



Quelle politique publique pour la décarbonation des sites industriels par un investissement de rupture?

Réflexions à partir du cas du captage et stockage du carbone dans l'industrie cimentière

Chaire Energie et Prospérité

23 juin 2026

9h00 - 11h00

Agenda du séminaire

8h30 9h15 Accueil des participants et mot de bienvenue (Guy Meunier, INRAE, chaire E&P)

9h15 9h30 Les enjeux de la transition vers la neutralité carbone pour les secteurs industriels fortement émetteurs (Maya Bacache Beauvallet, Conseiller maître, Cour des comptes)

9h30 10h15 Présentation d'un cas d'école pour poser les enjeux stratégiques de la décarbonation d'un secteur industriel par un investissement de rupture fortement capitalistique (Jean-Pierre Ponsard, CNRS-Ecole Polytechnique, chaire E&P)

10h15 11h00 Présentation de l'état des lieux en matière de CSC du secteur cimentier sur le marché européen (Christophe Caron, SIRAH-Consulting)

11h00 12h00 Table ronde présidée par Vincent Mages (Conseil en Développement Durable) avec la participation de Nicolas Berghmans (IDDRI), Patrick Criqui (Gaël, Grenoble, France Stratégie), Laure Héléard (France Ciment), Alienor Cameron (European University Institute, Florence).

Agenda du séminaire

8h30 9h15 Accueil des participants et mot de bienvenue (Guy Meunier, INRAE, chaire E&P)

9h15 9h30 Les enjeux de la transition vers la neutralité carbone pour les secteurs industriels fortement émetteurs (Maya Bacache Beauvallet, Conseiller maître, Cour des comptes)

9h30 10h15 Présentation d'un cas d'école pour poser les enjeux stratégiques de la décarbonation d'un secteur industriel par un investissement de rupture fortement capitalistique (Jean-Pierre Ponsard, CNRS-Ecole Polytechnique, chaire E&P)

10h15 11h00 Présentation de l'état des lieux en matière de CSC du secteur cimentier sur le marché européen (Christophe Caron, SIRAH-Consulting)

11h00 12h00 Table ronde présidée par Vincent Mages (Conseil en Développement Durable) avec la participation de Nicolas Berghmans (IDDRI), Patrick Criqui (Gaël, Grenoble, France Stratégie), Laure Héléard (France Ciment), Alienor Cameron (European University Institute, Florence).

Présentation d'un cas d'école pour poser les enjeux stratégiques de la décarbonation d'un secteur industriel par un investissement de rupture fortement capitalistique

- Il existe de nombreuses raisons pour retarder la mise en place de l'investissement de rupture:
 - Incertitude technologique et son coût capitalistique
 - Incertitude sur l'évolution du prix du carbone sur l'EU-ETS et sa réglementation (BAM, quotas gratuits...)
 - La disponibilité des sites de séquestration et de l'infrastructure de transport
 - L'acceptabilité sociale de cette technologie
 - ...

- Mais, dans un contexte de concurrence imparfaite, il existe **une raison stratégique** pour retarder cet investissement

- Une politique de subvention à l'investissement permet de d'avancer cette date et de la rapprocher de la date socialement optimale.

Idées intuitives pour analyser la concurrence pour l'adoption d'un investissement de rupture

- Intuitivement
 - On peut penser qu'une firme a intérêt à adopter avant les autres pour bénéficier d'un avantage concurrentiel
 - Ce qui génère un processus **d'escalade**

- Cette idée conduit à une adoption prématurée qui réduit l'avantage concurrentiel attendu
 - Le coût de l'usine décarbonée à la date d'adoption est alors plus élevé que le coût d'une usine carbonée ...
 - Le phénomène **d'escalade** réduit l'intérêt de cette stratégie.

- Il existe une autre stratégie dans laquelle toutes les firmes adoptent à la même date
 - L'adoption simultanée neutralise le phénomène d'escalade
 - Cette stratégie conduit à une adoption tardive, elle se traduit par un **phénomène de procrastination**
 - Ce comportement est parfaitement rationnel et ne s'appuie sur aucune entente

