

# Régulation Environnementale

## Les mécanismes d'intervention

J. C. Elnaboulsi

UFC, CRESE

Novembre 2018

*Il est toujours plus facile de nier la réalité  
que d'abandonner notre vision du monde.*

Naomi Klein  
Tout Peut Changer, Capitalisme  
& Changement Climatique (2014)

# L'urgence climatique : une réalité

- Peut-on encore nier la réalité du changement climatique ?
- Le mois de juillet 2015 a été le plus chaud jamais enregistré depuis que les relevés de température existent (1850's) !
- Les rejets des gaz à effet de serre (GES) ont atteint des records et ont dépassé parfois 450 ppm (Rapport 2015 OMM).
- Plus de 4000 articles scientifiques confirment la réalité du changement climatique (voir la cross de hockey des températures développée par Mann). Alors que une trentaine nie son existence. En France, nous avons toujours Claude Allègre et Vincent Courtillot.
- Il faudrait attendre la fin de l'année 2016 pour avoir la température moyenne. En tout cas, 2016 promet de battre des records.

# L'urgence climatique : une réalité

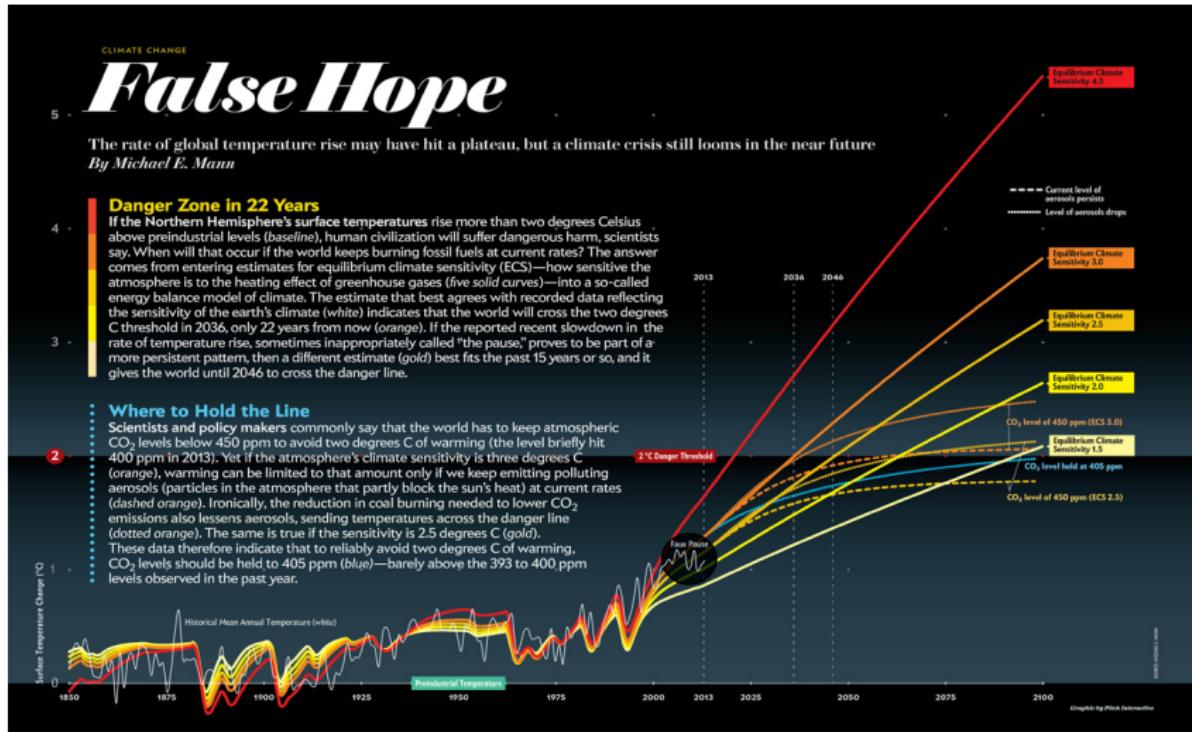


FIG. 1: Cross de Hockey des températures.

# Plan de la séance

- Introduction : le champ de l'économie de l'environnement.
- Le réchauffement climatique et les difficultés de régulation.
- Les instruments de régulation : définition et classification.
- Les instruments de régulation en information parfaite.
  - ① Les instruments traditionnels, taxes et normes
  - ② Efficacité comparée des normes et taxes
  - ③ Les subventions
  - ④ Les permis d'émissions négociables
  - ⑤ Efficacité comparée taxes et PEN
- Les instruments de régulation en information imparfaite.
- Le cadre intertemporel.
- La fiscalité climatique.
- Cas d'études
- La convention cadre sur le changement climatique.

## Introduction

# Constat !

*"L'épreuve ultime d'une théorie est sa capacité de résoudre les problèmes à son origine". George B. Dantzig.*

- Hélas, en matière environnementale, la théorie néoclassique a échoué par ce test, pour deux raisons différentes :
  - ① Le modèle **traditionel** est inadéquat pour résoudre les problèmes rencontrés.
  - ② La théorie qui en ressort est **incohérente** avec les enjeux environnementaux.



FIG. 2: George Bernard Dantzig  
(1914 - 2005)

- C'est une question qui relève de l'**économie publique** : un champ de l'économie qui s'intéresse spécifiquement aux différents aspects de l'intervention des pouvoirs publics dans l'économie. Deux volets :
  - ① Un volet **macroéconomique** : politique de change, de régulation des marchés financiers, financement des pouvoirs publics, fiscalité et redistribution, etc.
  - ② Un volet **microéconomique** : politiques publiques de la santé, de l'éducation, de l'innovation, politiques agricoles, politiques environnementales, etc.
- On trouve également de manière transverse les **politiques de régulation** des marchés et des entreprises publiques ou privées (incitations, réglementation). Dans le cadre de ce cours, on va s'intéresser aux problèmes de régulation environnementale.

- **Questions traitées** : différents instruments dont dispose l'Etat ou l'autorité de régulation pour influencer le comportement des pollueurs afin d'assurer une meilleure protection de l'environnement. De même, étudier l'efficacité comparée de ces instruments.
  - ① Dimension **normative** : rechercher ce qui devrait faire (idéalement) une autorité de régulation soucieuse d'efficacité.
  - ② Dimension **positive** : s'intéresser aux outils et mesures mis en oeuvre concrètement pour évaluer s'ils sont opportuns et proposer des améliorations possibles.
- Problème central : les activités polluantes ont des conséquences sociales dont les pollueurs ne tiennent pas compte dans une pure logique de marché (absence de prix à payer sur un marché pour avoir le droit de polluer) ; ainsi, si aucune politique publique n'est mise en oeuvre, **les pollueurs pollueront trop par rapport au niveau économiquement efficace pour la société**.

# Rappel : Bien public / Bien privé

- Bien privé :

- a un propriétaire,
- est échangeable sur un marché.

- Bien public pur :

- pas de droit de propriété privée,
- n'est pas échangeable sur un marché,
- non rival et non exclusif (éclairage public, défense nationale, mathématiques fondamentales, qualité du climat, etc.).

Biens privés et Bien publics		
	Rivaux	Non rivaux
Exclusifs	Biens privés	Biens de club ou à péage
Non exclusifs	Biens communs (ressources)	Biens publics purs

# La qualité de l'air est un bien public

- Qualité de l'air : est un bien public pur fourni par la nature. Elle semble être gratuit et inépuisable, comme la nature elle-même. Cependant, il a fallu attendre le moment où elle a été suffisamment dégradée pour qu'émerge la prise de conscience de la nécessité de la préserver. Alors, qui doit se charger de cette préservation ? Comment financer ? etc.
- Constat : une hausse des températures ( $+0.7^\circ\text{C}$  depuis le début de l'ère industrielle et  $+0.1^\circ\text{C}$  par décennie depuis 50 ans) ⇒
  - des modifications des régimes des pluies et la multiplication des sécheresses ;
  - l'augmentation de la fréquence des vagues de chaleur et d'événements climatiques extrêmes (en raison de El Niño par exemple ⇒ coût des catastrophes climatiques  $\simeq 450$  milliards de dollars par an selon les Nations Unies) ;
  - les fontes des glaces, des sols gelés et l'élévation du niveau des mers ;
  - la perte de biodiversité, e.g. les abeilles dont la valeur économique des services écologiques s'élève à plus de 153 milliards d'euros par an ; etc.

# L'urgence climatique

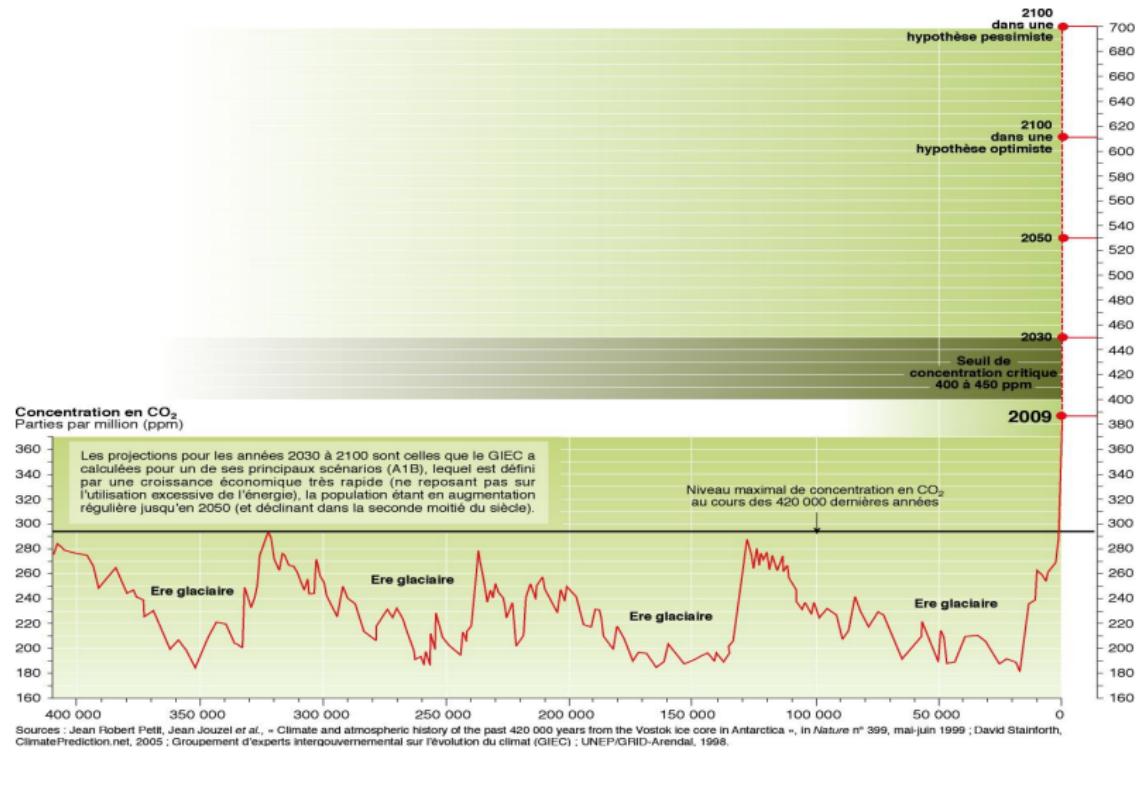


FIG. 3: L'évolution de la concentration du CO<sub>2</sub> au cours du temps.

# La pollution : une aberration écologique mais aussi économique...

- Face au changement climatique, Stern (2006) souligne que :
  - les coûts de l'inaction publique équivaudraient à une perte annuelle du PIB par habitant, maintenant et pour toujours, comprise entre 5% et 20%,
  - par contre, les coûts annuels d'une politique de forte réduction des gaz à effet de serre se limiteraient à environ 1% à 3% du PIB mondial.
- Le *Climate Vulnerable Forum* (2012) estime que la perte économique mondiale pourrait atteindre plus de 900 milliards d'euros/an d'ici 2030.
- GIEC (2014) estime que les pertes économiques dues au changement climatique représentent 0,2% à 2% du PIB brut mondial par an (avec l'hypothèse de contenir la hausse des températures à 2°C à l'horizon 2100).

## ... et sanitaire et humanitaire

- Si les nombreux maux provoqués par la pollution de l'air sont connus, le coût qui leur est associé (hospitalisation, indemnités, pensions d'invalidité, absentéisme, perte de productivité, etc.) n'est pas suffisamment appréhendé par les pouvoirs publics et les entreprises.
- La Commission d'enquête sénatoriale (2015) a publié un rapport sur le coût de l'inaction face à la pollution de l'air. Cette évaluation inédite en France intègre les dommages sanitaires de la pollution et ses conséquences sur les bâtiments, les écosystèmes et l'agriculture. Ainsi, chaque année,
  - la mauvaise qualité de l'air coûte plus de 101 milliards d'euros (deux fois plus que le tabac  $\simeq$  47 milliards d'euros !),
  - elle est à l'origine de 42000 à 45000 décès prématurés en France (surtout les particules fines),
  - le coût sanitaire de la pollution est compris entre 68 et 97 milliards d'euros, dont 3 milliards pour l'impact sur la Sécurité sociale.
  - plus de 650000 journées d'arrêt de travail seraient prescrites chaque année du fait de la mauvaise qualité de l'air.

# Et la croissance démographique

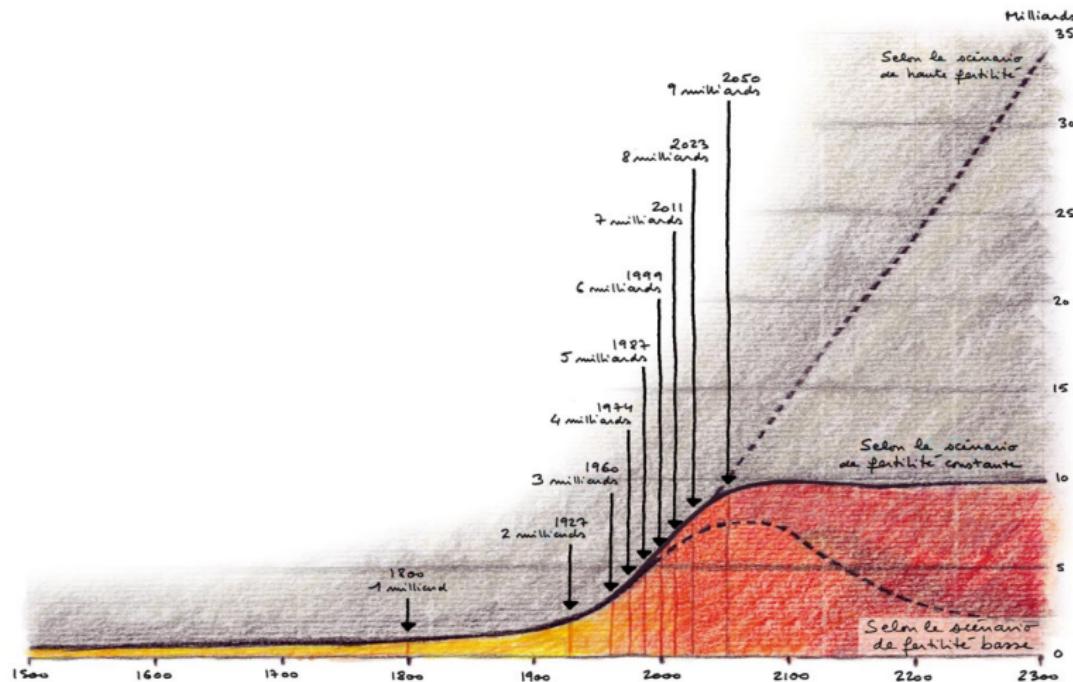


FIG. 4: La croissance démographique.

