



HAL
open science

**Fiches argumentaires issues de l'étude "Conditions de l'émergence et impacts macroéconomiques du véhicule électrique en Europe et en Chine" - Working Paper
Chaire modélisation prospective au service du
développement durable (MPDD) n° 2012-01-04**

Adrien Vogt-Schilb, Ruben Bibas, Christophe Cassen, Céline Guivarch, Jean Charles Hourcade

► **To cite this version:**

Adrien Vogt-Schilb, Ruben Bibas, Christophe Cassen, Céline Guivarch, Jean Charles Hourcade. Fiches argumentaires issues de l'étude "Conditions de l'émergence et impacts macroéconomiques du véhicule électrique en Europe et en Chine" - Working Paper Chaire modélisation prospective au service du développement durable (MPDD) n° 2012-01-04. 2013. hal-00802401

HAL Id: hal-00802401

<https://enpc.hal.science/hal-00802401>

Submitted on 19 Mar 2013

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Les Cahiers de la Chaire

Chaire Modélisation prospective au service du développement durable

**Fiches argumentaires issues de l'étude
« Conditions de l'émergence et impacts
macroéconomiques du véhicule électrique
en Europe et en Chine »**

**CIREN : Vogt-Schilb A., Bibas R., Cassen C.,
Guivarch C. et Hourcade J-C.**

**Observatoire : Ruet J., Lanckriet E., Kang R., Qi M.,
Yin Y., Bulcourt A. et Lee A.**

Fiches argumentaires issues de l'étude « Conditions de l'émergence et impacts macroéconomiques du véhicule électrique en Europe et en Chine »

CIREC: Vogt-Schilb A., Bibas R., Cassen C., Guivarch, C. Hourcade J.-C.

Observatoire: Ruet J., Lanckriet E., Kang R., Qi M., Yin Y., Bulcourt A., Lee A.

PILOTES : ALICE DE BRAUER (RENAULT) & JOEL RUET (PARIS TECH)

Table des matières

Synthèse: Comment justifier un investissement pour le développement de l'électrification des véhicules? -----	4
Le bénéfice pour les transports de la décarbonisation du mix électrique -----	6
La disponibilité des véhicules électrifiés, une option réelle du point de vue sociétal -----	10
Caveat méthodologique -----	13
Véhicules électrifiés et compétitivité -----	15
Politiques publiques chinoises et risques pour la compétitivité européenne -----	19
Les bénéfices obtenus sont uniques dans le cas de l'électrification du parc automobile -----	22

Avertissement

Cet article a été réalisé par le CIREC et l'Observatoire des Emergents dans le cadre d'un contrat de recherche soutenu par Renault. Les visions exprimées dans ce rapport sont celles des auteurs et n'engagent pas Renault

Synthèse: Comment justifier un investissement pour le développement de l'électrification des véhicules?

Cette fiche synthétise les arguments en faveur d'un investissement précoce pour le développement de l'électrification des véhicules, qui ont été développés dans le cadre de l'étude « Vision Europe-Chine 2010-2011 ». Cette étude, menée en collaboration entre le Cired et l'Observatoire des Émergents, visait à comparer les contextes macroéconomiques et énergétiques de l'émergence de véhicules électrifiés en Europe et en Chine.

1. En Europe, l'électrification des véhicules représente **dès aujourd'hui un bénéfice environnemental** en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Si des politiques climatiques continuent à être mises en œuvre, **ce bénéfice environnemental croîtra dans le temps**, grâce à la décarbonisation de la production électrique. Ce résultat est **robuste à l'incertitude sur les potentiels et les coûts des technologies de production d'électricité verte** (énergie renouvelable, nucléaire, séquestration du carbone). Pour une quantification ou plus de détail, voir la fiche «Le bénéfice pour les transports de la décarbonisation du mix électrique ». Ce résultat est par ailleurs confirmé par de nombreuses autres études, par exemple de l'Agence internationale de l'énergie (World Energy Outlook 2011).

2. D'autre part l'électrification des véhicules est porteur de **(co-)bénéfices économiques**. En effet, la disponibilité à grande échelle dans le futur de véhicules électrifiés a une **valeur d'option** qui se compose des éléments suivants:

(i) **elle permet de réduire le coût moyen futur espéré du système automobile, étant donnés les prix futurs incertains des carburants liquides, de l'électricité et d'une éventuelle taxe carbone. La fiche «La disponibilité des véhicules électrifiés, une option réelle du point de vue sociétal » propose une quantification de cet élément dans le cadre des scénarios développés pour l'étude « Vision Europe-Chine 2010-2011 ».**

(ii) elle peut jouer le rôle **d'assurance contre un prix du carbone élevé ou un prix des carburants liquides élevés**. (Cet élément n'est pas quantifié dans l'étude « Vision Europe-Chine 2010-2011).

(iii) elle permet d'améliorer la **compétitivité de l'économie européenne** en général. La pénétration du VEx limite les importations de pétrole qui pèsent sur la balance des paiements. De plus, elle réduit le prix du carbone nécessaire pour atteindre les objectifs d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Cette réduction bénéficie à l'ensemble de l'appareil productif. La fiche « Véhicules électriques et compétitivité » détaille ce point.

3. Ces bénéfices environnementaux et économiques sont **singuliers au cas de l'électrification des véhicules**. Ils tiennent aux particularités du secteur des transports qui est un **secteur clé à l'intersection de deux questions majeures : la réduction des émissions de gaz à effet de serre et la dépendance aux importations de pétrole**. En effet, ce secteur contribue à une large part des émissions de CO2 européennes (près de 30%), et surtout il est le seul secteur dont les émissions connaissent encore une croissance rapide. De plus c'est un **secteur diffus, contraint et inerte** ce qui rend sa décarbonisation difficile. Par ailleurs, les possibilités de substitution sont limitées ou coûteuses, tant du pétrole vers d'autres énergies pour la mobilité que de la mobilité en voiture vers d'autres modes. La fiche «Les bénéfices obtenus sont uniques dans le cas de l'électrification du parc automobile» détaille ces points.

4. L'évolution des marchés des carburants liquides n'est pas susceptible de conduire à elle seule à une sortie de la dépendance aux énergies fossiles importées du secteur des transports. En particulier, **le développement du « Coal-to-liquid », dont un démarrage est à l'œuvre en Chine, est de nature à modifier significativement les dynamiques de prix des carburants liquides** et à tirer les prix à la baisse. Il existe donc **un risque réel de blocage dans des systèmes carbonés, et d'accentuation des questions de sécurité énergétique et de vulnérabilité à des chocs sur les prix**.