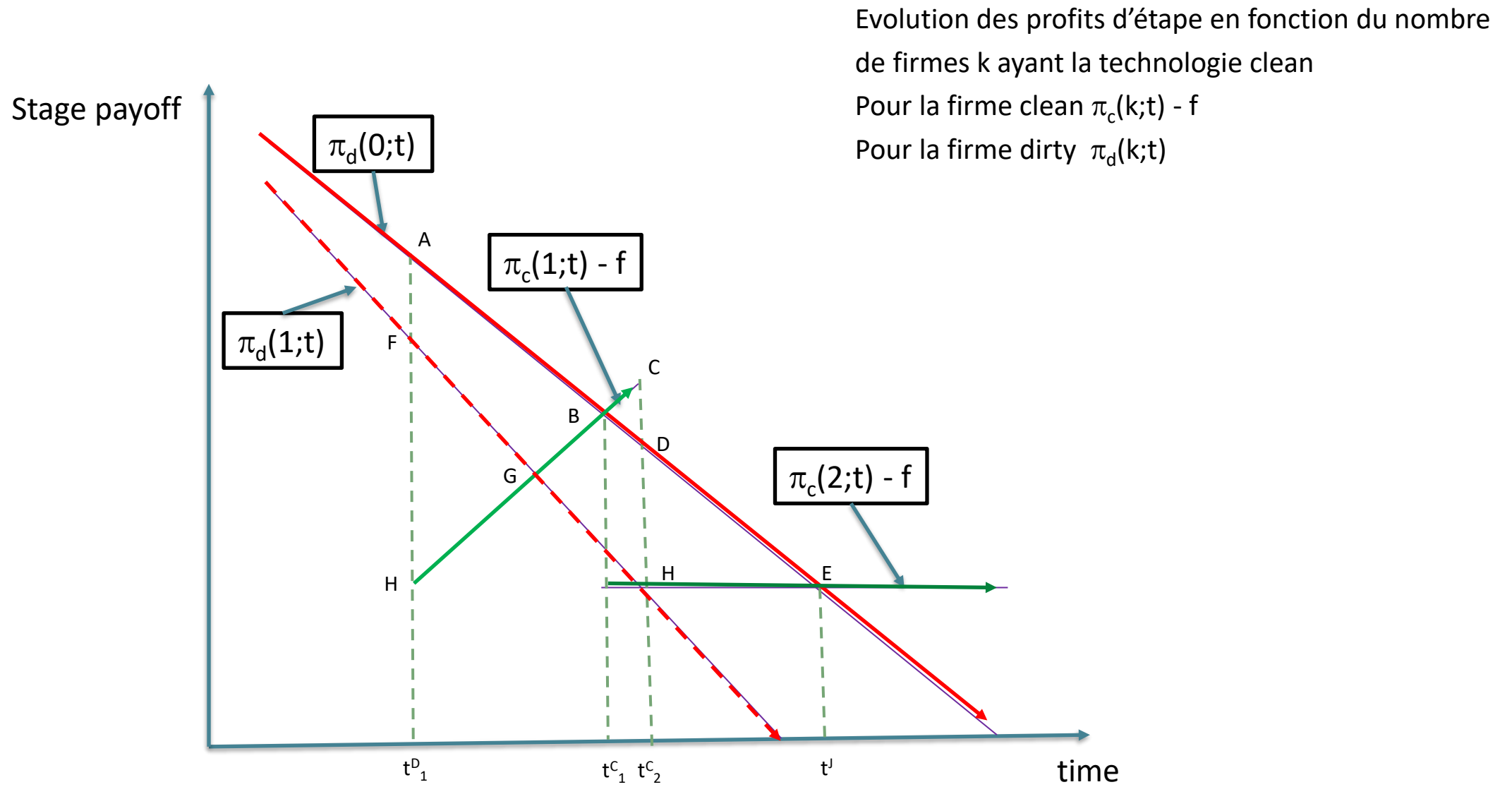
Un modèle stylisé

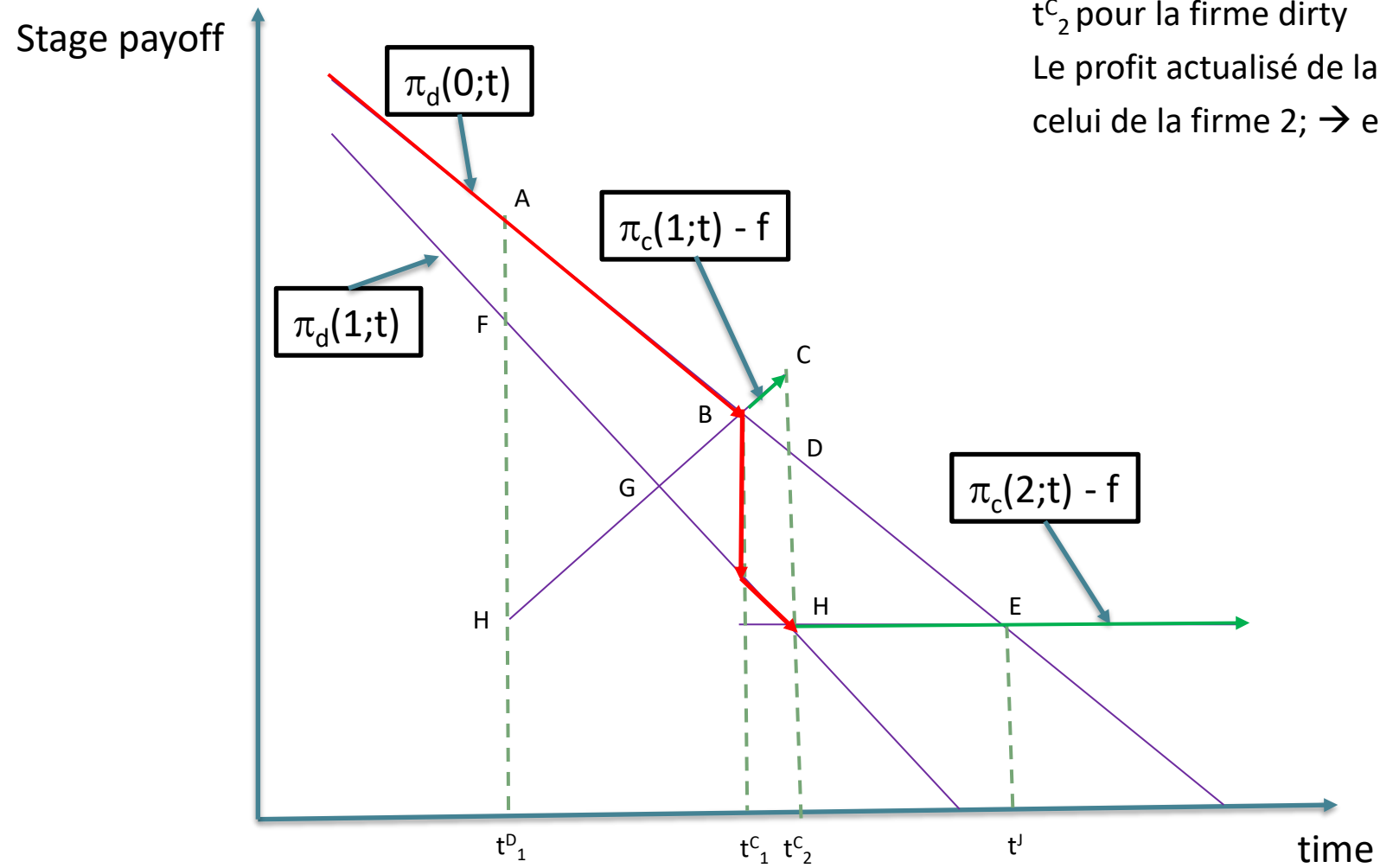
- Deux technologies à durée de vie infinie
 - Technologie polluante : coût d'exploitation croissant avec une taxe carbone optimale
 - Technologie propre : coût d'exploitation constant et coût d'investissement élevé irrécupérable
- Structure de marché dans un contexte de concurrence imparfaite
 - Nombre donné d'entreprises symétriques utilisant au départ la technologie polluante
 - Chaque entreprise peut décider à tout moment d'adopter la technologie propre
- Deux dimensions du comportement stratégique
 - Concurrence de Cournot à **court terme** pour définir les parts de marché et les prix
 - Concurrence à **long terme** pour déterminer la date de l'adoption
- Les entreprises agissent rationnellement et anticipent la rationalité de leurs concurrents
 - La solution est un « équilibre de Nash » : un ensemble de stratégies tel que, compte tenu de la stratégie des autres concurrent, la stratégie de chaque concurrent est optimale
 - On s'attend à un **équilibre d'escalade** et un **équilibre de procrastination**; il y a donc un **problème de sélection**