# Croissance démographique et agriculture

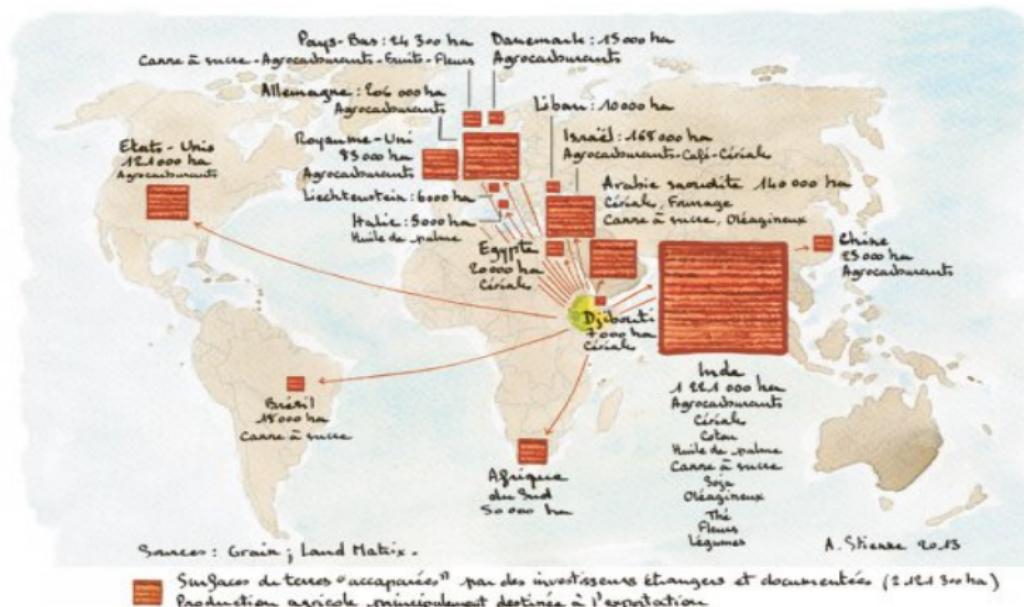


FIG. 5: Les investissements étrangers dans certains pays africains.

## Le réchauffement climatique et les difficultés de régulation

# Les dimensions spatiales

- Dans le cas des biens publics locaux : les Etats prévoient quelle doit être l'institution chargée de fournir le bien, et le financement s'effectue par l'impôt.
- Dans le cas des biens publics globaux qui ne connaissent pas de frontières (comme la qualité de l'air), le bon niveau d'intervention est celui de la communauté internationale. Hélas, il n'existe aucune entité supranationale de régulation appropriée. Alors la seule manière de procéder : la négociation entre les Etats ⇒ problèmes :
  - ① Les différents pays n'ont pas la même responsabilité historique dans la dégradation de la qualité du climat (dette écologique). Un européen émet environ 10 tonnes CO<sub>2</sub> par an alors qu'un américain émet plus de 25 tonnes par an (un habitant du Mozambique : 100 kg).
  - ② Certains pays émergents ont rattrapé les pays industrialisés en termes d'émissions totales de gaz à effet de serre ;
  - ③ Les différents pays souffriront très inégalement du changement climatique.

# Qualité de l'air : une tragédie des communs

- En matière de négociation international, on est confronté à un problème classique bien connu, celui du **passager clandestin** débouchant forcément sur « une tragédie des biens communs » :
  - ① Les émissions de GES d'une usine ou d'une ville n'ont pas d'impact local particulier, mais elles changent la composition de l'air pour la planète entière.
  - ② *A contrario*, les réductions des GES réalisées par un agent, moyennant souvent des coûts considérables, n'ont qu'un impact positif très limité pour lui, mais elles profitent à tous.
- Ainsi, dans un tel contexte, chaque joueur a intérêt à ne faire aucun effort et profiter des actions des autres pour protéger le bien commun.

# Les dimensions temporelles et la question de stock

- La nature a une certaine capacité à absorber les émissions et polluants (océans, biomasse terrestre, atmosphère, etc.). Or, cette capacité dépend du processus d'émission de certains polluants.
- La qualité de l'air dépend de la concentration des gaz à effet de serre dans l'atmosphère. La concentration du seul CO<sub>2</sub> :
  - 280 ppm environ avant la Révolution industrielle et dépasse actuellement les 400 ppm.
  - Pour avoir une chance de limiter l'augmentation de température à 2°C à l'horizon 2100, il faut la stabiliser à un niveau < 450 ppm ⇒ il faut retirer entre 300 et 700 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> à l'atmosphère.
- L'augmentation de cette concentration est due aux flux d'émissions causés par l'activité économique. L'absorption est très lente : la durée de vie du CO<sub>2</sub> se situe entre 150 et 200 ans.
- Cette dimension est importante et rend plus difficile la lutte contre le réchauffement climatique : nous n'en serons pas les bénéficiaires, mais en supporteront les coûts ; les générations futures ne sont pas là pour négocier.

# Les dimensions temporelles et la question de stock

Gaz à effet de serre	Concentré pré-1750 (ppmv)	Concentré en 2010 (ppmv)	Durée de vie (années)	Potentiel de réchauffement global <sup>1</sup>	Accroissement du forçage radiatif (W/m <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>
CO <sub>2</sub>	280	390.5	100	1	1.79
CH <sub>4</sub>	0.7	1.8	12	25	0.50
N <sub>2</sub> O	0.27	0.32	114	298	0.18
CFC-11	0	0.00024	45	4750	0.06
CFC-12	0	0.00053	100	10900	0.17
CFC-113	0	0.000075	85	6130	0.024

Source : Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oct. 2012. On peut citer d'autres gaz : HFC, PFC et SF<sub>6</sub>.

<sup>1</sup>Effet radiatif des émissions du gaz considéré à l'horizon de 100 ans relativement à l'effet d'une masse égale d'émissions de CO<sub>2</sub>.

<sup>2</sup>Accroissement depuis 1750.

# Le rôle central du taux d'actualisation

- Le choix d'un taux d'actualisation est très important dans l'évaluation de projets, d'autant plus que l'horizon sur lequel porte le projet est long.
- D'où le débat sur ce choix à propos de projets à caractère environnemental caractérisés par un très grand éloignement dans le temps des coûts et/ou des bénéfices, réduits à un niveau insignifiant par l'actualisation.

Taux d'actualisation	Valeur présente d'un million d'euros dans			
	30 ans	100 ans	200 ans	500 ans
2%	552000	138000	19000	50
4%	308000	20000	400	0.003
8%	99000	400	0.02	0

# Le rôle central du taux d'actualisation

- On peut citer plusieurs exemples :
  - Projets destinés à contrôler l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère ou en limiter les effets,
  - Projets ayant trait au stockage des déchets nucléaires,
  - Projets de préservation de la biodiversité.
- Deux approches (Arrow et al. 1996) sont utilisées pour le choix du taux d'escompte social, utilisé pour le calcul économique public :
  - Approche *prescriptive, normative*, fondée sur une fonction de bien-être social exprimant un jugement (éthique) quant à la façon dont l'utilité doit être distribuée au cours du temps, entre générations présentes et générations futures ;
  - Approche *descriptive, positive* (efficacité intertemporelle), identifiant les taux d'escompte et le taux d'intérêt.

## Les instruments de régulation Définition et classification

# L'économiste et le coût social du Carbone

- Emettre du carbone est "un mal" qui ne donne lieu à aucun paiement compensatoire, faute de marché, et n'a donc pas de coût privé.
- Mais il y a un coût social : réchauffement climatique qui engendre des dommages. De même, réduire les émissions de carbone a également un coût :
  - réduction de la production ou de la consommation,
  - modification de l'utilisation des facteurs de production (moins d'énergie et plus de capital par exemple, ou moins d'engrais et plus de travail),
  - changement de technologie de production au profit d'une technologie moins émettrice, plus propre.
- Ainsi, l'économiste compare le dommage associé à une unité d'émission supplémentaire et le coût de réduction de cette même unité. Il en déduit l'ampleur des efforts à réaliser, et le coût social du carbone, égal à la taxe carbone.
- Difficultés : dommages mal connus, nombreuses incertitudes, coûts de réduction supportés maintenant, tandis que les dommages évités concernent les générations futures.

# Les instruments : définition et classification

- Définition : ce sont des mesures institutionnelles mises en oeuvre par une autorité publique dont le rôle est d'induire chez les pollueurs un comportement moins polluant.
- Il existe principalement deux catégories d'instruments :
  - Les instruments **réglementaires** : mesures destinées à contraindre le comportement des pollueurs sous peine de sanctions administratives ou judiciaires (normes d'émission, de produit, sur les intrants, procédures d'autorisation administrative, licences d'exploitation, etc.);
  - Les instruments **économiques** : mesures incitatives modifiant l'environnement économique des pollueurs (coûts/bénéfices) au moyen de signaux prix reflétant le coût social (éco-taxes, subventions, marchés de droits à polluer ou systèmes de permis négociables, règles de responsabilité, consignes, etc.). Les instruments économiques incitent donc les pollueurs à diminuer leur utilisation de ressources potentiellement polluantes et suscitent l'innovation en technologies moins émettrices de polluants et le développement des énergies renouvelables.

# Les instruments : définition et classification

- D'autres instruments trouvent difficilement leur place dans ce système de classification juridique/économique :
  - ① Les instruments **informationnels** : mesures visant à modifier l'environnement informationnel du pollueur via des signaux informationnels pour l'inciter à l'adoption volontaire de comportements moins polluants (solutions de dépollution, information sur les coûts, dommages, la qualité environnementale, les caractéristiques environnementales d'une activité industrielle, etc.). → écolabels, dispositifs de signalement de la qualité environnementale, éco-audits, etc.
  - ② **Autres instruments** : accords volontaires ou accords négociés conclus entre un secteur et une autorité publique (exemple : aluminium, cimentiers, sidérurgie pour la réduction de CO<sub>2</sub> et l'augmentation de l'efficacité énergétique).
- On peut facilement montrer que les instruments économiques sont supérieurs aux normes au sens où ils permettent d'atteindre un objectif donné de diminution des émissions à moindre coût.

## 1. Les instruments traditionnels en information parfaite

- Ce sont les instruments les plus utilisés en France et en Europe.
- Les caractéristiques de la taxe Pigouvienne (ou éco-taxe) :
  - Instrument économique.
  - Principe : faire intégrer au pollueur l'ensemble du coût social de son activité industrielle (externalités négatives).
  - Moyen : corriger le système des prix au moyen d'une taxe unitaire sur la production du pollueur.
  - Objectif : mettre en phase les décisions privées du pollueur avec les objectifs de bien-être social.
- Les caractéristiques de la norme d'émission :
  - Instrument réglementaire.
  - Principe : contraindre le comportement du pollueur sous peine de sanctions administratives ou judiciaires.
  - Moyen : imposer au pollueur le respect d'une quantité maximale d'émission polluante.
  - Objectif : réduire le niveau de pollution par rapport à ce que le pollueur émettrait spontanément.

# La taxe pigouvienne dans un cadre statique

- Considérons tout d'abord le cas simple dans lequel on néglige la dimension intertemporelle. Hypothèses :
  - $n$  pollueurs ( $i = 1, \dots, n$ ) émettant un polluant en quantité  $e_i$  lors de leurs processus de production,
  - Un pollueur  $i$  a un coût de réduction de la pollution (ou coût d'abattement)  $C_i(e_i)$ . L'hypothèse néoclassique standard :
    - coût d'abattement marginal ( $C'_i < 0$ ) : augmenter d'une unité la pollution permet une économie de coût d'abattement  $\Rightarrow$  le bénéfice marginal des émissions est positif ( $-C'_i > 0$ ) ,
    - coût marginal d'abattement croissant ( $C''_i > 0$ ) : il est coûteux de dépolluer une unité supplémentaire.
  - la pollution engendre des dommages environnementaux : en termes monétaires, ils sont décrits par la fonction de dommage  $D(e)$  où  $e = \sum_{i=1}^n e_i$ . Naturellement,  $D(e)$  augmente avec  $e$ , ( $D' > 0$ ) et ( $D'' > 0$ ). On suppose également que  $D'(e) > -\sum_{i=1}^n C'_i(e_i)$  pour  $e$  suffisamment grand, ce qui justifie une intervention publique.

## Proposition 1

*A l'optimum, en information parfaite, les autorités de régulation doivent mettre en oeuvre une taxe permettant d'égaliser l'ensemble des bénéfices marginaux de la pollution avec le dommage marginal.*

- L'objectif de l'autorité de régulation est de minimiser le coût social, la somme des dommages environnementaux (les coûts externes) et des coûts d'abattement (les coûts privés), soit :

$$\begin{cases} \min_{e_i} [D(e) + \sum_{i=1}^n C_i(e_i)] \\ e = \sum_{i=1}^n e_i \end{cases} \quad (1)$$

- Les  $n$  conditions de premier ordre donnent directement :

$$D'(e) = -C'_1(e_1) = \dots = -C'_i(e_i) = \dots = -C'_n(e_n) \quad (2)$$

On en déduit la solution optimale,  $(e_1^*, \dots, e_n^*)$  et donc la pollution totale  $e^* = \sum_{i=1}^n e_i^*$ .

# Optimisation privée des pollueurs soumis à une taxe

- Si le régulateur impose une éco-taxe  $t$  sur chaque unité de pollution émise, le programme d'un pollueur  $i$  est donné par le programme :

$$\min_{e_i} [C_i(e_i) + te_i] \quad (3)$$

soit la somme du coût de dépollution et de l'éco-taxe sur la pollution.

- La condition de premier ordre nous donne :

$$-C'_i(e_i) = t \quad (4)$$

- En remplaçant  $-C'_i(e_i)$  par  $D'(e)$  donné par la condition décrivant l'optimum social, nous aurons  $t^* = D'(e^*) \Rightarrow$  on retrouve l'équilibre socialement optimal. C'est le modèle de base permettant de définir la taxe pigouvienne (A. Pigou, 1920).
- Attention : dans le cas où l'information est parfaite, pour déterminer la taxe optimale, le régulateur doit connaître tous les coûts privés d'abattement et la fonction de dommage.

