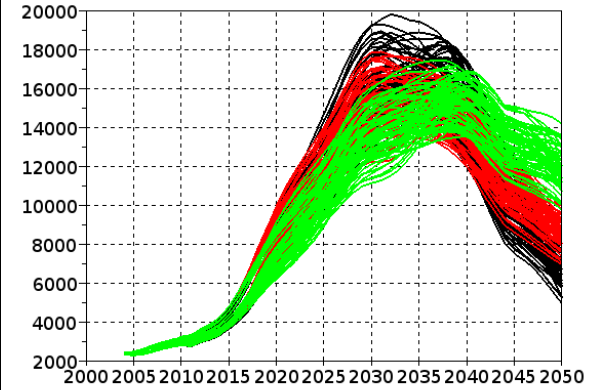
Elec price - Nuclear Scenario alternative



CC Elec - Nuclear Scenario alternative



Inv Elec - Nuclear Scenario alternative



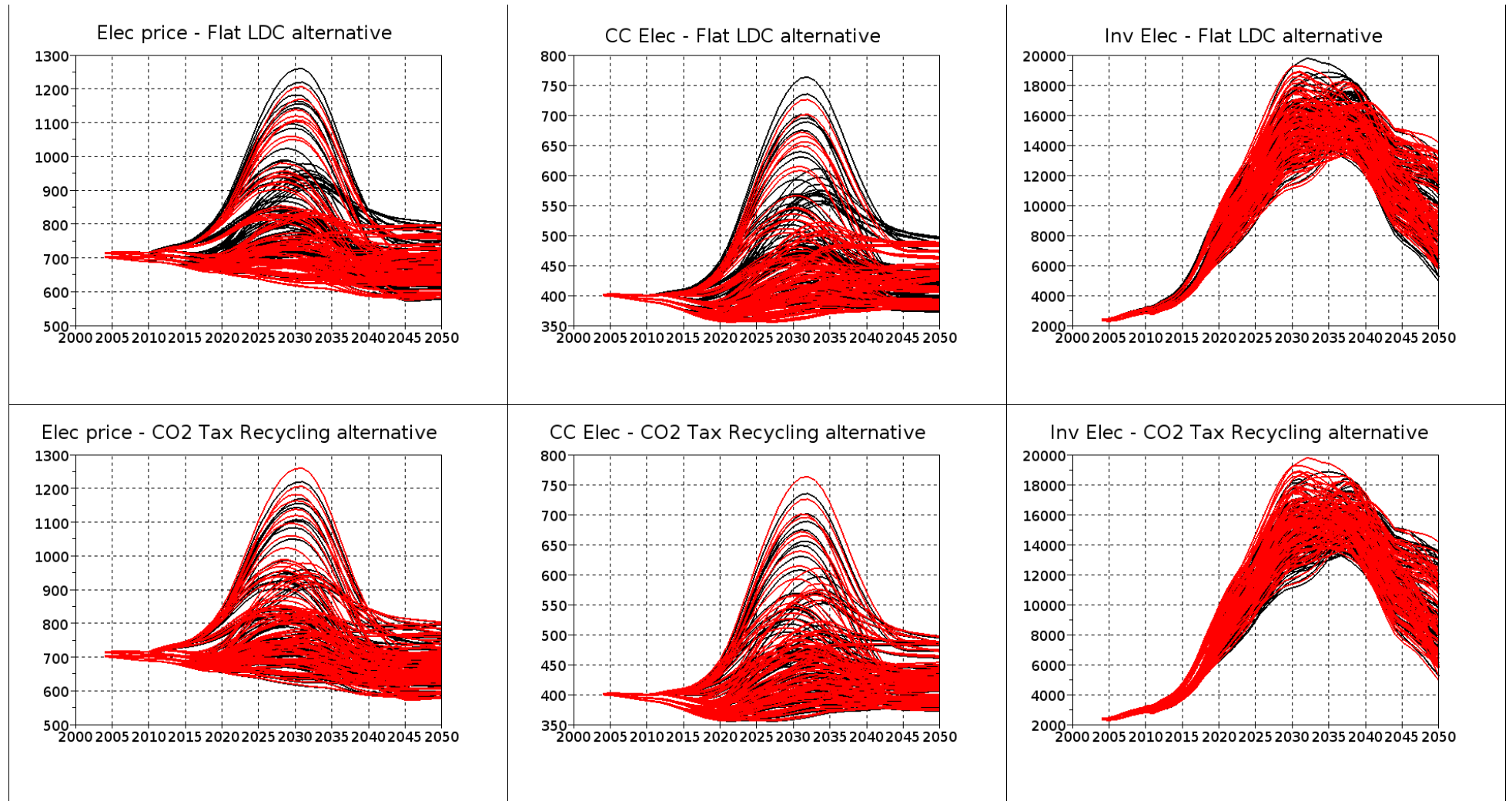
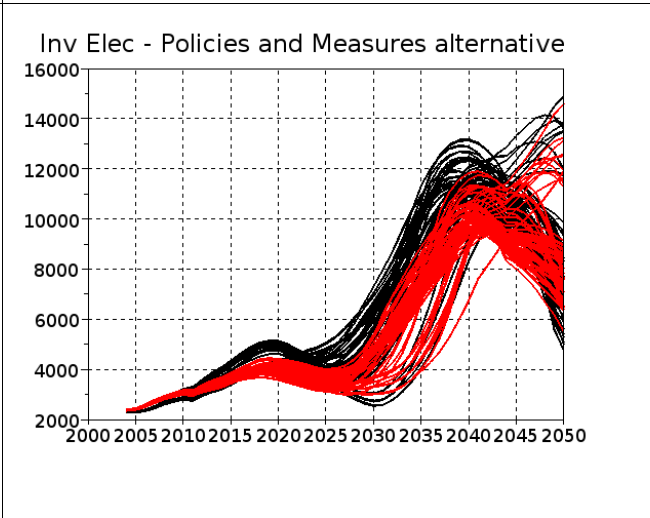