Résultat majeur: la résolution du problème de sélection

Toutes les firmes présentes peuvent-elles à long terme adopter la technologie de rupture de manière profitable ?

- **Oui:** l'équilibre de procrastination domine, il maximise le profit actualisé des firmes avec une adoption tardive par rapport à l'optimum social; une politique de subvention est nécessaire
- **Non:** l'équilibre d'escalade est le seul possible avec une adoption anticipée par rapport à l'optimum social; une politique de subvention est inutile



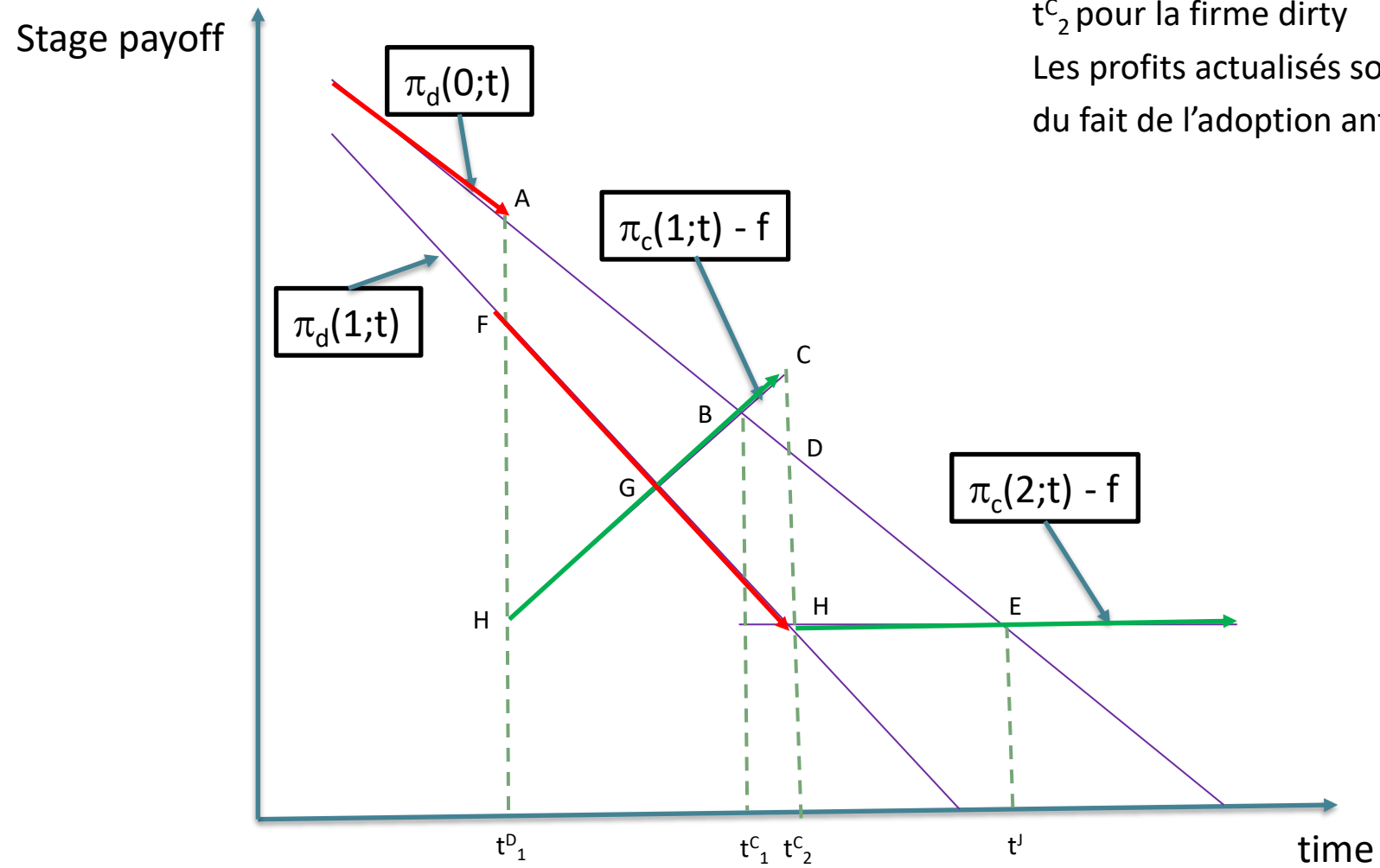


Evolution des profits en fonction des dates d'adoption

t_1^C pour la firme clean

t_2^C pour la firme dirty

Le profit actualisé de la firme 1 est plus élevé que celui de la firme 2; → escalade