# Equilibre de marché sans régulation

- Que se passe-t-il dans une logique de laissez-faire, c'est-à-dire si aucun instrument de politique publique n'est mis en oeuvre ?
- Le pollueur  $i$  minimise son coût privé qui est égal à son coût de dépollution :  $\min_{e_i} [C_i(e_i)]$ .
- La condition de premier ordre donne  $C'_i(\bar{e}_i) = 0$ . On en déduit les quantités individuellement optimales de pollution émises par chaque pollueur,  $\bar{e}_i$ , ainsi que la quantité totale  $\bar{e} = \sum_{i=1}^n \bar{e}_i$ .
- Interprétation : le pollueur est incité à polluer un peu plus tant que ça lui permet de réduire son coût de dépollution ( $C'_i(e_i) < 0$ ) ; il n'a plus rien à gagner à polluer davantage quand  $C'_i(e_i) = 0$ .
- Ainsi, chaque agent pollue trop par rapport au niveau qui serait socialement efficace :  $\bar{e}_i > e_i^*$  et  $\bar{e} > e^*$ . C'est en corrigeant le système de prix que la taxe pigouvienne permet d'atteindre le niveau socialement optimale de pollution.

# L'efficacité de la taxe pigouienne

- La taxe pigouienne est doublement efficace. En premier lieu, elle conduit à l'égalisation des coûts marginaux d'abattement des  $n$  agents, ce qui permet de minimiser la somme des coûts d'abattement pour atteindre un résultat environnemental donné. En effet,

$$\forall \tilde{e} > 0, \left\{ \begin{array}{l} \min_{e_i} [\sum_{i=1}^n C_i(e_i)] \\ \text{sous la contrainte } \sum_{i=1}^n e_i = \tilde{e} \end{array} \right. \quad (5)$$

Les conditions de premier ordre nous donnent :

$$\forall i, \min_{e_i} \left[ \sum_{i=1}^n C_i(e_i) - \lambda \left( \tilde{e} - \sum_{i=1}^n e_i \right) \right] \Rightarrow -C'_i(e_i) = \lambda \quad (6)$$

avec  $\lambda$  le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte. Ceci permet une répartition efficace des efforts de dépollution entre les firmes, étant donnée l'hétérogénéité des coûts d'abattement.

- Ensuite, elle permet d'obtenir un niveau de pollution qui égalise les bénéfices marginaux de la pollution avec le dommage marginal. Ce qui permet d'obtenir la quantité de pollution socialement efficace,  $e^*$ .

# La taxe pigouvienne : illustration

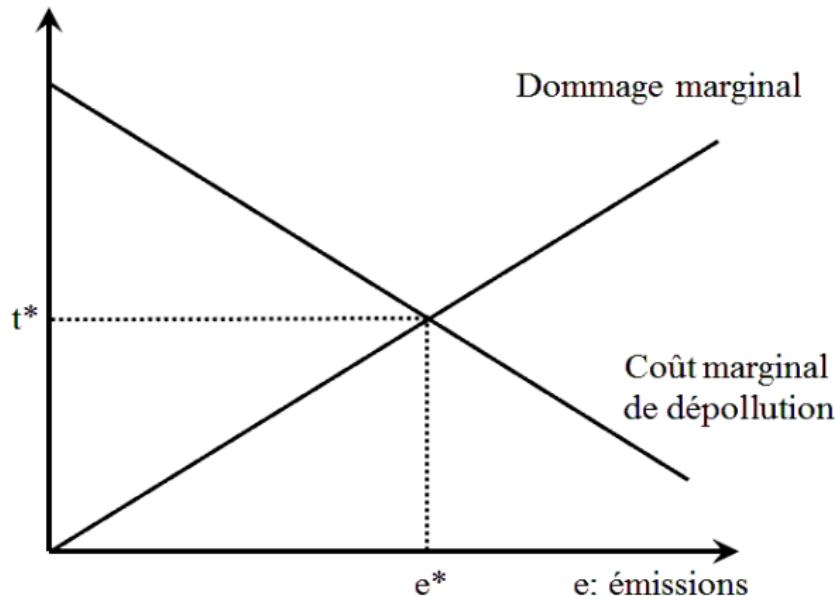


FIG. 6: Illustration de la taxe pigouvienne dans le cas d'un seul pollueur.

# La taxe pigouvienne : illustration

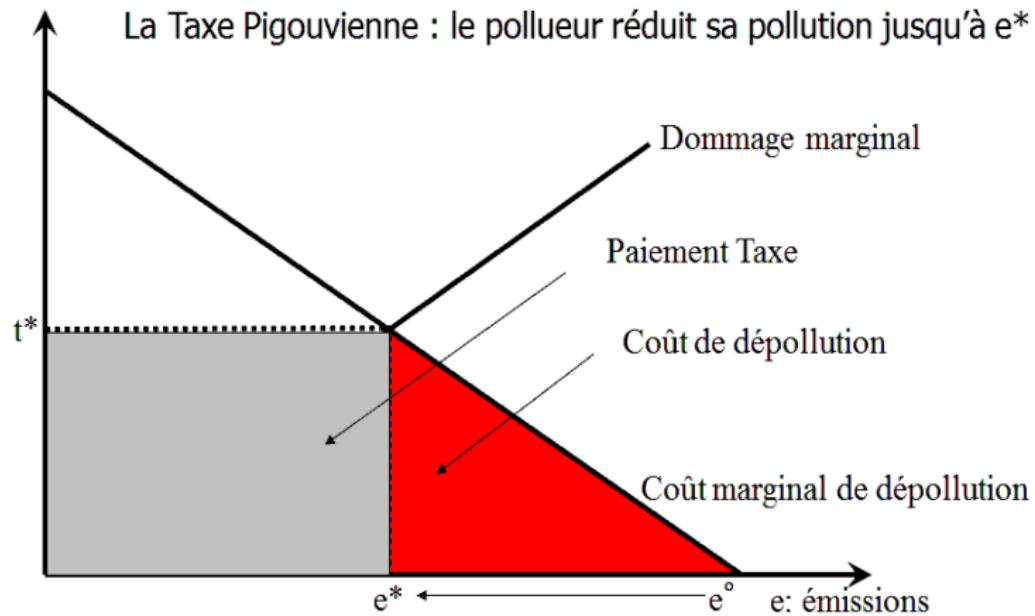


FIG. 7: Une taxe  $t^*$  par unité de pollution émise.

## Norme d'émission uniforme / différenciée

- Une norme d'émission uniforme est un instrument réglementaire qui consiste à imposer à chaque entreprise le respect d'une même quantité maximale d'émission  $e_{\max}$ .
- Une norme uniforme ne peut être efficace que si :

$$D' (n \cdot e_{\max}) = -C'_1 (e_{\max}) = \cdots = -C'_i (e_{\max}) = \cdots = -C'_n (e_{\max})$$

ce qui exige que : (1) tous les agents possèdent la même technologie de dépollution (**principe de l'équimarginalité**) ; et (2) l'autorité de régulation est parfaitement informée sur les coûts privés et la fonction de dommage environnemental afin de déterminer  $e_{\max}$ .

- En information parfaite l'autorité de régulation peut mettre en place une norme différenciée socialement efficace même si les technologies de dépollution sont différentes d'un agent à l'autre. Il suffit d'imposer les émissions maximales ( $e_{1\max}, \dots, e_{n\max}$ ) telles que :

$$D' (e^*) = -C'_1 (e_{1\max}) = \cdots = -C'_i (e_{i\max}) = \cdots = -C'_n (e_{n\max})$$

## 2. Efficacité comparée des taxes et normes

# Efficacité comparée des deux instruments

## Proposition 2

*La taxe pigouvienne est plus efficace que la norme d'émission uniforme, qui ne permet pas l'égalisation des coûts marginaux de dépollution.*

## Démonstration.

En effet,

$$\forall \tilde{e} > 0, \left\{ \begin{array}{l} \min_{e_i} [C_i(e_i)] \\ \text{s.c. } e_i \leq \tilde{e} \end{array} \right. \quad (7)$$

La condition de premier ordre, avec  $\lambda_i$  le multiplicateur de Lagrange associé à la contrainte pour l'agent  $i$  est donnée par :

$$C'_i(e_i) = \lambda_i \quad (8)$$

Deux cas : (1) les agents qui émettent  $\bar{e}_i \leq \tilde{e}$  en l'absence de norme continuent à émettre  $\bar{e}_i$ ; (2) les autres émettent  $\tilde{e}$ .



# Efficacité comparée des deux instruments

- Prenons le cas de deux firmes polluantes. Le pollueur (1) est efficace, et le second l'est moins :  $CmR_1 < CmR_2$ .
- Pour un niveau global de pollution, ( $e_1 + e_2$ ), la taxe différencie les efforts de dépollution reflétés par les  $e_{i,i=1,2}$  selon l'efficacité des firmes en matière de dépollution. Le pollueur le plus efficace fait plus de dépollution.

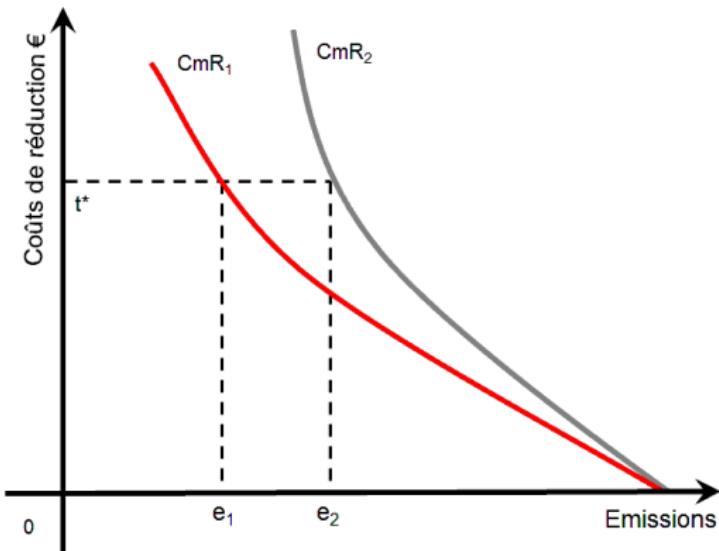


FIG. 8: La taxe minimise le coût agrégé de dépollution.

## Efficacité comparée des deux instruments

- En résumé, la taxe est plus efficace que la norme. Elle permet de répartir efficacement l'effort de dépollution entre les agents étant donnée l'hétérogénéité des coûts d'abattement.
- La taxe est neutre pour la société car il s'agit d'un transfert financier au profit d'autres acteurs. Elle est plus coûteuse pour le pollueur.
- Une norme uniforme ne peut être efficace que si l'autorité de régulation applique le principe d'équimarginalité et si elle est parfaitement informée. Le régulateur bien informé peut calibrer la norme afin qu'elle soit socialement efficace.
- Une norme différenciée ( $e_1^*, \dots, e_n^*$ ) permet, comme la taxe pigouvienne, d'atteindre l'optimum de Pareto.
- Attention : l'efficacité concrète de l'éco-taxe/norme dépend de la qualité de l'information dont dispose le régulateur.

## 3. Les subventions

# Les subventions

- Les subventions à la dépollution ont une logique d'incitation identique à celle des taxes sur les émissions. Dans un cas, le pollueur paye une taxe sur chaque unité de polluante émise ; dans l'autre il reçoit une subvention unitaire sur chaque unité de polluant éliminé. Mais les subventions de ce type sont rares.
- Les subventions peuvent prendre plusieurs formes :
  - ① Directes : en fonction de la dépollution ou de l'adoption d'une technologie propre (remise suite à l'achat d'un véhicule hybride, etc.).
  - ② Traitement fiscal préférentiel (crédits d'impôt).
  - ③ Emprunts à taux préférentiel (emprunts pour travaux, investissements verts, etc.).
- L'assiette des subventions peut être directement la dépollution (primes d'épuration distribuées par les Agences de l'eau). Elle est beaucoup plus fréquemment le coût de la dépollution en suivant un ratio prédéfini.

## Les subventions : illustration

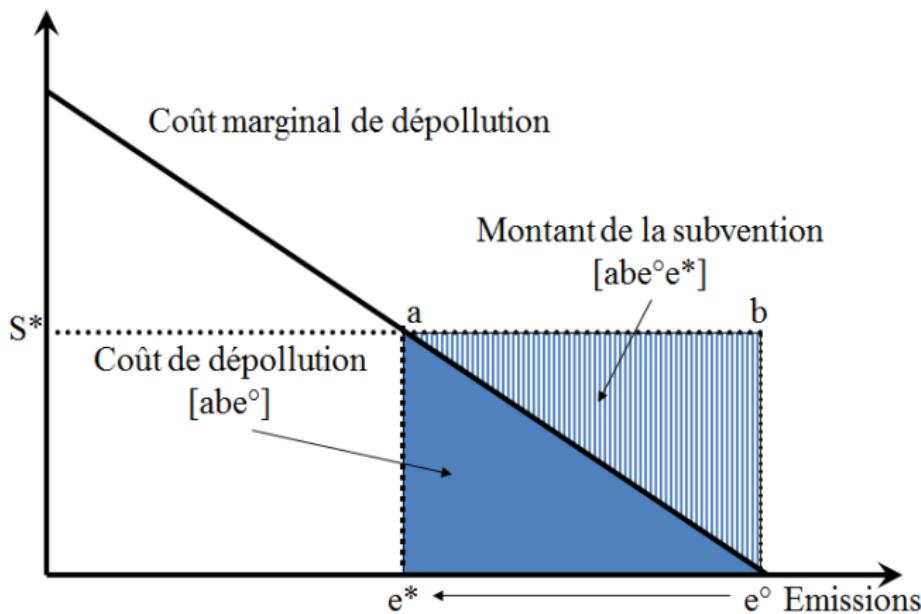


FIG. 9: Pour une subvention  $S^*$  par unité de pollution supprimée, le pollueur réduit sa pollution jusqu'au  $e^*$ .

## Les subventions : problèmes

- Déterminer le niveau de pollution initial : les pollueurs auront intérêt à surévaluer leur niveau initial de pollution (!) de façon à accroître les subventions qu'ils reçoivent.
- Les gouvernements doivent tirer des revenus d'autres sources de façon à payer les subventions.
- La subvention peut rendre l'industrie polluante plus profitable et donc attirer de nouvelles entreprises. Même si les émissions par l'entreprise baissent, il est possible que les émissions totales augmentent.
- A court terme taxe et subvention sont identiques. Cependant, à long terme, les subventions sont inefficaces car elles augmentent la rentabilité des secteurs subventionnés par rapport aux autres secteurs économiques. Ceci se traduit par une augmentation de la taille du secteur subventionné et ainsi une hausse de la pollution.
- Attention : l'application du principe pollueur-payeur se traduit par une interdiction de la subvention (Loi Barnier).

