



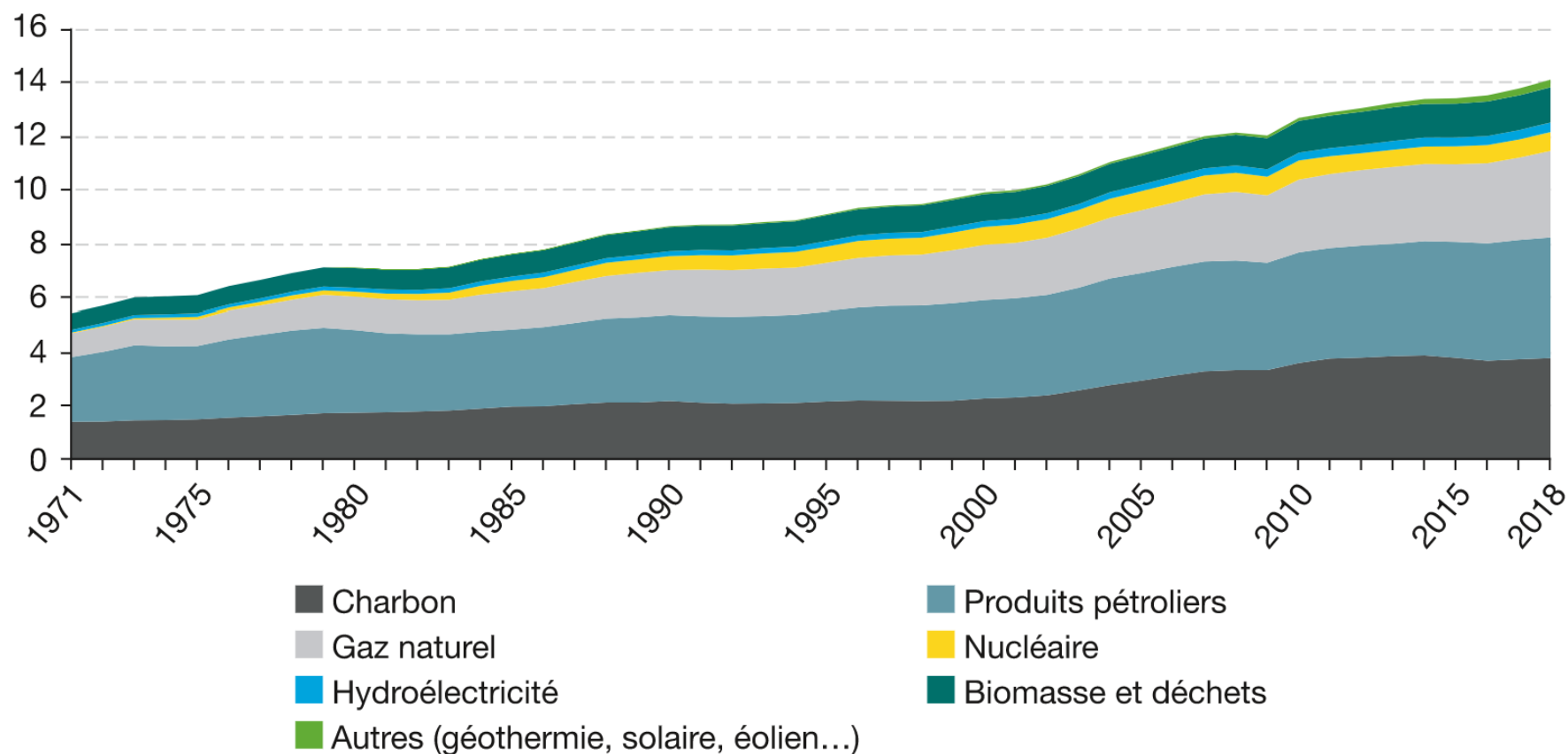
La transition énergétique et les économies mondiales et françaises

- 1) Importance économique de la transition énergétique**
- 2) Transition climatique en France et amélioration de la compétitivité de l'économie française**
- 3) Conclusion**