Evolution des profits pour la trajectoire de procrastination avec adoption jointe en t^j

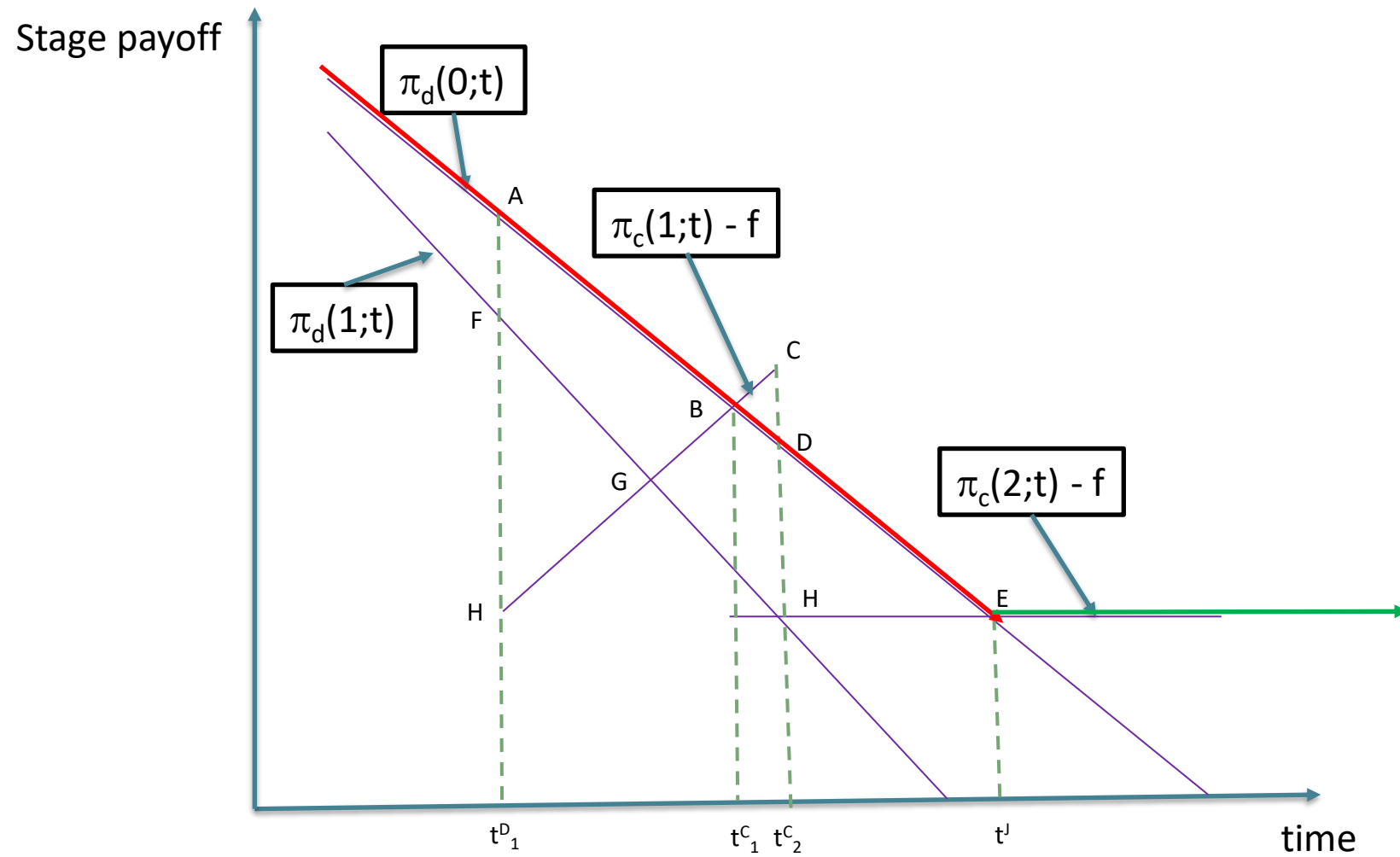
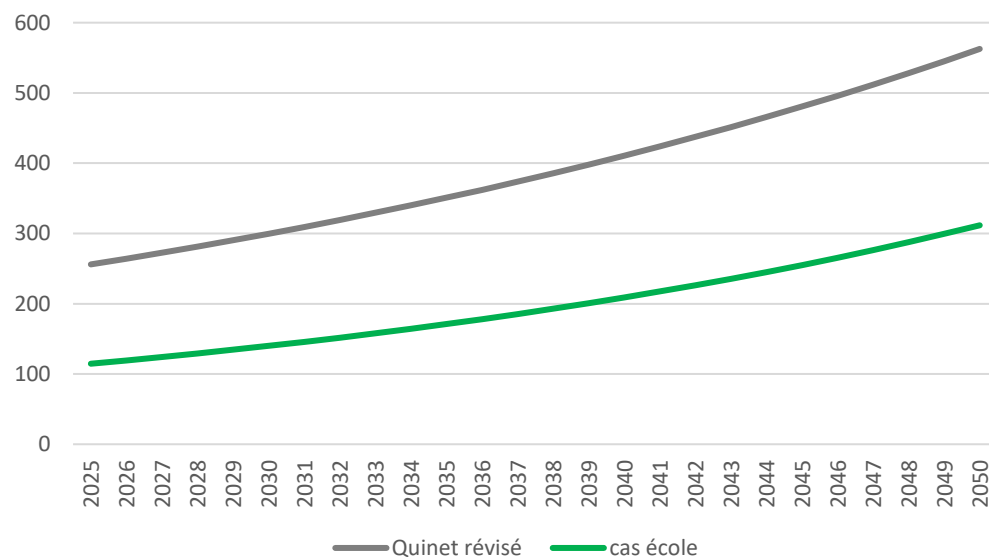