5. Les **politiques industrielles chinoises** exercent une forte pression sur l'évolution des marchés automobiles. D'un côté la Chine soutient le développement du véhicule électrique pour des raisons « non-carbone » (pollution locale, indépendance énergétique, politique industrielle). De l'autre, elle bénéficie d'un marché intérieur en plein essor.

6. Si les bénéfices liés à l'électrification des véhicules sont surtout des bénéfices de long-terme, **il est nécessaire d'investir dès maintenant** dans les véhicules électrifiés comme parties prenantes d'une stratégie de mitigation, à cause de la lenteur à laquelle s'opère la diffusion technologique (Vogt-Schilb & Hallegatte 2011).

Remarque : Dans toute l'étude, l'attention se porte sur la question de l'électrification du parc, qui englobe les véhicules 100% électriques mais aussi la part de consommation d'électricité par les hybrides rechargeables.

Le bénéfice pour les transports de la décarbonisation du mix électrique

Synthèse

Le Cired a mené en collaboration avec l'Observatoire des Émergents une étude pour Renault qui compare les contextes macroéconomiques et énergétiques de l'émergence de véhicules électrifiés en Europe et en Chine. Cette étude a permis de quantifier quelques mécanismes de première importance pour l'évaluation environnementale des véhicules électrifiés (VEx):

- 1. Les véhicules électrifiés permettent bien de réduire les émissions de gaz à effet de serre (GES), notamment en Europe. Le contenu carbone moyen de l'électricité européenne est aujourd'hui assez bas pour que les VEx soient compétitifs face aux véhicules thermiques actuels.*
- 2. De plus, l'avantage environnemental du VE est durable : une Europe mettant en place des politiques climatiques de long terme verrait le contenu carbone de son électricité décroître encore jusqu'en 2050.*
- 3. La Chine souffre d'un contenu carbone moyen de l'électricité trop élevé pour qu'il soit pertinent, pour un objectif de réduction des émissions de GES, de migrer vers l'électromobilité dès maintenant.*

Le véhicule électrique permet de réduire les émissions de gaz à effet de serre

L'analyse de cette question est trop souvent apportée en faisant **l'examen rapide du contenu carbone de l'électricité contemporaine** dans différentes régions (Syrota et al. 2011; Ademe 2009). Ces examens admettent en général que l'électricité de base française est un bon terreau pour le développement du VE ; mais ils tempèrent immédiatement.

L'Ademe (2009) montre ainsi que le contenu de l'électricité moyenne européenne actuelle correspond à des émissions des véhicules électriques supérieures à ceux de la voiture thermique *attendue* en 2020 (Figure 1). De plus, elle montre que les actuellement populaires centrales à gaz à « cycle combiné » tirent également le contenu carbone du VE à la hausse.

Le rapport Syrota (2011, p. 139) s'intéresse à d'autres régions du monde comme la Chine, le Japon ou la Corée (ou même la France si l'on raisonne à centrale marginale) dans lesquelles le contenu carbone de l'électricité est trop important, ne permettraient pas au VE de rivaliser avec les véhicules thermiques, voire augmenteraient les émissions de GES prises dans leur ensemble.

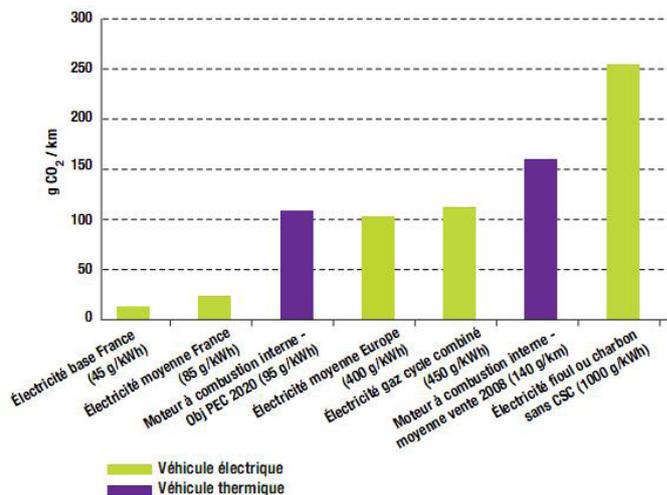


Figure 1 : Émissions du puits à la roue des véhicules thermiques et électriques d'après Ademe (2009)

Cette analyse ne prend pas en compte l'impact de politiques climatiques sur la production d'électricité.

Pourtant, l'augmentation de la concentration de gaz à effet de serre et le réchauffement climatique qui s'en suit sont des processus de long terme. De plus et surtout, l'appareil de production économique est d'une lourde inertie, et il convient de prendre les décisions à court terme en gardant bien en vue leurs conséquences sur la durée. Ainsi, l'enjeu est de **s'assurer que l'évolution conjointe, sur l'échelle de quelques décennies, du système automobile et du système de production d'électricité aident à réduire les émissions de GES** et à sortir de la dépendance aux énergies fossiles.

L'analyse des résultats du modèle Imaclim-R (voir Encadré 1) montre que dans des scénarios sans politiques climatiques (i.e. sans prix du carbone), le contenu carbone de l'électricité européenne pourrait rester constant, voir augmenter : en dehors de tout autre politique climatique, le bilan carbone du véhicule électrique est incertain (Figure 2).

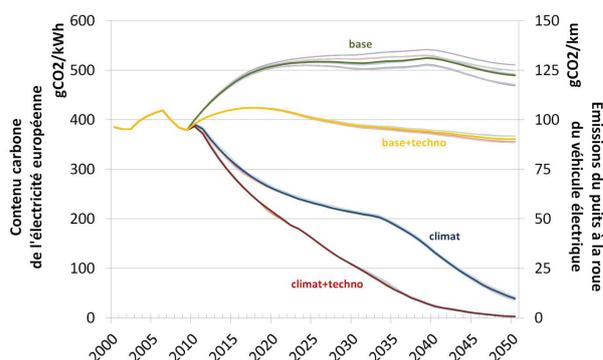


Figure 2 : Contenu carbone de l'électricité en Europe et effet sur les émissions du puits à la roue d'un véhicule électrifié

Chaque trait gris représente un scénario. Les traits colorés représentent quatre scénarios marqueurs, alternativement optimistes (« techno ») ou pessimistes sur le coût des technologies de production d'électricité propre, et avec (« climat ») ou sans (« base ») politiques climatiques

Mais si l'Europe engage une politique de réduction des émissions de GES, l'analyse montre que **le contenu carbone de l'électricité européenne décroît** pour atteindre un niveau très faible en 2050. Cette évolution **permet au VE européen de garder puis d'accentuer son avantage environnemental sur le véhicule thermique**. Ce résultat est robuste à l'incertitude sur les potentiels et les coûts des technologies de production d'électricité verte (énergie renouvelable, nucléaire, séquestration du carbone). Il est par ailleurs confirmé par de nombreuses autres études, par exemple de l'Agence internationale de l'énergie (IEA 2009, p.22).