1) La consommation mondiale d'énergie primaire : 1971- 2018

CONSOMMATION MONDIALE D'ÉNERGIE PRIMAIRE PAR ÉNERGIE

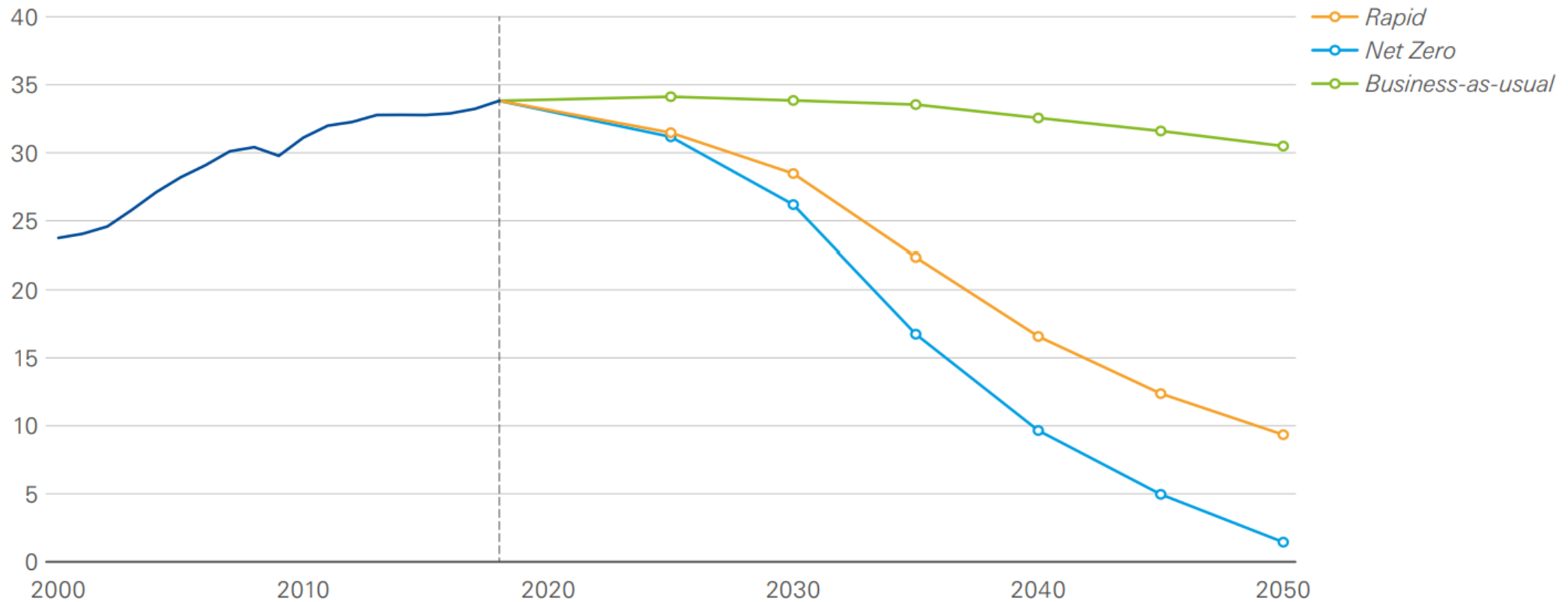
En Gtep



1) World Energy Outlook (scénarios définis par BP)