## 4. Les permis d'émissions négociables (PEN)

## Le marchés de permis : origine

- Les marchés de permis d'émissions négociables sont une invention théorique par J. H. Dales, économiste canadien, dans son livre, *Pollution, Property and Prices*, (1968). Toutefois, la contribution antérieure remonte à R. H. Coase, "The Problem of Social Cost", *Journal of Law and Economics*, (1960). Le concept est ensuite développé par les économistes américains.
- Premier essor avec sa mise en oeuvre concrète dans le cadre du Clean Air Act (1970's et ensuite 1990's) aux Etats-Unis pour la gestion des émissions de SO<sub>2</sub> par les centrales thermiques.
- Deuxième essor : c'est un instrument central envisagé dans le cadre du protocole de Kyoto signé en 1997 pour la lutte contre le réchauffement climatique. L'objectif est de réduire les émissions de gaz à effet de serre, principalement le CO<sub>2</sub> d'origine énergétique.
- Troisième essor : l'adoption par l'UE de ce mécanisme en 2005.

# Permis d'émissions négociables

- Alors que la taxe est un instrument prix (le régulateur donne directement un prix au carbon par exemple), le marché de PEN est un instrument quantité car le régulateur fixe un plafond d'émission.
- C'est un instrument économique car ces permis sont cessibles sur le marché qui constitue une mesure incitative. La logique n'est pas guidée par l'égalité (ou la sécurité dans une certaine mesure), mais plutôt par l'efficience économique en terme de coûts. Ainsi, le pollueur a le choix entre dépolluer ou acheter des permis supplémentaires.
- L'origine de cette mesure de marché est le théorème de Coase (prix Nobel en 1991) qui est une réponse à l'approche de gestion des biens publics défendue par A. Pigou (c'est à dire la taxe).

## Théorème 1

*Dans un monde où les coûts de transactions sont nuls et les droits de propriété bien définis, il est possible d'obtenir une allocation optimale des ressources sans l'intervention de l'Etat (Stigler, 1966).*

- La position de Coase est conceptuellement simple mais relativement radical. Il fait l'hypothèse que dans le cas de biens publics, sous l'hypothèse de contrats complets et de marchés efficents, la négociation permet d'avoir un optimum sans jamais recourir à l'intervention de l'Etat ou à des mesures coercitives comme des taxes.

# Théorème de Coase

- Le concept de Coase est très intéressant mais extrêmement restrictif :
  - ➊ Les agents sont capables d'évaluer de manière quasi-continue leur arbitrage entre richesse et pollution.
  - ➋ Il y a une structure de droits de propriété complète et sûre, qui n'impose pas de coûts de transaction à l'origine des équilibres de *free-riding*.
  - ➌ Les négociations se font sur des marchés purs, sans coûts de transaction.
- Coase rejette la solution Pigouvienne (prise en compte des coûts sociaux dans la minimisation des coûts) : l'optimum sera atteint indépendamment de l'allocation initiale car il représente un équilibre.

# Permis d'émissions négociables

- L'autorité de régulation crée un marché pour que ces droits puissent être échangés. Sur ce marché, un prix va émerger par la confrontation d'une offre et d'une demande. Chaque pollueur fait face aux choix suivants :
  - soit détenir un droit pour être autorisé à émettre une tonne/an de polluant ;
  - soit ne pas détenir ce droit mais dépolluer la tonne/an de polluant qu'il n'est pas autorisé à émettre.
- Un pollueur est donc en position :
  - d'offreur d'un droit si le prix auquel il le vend est supérieur à son coût marginal de dépollution,
  - de demandeur d'un droit si le prix auquel il l'achète est inférieur à son coût marginal de dépollution.
- Si échange au prix  $p$ , c'est que

$$C'_{\text{offreur}}(e_{\text{offreur}}) < p < C'_{\text{demandeur}}(e_{\text{demandeur}})$$

Ainsi, le marché de PEN naît de l'hétérogénéité des coûts marginaux.



# Permis d'émissions négociables : illustrations

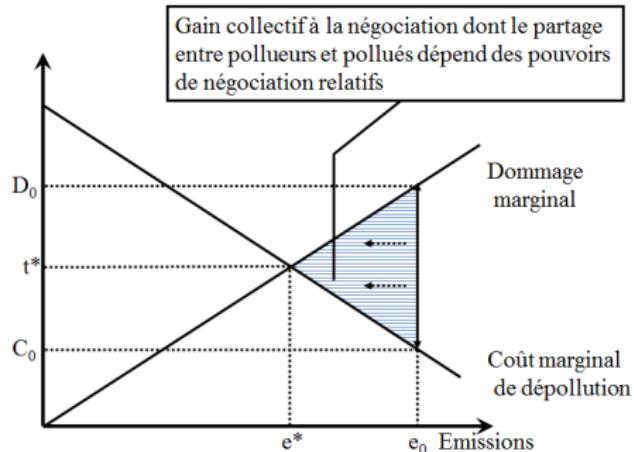


FIG. 10: Théorème de Coase (1960).

Les externalités peuvent être éliminées par le seul recours à la négociation entre pollueurs et pollués qui s'accorderont sur les compensations nécessaires.

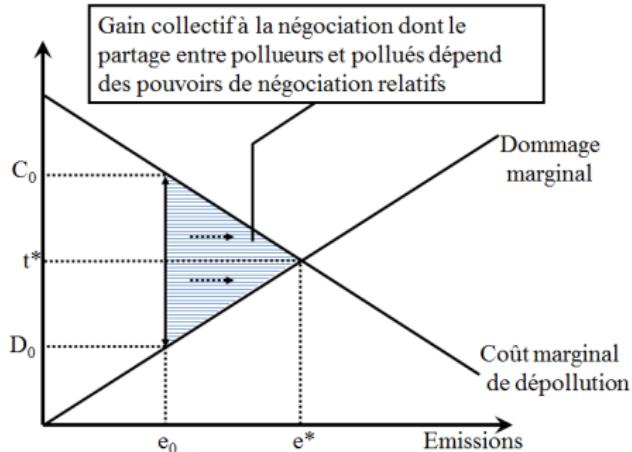


FIG. 11: Théorème de Coase (1960).

# Cap and Trade

- Le régulateur fixe un plafond d'émissions (quantité annuelle à ne pas dépasser) : par exemple 100000 tonnes de SO<sub>2</sub>.
- Il émet des permis (création des droits de propriété) correspondant à ce plafond : 100000 droits donnant aux détenteurs le droit d'émettre 1 tonne de SO<sub>2</sub> par droit détenu.
- L'autorité de régulation alloue ces permis aux agents assujetties, ce qui pose le problème d'allocation :
  - allocation gratuite ou *Grandfathering* ? sur quelles bases (parfois selon une clé de répartition *ad hoc*) ? *au prorata des émissions passées* ?
  - vente aux enchères au plus offrant ?
- Ainsi, certains agents veulent plus de permis, d'autres en ont trop ⇒ le régulateur leur donne la possibilité d'échanger sur un marché sur lequel s'établit le prix des permis.
  - Offre ≡ Vendeurs ≡ Pollueurs avec des coûts de dépollution faibles.
  - Demande ≡ Acheteurs ≡ Pollueurs avec des coûts de dépollutions élevés.

- Le régulateur fixe un taux de réduction par rapport à une année de référence afin que les émissions maximales soient acceptable dans l'écosystème. Exemple :  $-30\%$  de SO<sub>2</sub> par rapport à 2005.
- Il distribue des crédits d'émission correspond à l'objectif de réduction annoncé. Exemple :  $-30\%$  de SO<sub>2</sub> pour chaque pollueur. Cependant, l'autorité de régulation peut différencier entre les pollueurs.
- Si à la fin de l'année, un pollueur a fourni des efforts de dépollution plus importants que les crédits alloués, il peut revendre les crédits non utilisés à un agent qui en a fait moins. Exemple : si un pollueur a réduit ses émissions de 40% par rapport à l'année de base, il dégage ainsi une quantité de permis correspondant à 10% de ses émissions qu'il peut vendre sur le marché.
- En revanche, s'il ne fait pas d'efforts suffisants, il doit acheter des permis sur le marché.

# Permis négociables : comment ça marche ?



FIG. 12: Principe d'un système d'échange de quotas.

## Permis d'émissions négociables : un exemple

- Prenons, l'exemple simple de 3 agents ayant des coûts marginaux donnés par  $C'_1$ ,  $C'_2$  et  $C'_3$  différents. Les émissions initiales sont  $\bar{e}_i$ . L'allocation initiale par *Grandfathering* est  $\tilde{e}_i$ , correspondant à la moitié des émissions initiales.
- Les bénéfices marginaux de la pollution avant échange de permis sont  $-\tilde{C}'_i$ .
- L'échange permet l'égalisation des bénéfices marginaux et les émissions d'équilibre sont  $e_i^*$ . Le prix des permis est  $p$ , tel que le marché est à l'équilibre :

$$\sum_{i=1}^3 (\tilde{e}_i - e_i^*) = 0 \quad (9)$$

- L'équilibre ne dépend pas des allocations initiales, ce qui traduit l'indépendance de l'efficacité économique et de l'équité allocative. Les effets distributifs du système dépendent en revanche évidemment des allocations initiales.

# Permis d'émissions négociables : un exemple

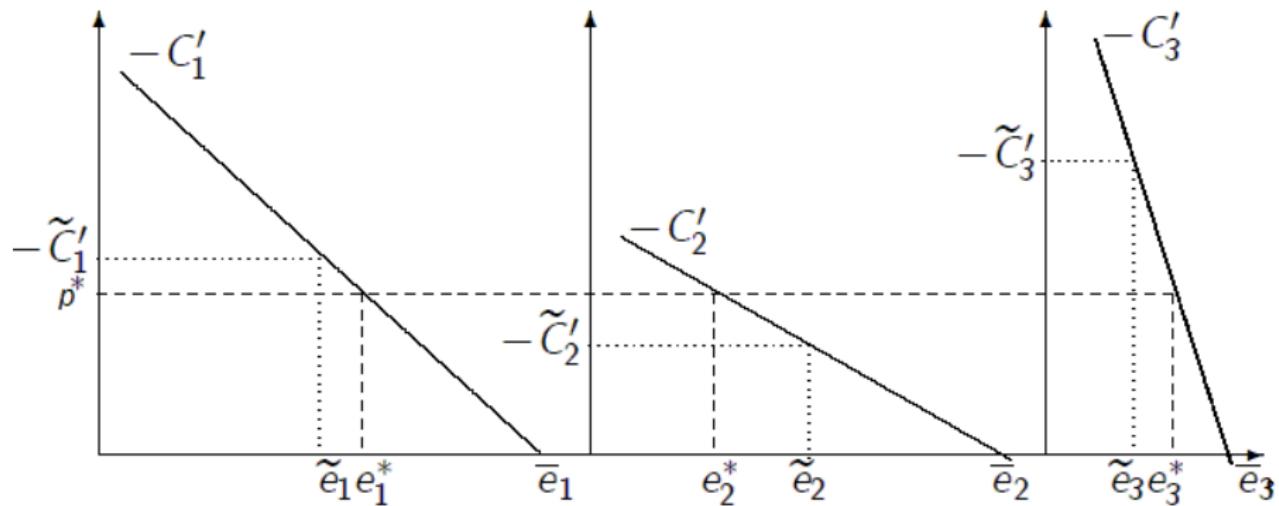


FIG. 13: Equilibre sur le marché de PEN.

## Permis d'émissions négociables : plusieurs joueurs

- Sans un système de régulation, le pollueur  $i$  minimise son coût privé qui est égal à son coût de dépollution :

$$\min_{e_i} [C_i(e_i)] \Rightarrow C'_i(e_i) = 0 \quad (10)$$

- Avec une régulation sous un système de permis, un pollueur  $i$  achète (resp. vend) des droits à polluer s'il pollue plus (resp. moins) que son quota  $\tilde{e}_i$ . Il minimise son coût privé qui est égal à son coût de dépollution auquel il faut ajouter le coût d'achat/vente de droits. Ainsi, le programme d'un agent  $i$  est :

$$\forall i = 1, \dots, n, \min_{e_i} [C_i(e_i) + p(e_i - \tilde{e}_i)] \quad (11)$$

- La condition de premier ordre pour un agent  $i$ ,  $\forall i = 1, \dots, n$ , donne :

$$p = -C'_1(e_1) = \dots = -C'_i(e_i) = \dots = -C'_n(e_n) \quad (12)$$

- On en déduit les quantités individuellement optimales de pollution émises par chaque pollueur,  $e_i$ , ainsi que la quantité totale,  $\sum_{i=1}^n e_i$ .

# Interprétations

- Plusieurs cas :
  - si le pollueur est peu efficace en termes de dépollution, alors il est incité à polluer un peu plus tant que son coût marginal de dépollution est supérieur au prix d'achat d'un droit :  $-C'_i(e_i) > p$ ;
  - si le pollueur est très efficace en termes de dépollution, alors il est incité à dépolluer un peu plus tant que le prix de vente d'un droit est supérieur à son coût marginal de dépollution :  $p > -C'_i(e_i)$ ;
  - aucun pollueur n'a plus rien à gagner quand le prix d'achat/vente d'un droit est égal à son coût marginal de dépollution.
- Si au prix  $p$ ,  $\sum_{i=1}^n e_i > \sum_{i=1}^n \tilde{e}_i$ , il y a un excès de la demande de droits à polluer sur l'offre et le prix va s'ajuster à la hausse et vice-versa pour  $\sum_{i=1}^n e_i < \sum_{i=1}^n \tilde{e}_i$ .
- Donc, les PEN conduisent au respect du principe d'équimarginalité ; l'objectif social de dépollution est atteint en minimisant le coût total de dépollution.

# L'optimalité parétienne

- Si au-delà de la minimisation du coût total de dépollution, on cherche à obtenir l'optimalité parétienne, il convient de distribuer une quantité de permis correspondant à l'objectif social optimal en matière de pollution,  $e^* = \sum_{i=1}^n e_i^*$  :

$$\Rightarrow \forall i = 1, \dots, n, p^* = -C'_i(e_i^*) = D'(e^*) \quad (13)$$

- Ce sont les mêmes conditions marginales que dans le cas d'une taxe pigouvienne si ce n'est que la taxe  $t^*$  est remplacé par le prix de marché  $p^*$ .
- Ainsi, si information parfaite, aucune incertitude, etc., il y a équivalence entre la taxe et les PEN pour atteindre un objectif donné d'émission. En outre, pour atteindre l'optimum de Pareto, l'autorité de régulation doit connaître tous les coûts privés de dépollution ainsi que la fonction de dommage environnemental (variables de l'équation définissant  $e^*$ ).
- En revanche, en présence d'incertitude, les choses sont plus complexes (Weitzman, 1974).

## 5. Efficacité comparée des taxes et PEN

# Efficacité comparée des taxes et PEN

- La condition marginale définissant l'équilibre de marché avec un système de PEN est la même que celle définissant l'équilibre de marché avec une taxe. En outre, les propriétés en termes d'efficacité (optimum de premier rang ou équimarginalité) sont identiques pour les deux instruments. Cependant, avec les PEN, la variable de contrôle est une quantité alors que c'est un prix avec la taxe.
- Les **avantages de la taxe** sur le marché de permis :
  - plus efficace quand le régulateur connaît mal le coût marginal de réduction des émissions (résultat empirique),
  - mieux adaptée pour contrôler une pollution diffuse,
  - fournit un signal-prix clair et stable pour orienter les choix d'investissement et l'innovation, alors que le prix des permis est volatil,
  - plus transparente et se prêtant moins au marchandage politique (s'il est clair que le taux sera unique et qu'il n'y aura pas d'exemptions),
  - évite la détermination des allocations initiales de permis, conflictuelle dans un cadre international et soumise aux lobbies dans le cadre national.