Dans nos simulations, l'intensité carbone moyenne de l'électricité européenne est ainsi comprise entre 155 et 262 gCO₂/kWh en 2020, 103-216g/kWh en 2030 et 3-42g/kWh en 2050. **Un véhicule électrique serait alors responsable de 51-66g/km en 2020** (sous hypothèse qu'il consomme 25kWh/100km *plug-to-wheel*), 26-54g/km en 2030 et enfin 1-11g/km en 2050. Dans ces conditions, plus la mobilité privée est électrifiée, plus les objectifs climatiques sont faciles à tenir.

En Chine, le contenu carbone de l'électricité a beaucoup de retard

En Chine, par contre, le contenu carbone de l'électricité est actuellement très élevé. Malgré une plus grande réactivité de son parc de production, et **même en cas de politiques climatiques, l'électricité moyenne chinoise ne permettrait pas au VE d'être porteur de réduction d'émissions de GES avant 2035**.

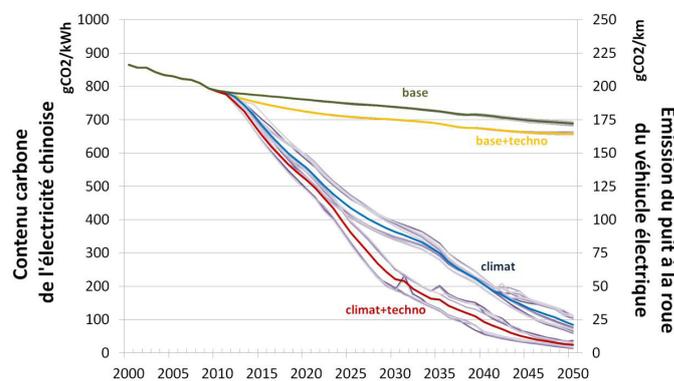


Figure 3 : Contenu carbone de l'électricité en Chine

Encadré 1 : Le modèle Imaclim-R

Les projections temporelles de l'évolution de l'intensité carbone de l'électricité proviennent de scénarios réalisés avec le modèle Imaclim-R selon des hypothèses alternatives sur les politiques climatiques futures (scénario au fil de l'eau ou division vs. Division par 3 des émissions européennes entre 2001 et 2050) et les coûts et potentiels des technologies de production d'électricité bas-carbone notamment. Imaclim-R est un modèle d'équilibre général hybride (il allie représentation

monétaire et physique des flux économiques) et récursif dans lequel l'évolution du parc de production d'électricité résulte d'une représentation explicite (i) des choix d'investissement des producteurs entre les technologies alternatives en fonction de leur coûts d'investissement et du prix des énergies et (ii) de l'inertie du parc de production qui est remplacé par tranches.

Références

Ademe, 2009. Les transports électriques en France: un développement nécessaire sous contraintes. *Ademe & vous - Stratégie & études*, (21).

IEA, 2009. *Electric and plug-in hybrid electric vehicles*, Paris, France: OECD/International Energy Agency. Available at: https://www.iea.org/Papers/2009/EV_PHEV_Roadmap.pdf.

Syrota, J. et al., 2011. *La voiture de demain: carburants et électricité*, Paris: Conseil d'Analyse Stratégique.

La disponibilité des véhicules électrifiés, une option réelle du point de vue sociétal

Synthèse

Le Cired a mené en collaboration avec l'Observatoire des Émergents une étude pour Renault qui compare les contextes macroéconomiques et énergétiques de l'émergence de véhicules électrifiés en Europe et en Chine. Cette étude a permis de quantifier quelques mécanismes de première importance pour l'évaluation environnementale des véhicules électrifiés (VEx):

- 1. Dans le cadre de politiques climatiques, la disponibilité des véhicules électrifiés (VEx) a une valeur économique significative dès les prochaines années, de près de 63 €/véhicule/an dès 2015. Cette valeur croît rapidement dans le temps et devient élevée sur le long-terme : 170€ en 2020, 930 € en 2030 et 3 860 € en 2050. Ces valeurs correspondent à la valeur d'option des VEx, i.e. la réduction moyenne du coût du système automobile permise par la disponibilité des VEx sur le marché⁴.*
- 2. Dans ces cas, lorsque les véhicules électrifiés sont disponibles, leur demande est forte : de 0.8% des ventes en moyenne en 2015, elle passe à 4% en 2020, 16% en 2030 et 53% en 2050.*
- 3. Si les bénéfices liés à l'électrification des véhicules sont surtout des bénéfices de long-terme, il est nécessaire d'investir dès maintenant dans les véhicules électrifiés comme parties prenantes d'une stratégie de mitigation, à cause de la lenteur à laquelle s'opère la diffusion technologique.*
- 4. Dans les scénarios sans politiques climatiques, le bénéfice lié aux VEx est bien plus faible et ne devient significatif qu'après 2025, lorsque des tensions sur les marchés pétroliers deviennent importantes du fait des contraintes sur les réserves.*

Il est possible d'évaluer les bénéfices de la disponibilité des véhicules électrifiés en quantifiant son impact sur le coût espéré du système automobile. Il s'agit de la somme du coût annualisé de l'achat des véhicules automobiles et des coûts en énergie liés à leur utilisation pendant un an, moyenné sur un ensemble de scénarios de prix de l'énergie et éventuellement du carbone.

