

# Stratégies et coûts d'abattement des émissions: approche microéconomique et perspective systémique

Patrick Criqui, CNRS-UGA,  
Séminaire AIRE  
14 mars 2022

---

# La gouvernance multi-échelles du climat:

- ◆ *Internationale*
- ◆ *Européenne*
- ◆ *Nationale*
- ◆ *Territoriale*

# Les trois ages de la négociation internationale

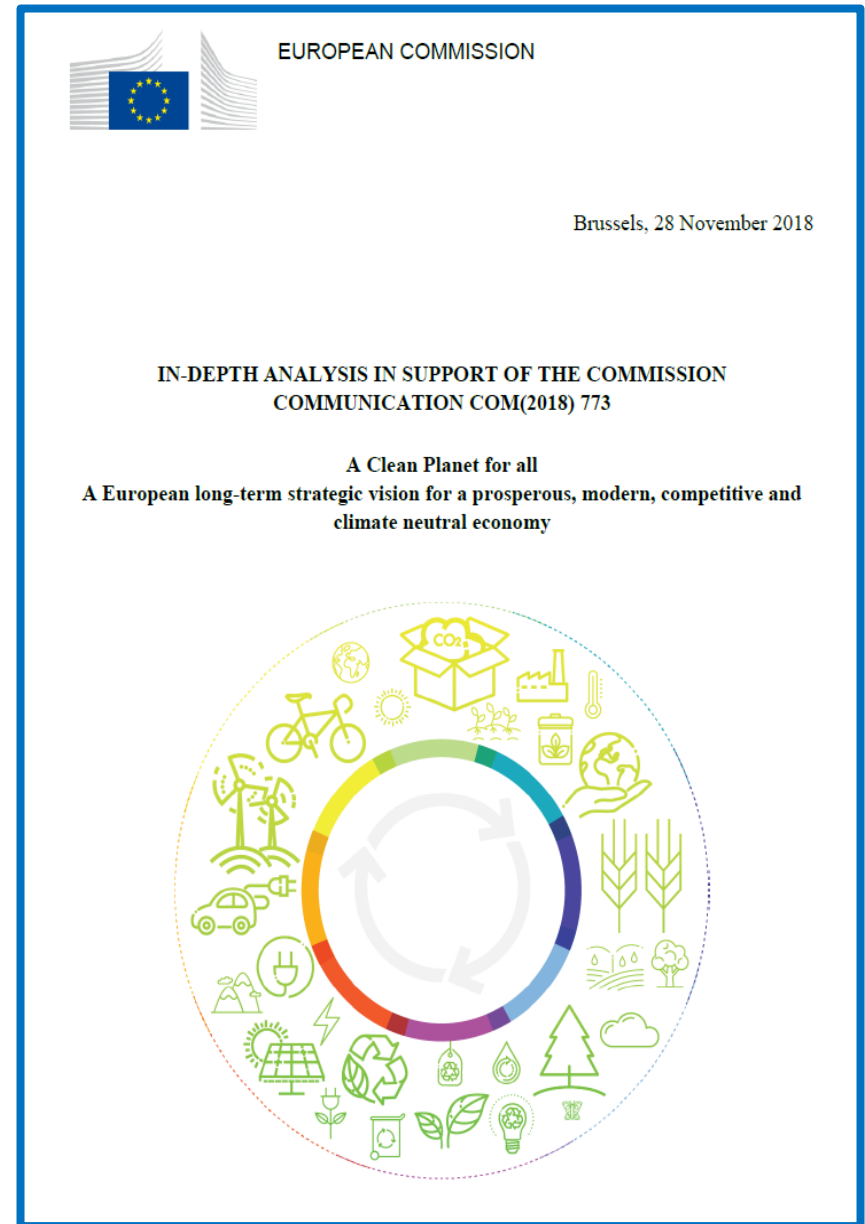
- ◆ De Kyoto (COP3, 1997) à Copenhague (COP15, 2009): l'âge d'or des modèles
- ◆ De Copenhague à Paris (COP21, 2015): un nouveau paradigme
- ◆ Après Paris: quelles stratégies nationales pour la “neutralité carbone” ?

# La gouvernance multi-échelles du climat:

- ◆ *Internationale*
- ◆ ***Européenne***
- ◆ *Nationale*
- ◆ *Territoriale*

# « Neutralité carbone » en Europe (2018)

- ◆ La feuille de route pour une Europe “prospère, moderne, compétitive et neutre en carbone” en 2050 (novembre 2018):
  - un document support de 393 p. ...
  - avec 8 scénarios modélisés en détail



# Nouvelle commission, nouveau souffle ?

## **Fiscalité:**

assurer une tarification efficace des externalités et une répartition équitable des coûts de transition

## **Budget de l'UE et financement durable:**

préparer le déploiement d'infrastructures clés et encourager l'investissement dans des modèles d'entreprise durables

## **Action locale:**

accompagner la transformation des régions et des secteurs économiques

## **Recherche et innovation:**

identifier les technologies clés pour la transition et accélérer la démonstration

## **Union énergétique et action en faveur du climat:**

faire en sorte que les règles commerciales soient adaptées au déploiement de nouvelles technologies dans le secteur de l'énergie, de la construction et de la mobilité

## **Stratégie industrielle et économie circulaire:**

déployer les technologies des chaînes de valeur stratégiques et accroître la circularité

## **Commerce libre mais équitable:**

travailler à la mise en place de règles de concurrence équitable à l'échelle mondiale

## **Le pilier social:**

permettre aux citoyens d'acquérir les compétences nécessaires à la mise en place de nouveaux modèles d'entreprise

## **Marché unique du numérique:**

créer le «système d'exploitation» numérique permettant l'intégration des systèmes et la mise en place de nouveaux modèles d'entreprise

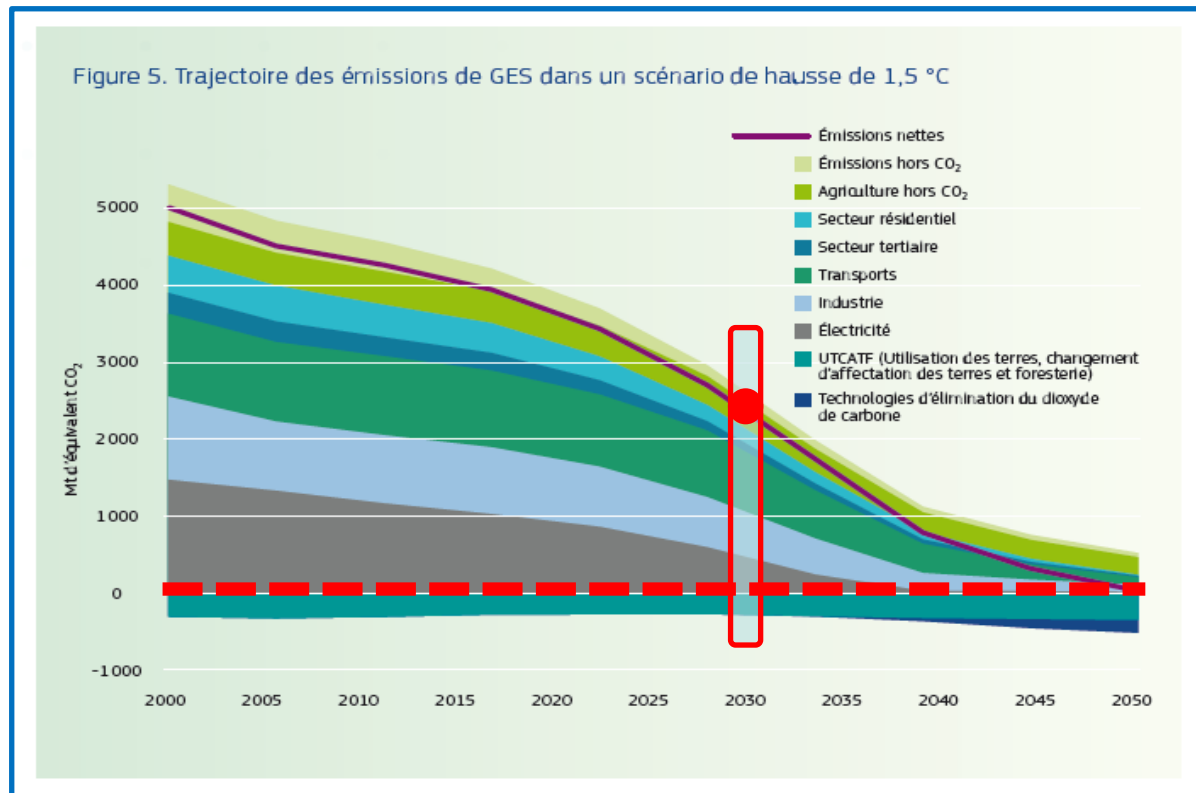
## **Politique de concurrence et aides d'État:**

assurer la cohérence avec les objectifs climatiques et environnementaux de l'UE

Source: Centre européen de stratégie politique (CESP).

# « Fit for 55 »: les réductions d'émission

- ◆ Tous les grands secteurs (production d'électricité, industrie, transports, bâtiments, construction et agriculture) devront réduire drastiquement leurs émissions



# « Fit for 55 »: the policy package

## Pricing

- Stronger ETS including in aviation
- Extending the ETS to maritime, road transport, and buildings
- Updated Energy Taxation Directive
- Carbon Border Adjustment Mechanism