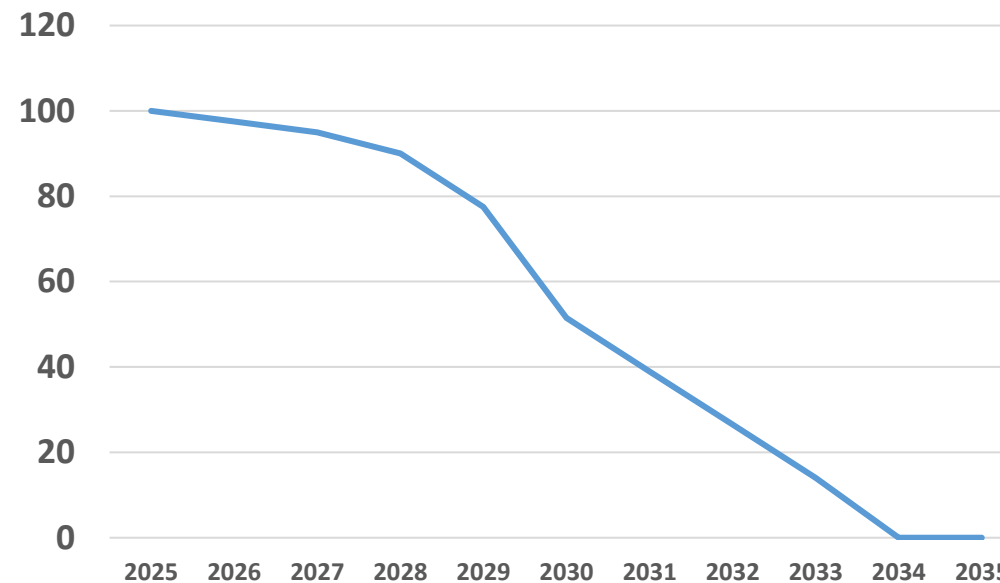
Illustration numérique sur un cas d'école

L'hypothèse d'évolution du coût du carbone retenue dans notre analyse correspond à une estimation du prix EU-ETS
140 €/tCO₂ en 2030 avec un taux de croissance de 3,92% au taux d'intérêt public (règle d'Hotelling)
Notre trajectoire est nettement inférieure à celle de France Stratégie (Quinet 2025)

Coûts du carbone



Quotas gratuits CO₂



Les coûts variables, les taux d'intérêt public et privé, l'impôt sur les bénéfices l'analyse traditionnelle revisitée

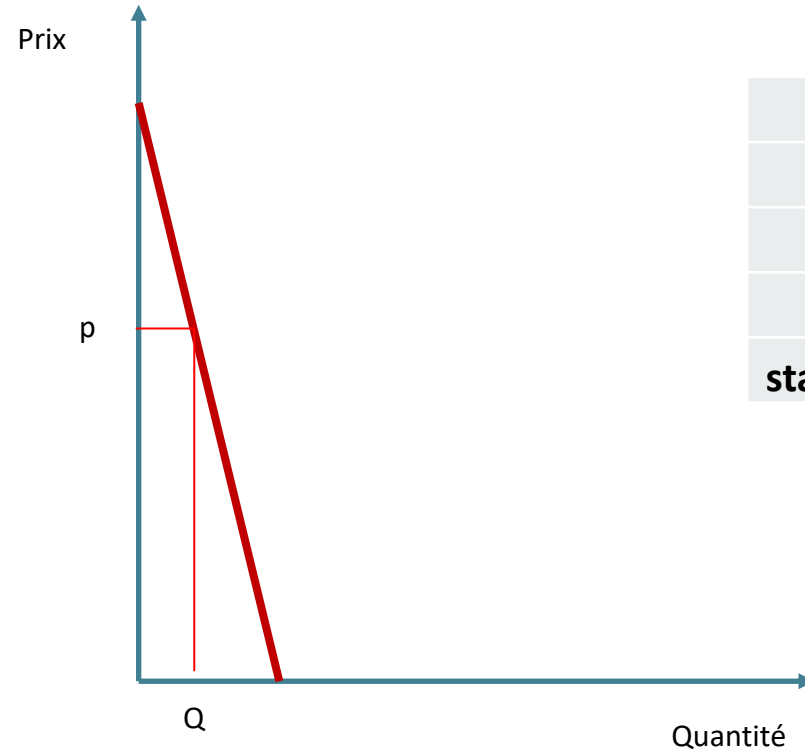
d_0 coût usine dirty hors CO2	€/t	44
d_1 émission évitées	€/t	0,419
c coût usine clean	€/t	104
F Capex CCS pour 1 Mt	M€	236
Durée de vie du projet	année	15
Taux d'intérêt privé	%	9%
	Taux IS	%
		25%
SCC(2024)	€/tCO2	110
Taux intérêt public	%	3,92%
Coût d'abattement en budget carbone (CAi)	€/tCO2	146
Date socialement optimale	année	2031
Date optimale privée	année	2036
Taux de subvention du CAPEX	%	39%

L'analyse coût-bénéfice traditionnelle donne un coût d'abattement de 146 €/tCO2 et une adoption en 2031