Les calculs disponibles de la valeur économique du VE reposent souvent sur un ou deux

4. Les valeurs sont celles pour la zone Europe, résultant des hypothèses spécifiques de l'étude « Vision Europe-Chine 2010-2011 ». Elles sont données à titre indicatif. Les précautions d'usage doivent donc être prises : ces valeurs donnent un ordre de grandeur, et pas une quantification précise. Les valeurs monétaires sont exprimées en euros de 2010.

scénarios de prix des énergies, mènent l'analyse à horizon 2020 ou 2030, et séparent les hypothèses sur le prix du carbone, du pétrole et de l'électricité (CGDD 2011; Syrota et al. 2011). Ces calculs ne prennent donc pas en compte les interactions entre ces trois prix. Dès lors, les résultats des calculs disponibles peuvent être contestables. Par ailleurs, ils ne donnent pas de vision dynamique de la valeur économique du véhicule électrique, alors que les bénéfices de l'électrification des véhicules sont attendus notamment sur le long terme, avec la déplétion des ressources pétrolières et le resserrement de la contrainte sur les émissions de gaz à effet de serre.

Le modèle Imaclim-R développé au Cired permet de simuler plusieurs scénarios cohérents de trajectoires de prix des énergies et du carbone sous-tendus par un contexte sociotechnique donné (voir les trajectoires de prix endogènes en Annexe). Nos simulations s'étendent jusqu'en 2050. Elles sont basées sur une exploration systématique de l'incertitude.

	2015	2020	2025	2030	2050
Électrification des ventes si VEx limités à un marché de niche	0.3%	1.4%	2.5%	4.4%	11.6%
Électrification des ventes si VEx disponibles à large échelle	0.8%	4.0%	8.1%	16.0%	53.0%
Électrification additionnelle des ventes entre les deux cas	0.5%	2.7%	5.6%	11.6%	41.4%
Effet sur le CSA (€₂₀₁₀)	-63	-170	-395	-930	-3855
Effet relatif sur le CSA	-0.8%	-2.0%	-4.1%	-9.2%	-30.4%

Table 2. Pénétration et valeur sociale moyennes des VEx en Europe dans les scénarios avec politique climatique

Lecture : Dans les scénarios avec politiques climatiques et en 2030, la disponibilité des véhicules électriques à large échelle réduit de 605 €/an le coût du système automobile (cette valeur représente 9.2% du coût du système automobile moyen cette année-là). Lorsque les véhicules électrifiés sont disponibles, ils représentent 16% des ventes en moyenne cette année là, soit 11.6% de plus en moyenne que dans les scénarios où les VEx sont limités à un marché « de niche ».

Dans les scénarios avec politiques climatiques⁵ (Table 2), pour lesquels la contrainte carbone est internalisée, la demande de véhicules électrifiés est forte lorsqu'ils sont disponibles : de 0.8% des ventes en moyenne en 2015, elle passe à 4% en 2020, 16% en 2030 et 53% en 2050⁶. La disponibilité des VEx a une valeur économique significative dès les prochaines années, de près de 63 €/véhicule/an dès 2015. De plus cette valeur croît rapidement dans le temps et devient élevée sur le long terme : 170€ en 2020, 930€

5. Les politiques climatiques évaluées correspondent à des émissions (de CO2 issu de combustion) mondiales qui piquent en 2020 et sont réduites de 30% en 2050 par rapport au niveau de 2000, les émissions européennes (de CO2 issu de combustion) étant réduites de 20% en 2020 et de 70% en 2050. Cela correspond à une stabilisation de la concentration de CO2 seul dans l'atmosphère à environ 450ppm, soit, en prenant tous les gaz à effet de serre en compte, à une stabilisation à 550ppm CO2-équivalents. Ce niveau de stabilisation conduit à une augmentation de la température moyenne de l'ordre de 3°C au-dessus de la température préindustrielle (selon les incertitudes sur le cycle du carbone et la sensibilité du climat).

6. L'électrification des ventes est définie comme la part du kilométrage, pour les véhicules vendus l'année courante, parcouru en utilisant de l'électricité du réseau comme énergie. Par exemple, une électrification des ventes de 40% peut être obtenue si tous les véhicules vendus sont des hybrides rechargeables qui parcourent 40% de leur kilométrage annuel grâce à l'électricité, ou si 40% des véhicules vendus sont des véhicules tout-électriques et que le reste sont des véhicules à essence.

en 2030 et 3 855€ en 2050, soit 30% du coût moyen du système automobile cette année-là.

Ces valeurs correspondent par exemple au montant d'une vignette automobile que l'on pourrait légitimement imposer pour financer le développement des VEx sans augmenter le coût espéré du système automobile. Les automobilistes seraient indifférents entre (i) payer la vignette tous les ans et avoir à leur disposition des véhicules électriques qu'ils sont libres d'acheter (ii) ne pas payer la vignette, mais prendre le risque d'affronter un pétrole ou un carbone chers dans le futur sans avoir la possibilité d'avoir recours à une voiture électrique. En d'autres termes, la voiture électrique joue ici un rôle d'assurance, et la valeur économique calculée serait le juste prix de cette assurance.

	2015	2020	2025	2030	2050
Électrification des ventes si VEx limités à un marché de niche	0.2%	0.9%	1.8%	3.1%	3.8%
Électrification des ventes si VEx disponibles à large échelle	0.4%	1.9%	4.3%	9.0%	29.6%
Electrification des ventes	0.2%	1.0%	2.5%	5.9%	25.7%
Effet sur le CSA (€ ₂₀₁₀ /an/véhicule)	-	-	-48	-241	-199
Effet relatif sur le CSA	-	-	-0.6%	-3.2%	-2.8%

Table 3. Pénétration et valeur sociale moyennes des VEx en Europe dans les scénarios de référence

Lecture : Dans les scénarios de référence et en 2030, la disponibilité des véhicules électriques à large échelle réduit de 157 €/an le coût du système automobile (cette valeur représente 3.2% du coût du système automobile moyen cette année là). Lorsque les véhicules électrifiés sont disponibles, ils représentent 9% des ventes en moyenne cette année là, soit 5.9% de plus en moyenne que dans les scénarios où les VEx sont limités à un marché « de niche ».

Dans les **scénarios de référence** (c.à.d. sans politiques climatiques), le bénéfice lié aux véhicules électriques est bien plus faible et ne devient significatif qu'après 2025, lorsque des tensions sur les marchés pétroliers deviennent importantes du fait des contraintes sur les réserves. La disponibilité des véhicules électriques réduit à long terme le coût espéré du système automobile de près de 3% (près de 240 €/an/véhicule en 2030 et de 200 €/an/véhicule en 2050, voir Table 3).

Si les bénéfices liés à l'électrification des véhicules sont surtout des bénéfices de long-terme, il est nécessaire d'investir dès maintenant dans les véhicules électrifiés comme parties prenantes d'une stratégie de mitigation, à cause de la lenteur à laquelle s'opère la diffusion technologique (Vogt-Schilb & Hallegatte 2011).