## Targets

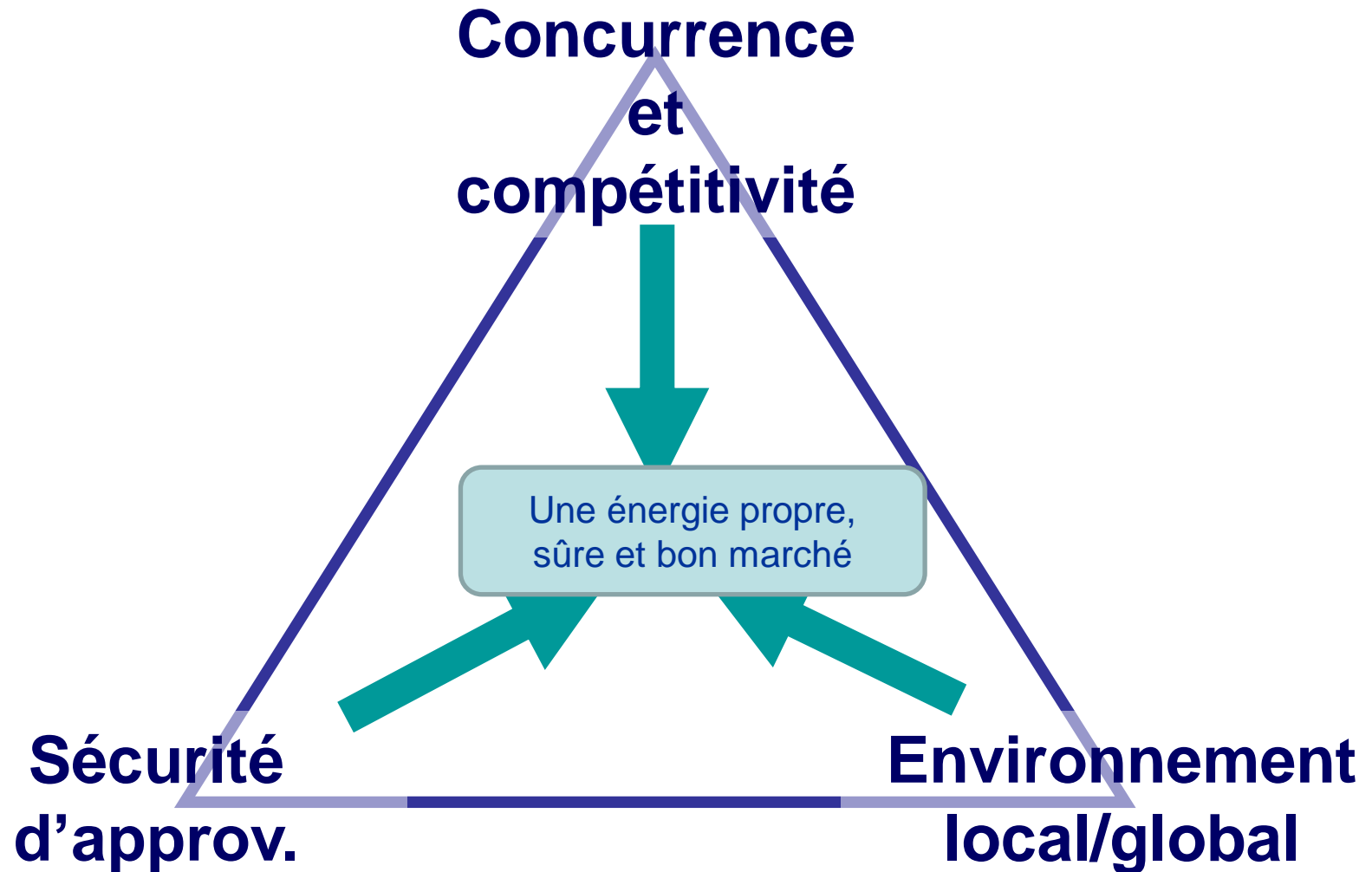
- Updated Effort Sharing Regulation
- Updated LULUCF Regulation
- Updated Renewable Energy Directive
- Updated Energy Efficiency Directive

## Rules

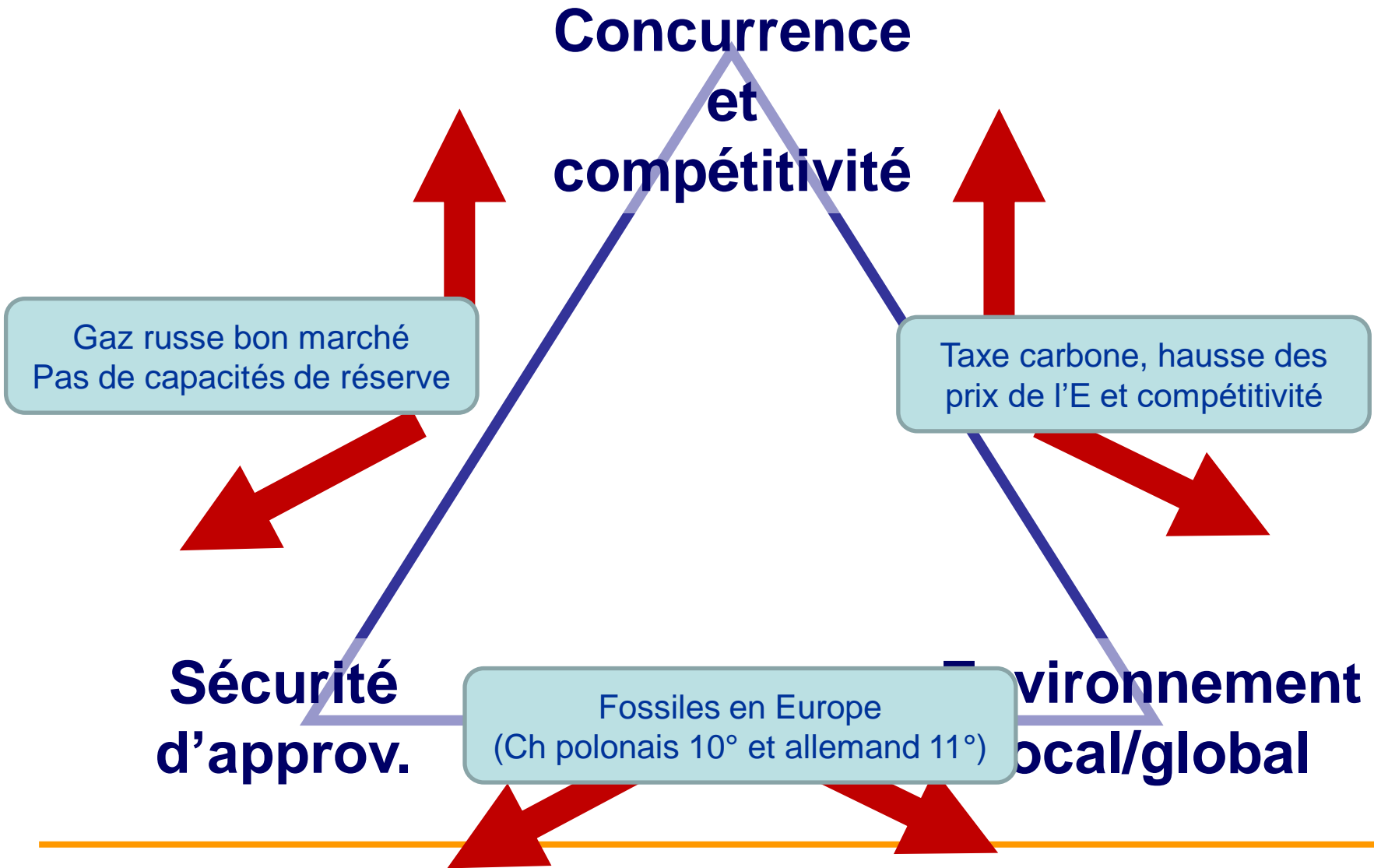
- Stricter CO<sub>2</sub> performance for cars & vans
- New infrastructure for alternative fuels
- ReFuelEU: More sustainable aviation fuels
- FuelEU: Cleaner maritime fuels



# L'Europe de l'énergie: le monde idéal

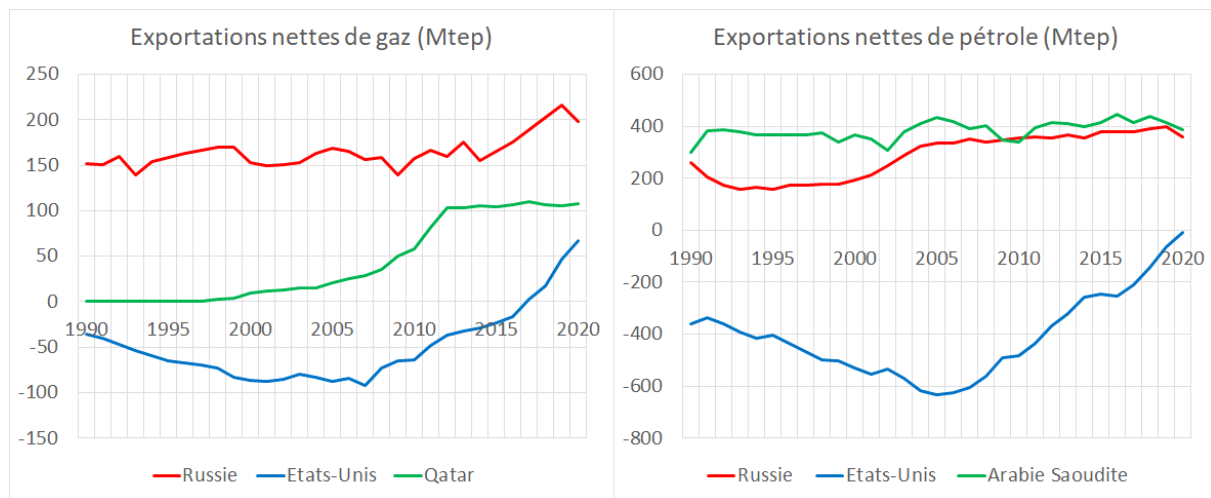


# L'Europe de l'énergie: le monde réel



# Après l'Ukraine:

- ◆ Les marchés mondiaux du pétrole et du gaz vont être déséquilibrés pour longtemps (% production mondiale):