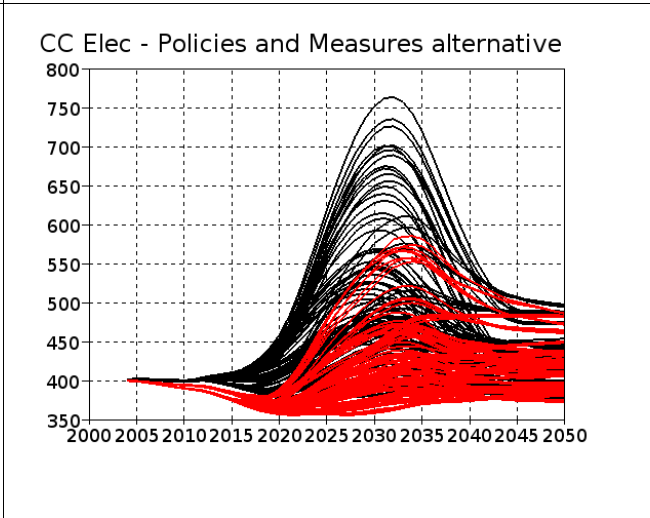
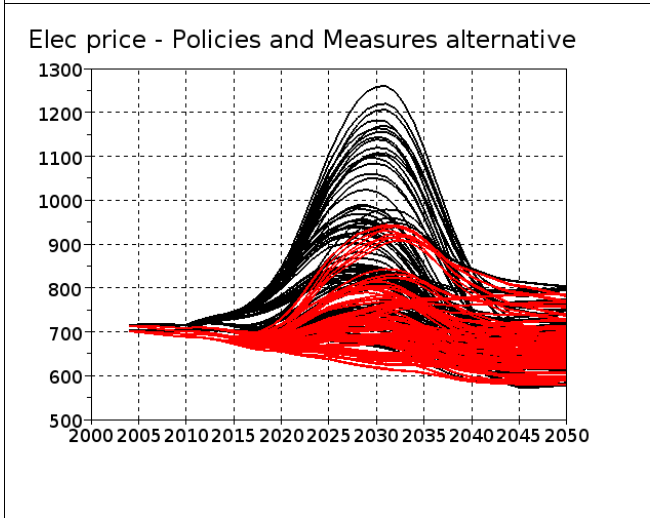
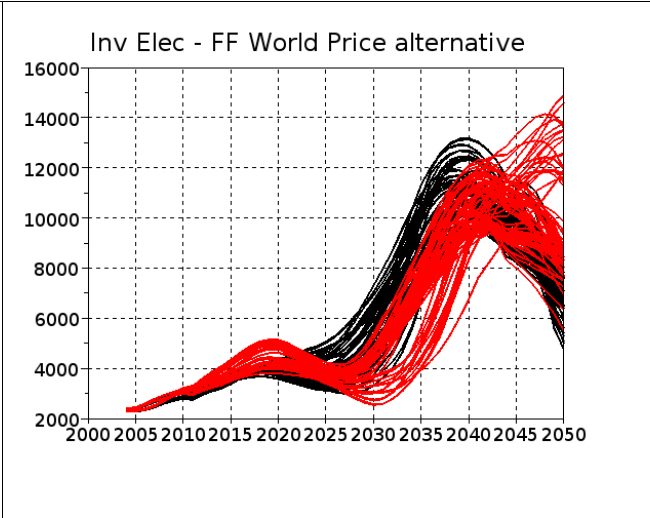
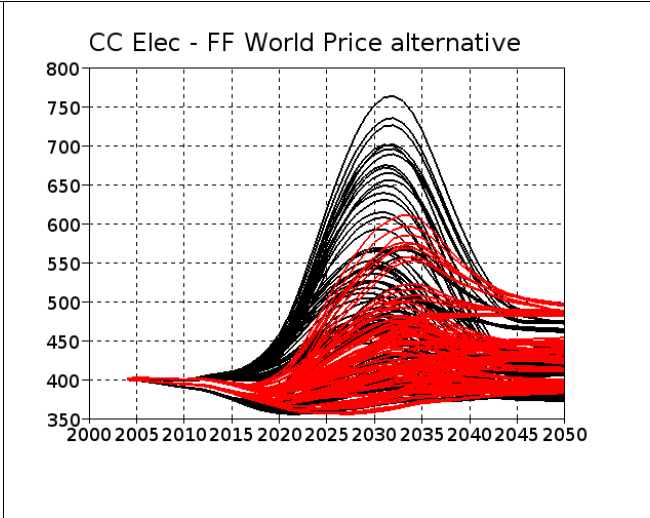
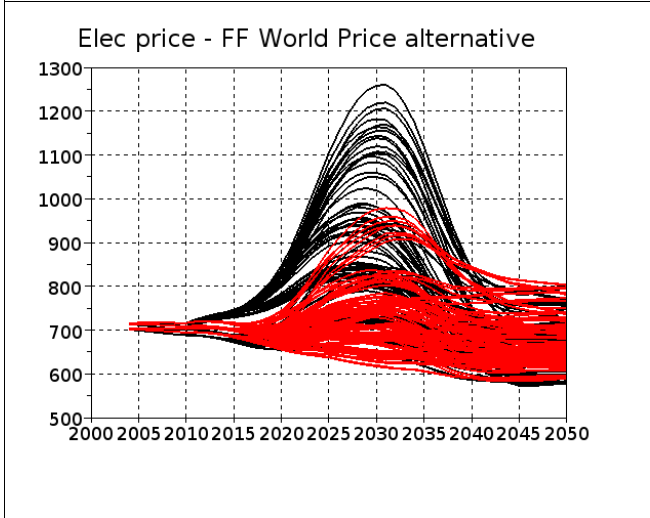
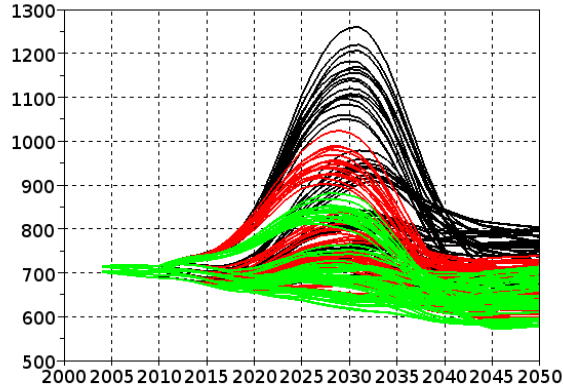