Caveat méthodologique

Le calcul de la valeur d'option du véhicule électrique demande de comparer le coût du système automobile dans un monde où le VEx n'est pas disponible, et celui dans un monde dans lequel les VEx sont disponibles. Les simulations que nous avons produites permettent de calculer une telle valeur d'option.

Nous avons simulé, pour chaque contexte sociotechnique, deux modalités de développement des véhicules électriques (Figure 4) :

- Dans les scénarios « VEx niche », le développement des infrastructures de distribution d'électricité, les progrès sur l'autonomie des batteries, la coordination entre les différents industriels de la filière électrique et les capacités d'approvisionnement en matières premières restent limités. Les VEx restent un marché de niche, et leur part de marché ne peut pas dépasser 15% en 2050
- Dans les scénarios « VEx masse » en revanche, les goulots d'étranglements précédents sont surmontés rapidement, et la part de marché maximale des véhicules électrifiés peut monter à 60 % en 2050.

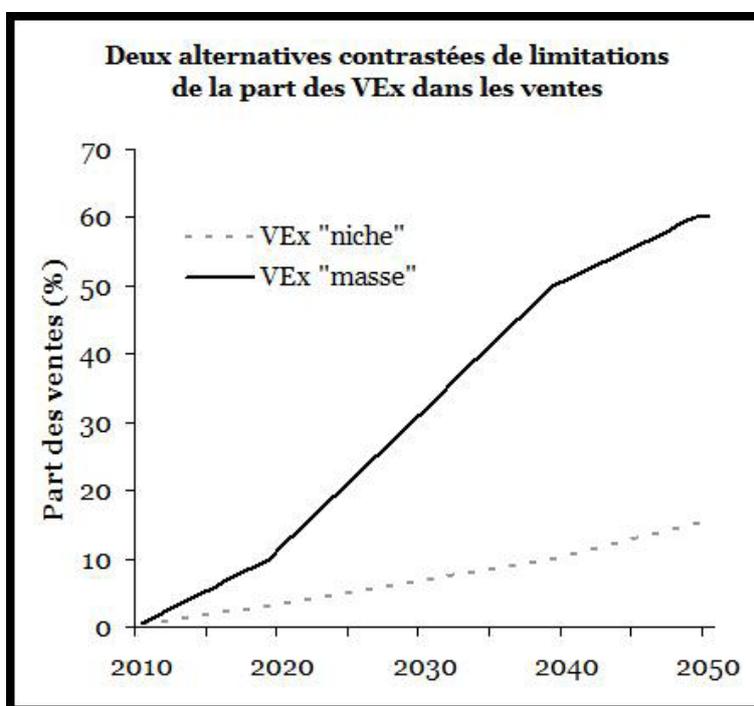


Figure 4 Hypothèses sur la borne supérieure des ventes de VE dans les scénarios « VEx niche » et « VEx masse »

Dans tous les cas, ces valeurs sont des bornes supérieures. Le modèle calcule une part de marché de l'électrification cohérente avec les prix de l'énergie et le coût des véhicules.

Le calcul de la valeur d'option se fait alors au regard de deux valeurs (Table 2):

- La différence entre la part de la mobilité faite en mode électrique dans les scénarios « VEx masse » et celle des scénarios « VEx niche »
- La différence entre le coût du système automobile dans les scénarios « VEx masse » et « VEx niche »

Références

CGDD, 2011. *Les véhicules électriques en perspective: analyse coûts-avantages et demande potentielle*, Paris, France: Commissariat général au développement durable.

Syrota, J. et al., 2011. *La voiture de demain: carburants et électricité*, Paris: Conseil d'Analyse Stratégique.

Vogt-Schilb, A. & Hallegatte, S., 2011. *When Starting with the Most Expensive Option Makes Sense: Use and Misuse of Marginal Abatement Cost Curves*, World Bank Policy Research 5803.

Véhicules électrifiés et compétitivité

Synthèse

Le Cired a mené en collaboration avec l'Observatoire des Émergents une étude pour Renault qui compare les contextes macroéconomiques et énergétiques de l'émergence de véhicules électrifiés en Europe et en Chine. Cette étude a permis de quantifier quelques mécanismes de première importance pour l'évaluation de l'effet des véhicules électrifiés (VEx) pour la compétitivité européenne. Deux « étages » de la question de la compétitivité peuvent être distingués : tout d'abord la compétitivité de l'industrie automobile, ensuite la compétitivité de l'économie européenne plus généralement.

1. Même si le contenu carbone de l'électricité chinoise est élevé, la Chine peut (et va) développer le VEx pour réduire les pollutions locales, améliorer son indépendance énergétique et développer une filière de production de VEx exportatrice. Cette politique industrielle chinoise de développement d'une filière de production de VEx représente une menace pour la compétitivité de l'industrie automobile européenne.

2. Le développement du véhicule électrique en Europe permet d'améliorer la compétitivité de l'économie européenne en général. La pénétration du VEx limite les importations de pétrole qui pèsent sur la balance des paiements. De plus, elle réduit le prix du carbone nécessaire pour atteindre les objectifs d'émissions de gaz à effet de serre (GES). Cette réduction bénéficie à l'ensemble de l'appareil productif.

La compétitivité de la filière VEx européenne

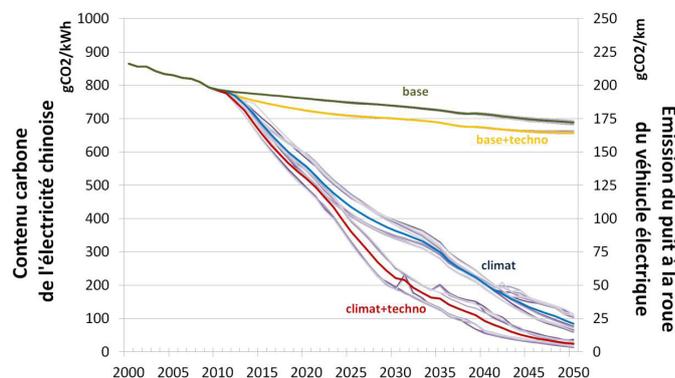
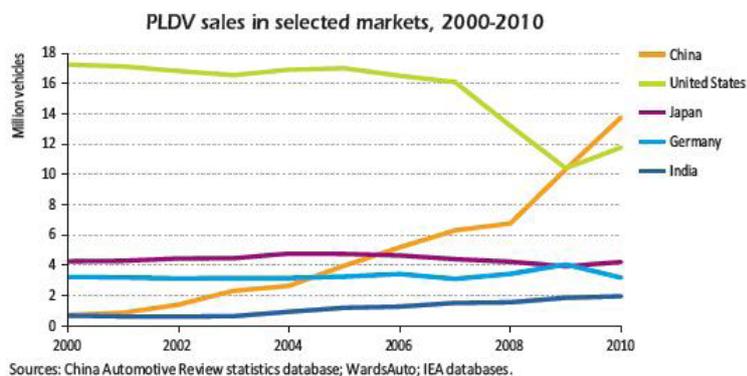