# Efficacité comparée des taxes et PEN

- **Incitation à innover** : taxe et marché de permis sont supérieurs à la norme, mais la littérature théorique ne permet pas de les classer entre eux sans ambiguïté.
- Les résultats de Weitzman (voir plus bas) s'appliquent aussi au choix d'un instrument entre taxe et PEN en situation d'information imparfaite. En outre, avec le PEN, le prix s'établit spontanément sur le marché alors qu'il est fixé par l'autorité de régulation pour la taxe (prix administré)  $\Rightarrow$  meilleure flexibilité pour les PEN en cas de choc exogène (choc inflationniste, technologique).
- Les PEN n'engendrent pas de revenu pour l'Etat si *grandfathering* au contraire de la taxe  $\Rightarrow$  meilleure acceptabilité par les pollueurs. Ils constituent un instrument de politique libérale promu en réaction aux critiques sur l'efficacité des instruments administrés (norme et taxe).

# Articulation des deux instruments

- Europe : les 2 instruments devront probablement coexister (marché pour les gros émetteurs, taxe pour les émetteurs diffus).
- L'Europe a choisi de mettre en place un marché de permis et pas une taxe carbone car :
  - discussions organisées autour de cibles quantitatives et pas autour du prix du carbone,
  - introduire une nouvelle taxe est peu envisageable aux États-Unis,
  - acceptabilité d'un marché assorti d'une allocation gratuite des permis meilleure que celle d'une taxe,
  - mettre en place une taxe au niveau communautaire nécessite l'unanimité, tandis qu'un marché de permis n'a nécessité que la majorité qualifiée.

# Taxe ou marché de PEN ?

- Efficacité : tous les acteurs doivent recevoir le même signal-prix.
- Le signal-prix fourni par le marché est endogène, celui fourni par la taxe exogène.
- La taxe doit être la référence, car il n'est pas possible de la modifier au gré de la fluctuation du prix des permis.
- Puisque le marché de permis est européen, une bonne articulation n'est possible que si la taxe est harmonisée au niveau européen.
- Options :
  - réajuster l'allocation de permis si le prix diffère de la taxe pendant une trop longue période ;
  - faire payer (verser) aux entreprises assujetties au marché une taxe (subvention) égale à la différence entre la taxe de droit commun et le prix des permis. Avantage : assure l'unicité du prix du carbone.  
Inconvénient : complexe.
- Avec une taxe nationale il n'est pas possible d'assurer une articulation correcte des deux instruments.

## Instruments de régulation en information imparfaite

# Information imparfaite : constat

Les différents travaux économiques sur la question de l'efficacité comparée entre taxe et norme en information imparfaite peuvent être synthétiser par les deux propositions suivantes :

## Proposition 3

*La taxe, de part son caractère décentralisé, permet de minimiser les coûts de dépollution (principe d'équimarginalité). Mais sans information sur les coûts de dépollution, l'autorité de régulation ne peut pas la calibrer de façon à atteindre l'objectif de dépollution e\*.*

## Proposition 4

*La norme sur les émissions, de part son caractère centralisé, permet au contraire d'implémenter directement l'objectif de dépollution. Mais sans information sur les coûts de dépollution, l'autorité de régulation ne peut pas la calibrer de façon à minimiser les coûts de dépollution.*

# Taxe ou norme en information imparfaite

- Les effets relatifs de différents types d'imperfection sur les instruments de politique environnementale (précisément taxe et norme) ont été étudiés par Baumol (1972) et Weitzman (1974).
- Hypothèse réaliste : le régulateur connaît mal les coûts de dépollution et/ou les dommages environnementaux (problèmes d'évaluation). Afin de trouver des solutions opérationnelles, le problème général peut alors se scinder en 2 questions :
  - quel est l'objectif sociale de dépollution  $e^*$  que la politique environnementale se propose d'atteindre ?
  - quels instruments choisir pour atteindre cet objectif avec le but de minimiser les coûts de dépollution ?
- L'analyse économique se focalise alors sur la seconde question, laissant au processus politique le soin de régler la première. On cherche donc un optimum de second rang (la minimisation des coûts de dépollution) plus modeste que l'optimum de Pareto.

# Taxe ou norme en information imparfaite

- En information parfaite, une autorité de régulation peut calibrer la taxe ou la norme d'émission différenciée afin qu'elles soient socialement optimales.
- Qu'en est-il dans le contexte où elle n'est pas parfaitement informée sur les coûts privés et / ou la fonction de dommage environnemental ?
- Dans ce qui suit, nous considérons deux cas :
  - ① incertitudes sur le dommage marginal,  $D'(e)$ .
  - ② incertitudes sur le coût marginal d'abattement **agrégé**,  $C'(e)$ .

# Incertitude sur le dommage marginal

- Le régulateur anticipe un dommage marginal  $\tilde{D}'(e) \neq D'(e)$ .
- Le coût marginal d'abattement  $C'(e)$  est connu avec certitude.
- Le niveau optimal de pollution est :  $e^*$ .
- Se fondant sur  $\tilde{D}'(e)$ , le régulateur instaure :
  - ① soit une taxe pigouvienne au taux  $\tilde{t}$  qui permet d'atteindre le niveau de pollution  $\tilde{e}$ ;
  - ② soit une norme  $\tilde{e}$ .
- Dans les deux cas, le niveau de pollution atteint est  $\tilde{e} \neq e^* \Rightarrow$  perte de bien-être !

## Incertitude sur le dommage marginal

- L'incertitude sur  $D'$  rend les politiques environnementales sous-optimales sans remettre en cause l'équivalence entre une politique de prix (taxe) et une politique de quantités (norme).

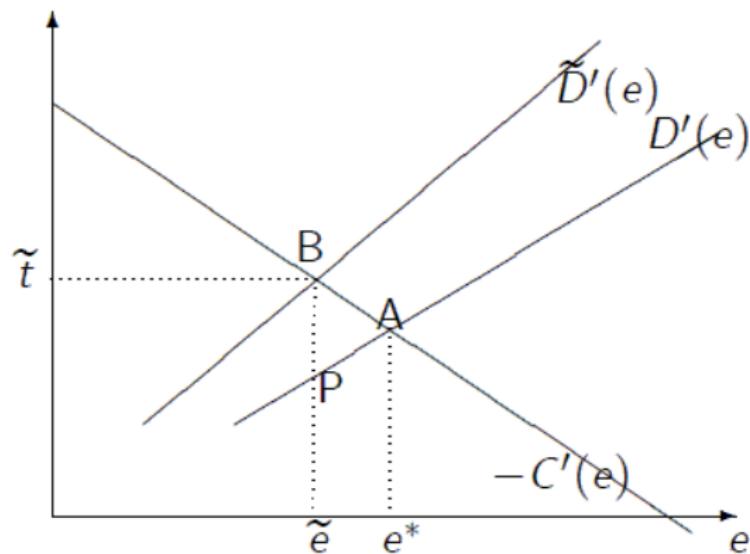


FIG. 14: Incertitude sur le dommage marginal et perte de bien-être (aire ABP),

# Incertitude sur le coût marginal d'abattement

- Le régulateur anticipe une courbe de coût marginal  $\tilde{C}'(e) \neq C'(e)$ .
- Le dommage marginal  $D'(e)$  est connu avec certitude.
- Se fondant sur  $-\tilde{C}'(e)$ , le régulateur instaure :
  - soit une taxe  $\tilde{t}$ , qui permet d'atteindre le niveau de pollution  $\tilde{e} \neq e^*$  ;
  - soit une norme  $e_{\max}$ .
- En raison de l'incertitude affectant la courbe de coût marginal, chacune de ces politiques est inefficace mais dans ce cas, de plus, elles ne sont pas équivalentes  $\Rightarrow$  perte de bien-être.
- L'instrument de régulation le plus efficace est la taxe (resp. la norme) dès que la pente de la courbe de coût marginal est en valeur absolue supérieure (resp. inférieure) à celle de la courbe de dommage marginal.

# Incertitude sur le coût marginal d'abattement

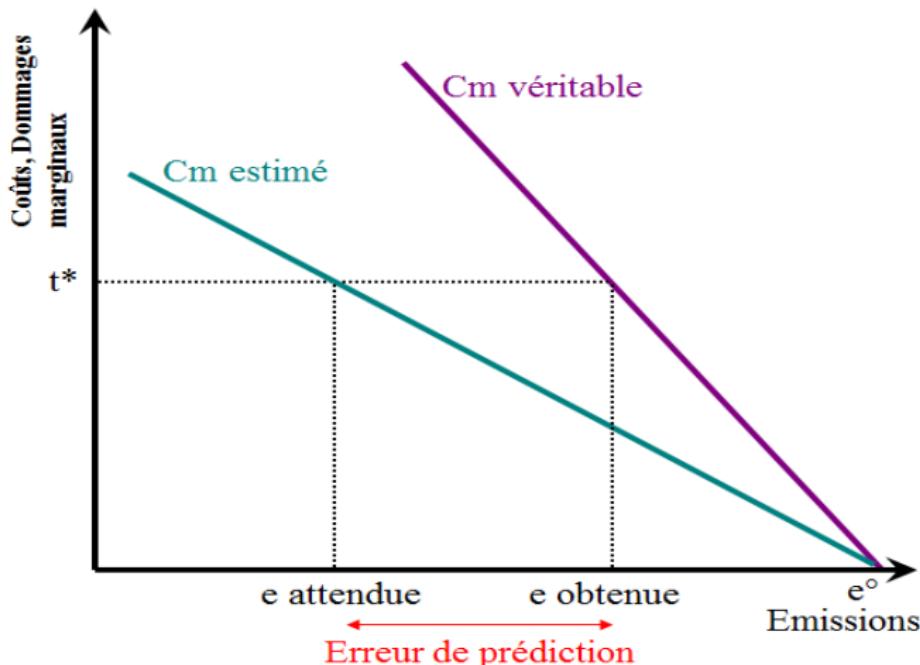


FIG. 15: L'impact environnemental de la taxe est incertain.

# Incertitude sur le coût marginal d'abattement

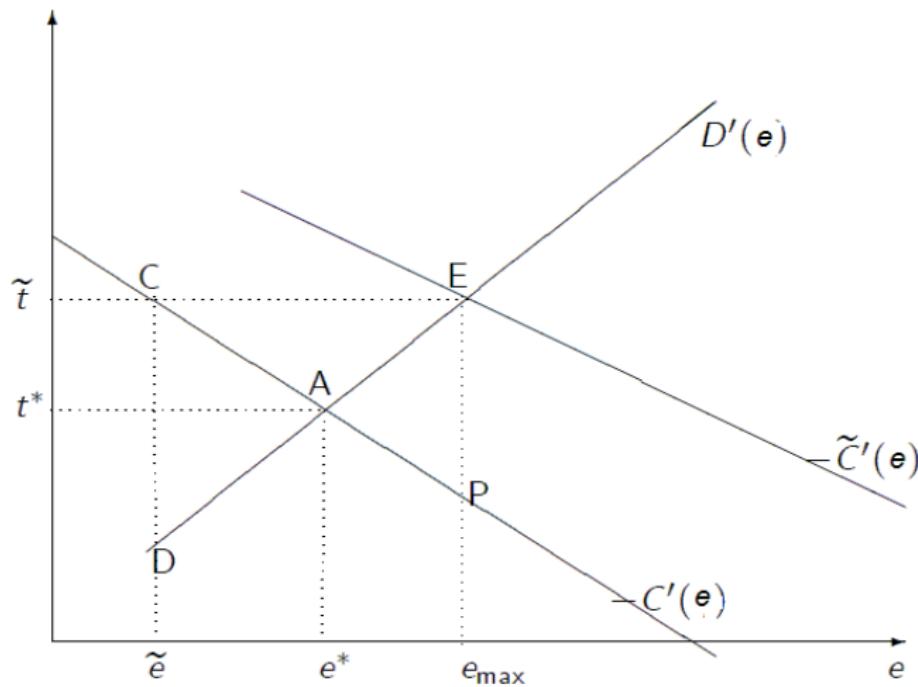


FIG. 16: Incertitude sur le coût marginal d'abattement. La perte de bien-être est l'aire CAD dans le cas de la taxe, et l'aire APE dans le cas de la norme.

# Information imparfaite : taxe ou norme, que choisir ?

- Afin de pouvoir choisir un instrument ou l'autre, on peut évaluer pour chacun l'ampleur des conséquences des erreurs de l'autorité de régulation mal informé (non minimisation des coûts de dépollution / non atteinte de l'objectif de dépollution).

Conséquences des erreurs	avec la taxe	avec la norme
Nombre de pollueurs	—	+
Hétérogénéité des coûts	—	+
Ratio $\frac{\text{Pente du coût marginal de dépollution}}{\text{Pente du dommage marginal}}$	—	+

Source : Weitzman (1974). + (resp. —) indique une corrélation positive (resp. négative).

- L'autorité de régulation agit donc plus efficacement, c'est-à-dire atteindre l'objectif de dépollution qui minimise les coûts de dépollution, par la taxe quand le nombre de pollueur est important, quand les technologies sont hétérogènes, et quand le coût marginal croît plus vite que le dommage marginal (et vice-versa pour la norme).

# Information imparfaite : taxe ou norme, que choisir ?

- Le résultat selon lequel l'efficacité relative de la taxe sur la norme dépend du ratio  $R = \left| \frac{\frac{\partial C'}{\partial e}}{\frac{\partial D'}{\partial e}} \right| = \left| \frac{C''}{D''} \right|$  constitue le résultat le plus original du travail de Weitzman (1974). Prenons le cas d'un seul agent pollueur et le cas d'une mauvaise information sur les coûts de dépollution seulement :
  - si  $\left| \frac{C''}{D''} \right| > 1 \Rightarrow$  le régulateur préfère la taxe,
  - si  $\left| \frac{C''}{D''} \right| < 1 \Rightarrow$  le régulateur préfère la norme.
- Concrètement, ce résultat permet de justifier la préférence de la norme par rapport à la taxe dans le cas des émissions nucléaires (pente très élevée des dommages), ou encore pour réglementer les problèmes de sécurité et de pollutions accidentelles caractérisées par un dommage marginal fortement croissant.