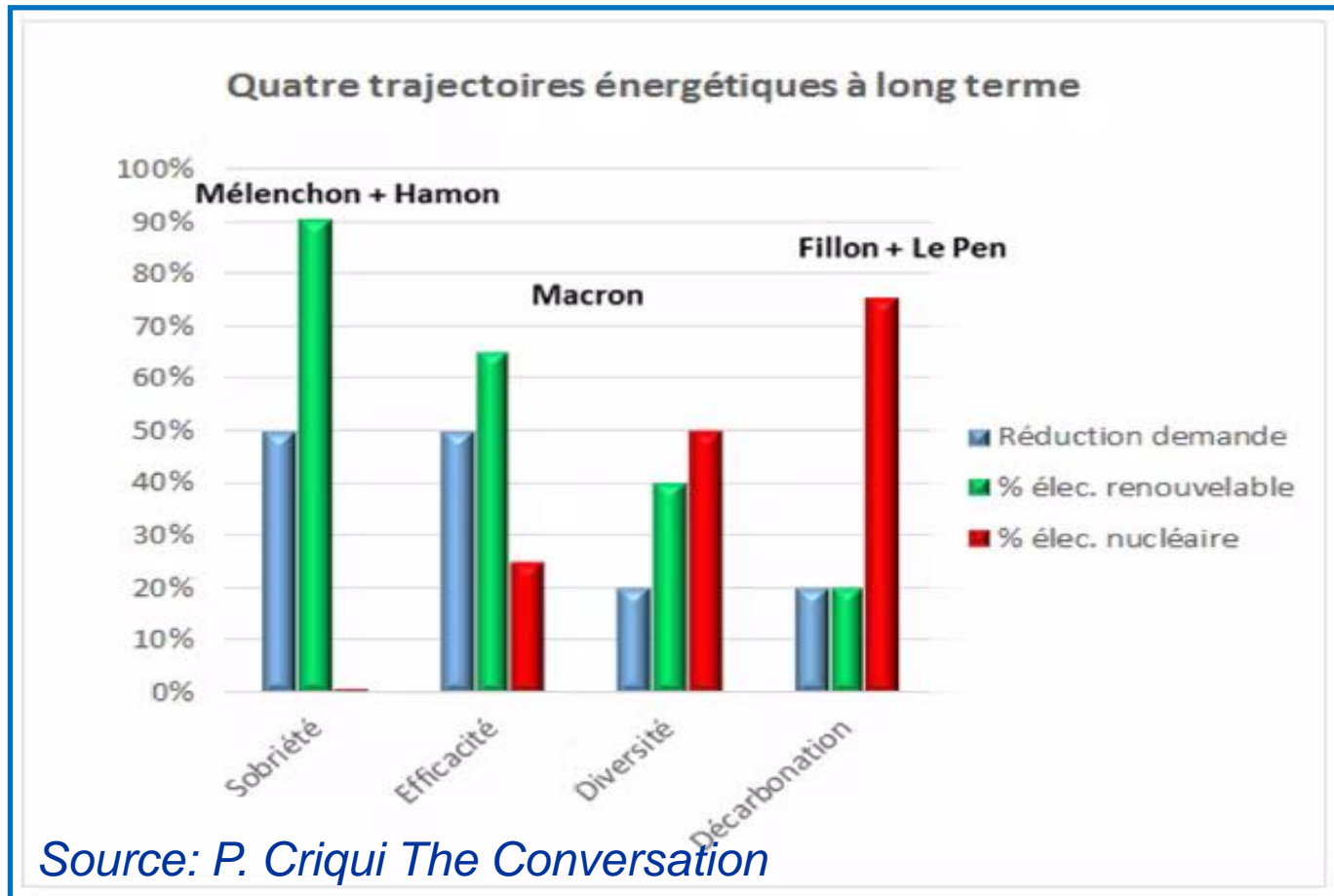
- ◆ Les prix de l'énergie, déjà élevés et très instables, vont l'être encore plus dans les mois (années) qui viennent
- ◆ Des révisions devront être effectuées au niveau des grandes priorités européennes...
- ◆ ainsi que dans certains Etats membres (Allemagne)

# La gouvernance multi-échelles du climat:

- ◆ *Internationale*
- ◆ *Européenne*
- ◆ ***Nationale***
- ◆ *Territoriale*

- ◆ *Stratégies de développement bas carbone pour la France*
- ◆ *La Commission Coûts d'Abatement de France Stratégie: calcul socioéconomique standard*
- ◆ *Une perspective élargie, en économie de l'innovation et des transitions systémiques*

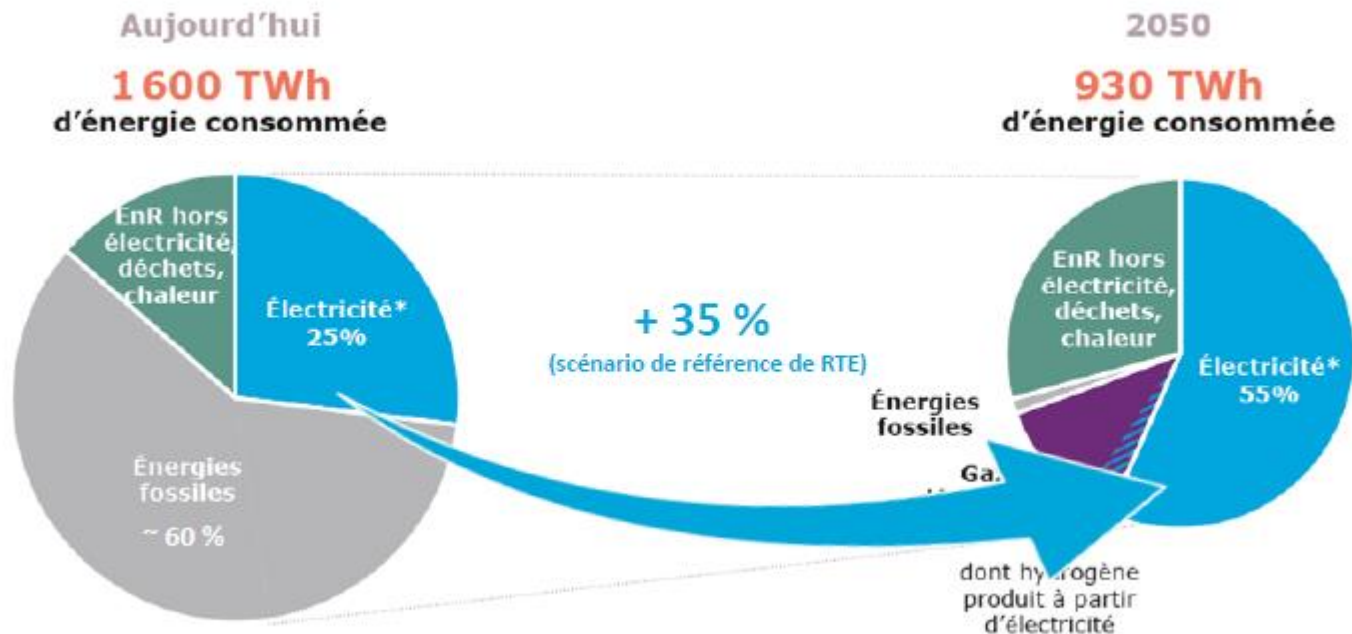
# Du débat national de 2013 aux présidentielles de 2017... et de 2022



# Scénarios RTE: électrification des vecteurs

- ◆ -40% pour la consommation totale, +35% pour l'électricité

Consommation d'énergie finale en France (SNBC)



\* Consommation finale d'électricité (hors pertes, hors consommation issue du secteur de l'énergie et hors consommation pour la production d'hydrogène)  
Consommation finale d'électricité dans la trajectoire de référence de RTE = 645 TWh

# RTE 2021

- ◆ Trois scénarios de demande
  - 555 TWh Sobriété
  - 645 TWh Référence
  - 752 TWh Réindustrialisation
- ◆ REF + Trois scénarios sans nucléaire:
  - Max solaire et éolien
  - Max solaire diffus
  - M23 Eolien grands parcs
- ◆ REF + Trois scénarios avec nucléaire (hist + nouv):
  - 16 + 13 Gwe (8 EPR) (23%)
  - N2 16 + 23 (14 EPR) (26%)
  - 24 + 27 (16 EPR+SMR) (50%)

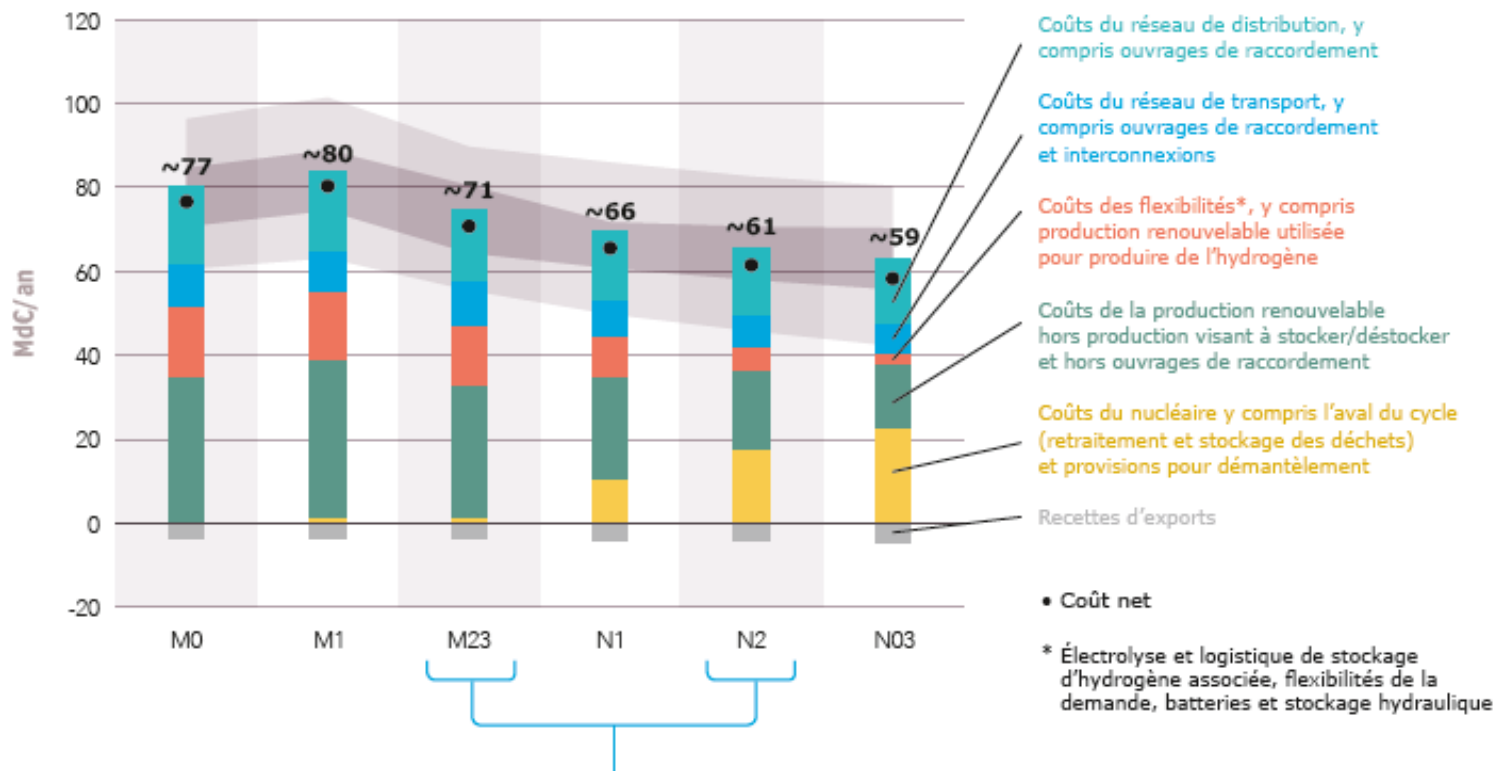


# Une fourchette de coûts de 59 à 80 G€

## Enseignement n°6

Coûts complets (production + acheminement + flexibilités) en France selon les scénarios (dans la trajectoire de consommation de référence) à l'horizon 2060, dans le cas central et selon les variantes