Figure 23 : Etude électricité - cas nouveau nucléaire autorisé

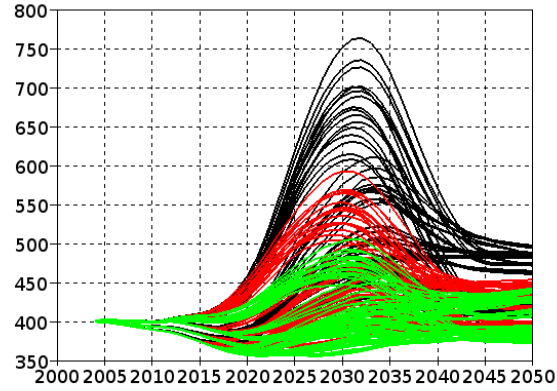
### 5.3.2 Sous contrainte de sortie du nucléaire (à court, moyen ou long terme)



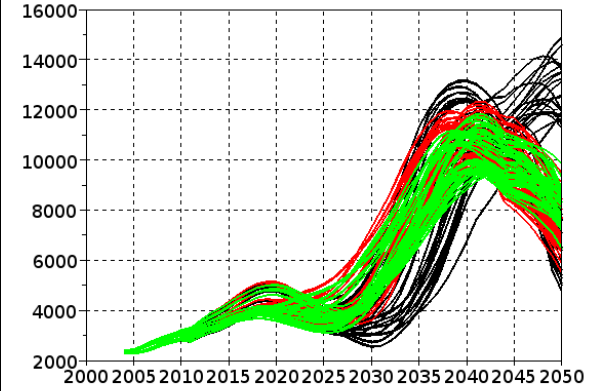
Elec price - Nuclear Scenario alternative