Figure 5 : Contenu carbone de l'électricité en Chine et intensité carbone correspondant pour un véhicule électrique

Les simulations menées avec le modèle Imaclim-R montrent que le contenu carbone de l'électricité chinoise ne permet pas au VEx de faire baisser immédiatement les émissions de gaz à effet de serre (GES) dans ce pays. Bien que le parc de production d'électricité, en pleine croissance, évolue rapidement, il part d'un contenu carbone très élevé, de près de 800gCO₂/kWh en 2010 (à comparer avec 400 gCO₂/kWh en Europe). Ainsi, en 2020, le contenu carbone de l'électricité attendu en cas de mise en œuvre de politiques climatiques reste élevé et varie entre 500 et 600 gCO₂/kWh. Une voiture électrique serait alors⁴ responsable d'entre 125 et 150 gCO₂/km, à comparer à une réglementation annoncée à 117 gCO₂/km cette année-là (An *et al.* 2007).

Pourtant le gouvernement Chinois peut développer le VEx afin d'atteindre d'autres objectifs que les réductions d'émissions de CO₂, qui font figure de priorité pour la Chine, et à premier titre la réduction de la pollution locale en ville, et l'amélioration de l'indépendance énergétique. D'autre part, le développement d'une filière de production de VEx, visant le marché domestique mais également à terme l'exportation, fait partie d'une politique industrielle chinoise. Dans ce cadre, la Chine bénéficie d'un avantage du fait de son marché intérieur en plein essor. En effet, depuis 2 ans, la Chine est devenu le premier marché intérieur de voitures (Figure ci-dessous, tirée du World Energy Outlook 2011, IEA). Or, le taux d'équipement moyen en voitures des ménages chinois reste faible (30 véhicules pour 1000 habitants), en comparaison des taux d'équipement moyens européens (500 véhicules pour 1000 habitants) ou américains (700 véhicules pour 1000 habitants). Cela donne des perspectives d'accroissement du marché très significatives⁵, et va tendre à renforcer la position dominante de la Chine.



L'effet de la filière VEx sur la compétitivité européenne

Le développement du véhicule électrique en Europe permet de réduire la facture pétrolière, et améliore la sécurité énergétique. Dans les scénarios de l'étude, la disponibilité à large échelle de VEx permet de réduire en moyenne la facture pétrolière due à la consommation de carburants des voitures européennes de 15% en 2030 et de 25% en 2050.

4. En faisant l'hypothèse d'une consommation *plug-to-wheel* de 25kWh/100km.

5. Il est cependant incertain si la Chine atteindra des niveaux d'équipement comparables aux niveaux européens ou américains. Ceci est lié aux dynamiques d'urbanisation et à la densité des villes chinoises. Par exemple, les taux d'équipement des ménages pékinois est près de 3 fois plus élevé que celui des ménages à Shanghai, malgré un revenu moyen similaire.

De plus, les VEx permettent de substituer la consommation de pétrole, dont la plus grande partie du prix est constitué par une rente de rareté payée aux producteurs, par une consommation d'électricité produite sur place avec de la main d'œuvre locale et une forte valeur ajoutée domestique.

Dans les scénarios avec politiques climatiques, l'Europe se fixe chaque année un objectif d'émissions de GES qui concerne tous les secteurs de l'économie (y compris le transport). Lorsque les véhicules électriques ne sont pas disponibles, les options d'abattement dans le secteur de l'automobile sont limitées, et le reste de l'économie doit fournir d'autant plus d'efforts.

Au contraire, les VEx sont un levier permettant de profiter de la décarbonisation du secteur de l'électricité pour réduire les émissions de GES dans le secteur des transports. La pénétration des VE permet ainsi de réduire les émissions de CO₂ des véhicules privés (en g/km) de 2% dès 2020, 9% en 2030 et 30% en 2050 dans les scénarios avec politiques climatiques. De ce fait, à objectif de réduction d'émissions égal, un moindre effort reste à faire par le reste de l'économie. La disponibilité des VEx se traduit alors par une baisse du prix du carbone permettant d'atteindre ces objectifs, de 8% dès le court terme, et d'autour de 20% à plus long terme (voir table 1 et Figure 6).

	2015	2020	2025	2030	2050
Différentiel d'électrification des ventes	0.5%	2.7%	5.6%	11.6%	41.4%
Effet sur le prix du carbone €₂₀₁₀/tCO₂	-24	-44	-112	-212	-242
Effet sur le prix du carbone %	-8%	-8%	-12%	-21%	-18%

Table 1 Pénétration des VEx dans les scénarios avec politique climatique et effet sur le prix du carbone

Lecture : Dans les scénarios avec politiques climatiques et en 2030, la disponibilité accrue des véhicules électrifiés augmente leur part de marché de +11.6%. Cela se traduit, à émissions totales de l'économie constantes, par une baisse de 138 €/tCO₂, soit 21 %, du prix du carbone qui pèse sur l'ensemble de l'appareil productif.

Ainsi, la disponibilité des véhicules électriques ne bénéficie pas seulement aux automobilistes (qui font le choix rationnel de s'équiper en fonction des coûts d'achats et des prix de l'énergie), mais profite à l'ensemble des industriels qui font ainsi face à un coût du carbone moindre. Ceci réduit les risques de perte de compétitivité (et de fuites de carbone) en cas de régulation asymétrique des émissions dans un cadre où l'Europe imposerait des objectifs plus ambitieux que le reste du monde, la Chine en particulier.