### Coûts complets annualisés des scénarios à l'horizon 2060

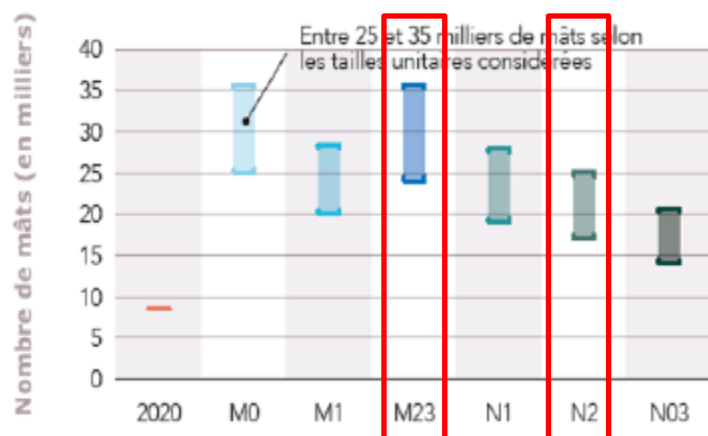


# Impacts physiques

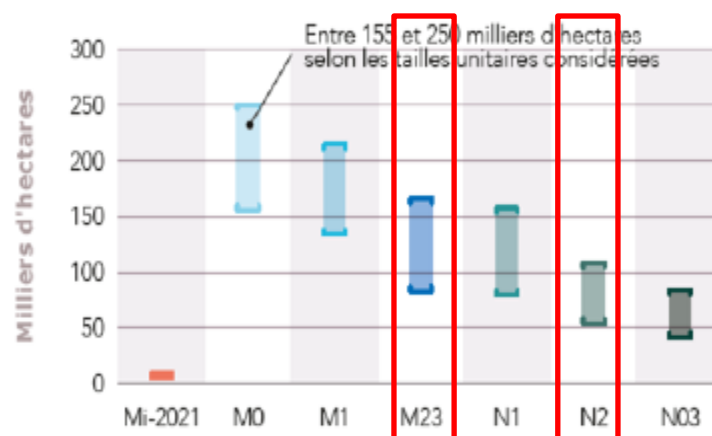
13

Le développement des énergies renouvelables soulève un enjeu d'occupation de l'espace et de limitation des usages. Il peut s'intensifier sans exercer de pression excessive sur l'artificialisation des sols, mais doit se poursuivre dans chaque territoire en s'attachant à la préservation du cadre de vie

Projection du nombre de mâts d'éoliennes terrestres à l'horizon 2050



Projection du nombre d'hectares occupés par des panneaux photovoltaïques au sol à l'horizon 2050



- ◆ *Stratégies de développement bas carbone pour la France*
- ◆ *La Commission Coûts d'Abatement de France Stratégie: calcul socioéconomique standard*
- ◆ *Une perspective élargie, en économie de l'innovation et des transitions systémiques*

# La commission Coûts d'abattement de France Stratégie

## Les coûts d'abattement

# CO<sub>2</sub>

RAPPORT

Publié le mercredi 30 juin 2021

Suite au rapport de la Commission Quinet sur la valeur de l'action pour le climat, qui faisait le constat de la nécessité « de poser un cadre méthodologique clair et partagé pour pouvoir évaluer le coût d'abattement socio-économique des différentes actions », France Stratégie a lancé, à la demande du Cabinet du Premier Ministre, une évaluation des coûts d'abattements de différentes solutions de décarbonation. Installée en septembre 2019, la commission sur les coûts d'abattement des émissions de gaz à effet de serre est présidée par Patrick Criqui, et composée d'économistes et d'experts sectoriels.

TÉLÉCHARGEZ LA PARTIE 1 MÉTHODOLOGIE DU RAPPORT - LES COÛTS D'ABATTEMENT

TÉLÉCHARGEZ LA PARTIE 2 TRANSPORTS DU RAPPORT - LES COÛTS D'ABATTEMENT

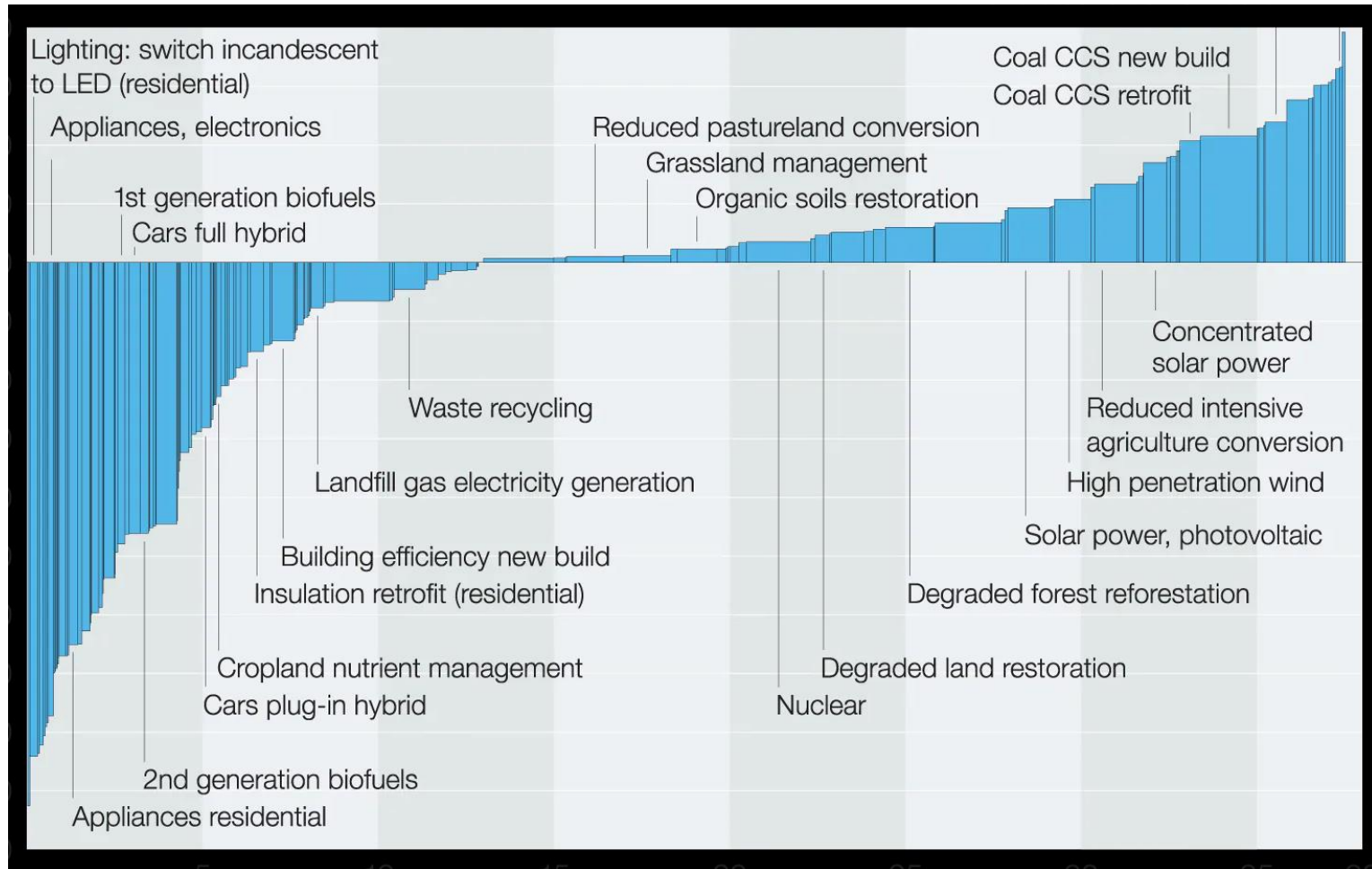
# Quelle méthodologie ?

- ◆ L'égalisation des coûts d'abattement, une référence pour des politiques publiques efficaces:

$$CA = \frac{\sum(\Delta\text{Investissement} + \Delta\text{Fonctionnement} - \Delta\text{Cobénéfices})}{\sum(\Delta\text{Emissions})}$$

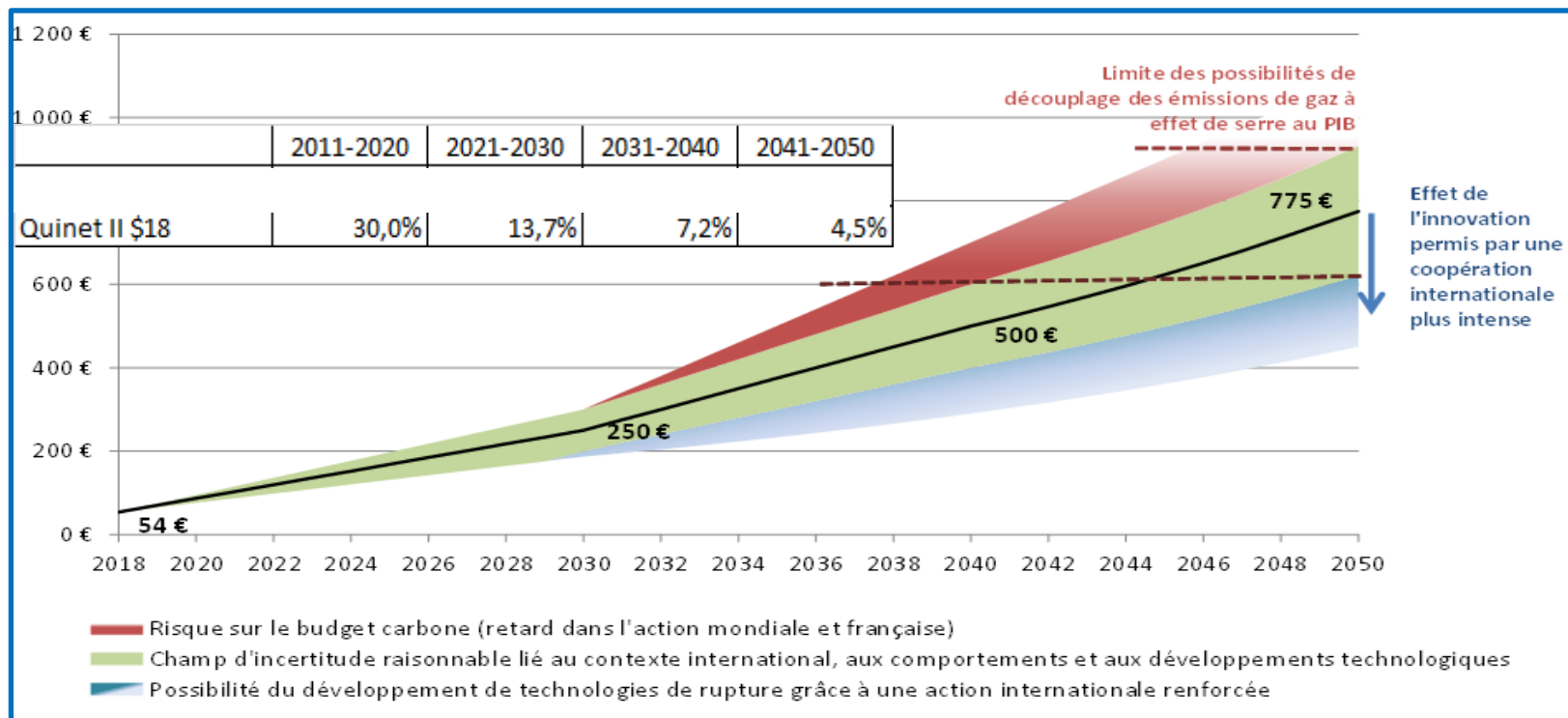
- ◆ Apparemment, le problème est d'une simplicité extrême avec:
  - Une voie microéconomique par les courbes de coûts marginaux de réduction (MACCs, Marginal Abatement Cost Curves)
  - Une voie macro par la modélisation 3E (Environnement-Energie-Economie) et l'introduction d'un prix notionnel du carbone (*shadow price*)