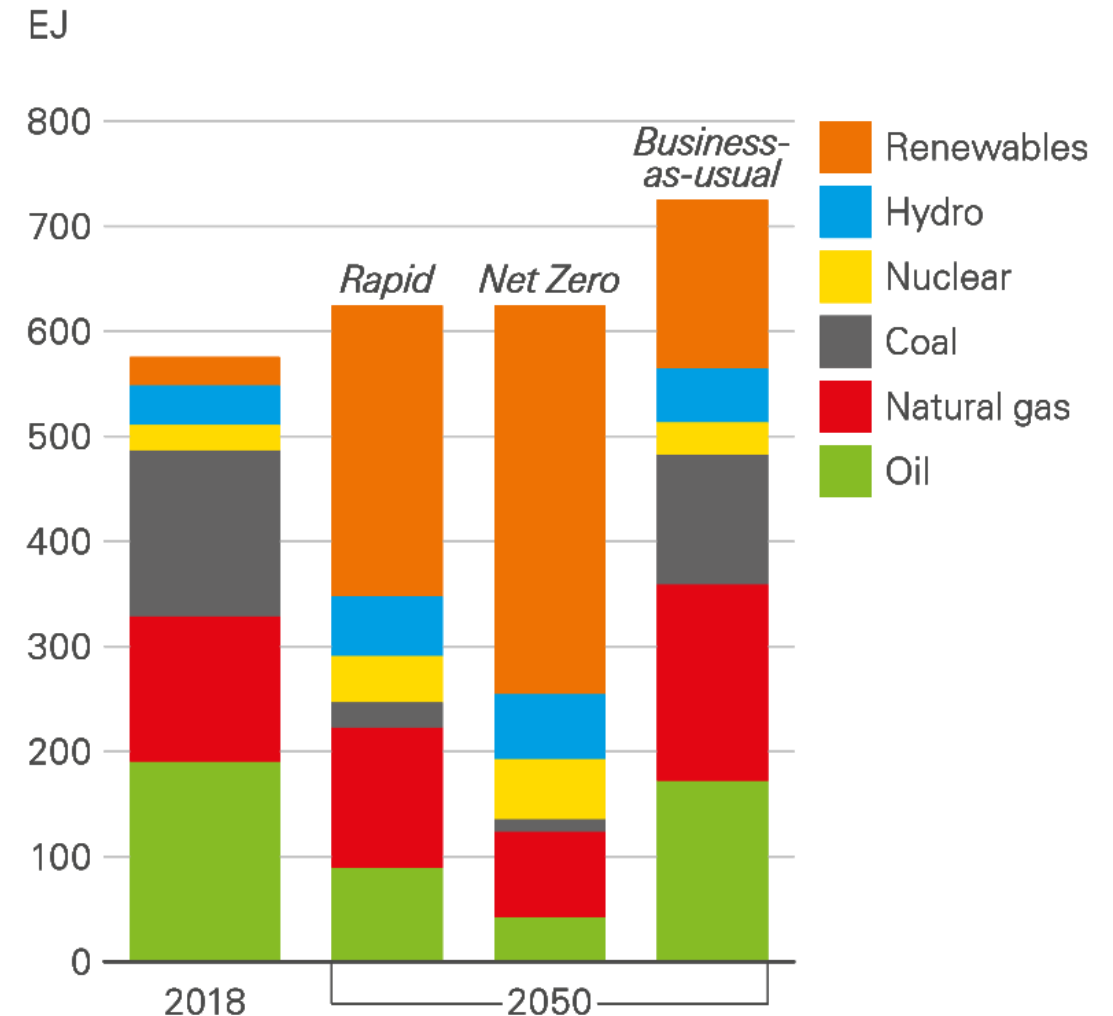
CO₂ emissions from energy use

Gt of CO₂



1) BP : Evolution de la consommation d'énergie primaire : 2018-2050

Scénario	Gigatonne de CO2 en 2050
Rapide	9
Net Zéro	2
Business as-usual	31