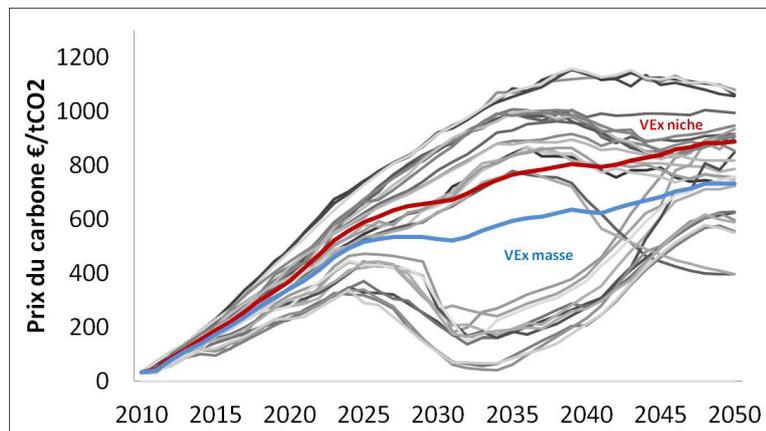


Figure 6 Effet de la disponibilité des VEx sur le prix du carbone

Références

An, F. et al., 2007. *Passenger Vehicle Greenhouse Gas and Fuel Economy Standards: A Global Update*, Washington DC: The international council on clean transportation. Available at: <http://www.theicct.org/passenger-vehicles/global-pv-standards-update/>.

Politiques publiques chinoises et risques pour la compétitivité européenne

Sur les VE, la Chine a mis en œuvre une politique industrielle ambitieuse dans un but (i) d'indépendance énergétique (ii) de propreté de l'air urbain et (iii) d'avance technologique mondiale sur ce secteur. Ces objectifs, extérieurs aux enjeux environnementaux type GES classiquement mobilisés en occident pour appuyer le développement du VE, sont puissamment financés et coordonnés par le gouvernement chinois. Ils assurent à la Chine et à son industrie un potentiel d'avance industrielle en la matière considérable.

La politique industrielle chinoise du VE : outils et coordination étatique

En plus des investissements des constructeurs eux-mêmes, le gouvernement a assigné aux secteurs des moyens financiers nationaux (10ème plan quinquennal (2001 - 2005) : 420 millions \$; 11ème plan quinquennal (2006-2010): 150 millions \$, 12ème plan quinquennal (2011-2015): 15 Milliards de \$). Ils se décomposent en :

Programmes de soutien à la R&D : 570 millions \$ de 2001 à 2010 – allocation des aides du 12ème plan quinquennal non encore connues. - Les aides des 10èmes et 11èmes plans quinquennaux concernaient la R&D en batterie (Technos lithium, plomb et fuel-cell principalement), en véhicules (hybrides, hybrides rechargeables, véhicules 100% électriques) et systèmes de recharges des véhicules électriques (charge rapide, lente, échange de batteries), les aides prévues par le 12ème plan concernent les même secteurs, mais également les systèmes de monitoring électronique et d'infrastructures de recharges publiques.

Subventions 'aux acheteurs' essentiellement de type flotte fléchées vers les constructeurs. Ceci se fait dans 25 villes pilotes (13 initialement (2009), chacune étant initialement un 'bastion' d'un constructeur chiffres.

La Chine intérieure s'urbanise extrêmement rapidement ; le profil sociologique des futurs utilisateurs de VE est autant à rechercher dans les 'petites' villes (90 petites villes de 2,5 millions d'habitants) où la mobilité électrique proviendra du leapfrogging du 2 roues électriques (140 millions) que des plus grandes villes ; les politiques d'urbanisme chinoises sont autant de subventions indirectes au VE.

En amont du secteur, l'Etat a mis en place une politique d'investissements pour que la Chine soit l'un des acteurs globaux du secteur du Lithium, et attire ainsi (suivant l'exemple des terres rares) une large partie de la filière des batteries.

La politique industrielle chinoise du VE : hiérarchisation de ses objectifs

La Chine a depuis une décennie des objectifs environnementaux ambitieux (Baisse de l'intensité énergétique du PIB de 40% à 45% entre 2005 et 2020, intégrer au moins 20%

d'énergie renouvelable dans son mix électrique d'ici 2020), renforcés par le 12ème Plan quinquennal (2011-2015). Cependant cet objectif est d'abord servi par les secteurs de l'énergie, manufacturier, construction etc. L'électromobilité est loin d'être l'outil essentiel du fait du contenu carbone du parc électrique actuel.

En revanche, la politique d'électromobilité sert d'autres objectifs:

Elle sert très directement l'objectif de limiter la dépendance pétrolière nationale. Objectif qui se traduit par (i) Evolution du mix énergétique brut vers une vers un accroissement de la part relative de l'électricité. Cela a entraîné une forte augmentation de la consommation de charbon et s'est traduit par une hausse des importations chinoises de charbon, (le pays est ainsi passé de premier exportateur mondial à premier importateur mondial entre 2007 et 2009). (ii) Modification de la composition du mix électrique : le gouvernement souhaite y limiter la part du charbon et du pétrole au profit d'un renforcement des installations de centrales à gaz, centrales nucléaire mais aussi hydrauliques et éoliennes. (iii) l'essor du Coal to Liquid pour remplacer les usages incompressibles du pétrole. Cet enjeu, d'importance nationale prépondérante depuis une quinzaine, va durer ; cet élément de contexte de soutien au VE est donc pérenne.

Le positionnement stratégique industriel High Tech de la Chine. La recherche de compétitivité mondiale dans la propulsion électrique est d'autant renforcée que la Chine a abandonné l'espoir de l'être dans le moteur thermique ; elle accélère ainsi la transition technologique vers son domaine de compétitivité.

Il y a une prise de conscience croissante que la stabilité politique du pays dépend en partie du ressenti de la population quant à son environnement local. La pollution atmosphérique urbaine, à 65% générée par les gaz d'échappement, devient un véritable enjeu de santé publique. La population exerce une pression croissante sur le gouvernement pour exiger (i) des indicateurs de pollution plus transparents (ii) des mesures de limitation de la pollution.

Soutenabilité financière

Les simulations Imaclim suggèrent que les subventions initiales assurent aux constructeurs chinois une courbe d'apprentissage technologique générale qui permet au pays de voir des courbes de pénétration du VE croissantes après arrêt des subventions initiales (au bout de 5 ans) et ce dans la plupart des scénarios macro-énergétiques.