# McKinsey (2007): “a revolutionary tool for cutting emissions !”



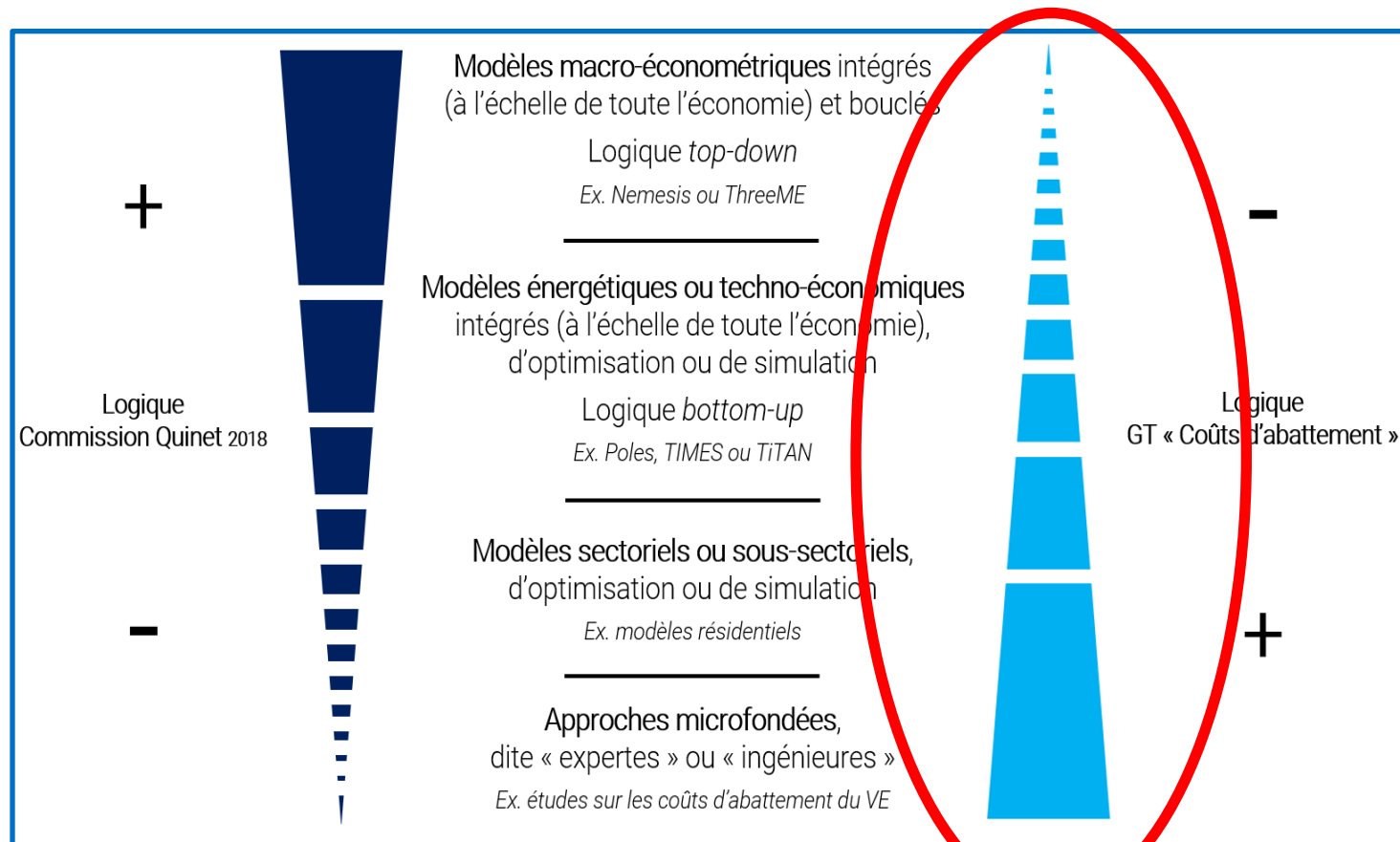
# La Valeur de l'Action pour le Climat (A. Quinet-2, 2019)

- ◆ Une approche par la modélisation, rigoureuse mais rencontrant deux difficultés:
  - Le manque de visibilité sur les options technologiques à très long terme
  - Un point de départ bas pour un point d'arrivée très haut (2 €/l ess.)



# Commission Coûts d'Abatement: une approche sectorielle

(top-down vs bottom-up)

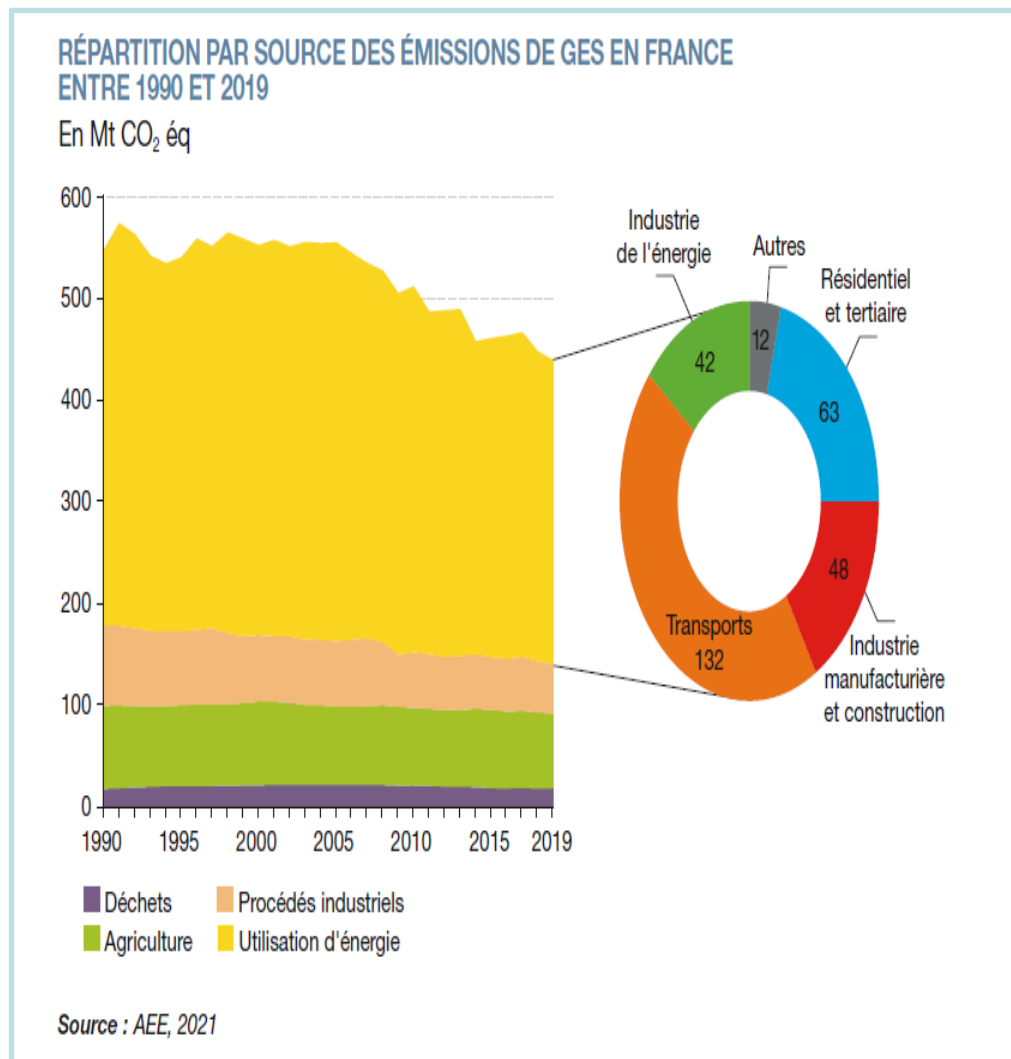




# Les émissions de GES en France

◆ 436 MtCO<sub>2</sub>e en 2019

- 132 transports
- 48 + 48 (ind.+procédés)
- 63 bâtiment
- 42 ind. énergie
- 73 Agriculture
- 18 déchets
- 12 autres



# 1 + 6 chapitres

- 1. Méthodologie** (S. Crémel et A. Pommeret)
- 2. Transports** (S. Crémel et B. Mesqui)
- 3. Secteur électrique** (A. Pommeret et al.)
- 4. Hydrogène** (M. Gérardin)
- 5. Bâtiment** (B. Le Hir et A. Robinet)
- 6. Industrie** (M. Gérardin et A. Pommeret)
- 7. Agriculture** (revue littérature)

# 1 + 6 chapitres

- 1. Méthodologie** (publié)
- 2. Transports** (publié)
- 3. Secteur électrique** (publié)
- 4. Hydrogène** (en cours de publi.)
- 5. Bâtiment** (en cours de publi.)
- 6. Industrie** (en cours)
- 7. Agriculture** (revue littérature)

# 1. Une valeur du carbone croissante au taux d'actualisation (4,5%/an) ?

Méthode 1 – Coût d'abattement calculé « en budget carbone »

$$CA^1_i = - \frac{\sum_{t=0}^{N-1} \frac{\Delta C_{i,t}}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^{N-1} \Delta E_{i,t}} \quad (3)$$

Où :

- $CA^1_i$  est le coût d'abattement « en budget carbone » du projet i
- $\Delta C_{i,t}$  est le coût additionnel (somme des coûts marchands et non marchands hors externalité climatique) du projet i par rapport à l'option de référence à la date t
- r est le taux d'actualisation socioéconomique
- $\Delta E_{i,t}$  est la variation d'émissions de GES du projet i par rapport à l'option de référence à la date t
- N est la durée de vie de l'investissement