# Information imparfaite : taxe ou norme, que choisir ?

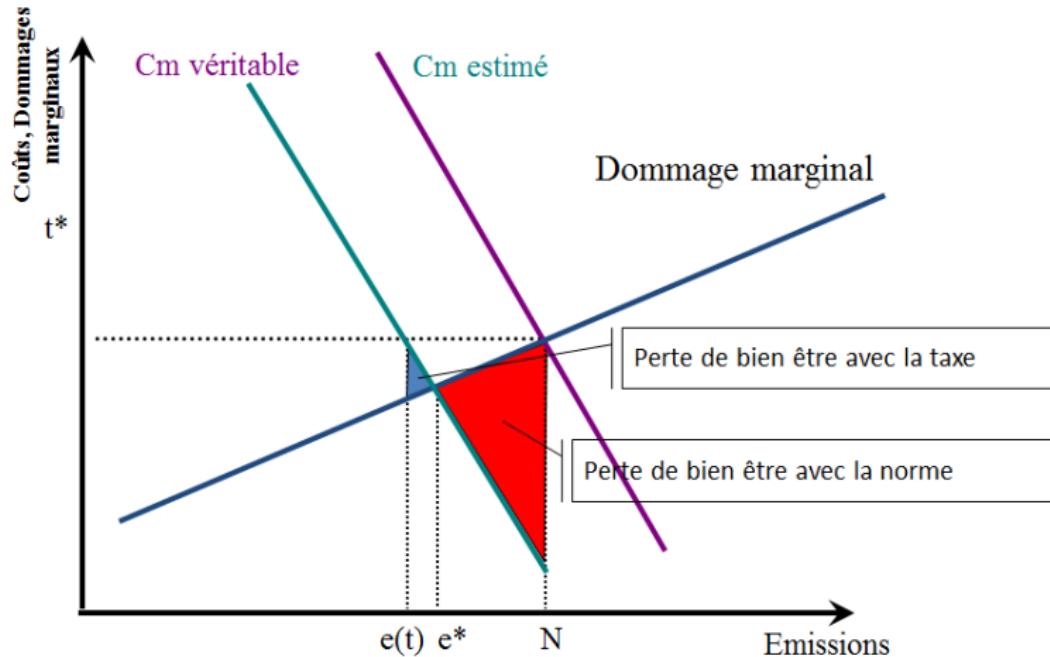


FIG. 17: Cas où le ratio  $\left| \frac{C''}{D''} \right| > 1$ .

# Information imparfaite : taxe ou norme, que choisir ?

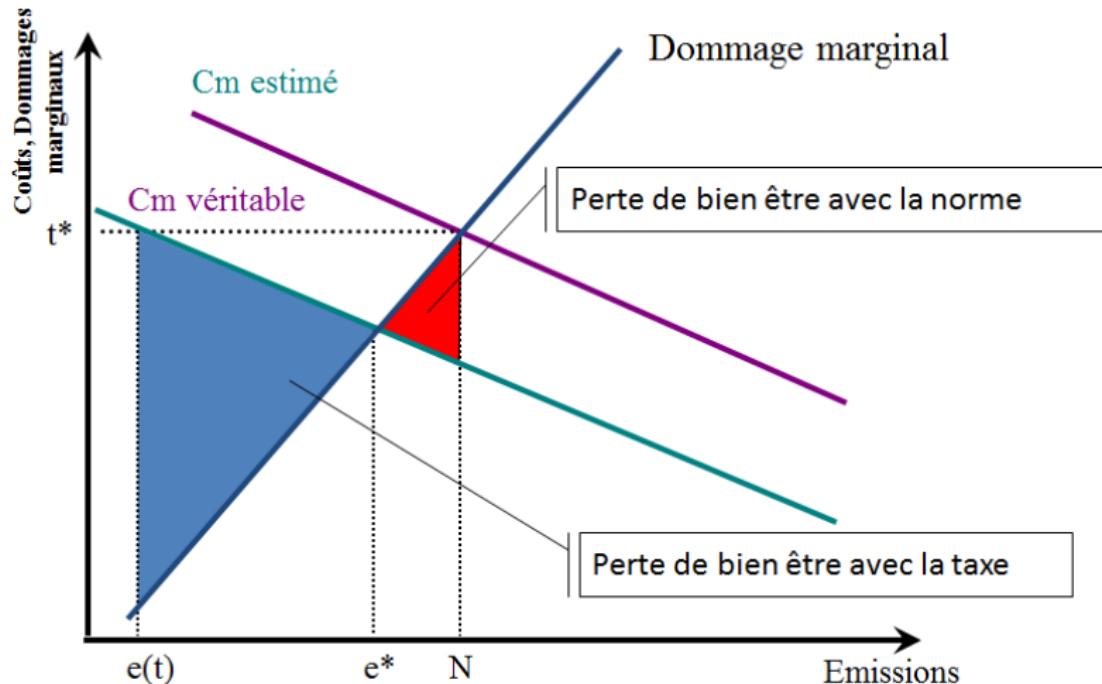


FIG. 18: Cas où le ratio  $\left| \frac{C''}{D''} \right| < 1$ .

## Le cadre intertemporel

# La taxe pigouvienne dans un cadre intertemporel

- Le programme du planificateur :

$$\left\{ \begin{array}{ll} \max \int_0^{\infty} e^{-\rho t} (u(R_t) - D(M_t)) dt \\ \dot{S}_t = -R_t & (\lambda_t) \\ \dot{M}_t = \epsilon R_t - a M_t & (-\mu_t) \\ S_0, M_0 \text{ sont donnés} \end{array} \right. \quad (14)$$

avec,

- $R_t$  l'extraction d'énergie fossile,  $\epsilon R_t$  les émissions provenant de la combustion,
- $S_t$  le stock d'énergie fossile,  $M_t$  le stock de carbone dans l'atmosphère ;
- $a$  le coefficient d'absorption du carbone par les puits ;
- $\rho$  le taux d'escompte.

# La taxe pigouvienne dans un cadre intertemporel

- Conditions d'optimalité :

$$u'(R_t) = \lambda + \epsilon\mu \quad (15)$$

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = \rho \quad (16)$$

$$\frac{\dot{\mu}}{\mu} = \rho + a - \frac{D'(M)}{\mu} \quad (17)$$

- La valeur du carbone :

$$\mu_t = \int_t^{\infty} e^{-(\rho+a)(s-t)} D'(M_s) ds \quad (18)$$

- Extension de la taxe pigouvienne à un cadre dynamique : la valeur du carbone (la taxe dans un cadre décentralisé) est la somme des dommages marginaux futurs actualisés au "taux d'escompte écologique",  $(\rho + a)$ , somme du taux de préférence pour le présent et du taux d'absorption du carbone.

# Une taxe destinée à modifier le sentier d'extraction des énergies fossiles

- Le profil de la taxe doit permettre de retarder l'extraction :
  - en raison de l'actualisation, qui fait préférer des dommages lointains à des dommages proches,
  - parce que des émissions de carbone mieux réparties au cours du temps sont plus facilement assimilées par les processus naturels.
- La taxe doit inciter à laisser des ressources fossiles en terre.
- La taxe doit stimuler le progrès technique :
  - orienter la recherche dans la bonne direction,
  - accélérer le passage aux énergies renouvelables,
  - inciter à développer la capture et la séquestration du carbone,
  - inciter à la diffusion dans l'économie des énergies / processus / produits moins intensifs en carbone.

# Le danger d'un "Paradoxe vert"

- Le profil temporel optimal de la taxe carbone est complexe.
- Sa détermination nécessite la connaissance des dommages marginaux et de l'absorption naturelle du carbone ; or ceux-ci sont mal connus et font l'objet de fortes controverses.
- Le régulateur peut alors décider d'adopter une règle simple : taxe indirecte (droits d'accises) constante ou taxe évoluant au cours du temps à taux constant.
- L'effet peut être contraire à l'effet escompté (paradoxe vert). Par exemple si le régulateur annonce une taxe faible aujourd'hui mais fortement croissante au cours du temps pour des raisons d'acceptabilité politique.

# Les stratégies d'appropriation des rentes

- Structure de marché des offreurs non concurrentielle  $\Rightarrow$  prix HT > coût marginal d'extraction + rente de rareté  $\Rightarrow$  le prix HT fait une partie du travail de la taxe carbone  $\Rightarrow$  celle-ci doit avoir un niveau initial plus faible et un profil plus croissant qu'en concurrence parfaite.
- Pays producteurs et consommateurs de ressources fossiles ont des priorités en matière climatique différentes. Double cartel.
  - Comportement stratégique du cartel des producteurs : augmenter le prix HT par restriction de l'offre ; fournit aux consommateurs les incitations que la taxe carbone devait fournir. Taxe carbone inutile.
  - Comportement stratégique du cartel des consommateurs (accord sur le climat) : fixer la taxe à un niveau élevé pour entraîner une baisse significative de la demande, les producteurs diminuant alors leur prix HT pour limiter celle-ci. Taxe carbone, payée in fine par les producteurs, inefficace.

# Les stratégies d'appropriation des rentes

- La taxe carbone doit-elle baisser quand le prix du pétrole augmente et augmenter quand il diminue, de sorte que le prix à la consommation reste constant (ou croissant à un rythme prédéfini) ?
  - Argument principal : les consommations d'énergie réagissent au prix TTC. C'est lui qui doit être contrôlé.
  - Forte pression des opinions publiques pour réduire la taxe quand le prix du pétrole est très élevé.
- Arguments à l'encontre d'une taxe variable :
  - la taxe carbone est en partie payée par le cartel des producteurs ;
  - si la taxe est variable, le cartel des producteurs sait qu'il peut sans risque de faire diminuer la demande augmenter son prix ; l'effet environnemental est le même, tandis que les recettes vont aux producteurs et non plus aux consommateurs.

# De multiples incertitudes

- Incertitude à tous les niveaux de la question du changement climatique.
  - Lien augmentation de la concentration / augmentation de température.
  - Réactions non linéaires de certains éléments du système climatique.
  - Evaluation des dommages.
  - Capacités d'adaptation et d'innovation technologique des sociétés.
- Certaines incertitudes peuvent se résorber au cours du temps (apprentissage, progrès de la connaissance scientifique).
- L'incertitude est particulièrement intéressante quand elle s'accompagne d'irréversibilités, car alors les erreurs ne peuvent pas être corrigées.

# De multiples incertitudes

- Prendre en compte les incertitudes conduit-il à modifier la taxe carbone, i.e.
  - taxer plus lourdement aujourd'hui pour éviter les dommages catastrophiques,
  - ou au contraire reporter les efforts dans le temps, pour attendre que l'incertitude se réduise et atteindre les objectifs à moindre coût ?
- La littérature théorique donne des arguments dans les deux sens :
  - l'irréversibilité des dommages conduit à préconiser un effort initial important, c'est-à-dire une valeur du carbone initiale plus élevée,
  - l'irréversibilité du capital investi pour lutter contre le changement climatique conduit au contraire à retarder l'effort dans l'attente d'informations nouvelles.

# De multiples incertitudes

- Eléments déterminants :
  - l'aversion au risque, qui conduit à faire un effort initial élevé pour limiter l'exposition au risque des générations futures,
  - la prudence, qui conduit également à augmenter l'effort initial pour réduire l'impact d'une éventuelle mauvaise nouvelle future.
- Avantages d'un processus de décision séquentiel.

## Fiscalité climatique

- Point d'application de la taxe

- Taxe " primaire " sur le contenu en carbone des produits énergétiques bruts extraits sur le territoire ou importés. Payée essentiellement par les raffineries, qui la transféreraient dans leur prix. Solution simple et transparente, mais non retenue.
- Taxe sur la consommation de produits énergétiques finaux vendus aux utilisateurs industriels et aux ménages.

- Interaction avec les taxes existantes sur l'énergie

- Différentes selon les pays, souvent très élevées.
- Taxes de financement ou de correction d'externalités locales.
- Remettre complètement à plat la fiscalité énergétique conduirait probablement à enterrer la mise en place de la taxe carbone.
- Mais le caractère incitatif d'une taxe n'est pas lié à l'intention qui a présidé à son instauration, et la fiscalité préexistante a bien un impact sur les comportements de consommation d'énergie !

## Que faire des recettes et le double dividende

- L'acceptabilité de la taxe carbone semble passer par le fait qu'elle ne soit pas perçue comme un impôt supplémentaire mais comme un élément d'une réforme fiscale à prélèvements constants.
- Redistribution des recettes, par exemple par le biais de la diminution d'un autre impôt.
- Problématique du double dividende (Goulder 1996) : avec une réforme fiscale à recettes constantes (mise en place d'une taxe carbone compensée par la baisse d'un autre impôt), peut-on gagner à la fois sur le plan environnemental et sur le plan économique ?

# Le double dividende, réalité ou chimère ?

- Une littérature théorique abondante discute de l'existence d'un double dividende.
  - Premier dividende = dividende environnemental. Indépendant de la redistribution des recettes de la taxe.
  - Deuxième (éventuel) dividende : dividende économique, provenant du recyclage des recettes en diminution d'un autre impôt distorsif notamment les charges salariales. En théorie, à partir d'une situation initiale non optimale, si cet autre impôt est plus distordant que la taxe carbone, le bien-être doit augmenter suite à la réforme fiscale, car l'opération réduit le coût des distorsions induites par le système fiscal.
- Idée séduisante, mais pas de preuve empirique de la réalité du double dividende, et nombreux doutes théoriques.

# Les impacts distributifs de la taxe carbone

- La taxe carbone est régressive (dépenses d'énergie pour le logement).
- Elle affecte très différemment ménages urbains et ruraux.
- Il est trompeur de raisonner à consommations inchangées.
  - L'objectif même de la taxe carbone est de modifier la structure de consommation.
  - Encore faut-il que cela soit possible (problème des consommations contraintes).
  - Elasticité-prix de la consommation d'énergie domestique : très faible à court terme, faible à long terme.
  - Elasticité-prix de la consommation de carburants plus élevée : une hausse du prix de l'essence de 1% fait baisser la consommation de 0,2% à court terme et 0,4% à long terme.
- Il est possible d'atténuer la régressivité de la taxe carbone voire de rendre le système progressif, par une politique de redistribution des recettes fiscales.

# Taxe carbone et compétitivité

- Crainte : délocalisation des activités intensives en énergie vers les pays qui n'adoptent pas de politique climatique (fuites de carbone).
- Solutions possibles :
  - exemptions,
  - taux de la taxe différenciés,
  - utilisation des recettes de la taxe pour alléger d'autres impôts, en ciblant les allégements sur les branches les plus affectées, ou redistribution directe des recettes aux branches les plus affectées (c'est ce que fait l'allocation gratuite des permis),
  - taxe d'ajustement aux frontières.

# La taxe d'ajustement aux frontières

- Taxer des importations au taux domestique afin de maintenir la compétitivité sur le marché domestique des secteurs assujettis à la taxe ou au marché de permis, et détaxation des exportations afin que la compétitivité soit préservée sur les marchés internationaux.
- Obstacles :
  - mise en oeuvre pratique difficile,
  - crainte qu'elle soit contraire aux principes de l'OMC,
  - protectionnisme déguisé ?
  - acte agressif ?