+3 ans pour taux intérêt et +2 ans pour IS

La subvention de 39% ramène la date de 2036 à 2031

La demande de ciment permet à 4 firmes clean de rentabiliser le coût fixe



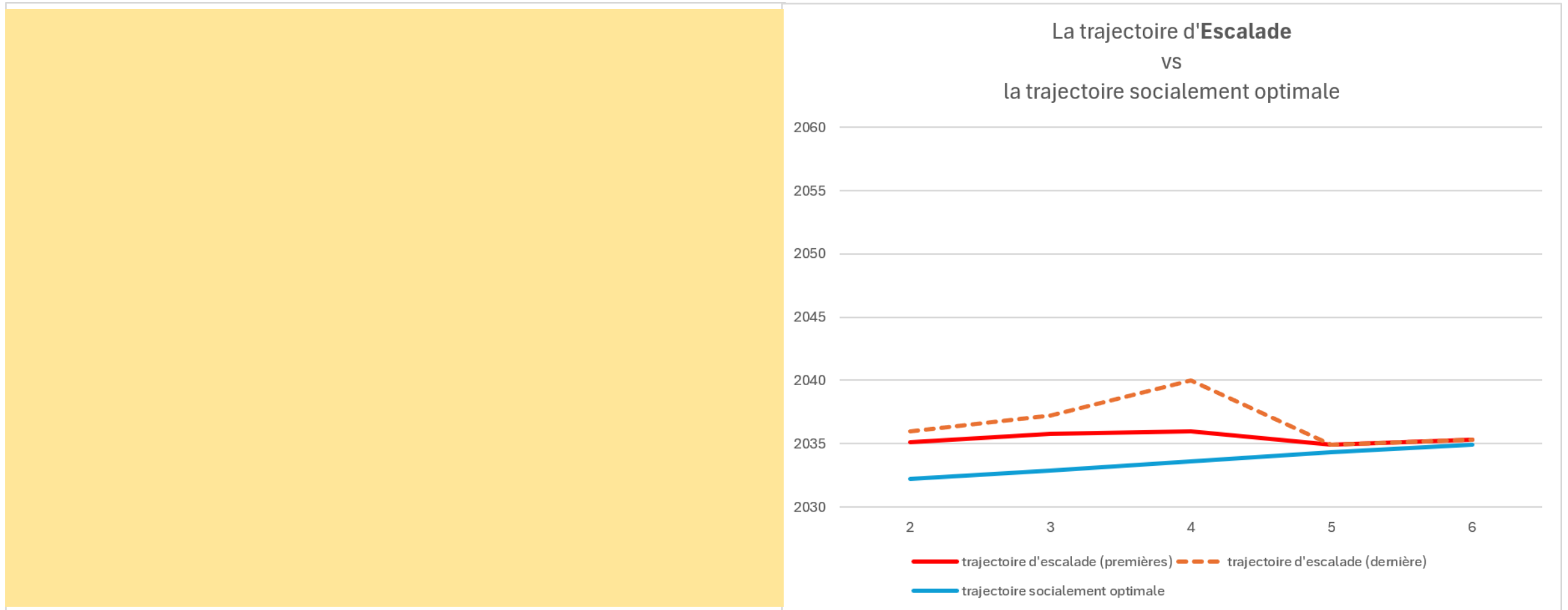
n clean		4	5
prix	€/t	133	128
cas cost	€/t	104	104
sales	tcement	1 462 760	1 218 967
stage profit	€	3 756 141	9 319 600

Résultat majeur du modèle stylisé pour la classe 1 avec la fonction de demande

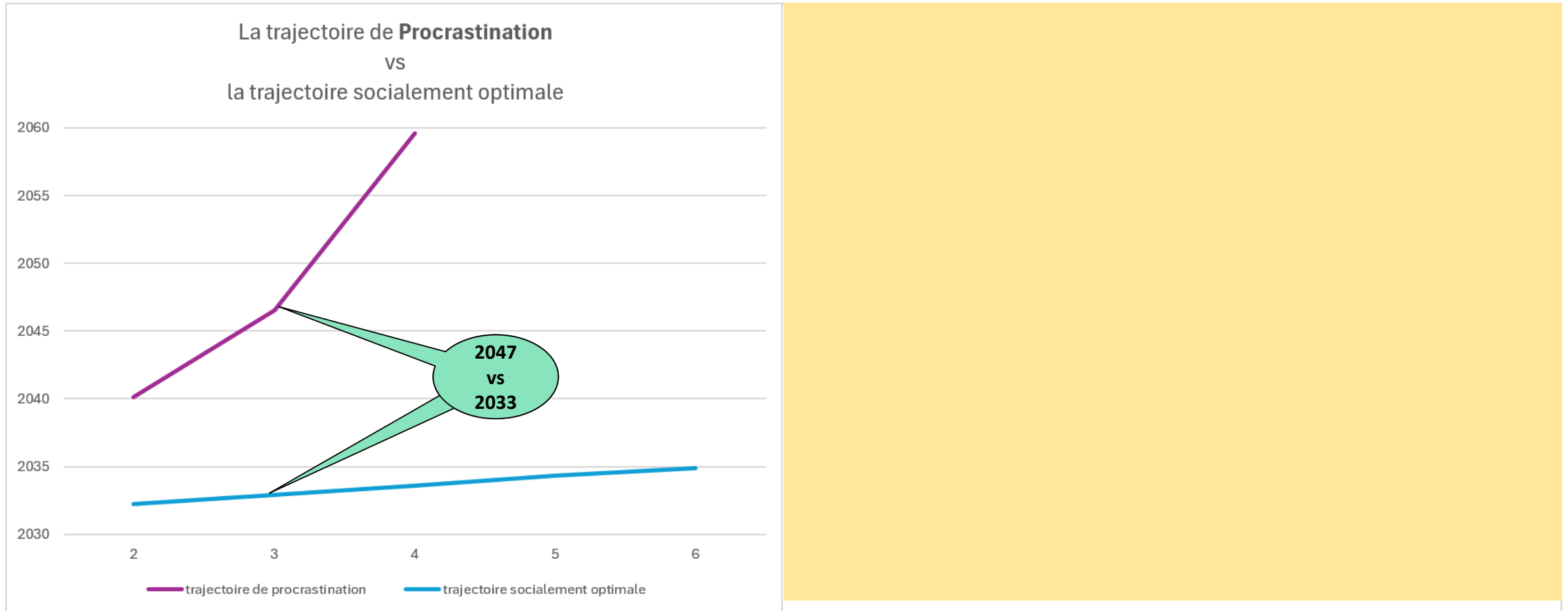
Toutes les firmes présentes peuvent-elles simultanément adopter la technologie de rupture de manière profitable ?