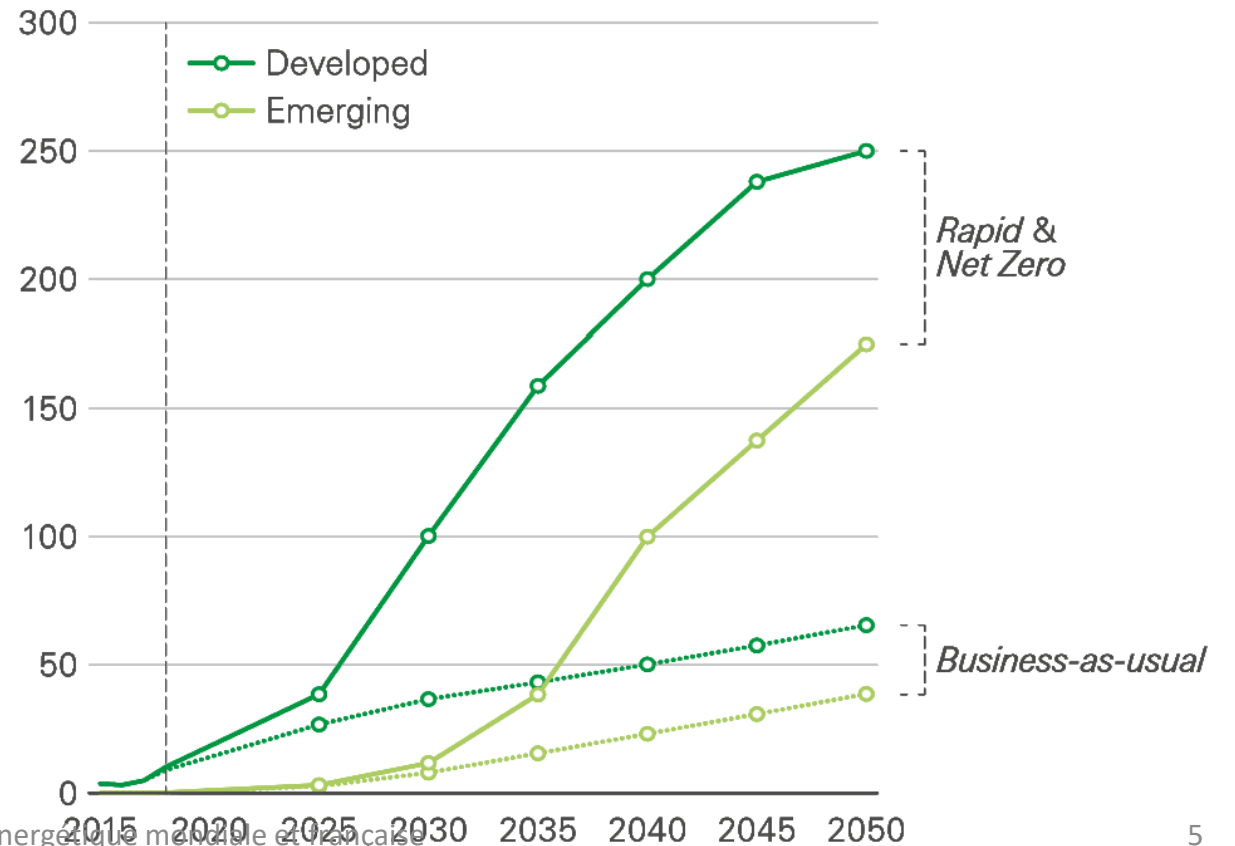


1) BP Evolution de la taxe carbone : 2018-2050

Scénario	Gigatonne de CO2 en 2050
Rapide	9
Net Zéro	2
Business as-usual	31

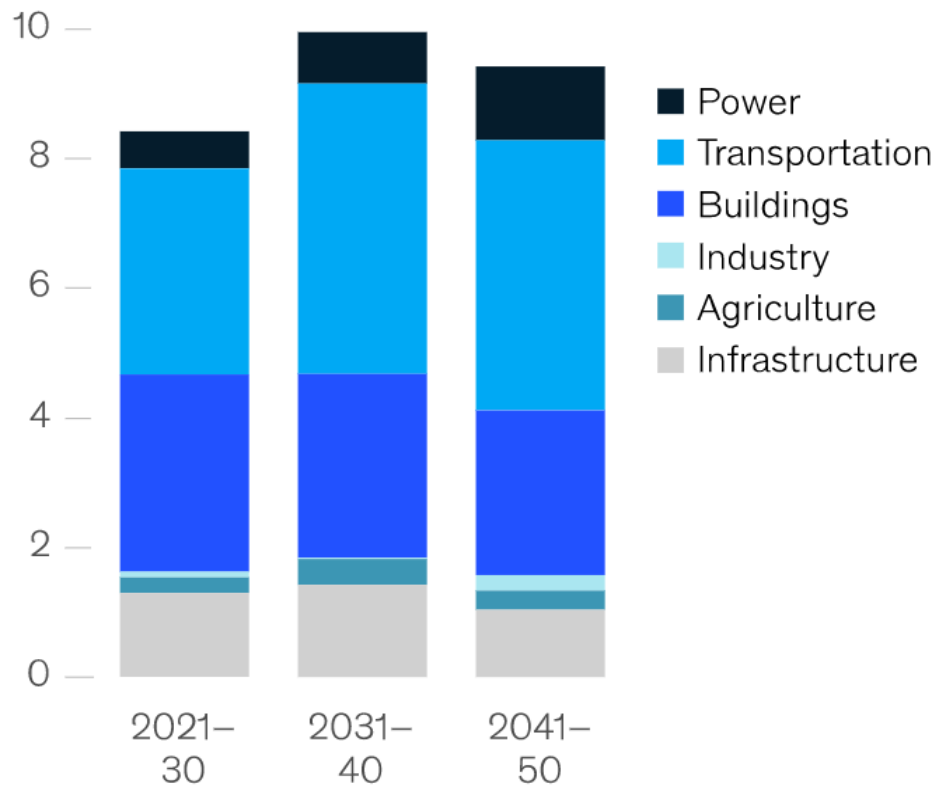
Average carbon prices in developed and emerging regions