Impacts industriels et énergétiques des politiques chinoises pour le monde

Sur le plan industriel les constructeurs chinois tirent le développement de la filière VE et à l'amont de la filière Lithium. L'analyse d'économie industrielle conduite par l'Observatoire des Emergents indique une avance possible et croissante de la Chine en termes de coût de développement des batteries (De 600 \$/kWh en 2010 à moins de 200 \$/kWh en 2015).

La politique purement nationale chinoise de promotion du CTL a, compte tenu de la taille de la Chine, le potentiel d'impacter très fortement le cours des prix mondiaux du pétrole.

Au niveau macro-économique, on constate sur les résultats Imaclim une variabilité des prix du pétrole qui est plus fortement impactée par les scénarios purement chinois de CTL que par les scénarios de découverte de nouvelles réserves mondiales.

Ceci signifie que, les cours haut du pétrole –qui sont l’un des éléments clé de la rentabilité du VE européen- sont en fait dépendants de décisions purement chinoises. Pour se protéger de ce risque l’Europe doit d’autant plus pousser vers un environnement qui donne de la place à sa compétitivité propre, à savoir un double dividende entre politique carbone ambitieuse.

Les bénéfices obtenus sont uniques dans le cas de l'électrification du parc automobile

Le Cired a mené en collaboration avec l'Observatoire des Émergents une étude pour Renault qui compare les contextes macroéconomiques et énergétiques de l'émergence de véhicules électrifiés en Europe et en Chine. Cette étude a permis de quantifier des mécanismes de première importance pour l'évaluation **environnementale** et **économique** des véhicules électrifiés (VEx) :

1. En Europe, l'électrification des véhicules représente **dès aujourd'hui un bénéfice environnemental** en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre. Si des politiques climatiques continuent à être mise en œuvre, ce bénéfice environnemental sera **croissant dans le temps**, grâce à la décarbonisation de la production électrique. (fiche «Le bénéfice pour les transports de la décarbonisation du mix électrique »).

2. D'autre part, la disponibilité à grande échelle dans le futur de véhicules électrifiés a une **valeur d'option**. En particulier, elle permet de **réduire le coût moyen futur espéré du système automobile**, étant donnés les prix futurs incertains des carburants liquides, de l'électricité et d'une éventuelle taxe carbone (fiche «La disponibilité des véhicules électrifiés, une option réelle du point de vue sociétal »). Elle a également des **(co-)bénéfices économiques en termes de compétitivité européenne** (fiche « Véhicules électrifiés et compétitivité »).

Ces bénéfices sont **uniques** dans le cas de l'électrification du parc automobile. Cette singularité tient aux **particularités du secteur des transports**, et de la mobilité en voiture :

1. Le secteur des transports représente aujourd'hui près de 30% des émissions de CO2 en Europe, et il est le seul secteur dont les émissions connaissent encore une **croissance rapide** (+1% par an). La mobilité de passagers en véhicules particuliers représente une contribution importante à ces émissions et à leur croissance

		1990	2009	1990	2009	2009/1990
		MtCO2	MtCO2	shares	shares	mean annual growth rate
Total CO2	Europe	4 035	3 529	100%	100%	-0.7%
Power generation	Europe	1 491	1 270	37%	36%	-0.8%
Transport	Europe	744	905	18%	26%	1.0%

Source : Agence internationale de l'énergie (AIE), World Energy Outlook 2011.

2. La décarbonisation de ce secteur est difficile à mettre en œuvre pour plusieurs raisons:

- a. C'est un secteur **diffus**.
- b. Les évolutions de ce secteur sont contraintes par une forte **inertie**, du fait de la **longue durée de vie des infrastructures** (routes, infrastructures de transport en commun, forme des villes) et de leur **coûts**.
- c. Une partie de la mobilité est **captive** (i.e. les ménages n'ont pas d'alternative).
- d. Un éventuel prix du carbone serait très atténué par les importantes taxations préexistantes.

En 2010, une taxe carbone de 10€/tCO₂ (environ le prix du carbone dans le marché EU-ETS) entraîne une augmentation de moins de 2c/l, 1.4% en France, 2.4% en moyenne en Europe. 50€/tCO₂, +7% en France en 2010, environ +10% en Europe en 2010, estimé à moins de +8% en 2030 (du fait de l'augmentation estimée du prix du baril).

- e. Les trois points précédents laissent penser qu'un **prix du carbone serait peu opérant dans le secteur des transports, en particulier pour la mobilité de passagers**. De plus, des questions d'**acceptabilité** sont en jeu : impact **régressif** d'une augmentation du coût des carburants, contrainte sur une **mobilité captive**.
- f. Les **possibilités de substitution sont limitées ou coûteuses**, tant du pétrole vers d'autres énergies pour la mobilité que de la mobilité en voiture vers d'autres modes.

3. Le secteur des transports est à l'origine d'une **large part de la facture d'importation de pétrole**, et se trouve donc au cœur des questions de **sécurité énergétique**. Les possibilités de substitution du pétrole dans ce secteur étant limitées, cela rend les économies européennes **dépendantes aux importations de pétrole**, et donc **vulnérables à de possibles chocs** sur les marchés pétroliers.

4. L'évolution des marchés des carburants liquides n'est pas susceptible de conduire à elle seule à une sortie de la dépendance aux énergies fossiles importées du secteur des transports. En particulier, le **développement du « Coal-to-liquid », dont un démarrage est à l'œuvre en Chine, est de nature à modifier significativement les dynamiques de prix des carburants liquides** et à tirer les prix à la baisse. Il existe donc **un risque réel de blocage dans des systèmes carbonés, et d'accentuation des questions de sécurité énergétique et de vulnérabilité à des chocs sur les prix**.



Les Cahiers de la Chaire

Contact

Nadia MAÏZI

Directrice du Centre de Mathématiques Appliquées (CMA)

MINES ParisTech / CMA
Rue Claude Daunesse
BP 207
06904 Sophia Antipolis

Tel: +33(0)4 97 15 70 79 / Fax: +33(0)4 97 15 70 66
Courriel: nadia.maizi@mines-paristech.fr

Jean-Charles HOURCADE

**Directeur du Centre International de Recherche sur
l'Environnement et le Développement (CIRED)**

CIRED
Campus du Jardin Tropical
45 avenue de la Belle Gabrielle
94736 Nogent sur Marne Cedex

Tel: +33(0)1 43 94 73 63 / Fax: +33(0)1 43 94 73 70
Courriel: hourcade@centre-cired.fr

Site Web: <http://www.modelisation-prospective.org>

Contact de la Chaire: contact@mail.modelisation-prospective.org