- **Oui si $n \leq 4$** : l'équilibre de procrastination existe, il maximise le profit actualisé des firmes avec une adoption tardive par rapport à l'optimum social; une politique de subvention est nécessaire
- **Non si $n > 4$** : l'équilibre d'escalade est le seul possible avec une adoption anticipée par rapport à l'optimum social; une politique de subvention est inutile

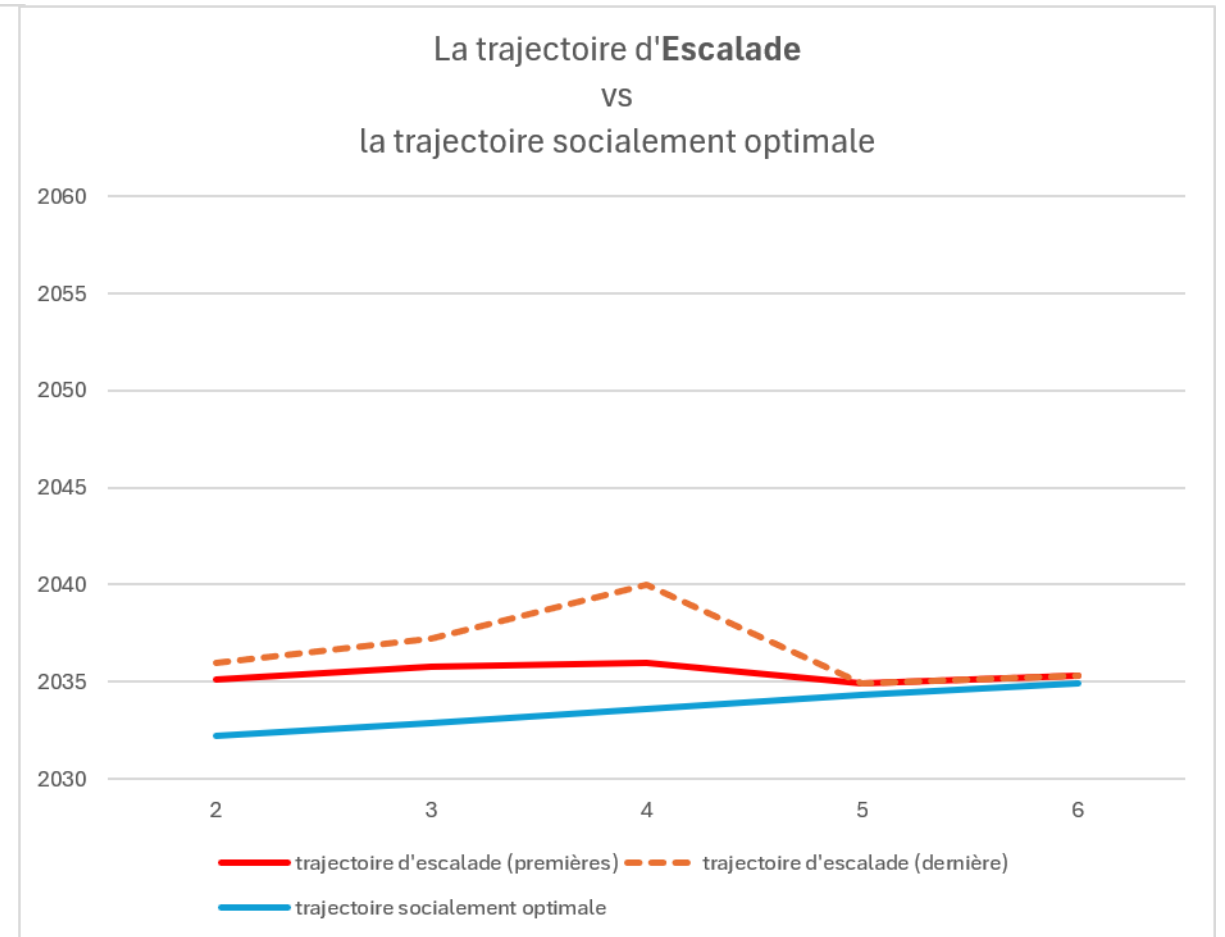
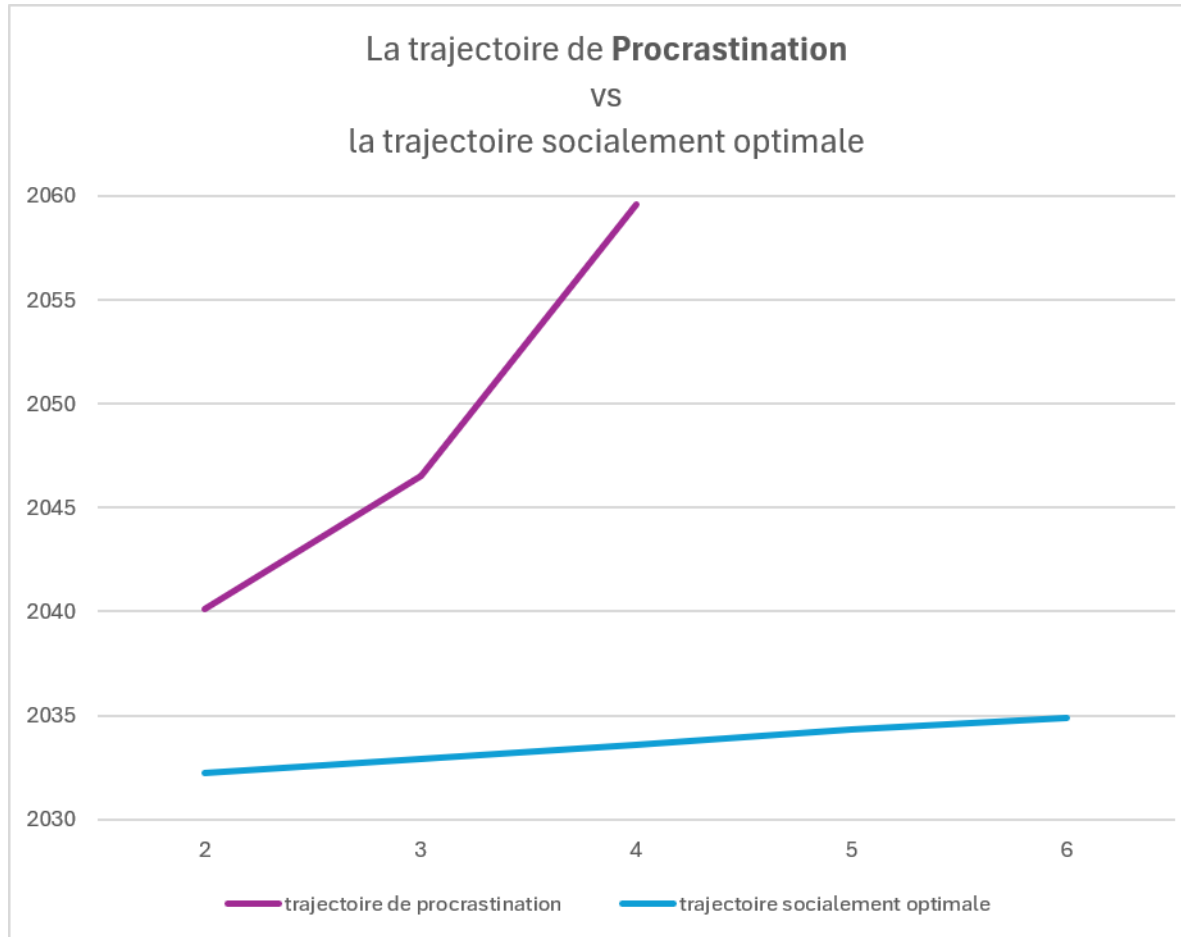
Les deux trajectoires concurrentielles en fonction de la structure initiale de marché (en abscisse)