## Cas d'études : le marché européen de PEN

# Le marché européen de permis d'émissions négociables

- Début officiel du marché EU-ETS : 1er janvier 2005. C'est la pierre angulaire du programme européen de lutte contre le changement climatique.
- Il concerne les émissions de CO<sub>2</sub> de 30 pays (les 27 états membres + l'Islande, le Liechtenstein et la Norvège) et couvre environ la moitié des émissions de CO<sub>2</sub> de l'UE (11000 installations).
- Les entreprises concernées : production d'énergie, sidérurgie, ciment, chaux, verre, céramique, tuiles et briques, papier + installations de combustion > 20 MW (sauf incinération des déchets).
- 1ère phase : 2005–2007 ; 2ème phase : 2008–2012 ; 3ème phase : 2013–2020.
- Phases 1 et 2 : chaque pays européen a établi un Plan National d'Allocation des Quotas (PNAQ), soumis à la Commission pour approbation.

# Le marché européen de permis d'émissions négociables

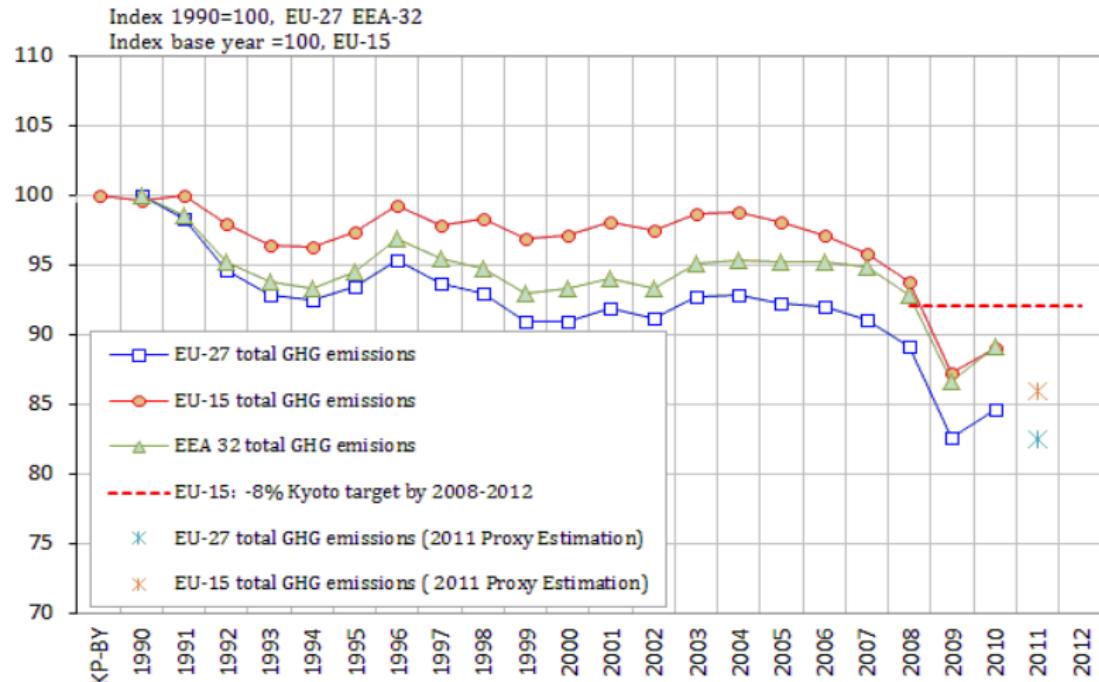


FIG. 19: Les émissions de l'UE depuis 1990.

# Le marché européen de permis d'émissions négociables

- Phases 1 et 2 : allocations gratuites (pour 96%), par *grandfathering*.
- Formation du prix des permis :
  - l'offre : le plafond,
  - la demande : dépend de la conjoncture, de la température, du prix relatif du charbon et du gaz,
  - l'importance des anticipations,
  - la spéculation ?
  - le prix spot et prix à terme
- Mise en place d'un système *Banking / Borrowing*.

# Le marché européen de permis d'émissions négociables

- Phase 3 : modifications importantes de la politique européenne de 2013 à 2020 qui se décline autour des objectifs des "3 × 20" (20% de baisse des émissions de CO<sub>2</sub> par rapport à 1990 ; 20% d'amélioration de l'efficacité énergétique ; 20% d'augmentation de la consommation d'énergies renouvelables).
  - système harmonisé au niveau européen, avec un plafond unique décroissant linéairement pour atteindre une réduction des émissions de 21% en 2020 par rapport à 2005,
  - abandon du PNAQ et mise en place d'un processus unique et centralisé d'allocation des quotas,
  - davantage d'allocations aux enchères : 20% en 2013 (100% pour les électriciens), 70% fin 2020,
  - allocations gratuites déterminées par une méthode de benchmarking au niveau du produit, et non plus par du *grandfathering* basé sur les émissions historiques de l'installation,
  - Benchmark : la moyenne arithmétique des performances (en termes de tonnes de CO<sub>2</sub> émises par tonne de produit) des 10% des installations les plus efficaces en 2007 et 2008.

# Le marché européen de permis d'émissions négociables



FIG. 20: Evolution du prix des permis en Europe.

## Cas d'études : la transition énergétique

# L'Europe et la transition énergétique

- Pour rester sous le seuil des 2°C, il faut retirer entre 300 et 700 milliards de tonnes de CO<sub>2</sub> à l'atmosphère d'ici 2100 !
- Il est urgent aujourd'hui de trouver une trajectoire énergétique compatible avec le réchauffement climatique. Certains pays se sont engagés à réduire leurs émissions des GES :
  - UE : 40% à l'horizon 2030 par rapport à 1990,
  - US : 26% à 28% d'ici 2025 par rapport à 2005,
  - Chine : 40% à 45% d'ici 2020 par rapport à 2005.
- Des politiques publiques de réduction des GES sont annoncées pour contrer les effets du réchauffement climatique : projets d'investissements d'avenir (Pays Bas, . . . ), transition énergétique (Allemagne, France, . . . ), etc.

# L'ambitieuse feuille de route de l'Europe

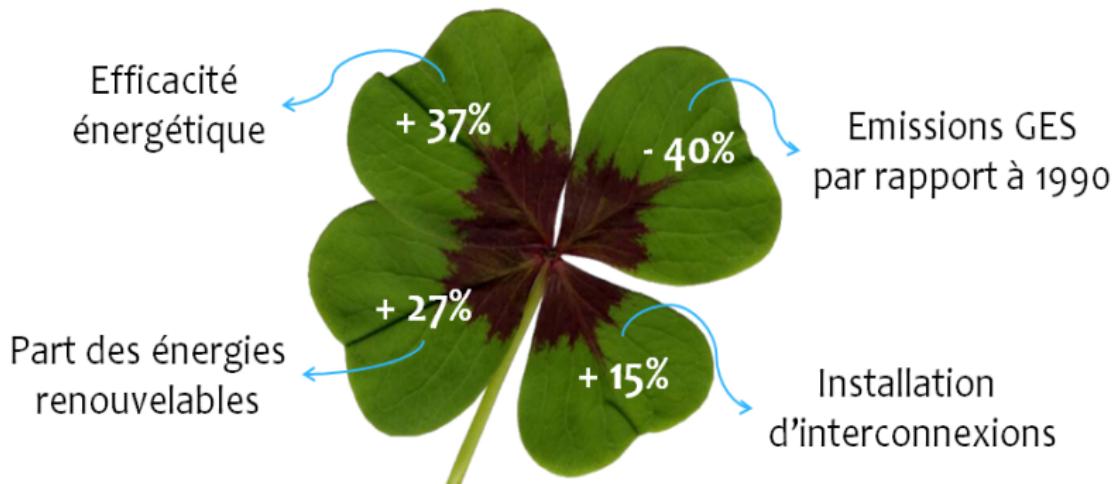


FIG. 21: L'Europe et la transition énergétique.

# Vers une nouvelle conception de la transition énergétique

- La transition énergétique vise à qualifier l'évolution, le passage d'un système énergétique à un autre. Dans l'histoire, il y a eu de nombreuses transitions énergétiques. Il s'agissait d'une transition ayant pour fonction d'accompagner et d'alimenter la croissance économique dans une logique purement productiviste !
- Aujourd'hui, il s'agit d'une transition plus structurelle dans la mesure où c'est l'objectif assigné au secteur énergétique qui change.  
Comment limiter à 2°C la hausse globale de la température en 2100 ?
- On cherche à favoriser l'émergence d'une « économie décarbonée »  
→ Le système énergétique va être mis au service de la décarbonisation de l'économie. Quelles solutions ?
  - Faire des économies d'énergies ? Comment ?
  - Améliorer l'efficacité énergétique ? Quels moyens ?
  - Développer les énergies renouvelables ? Quel mix ?
  - Énergies fossiles ? Mais le climat ?
  - Énergie nucléaire ? A quels risques ?

# La France et la transition énergétique

- La politique publique en France, s'inscrivant dans un cadre réglementaire précis, vise donc à redessiner les contours de la politique énergétique de demain.
- Plusieurs critiques quant à la politique française :
  - Une réglementation souvent compliquée et pas incitative (mille-feuille réglementaire),
  - Difficultés à associer des acteurs divers,
  - Mesures économiques peu lisibles et irrégulières,
  - Une transition fortement centralisée et non concertée,
  - La question du financement.
- En août 2015, le Conseil constitutionnel a validé la loi de transition énergétique (trop ambitieuse !) pour la croissance verte (TECV) votée en juillet 2014.
- L'objectif de la TECV vise à :
  - Diviser par 4 les émissions de GES à l'horizon 2050
  - Réduire la part de l'énergie nucléaire à 50% de la production totale (contre 75% aujourd'hui).

# Les émissions de GES

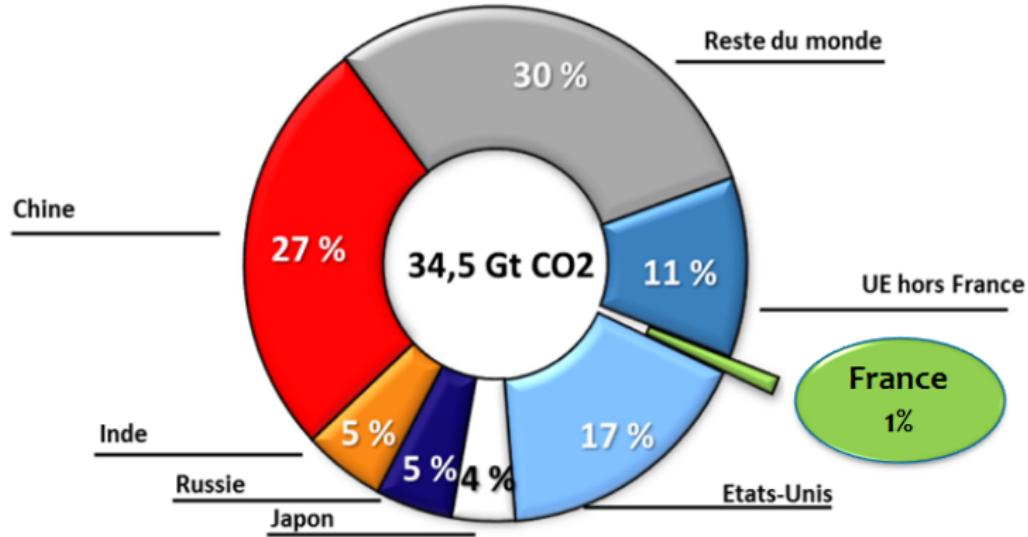
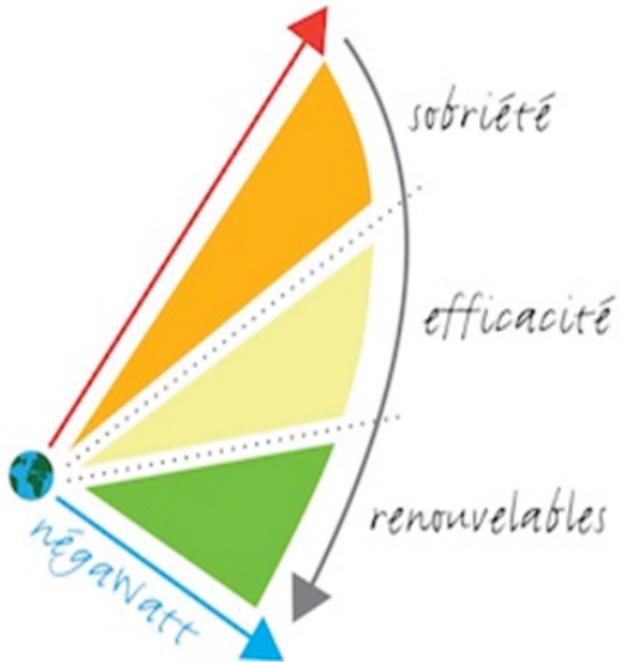


FIG. 22: Facteur 4 en France = 5 jours d'émissions actuelles de GES en Chine,  
Source *Statistical Review*.

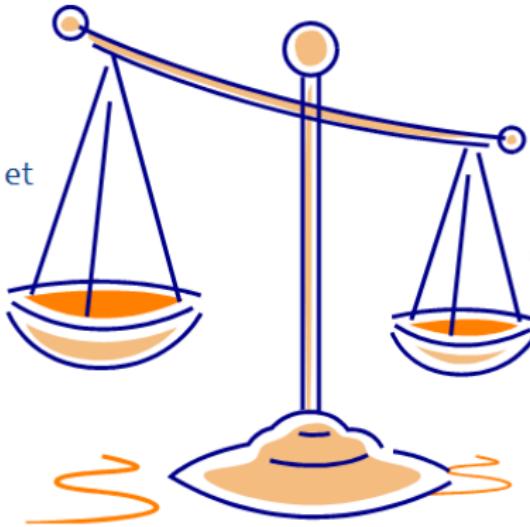
# Plusieurs trajectoires...



- Sobriété : baisse de la demande (50%) par un changement des comportements et sortie du nucléaire.
- Efficacité : baisse de la demande (50%) et mobilisation des potentiels d'efficacité énergétique et baisse du nucléaire.
- Diversité et décarbonisation : réduction plus modérée de la demande (20%) et maintien du nucléaire à 50% après 2025.

# Et la stratégie nas carbone qui l'emporte...

- \* Sobriété énergétique
- \* Diversification et substitution



- \* L'efficacité :
  - \* - 40% GES
  - \* - 50% consommations
  - \* - 30% énergies fossiles
  - \* - 50% nucléaire
  - \* + 32% énergies renouvelables

FIG. 23: Politique énergétique en France : montée des énergies renouvelables et maîtrise de la demande.

# Défis à relever

- Demande

- L'objectif de réduction nécessite la mobilisation des technologies efficaces : rénovation thermique, transports en commun, industries moins énergivores...
- Problème économique : choix des instruments économiques !
- Problème décisionnel : les horizons de temps des agents et décideurs sont plus courts que ceux de l'économie publique.

- Offre

- La transition suppose une rapide montée des énergies renouvelables variables.
- Problème économique : faisabilité car ça nécessite une restructuration des réseaux et d'importants investissements en capacités !
- Problème institutionnel : système énergétique centralisé et manque de culture et d'expérience de la gouvernance territoriale.