# 1 + 6 chapitres

1. **Méthodologie** (publié)
2. **Transports** (publié)
3. **Secteur électrique** (publié)
4. **Hydrogène** (en cours de publi.)
5. **Bâtiment** (en cours de publi.)
6. **Industrie** (en cours)
7. **Agriculture** (revue littérature)

# Enjeux dans le secteur des transports 1/2

- 1<sup>er</sup> secteur d'émissions en France (29% GES), dont le routier représente 95% des émissions
- Gisements très diffus et équipements très diversifiés : parcs de VP (33M, 56% du CO2), de VUL (21%) de PL (23%)
- La trajectoire de transition doit mobiliser des solutions d'efficacité énergétique, technologiques **ET** comportementales / organisationnelles / structurelles :
  - découplage demande de transport / croissance du PIB
  - report modal : fret routier → ferroviaire ; VP → modes actifs
  - covoiturage
  - performance énergétique des PL

# Enjeux dans le secteur des transports 2/2

- Pour les véhicules automobiles décarbonation totale en 2050  
→ 2 leviers indispensables : transition vers des **motorisations avec vecteurs décarbonés** (VP et VUL) et **décarbonation des carburants** (PL)
- **Electrification incontournable pour VP et VUL**, mais :
  - rentabilité SE dépend fortement des usages/conditions d'utilisation  
→ quel rythme de déploiement ? quels segments prioritaires ?
  - sur quels segments des alternatives pourraient-elles jouer un rôle:  
GNV ?      Agrocarburants ?      H2 pour PL → VUL → VP ?
- **Ne pas oublier** que les externalités en termes de santé (ex. modes actifs) sont aussi importantes que difficiles à mesurer et peuvent « bousculer » le calcul économique (cf. bâtiment)

# CA formule 1, par rapport au véhicule conventionnel de référence: quatre dimensions (temps – type de véhicule – prix énergie – coût du véhic.)

Tableau 1 – Coûts d'abattement en budget carbone à différents horizons selon le scénario énergétique et l'évolution du prix d'achat du véhicule (en €/tCO<sub>2</sub>eq)

	Prix des énergies Prix du véhicule	2020		2025		2030		2040	
		AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD
Citadine hybride	-6 % en 2040	332	360	220	264	137	192		
Berline hybride	-7 % en 2040	307	338	225	273	186	245	158	228
Citadine électrique	-18 % en 2040	279	311	225	275	220	282	206	279
	-25 % en 2040	279	311	218	268	202	264	158	232
Berline électrique	-21 % en 2040	413	448	284	338	252	319	238	319
	-29 % en 2040	413	448	272	326	199	266	106	187
Véhicule hydrogène	-20 % en 2040	1025	1055	962	1008	934	992	838	907
	-40 % en 2040	1025	1055	880	926	749	807	410	480



# CA formule 2, par rapport à la VAC (VSC Gollier = 150€/t 4%/an 500 €/t en 2050)

Tableau 2 – Coût d'abattement ajusté à la VAC à différents horizons selon le scénario énergétique et l'évolution du prix d'achat du véhicule (en €/tCO<sub>2</sub>eq)

	Prix des énergies	2020		2025		2030		2040	
		AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD	AIE-AME	AIE-DD
VAC	Prix du véhicule	88		171		253		507	
Citadine hybride	-6 % en 2040	196	213	168	202	113	158		
Berline hybride	-7 % en 2040	178	196	170	206	152	200	158	228
Citadine électrique	-18 % en 2040	159	177	169	206	178	228	206	279
	-25 % en 2040	159	177	163	201	163	213	158	232
Berline électrique	-21 % en 2040	229	248	208	248	200	254	238	319
	-29 % en 2040	229	248	200	239	158	212	106	187
Véhicule hydrogène	-20 % en 2040	605	623	736	772	769	817	838	907
	-40 % en 2040	605	623	673	709	617	665	410	480

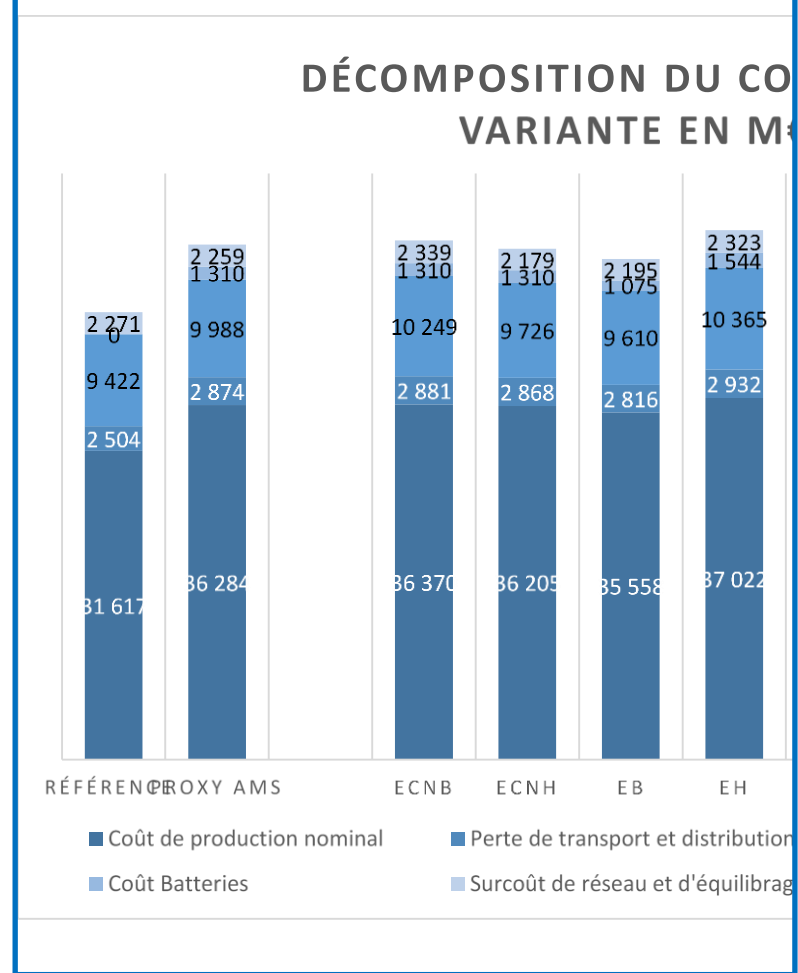
# 1 + 6 chapitres

1. **Méthodologie** (publié)
2. **Transports** (publié)
3. **Secteur électrique** (publié)
4. **Hydrogène** (en cours de publi.)
5. **Bâtiment** (en cours de publi.)
6. **Industrie** (en cours)
7. **Agriculture** (revue littérature)

# Décomposition du coût total

- ◆ Proxy-AMS: Nuc 30%, Eol 25%, Sol 25%, Hydro 10%, Gaz vert
  - ◆ Le coût total du système est de 52,8 G€, supérieur de 15% à Référence
  - ◆ Il se décompose en coûts de:
    - Production nominal = 36,3
    - Pertes de transport = 2,9
    - Profil = 10,0
    - Flexibilité batteries = 1,3
    - Equilibrage et réseau = 2,3
- TOTAL = 52,8 G€

Figure 9 : Décomposition du coût total par variante en M€



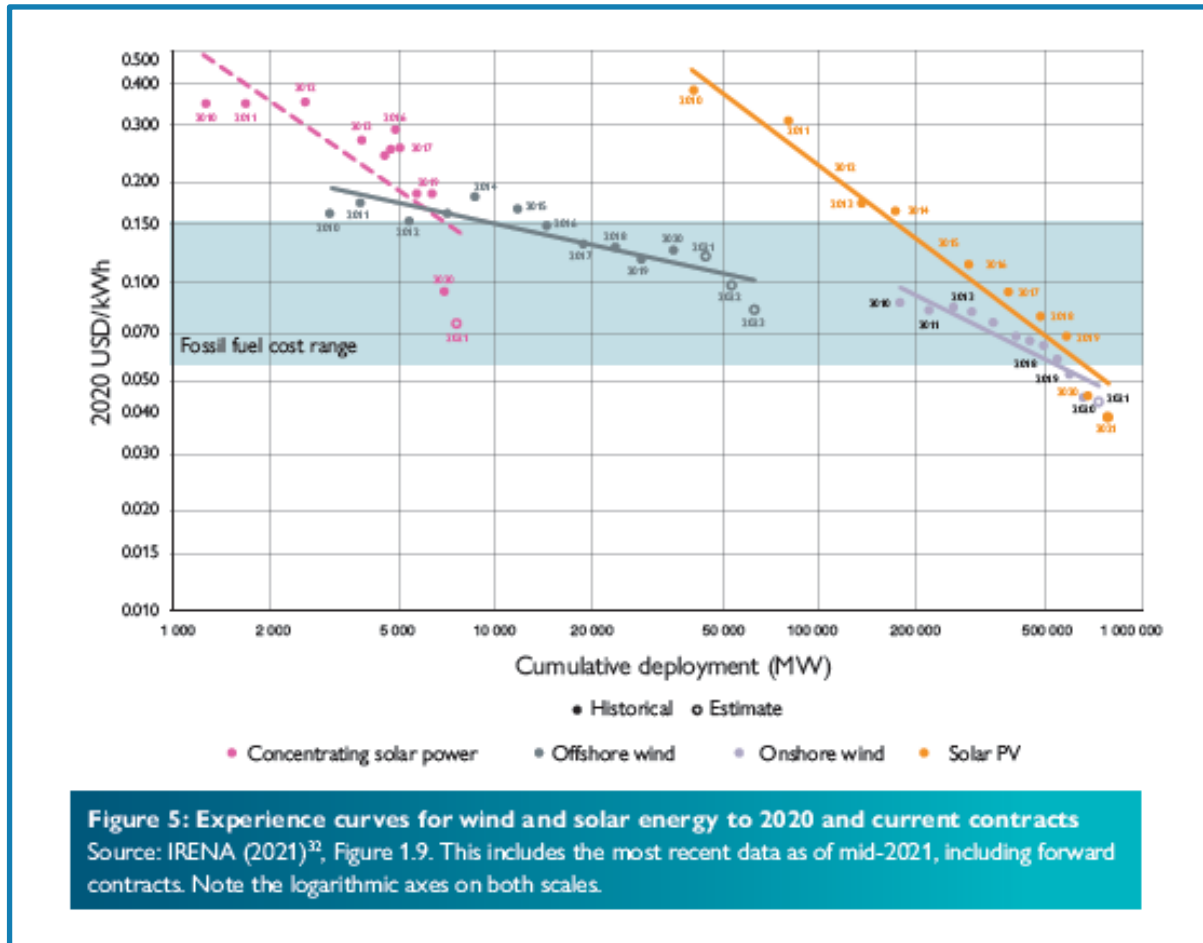
# Limites

- ◆ Différents coûts d'abattement: calcul socio-éco ou en éco privée, approche micro ou systémique
- ◆ Les spécificités sectorielles rendent difficile le calcul de CA standardisés, malgré l'harmonisation des méthodologies
- ◆ La prise en considération de trajectoires technologiques non matures introduit des incertitudes intrinsèques sur les coûts
- ◆ Ces incertitudes peuvent être traitées de manière exogène, mais sont en fait endogènes: le futur des coûts dépend des décisions d'aujourd'hui
- ◆ Le calcul doit donc se faire « en tension » entre les évolutions prévisibles à moyen terme et une perspective plus téléologique, cadrée par l'objectif de neutralité carbone