Les deux trajectoires concurrentielles en fonction de la structure initiale de marché (en abscisse)



Les deux trajectoires concurrentielles en fonction de la structure initiale de marché (en abscisse)



La trajectoire de procrastination donne un cash flow actualisé supérieur à celui de la trajectoire d'escalade mais elle n'existe pas si la structure initiale de marché est « presque » concurrentielle (n supérieur à 4)

VAN des cash flows par firme après IS (M€) et subvention optimale							
structure concurrentielle initiale	1	2	3	4	5	6	7
trajectoire de procrastination	2 893	1 228	663	414	NA	NA	NA
trajectoire d'escalade (premières)	2 893	1 219	637	373	251	186	142
trajectoire d'escalade (dernière)	2 893	1 219	637	373	251	186	142
subvention en % CAPEX	35%	31%	40%	52%	3%	1%	0%


L'analyse stratégique plaide pour subventionner à 40% le CAPEX pour avancer l'investissement de 2047 à 2033 en cas de structure de marché initiale peu concurrentielle (n=3)

Indicateurs	n = 3				
	date d'adoption	Bien-être	Surplus du consommateur	Profit de l'industrie	Emissions totales (MtCO2)
trajectoire socialement optimale	2033	11 597	7 357	1 799	19
trajectoire de procrastination	2047	-7,5%	-9,5%	10,5%	44
après subvention	2033	0,0%	0,0%	10,5%	19
Emissions évitées MtCO2					25
Subvention totale M€ 2033 (40% CAPEX)					515
Efficacité de la subvention €/tCO2					20

L'analyse stratégique plaide pour ne pas subventionner pour avancer l'investissement de 2035 à 2034 en cas de structure de marché initiale fortement concurrentielle (n=5)

Indicateurs	n = 5				
	date d'adoption	Bien-être	Surplus du consommateur	Profit de l'industrie	Emissions totales (MtCO2)
trajectoire socialement optimale	2034	11723	8571	1603	24
trajectoire d'escalade	2035	-0,3%	-0,4%	4,3%	28
après subvention	2034	0,0%	0,0%	4,3%	24
Emissions évitées MtCO2					4
Subvention totale M€ 2034 (3% CAPEX)					60
Efficacité de la subvention €/tCO2					15

Indicateurs	n = 5				
	date d'adoption	Bien-être	Surplus du consommateur	Profit de l'industrie	Emissions totales (MtCO2)
trajectoire socialement optimale	2034	11723	8571	1603	24
trajectoire d'escalade	2035	-0,3%	-0,4%	4,3%	28
après subvention	2034	0,0%	0,0%	4,3%	24
Emissions évitées (MtCO2)					4
Subvention totale (M€ CAPEX)					60
Efficacité de la subvention (€/tCO2)					15



Le contexte concurrentiel influe fortement sur la politique publique

- Dans un contexte **presque concurrentiel** la mise en place d'un **coût du carbone suffit** pour créer les bonnes incitations à investir dans la technologie de rupture
- Mais **dans un contexte de concurrence imparfaite, il existe une raison stratégique pour retarder l'investissement de rupture**
- Une **politique de subvention à l'investissement est nécessaire** pour avancer cette date et la rapprocher de la date socialement optimale