# Comment faire ?

- Tout est :
  - dans la trajectoire d'investissement de la France et,
  - dans les mécanismes incitatifs retenus permettant de :
    - guider les agents dans leurs choix et,
    - financer la transition énergétique de la France.
- L'absence d'un prix du carbone (signal-prix fort) pose un sérieux problème d'incitations. Le marché européen des quotas, couvrant la moitié des émissions, n'a pu être régulé de façon à envoyer aux agents un signal suffisamment stable et crédible (7 euros la tonne de CO<sub>2</sub>) → les entreprises disposent d'un excédent de 1.5 milliard de tonnes de CO<sub>2</sub> non utilisées.
- Après les échecs de la Contribution Climat Energie en 2009 et de l'écotaxe poids lourds, la Loi TECV prévoit une disposition incluant une taxe carbone, 100 euros par tonne CO<sub>2</sub> en 2030, soit un niveau inférieur à celui déjà en vigueur en Suède !

## Mais aussi...

- Il reste cependant à mener une réflexion approfondie sur les actions d'accompagnement et le recyclage des recettes fiscales : consolidation budgétaire, compensation, double dividende, financement (compléter par une taxe sur les transactions financières).
- Mécanismes de soutien aux énergies renouvelables : tarifs d'achats, accès aux canaux de financement, fonds public et privés, etc... De tels mécanismes bénéficient d'une visibilité importante et incitent à réaliser davantage d'efforts de R&D.
- Maîtrise de la demande : les fournisseurs d'énergie sont incités à promouvoir l'efficacité énergétique auprès de leurs clients (Certificats d'économie d'énergie, C2E, Reporting sur la gestion du risque climat, etc.).
- Sortie des subventions aux énergies fossiles et développement des subventions écologiques.

## Cas d'études : l'expérience américaine

# L'expérience américaine

- C'est la première expérience à grande échelle des permis d'émissions négociables comme instrument de politique environnementale, la seule significative à ce jour.
- Historique :
  - 1970 : adoption du *Clean Air Act*, le texte fondateur de la politique américaine en matière de pollution atmosphérique.
  - 1970 - 1977 : première phase de cette politique, marquée par un échec.
  - 1977 : inflexion par les pouvoirs publics. Des systèmes de permis sont mis en place à petite échelle, sans grand succès jusqu'en 1990.
  - 1990 : adoption de *Clean Air Act Amendment*. L'article IV définit une politique fédérale ambitieuse en matière de pluies acides, qui va conduire à la première expérience à grande échelle de permis négociables.

# 1990 Clean Air Act Amendment

- Objectifs : réduction de 50% des émissions de SO<sub>2</sub> par les centrales électriques en l'an 2000 par rapport à 1980, soit une réduction de 9 millions de tonnes.
- Moyen : système de permis d'émissions négociables. Les caractéristiques de ce système :
  - aire géographique du marché : ensemble des Etats-Unis ;
  - un permis : un droit à émettre une tonne de SO<sub>2</sub> pendant une année spécifié (les permis sont donc millésimés, il existe des permis pour 1999, 2000, etc.) ;
  - permis distribués gratuitement au prorata des émissions passées (moyenne 1985-1987) ;
  - totale liberté quant à l'utilisation des permis : ils peuvent être utilisés pour polluer, vendus ou épargnés (*banking*) pour une utilisation ou une vente ultérieure.
- Toutefois, le démarrage effectif, et donc la première dépollution, a commencé en 1995.

# 1990 Clean Air Act Amendment : résultats

- Dès 1995, le résultat environnementale dépasse toutes les prévisions :
  - 8.7 millions de permis ont été distribués, mais seules 5.3 millions de tonnes de SO<sub>2</sub> ont été émises (40% de mieux que l'objectif) ;
  - 50% du volume de dépollution est réalisé par des systèmes de désulfuration des fumées ; 50% par modification de l'approvisionnement au profit de charbon à faible teneur en soufre.
- Démarrage du marché plus chaotique :
  - premières transactions sur les droits commencent dès 1993 ;
  - en mars de cette même année, l'EPA a organisé une vente aux enchères → échec très médiatisé : un tiers seulement des permis offerts vendu à un prix unitaire moyen de 157\$ alors qu'on avait anticipé des prix de l'ordre de 250 - 400 \$ ;
  - depuis, la situation s'est nettement améliorée : dispersion des prix de transaction en diminution et volumes de transaction significatifs.

# Les enjeux climatiques

*"Il n'est pas surprenant qu'un problème qui met en cause la survie de l'humanité, ou tout au moins l'intégrité du vaisseau spatial qui abrite l'espèce humaine, ait des dimensions dont l'évaluation ne puisse être épuisée par la discussion technique des choix selon le modèle de rationalité économique".*

*Roger Guesnerie, Les enjeux économiques de l'effet de serre,  
Rapport du Conseil d'Analyse Economique.*

## La convention cadre sur le changement climatique

## De Rio 1992 à Rio +20

- Conférence de Rio de Janeiro, 3-14 juin 1992 (Sommet de la Terre) : mobilisation de la communauté internationale sur les questions du réchauffement climatique.
- Convention des Nations Unies sur les changements climatiques. 165 signatures. Entrée en vigueur le 21 mars 1994.
- Article 2 :

*l'objectif est de "stabiliser ... les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère à un niveau qui empêche toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique ... dans un délai suffisant pour que les écosystèmes puissent s'adapter naturellement aux changements climatiques, que la production alimentaire ne soit pas menacée et que le développement économique puisse se poursuivre d'une manière durable."*

# De Rio 1992 à Rio +20

- Il s'agit d'un objectif ultime que les négociations futures doivent préciser (calendrier ? mesures ?).
- Engagements définis qualitativement.
- Article 4 : distingue 3 catégories de signataires (Annexe I, Annexe II, autres), différenciées d'après les engagements souscrits (inhabituel dans le droit international, contraire aux principes d'égalité des Etats et de réciprocité).
- Engagements applicables à toutes les parties : publier et diffuser des informations sur les émissions de GES, mettre en oeuvre des programmes nationaux pour atténuer le changement climatique, développer et partager les technologies de dépollution, maintenir et développer les puits de GES, encourager la recherche.
- Engagements spécifiques des pays de l'Annexe II : limiter les émissions, renforcer les puits et réservoirs de GES + aider les PED à lutter contre le changement climatique.

## De Rio 1992 à Rio +20

- Annexe I = Annexe II + anciens PEKO.
- Première Conférence des parties – COP 1 – (organe devant faire régulièrement le point de l'application de la Convention), Berlin, avril 1995 : enregistre l'absence presque totale de progrès réalisés et décide de la rédaction d'un protocole additionnel réaffirmant les obligations des pays développés.

Annexe II			
Allemagne	Danemark	Irlande	Nlle-Zélande
Australie	Espagne	Islande	Pays-Bas
Autriche	Etats-Unis	Italie	Portugal
Belgique	Finlande	Japon	RU
Canada	France	Luxembourg	Suède
CE	Grèce	Norvège	Suisse

# Le Protocole de Kyoto

- Conférence de Kyoto : COP 3. Octobre 1997.
- Objectifs chiffrés, juridiquement contraignants, de réduction ou de limitation des émissions des GES des pays développés (Annexe I) :
  - globalement, 5,2% de réduction par rapport au niveau de 1990 à atteindre en moyenne au cours de la première période d'engagement, soit 2008/2012 ;
  - unité de compte : la tonne de carbone (équivalent CO<sub>2</sub>) ;
  - objectif quantifié pour chaque pays avec engagements fermes pour les pays industrialisés (−8% pour la Suisse, la plupart des PECO, et l'Union Européenne, qui devra atteindre son objectif en distribuant différents taux de réduction parmi ses états membres : USA −7%, Canada, Hongrie, Japon, Pologne −6%, Russie, Nouvelle-Zélande, Ukraine 0%, Norvège +1%, Australie +8%, Islande +10%).
- Pas de contraintes sur les émissions des pays en développement.

# Le Protocole de Kyoto

- Le Protocole vise les 6 principaux GES non concernés par le Protocole de Montréal. Ces gaz sont combinés dans un panier dans lequel les réductions concernant chaque gaz sont traduites en équivalents CO<sub>2</sub>.
- Accent mis sur les politiques et mesures nationales de réduction des émissions.
- Introduction de 3 mécanismes dits de flexibilité :
  - Système international d'échange d'obligations de réduction (encore appelés droits ou crédits) d'émissions. L'horizon de temps cible : 2100.
  - Mécanisme de Développement Propre (MDP / CDM, Clean Development Mechanism) : les pays industrialisés peuvent financer des projets de réduction des émissions dans les pays en développement et recevoir pour cela des crédits d'émission.
  - Mise en oeuvre conjointe (Joint Implementation), qui concerne des projets réalisés dans d'autres pays développés.
- Pour entrer en vigueur le protocole doit être ratifié par la majorité des pays industrialisés (55 pays représentant 55% des émissions de CO<sub>2</sub> en 1990).

# Après Kyoto

- COP 4 : Buenos Aires 1998.
- COP 5 : Bonn 1999.
- COP 6 : La Haye, novembre 2000. Echec, dû principalement à l'exigence des Etats-Unis de prendre en compte les forêts pour le calcul des réductions d'émissions.
- Retrait des Etats-Unis du protocole en mars 2001. Explication donnée par M. Watson, le négociateur américain :

*"La lutte contre le réchauffement climatique doit en premier lieu être fondée sur la science ; deux, encourager (...) les innovations technologiques ; trois, profiter des forces du marché ; quatre, inclure une participation globale ; et, cinq, garantir la croissance et la prospérité économique dans le monde entier."*

- Les Etats-Unis reprochent au protocole de n'imposer qu'aux seuls pays industrialisés des réductions d'émissions.

# Après Kyoto

- COP 7 : Marrakech, novembre 2001.
- Ratification du protocole par l'Union Européenne et ses états membres, mai 2002.
- Sommet mondial pour le développement durable : Johannesburg, août-septembre 2002.
- COP 8 : New Delhi, 2002.
- COP 9 : Milan, décembre 2003. Echec : la Russie, dont la ratification permettrait l'entrée en vigueur du protocole, refuse de ratifier. La Russie ratifie le 18 novembre 2004. Déblocage de l'entrée en vigueur du protocole.
- COP 10 : Buenos Aires, décembre 2004. Echec des discussions sur l'après-Kyoto. Affrontement entre l'Europe (durcissement des efforts) et les Etats-Unis (la technologie réglera le problème).

- 1er janvier 2005 : début du fonctionnement du système européen de permis d'émissions négociables.
- Entrée en vigueur du protocole de Kyoto permise par la ratification de l'Islande, 16 février 2005. Il devient légalement contraignant pour 128 Parties. Cette entrée en vigueur signifie qu'à partir du 16 février 2005 :
  - ① 34 pays industrialisés sont légalement tenus d'atteindre les objectifs quantitatifs de réduction de leurs émissions de GES.
  - ② Le marché international de PEN devient une réalité légale.
  - ③ Le MDP devient opérationnel.
  - ④ Le Fond d'adaptation du Protocole, établi en 2001, peut assister les PED à faire face aux effets négatifs du changement climatique.

# Après Kyoto

- COP 11 : Montréal, novembre–décembre 2005.

*“La Conférence des Parties à la convention (...) décide d'engager un dialogue pour échanger des expériences et analyser des approches stratégiques en vue d'actions de coopération à long terme pour faire face au changement climatique (...). Le dialogue (...) ne débouchera sur aucune négociation susceptible de conduire à de nouveaux engagements. Le dialogue devrait identifier (...) des actions, mises volontairement sur la table par les pays en développement, en vue de promouvoir le développement durable et d'atténuer le changement climatique.”*

- Les médias et les participants à la Conférence ont présenté la signature de ce texte par les Etats-Unis comme une grande victoire...

- MOP 1 : Montréal, novembre–décembre 2005. L'autre conférence de Montréal, la Mise en oeuvre du Protocole de Kyoto, réunissant les pays signataires.
  - Décision de poursuivre la démarche du protocole après 2012.
  - Accord sur un système de surveillance des émissions et de sanctions en cas de dépassement.
  - Accords sur les investissements “propres” d'entreprises ou de pays industrialisés au Sud, venant en déduction de leurs émissions et incluant des projets de stockage souterrain du CO<sub>2</sub>.
  - Principe du financement d'un fonds d'adaptation au changement climatique pour les plus pauvres.
  - Accord sur le principe de la prise en compte des forêts en croissance dans les pays industrialisés ou de la lutte contre la déforestation tropicale.
  - Décision d'engager un processus pour étudier de nouveaux engagements des pays industriels pour après 2012.

# Après Kyoto

- COP 12/MOP 2 : Nairobi, novembre 2006. Fin 2006, deux grandes questions : (1) les Etats-Unis changeront-ils d'avis, et, si non, le protocole a-t-il un sens sans eux ? (2) comment faire participer les grands pays émergents, et en premier lieu la Chine et l'Inde ?
- COP 13/MOP 3 : Bali, décembre 2007. Il a été question notamment de tracer une feuille de route pour prolonger le protocole de Kyoto au delà de 2012.
- COP 14/MOP 4 : Poznam, décembre 2008. Négociations en prévision d'un nouvel accord sur le climat à Copenhague en 2009.
  - Accord sur l'opérationnalisation du fonds d'adaptation destiné à financer des projets d'adaptation dans les pays les plus vulnérables.
  - Décisions en faveur de la reforestation.
- COP 15/MOP 5 : Copenhague, décembre 2009. Très généralement perçue comme un échec. Déplacement du centre de gravité des négociations vers un triangle Etats-Unis / Chine / Inde. Quelques points notables cependant, comme l'engagement de limiter le réchauffement à +2°C.

# Après Kyoto

- COP 16/MOP 6 : Cancun, décembre 2010.
  - Le processus de négociation est sauvé, mais pas le climat !
  - La CCS (Capture et Stockage du Carbone) devient éligible aux MDP.
  - Création d'un Fonds Vert pour le Climat, administré par la Banque Mondiale. USA, Europe et Japon promettent 30 mds de \$ sur 2010 - 2012 en plus des 100 mds par an annoncés à Copenhague pour 2020.
  - Russie, Canada et Japon s'opposent à la reconduction du protocole de Kyoto si les Etats-Unis, l'Inde et la Chine n'y entrent pas.
  - Renforcement du programme REDD : réduction des émissions liées à la déforestation et à la dégradation de la forêt.
- COP 17/MOP 7 : Durban, décembre 2011. 12 décembre 2011 : le Canada se retire du Protocole de Kyoto. Il s'était engagé à réduire ses émissions de GHG de 6% en 2012 par rapport à 1990. Elles ont au contraire fortement augmenté. Argument invoqué pour justifier le retrait : le respect des engagements aurait représenté un coût insupportable pour l'économie canadienne.
- COP 18/MOP 8 : Doha, décembre 2012 et la mort de Kyoto.