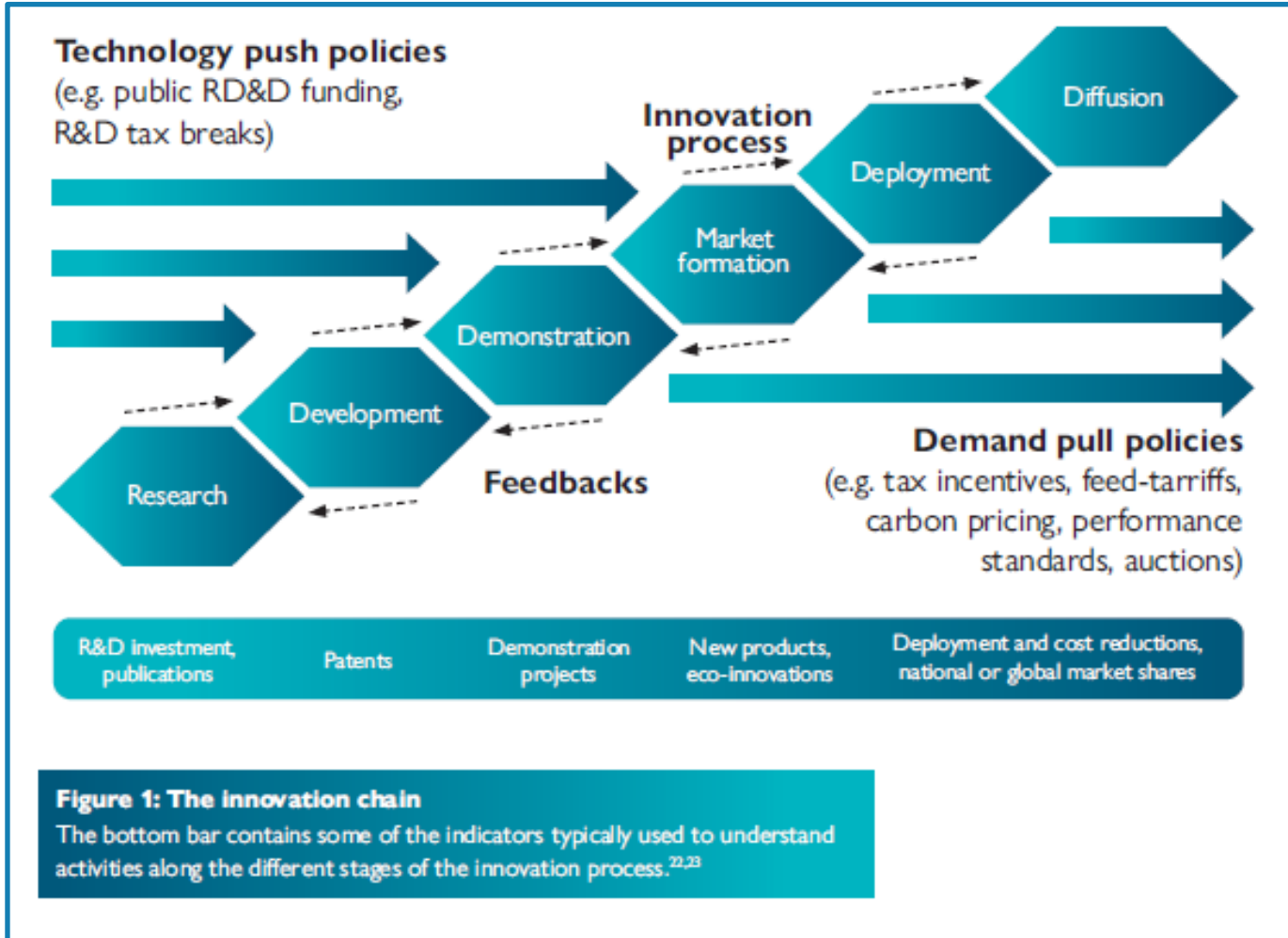
- ◆ *Stratégies de développement bas carbone pour la France*
- ◆ *La Commission Coûts d'Abatement de France Stratégie: calcul socioéconomique standard*
- ◆ *Une perspective élargie, en économie de l'innovation et des transitions systémiques*

# Learning by doing ! (K. Arrow 1962)

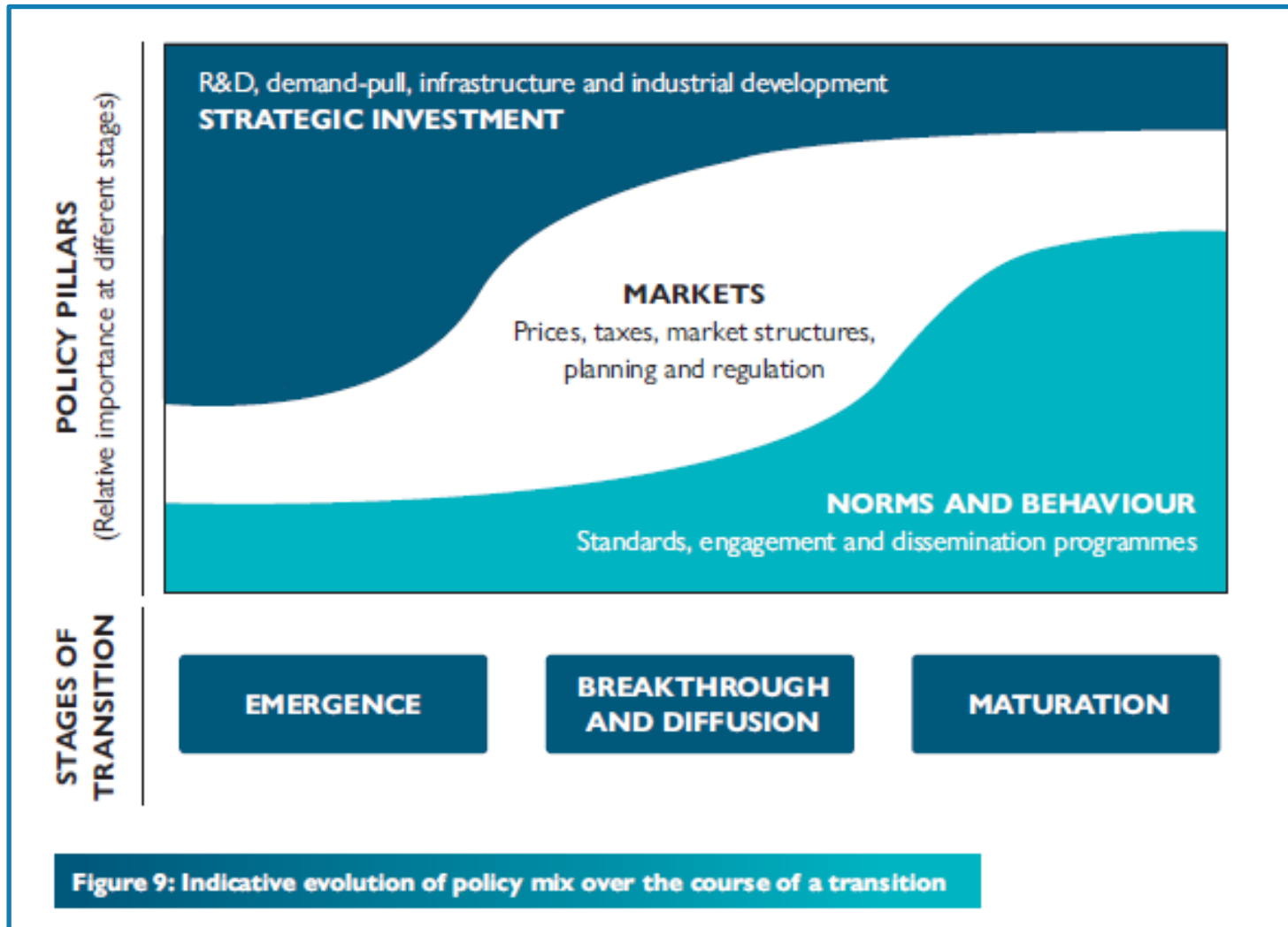
Learning curves:  $COUT_n = COUT_0 \times CUMCAP_n^{-a}$



# Economics of Energy Innovation and System Transitions



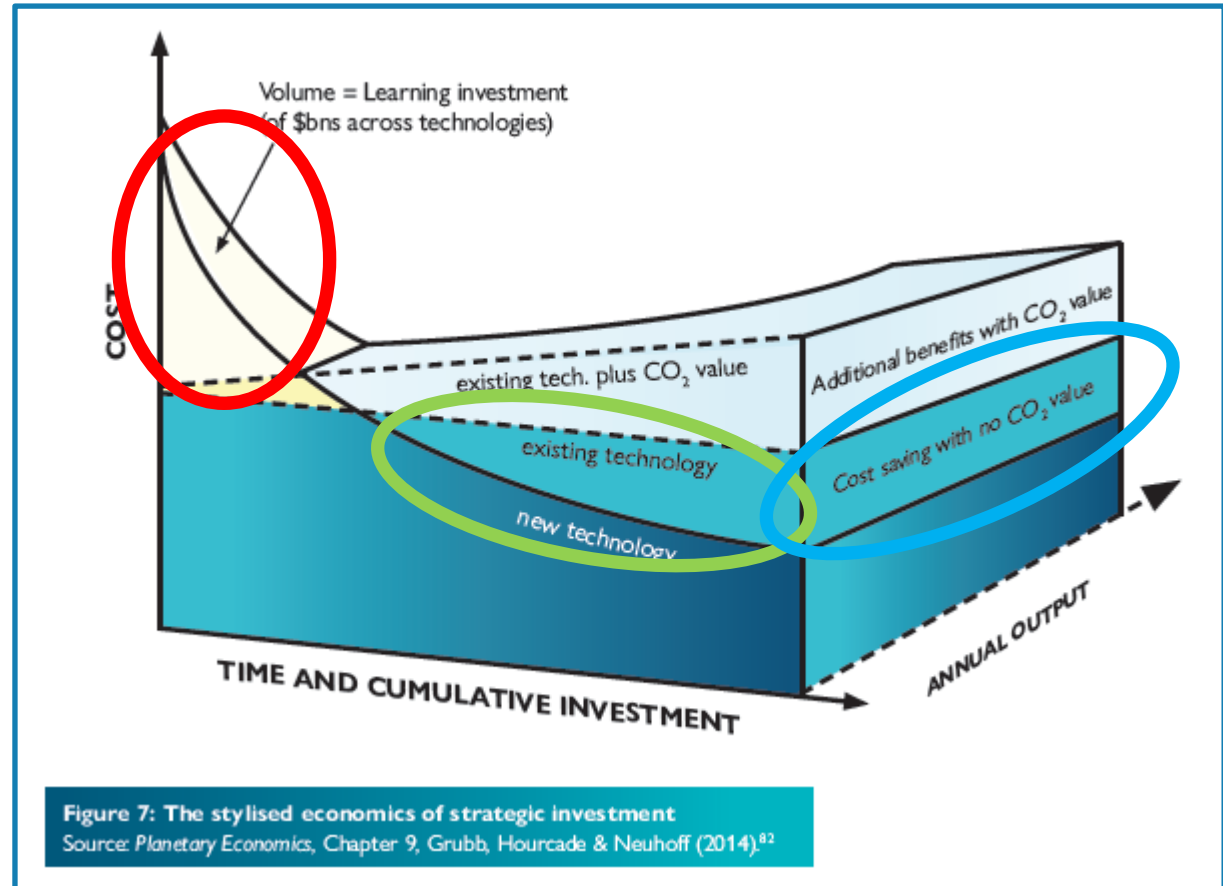
# Quel mix d'incitations pour l'innovation ?