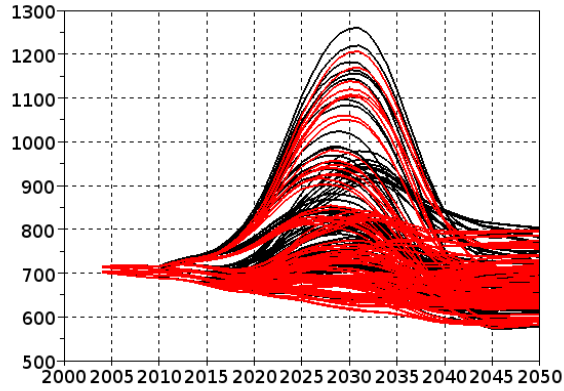
CC Elec - Nuclear Scenario alternative



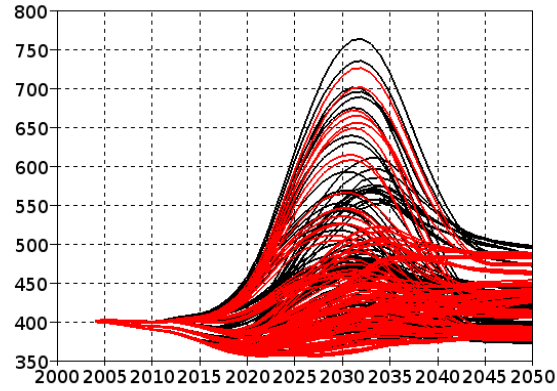
Inv Elec - Nuclear Scenario alternative



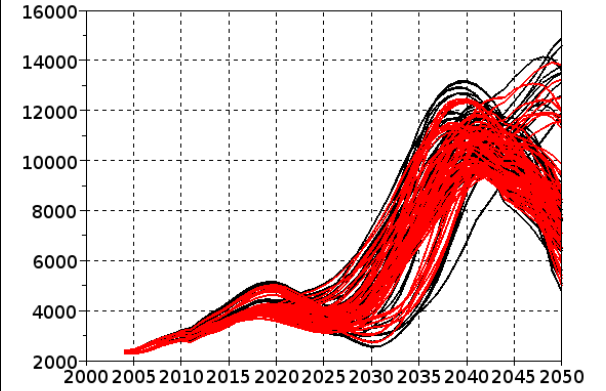
Elec price - Flat LDC alternative



CC Elec - Flat LDC alternative



Inv Elec - Flat LDC alternative



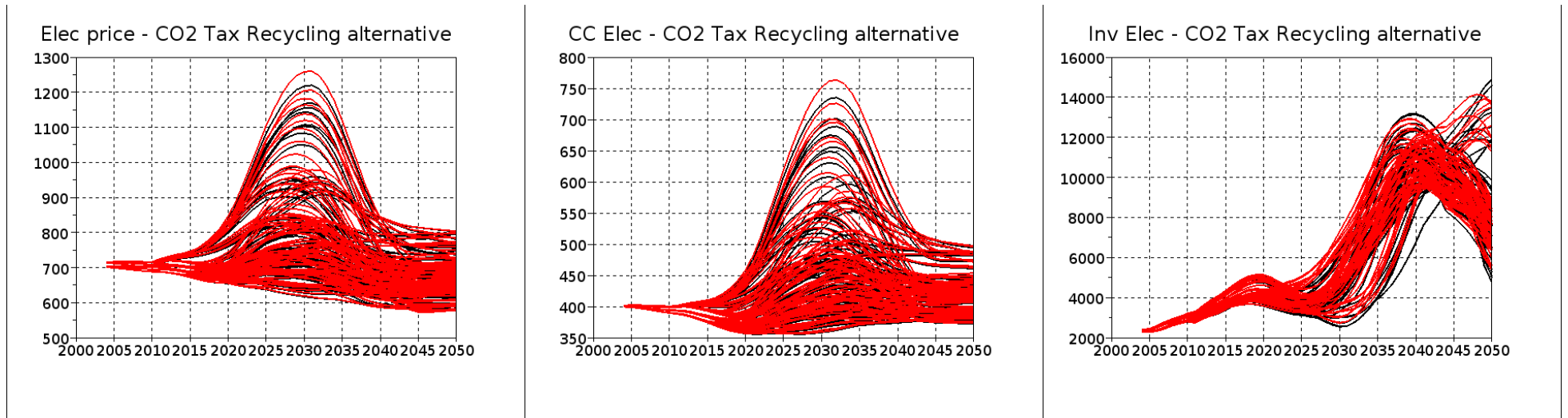


Figure 24 : Etude électricité - cas nouveau nucléaire banni

## 6 Bibliographie

Hourcade, J. C. 1993. "Modelling long-run scenarios: Methodology lessons from a prospective study on a low CO2 intensive country." *Energy Policy* 21 (3): 309-326.