# Une analyse coût-bénéfice dynamique

- ◆ Des politiques incitatives coûteuses à court terme
- ◆ Peuvent devenir compétitives à moyen terme
- ◆ Et dégager des bénéfices massifs à long terme

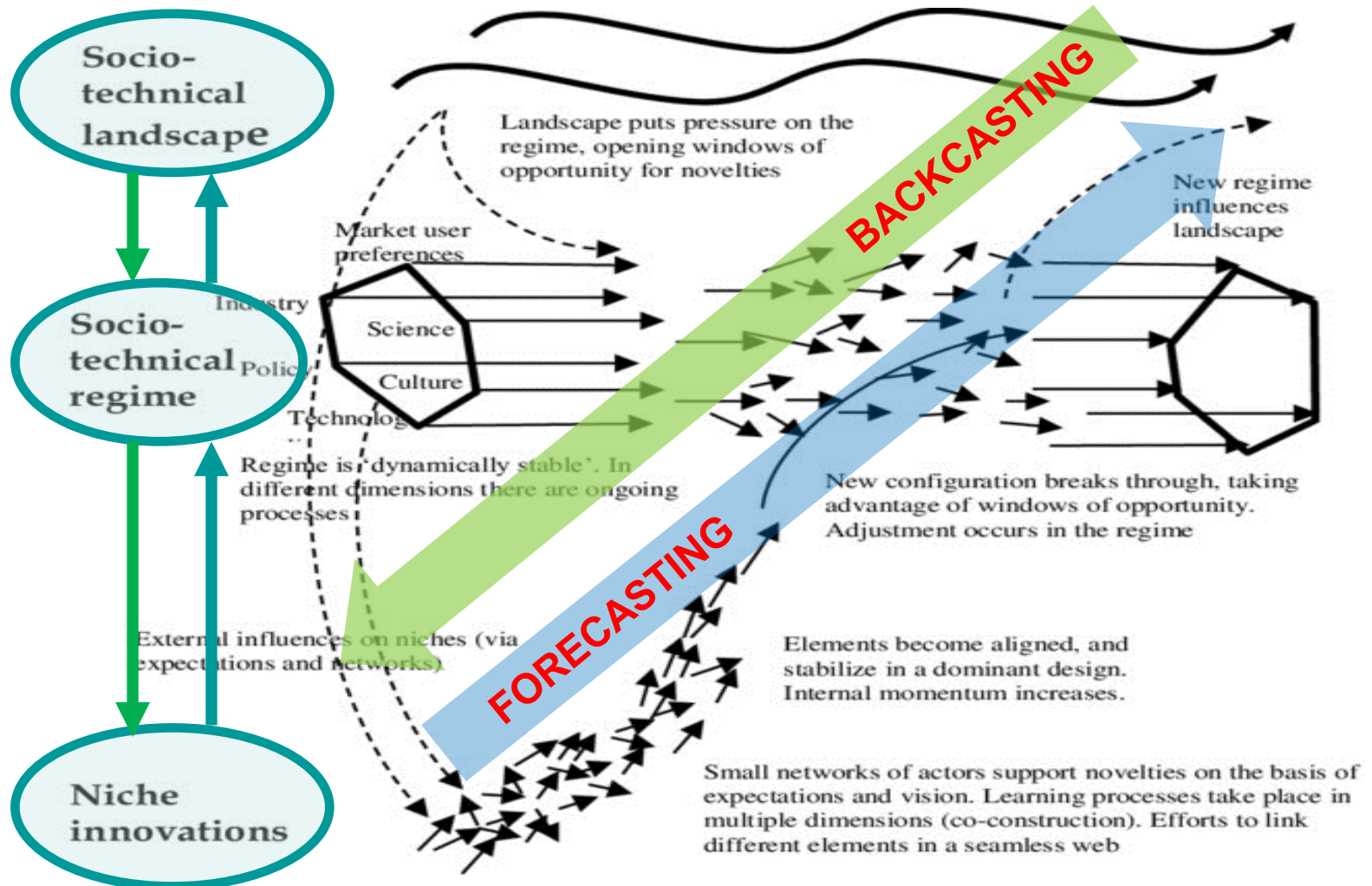


# France 2030, un plan schumpetérien ?

- ◆ Innovation = invention > industrialisation > diffusion >
- ◆ Pas un processus linéaire mais en boucle => effets d'apprentissage
- ◆ Innovation incrémentale > < innovation de rupture
- ◆ Combinaison du rôle des innovateurs individuels (auj. startups) et des développeurs grandes entreprises: réconcilier le « jeune » et le « vieux Schumpeter »
- ◆ Prise de risque et droit à l'erreur

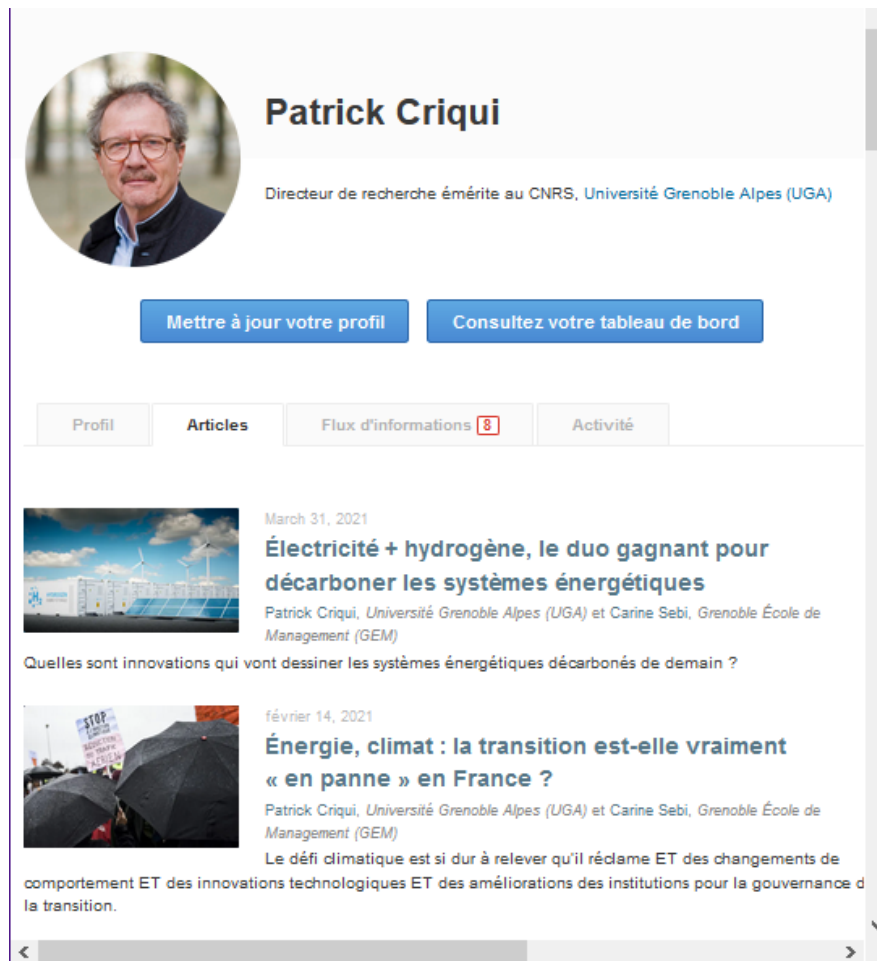
*Le rythme du progrès technique s'accélère (ex. vaccins anti-COVID), la compétition est vive, il faut faire vite !*

# Sociotechnical transitions (Geels and Schot, 2007)



# Merci de votre attention...

P. Criqui sur **THE CONVERSATION** - France



The screenshot shows a LinkedIn profile for Patrick Criqui. At the top left is a circular profile picture of a man with glasses and a mustache. To the right of the picture, the name "Patrick Criqui" is displayed in bold, followed by his title "Directeur de recherche émérite au CNRS, Université Grenoble Alpes (UGA)". Below this are two blue buttons: "Mettre à jour votre profil" and "Consultez votre tableau de bord". A navigation bar below the buttons contains tabs for "Profil", "Articles", "Flux d'informations" (with a red notification badge showing the number 8), and "Activité". The "Articles" tab is selected. Two articles are visible in the feed. The first article, dated March 31, 2021, has a thumbnail image of a solar farm and wind turbines. The title is "Électricité + hydrogène, le duo gagnant pour décarboner les systèmes énergétiques". The author is listed as Patrick Criqui, Université Grenoble Alpes (UGA) et Carine Sebi, Grenoble École de Management (GEM). The text of the article begins with "Quelles sont innovations qui vont dessiner les systèmes énergétiques décarbonés de demain ?". The second article, dated février 14, 2021, has a thumbnail image of a protest with umbrellas and a sign that says "STOP". The title is "Énergie, climat : la transition est-elle vraiment « en panne » en France ?". The author is the same as the first article. The text begins with "Le défi climatique est si dur à relever qu'il réclame ET des changements de comportement ET des innovations technologiques ET des améliorations des institutions pour la gouvernance de la transition."