US\$ per tonne (real 2018)

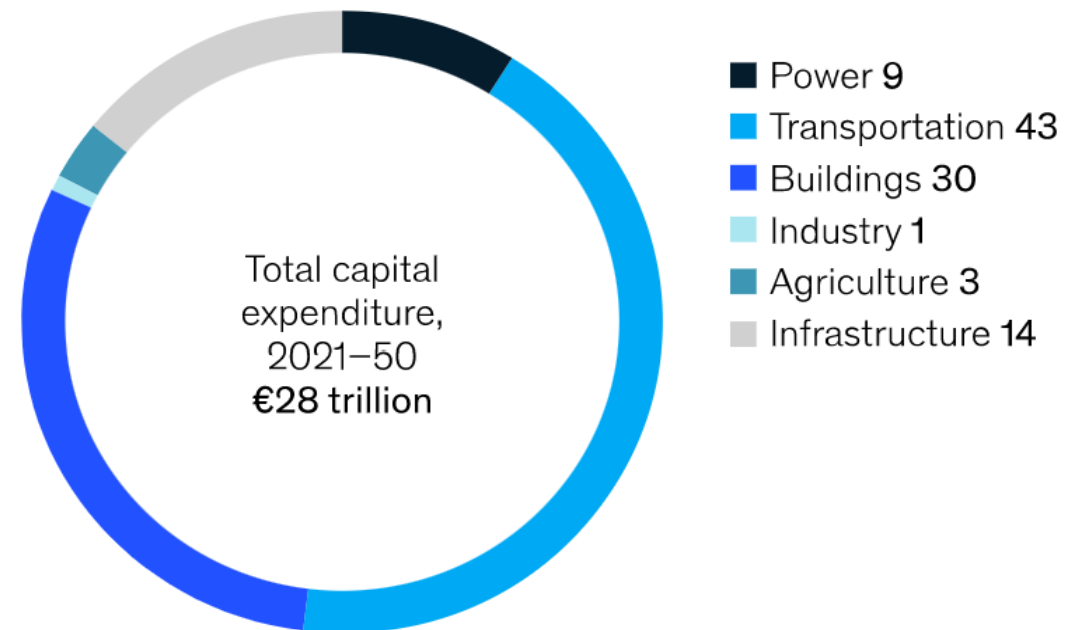


1) Importance économique de la transition énergétique dans l'Union Européenne

Total capital expenditure in EU-27, trillion euros



% of total capital expenditure in EU-27, 2021-50



PIB de l'Union Européenne 16.000 Mrds EUROS **Coût annuel : 5,6% du PIB de l'UE**

1) Il n'y aura pas un modèle global de transition énergétique

Chaque nation, ou groupe de nation, définira son modèle de transition climatique en tenant compte :

- ✓ **De ses objectifs de développement économique.**
- ✓ **De ses ressources en énergie verte : espace terrestre ou marin disponible, ensoleillement, puissance des vents...**
- ✓ **De ses capacités industrielles**
- ✓ **De ses ressources financières,**
- ✓ **Des réactions prévisibles de son peuple aux :**
 - ✓ **déploiement des fermes solaire, des éoliennes**
 - ✓ **augmentations des prix dues aux taxes carbone**
- ✓ **...**

1) La transition énergétique en Chine

La Chine voit dans la transition énergétique un levier pour développer sa puissance économique :

- ✓ Elle engage dans sa transition climatique des moyens importants avec un objectif zéro carbone en 2060.
- ✓ Elle domine le marché mondial des panneaux solaires.
- ✓ Annonce récente de la conception de l'éolienne la plus puissante.
- ✓ Elle a récemment acquit des marchés d'éoliennes en Europe :
 - Construction d'une ferme éolienne en méditerranée.
 - Création d'une usine de fabrication d'éoliennes en GB

Mais elle choisit la puissance économique dans les arbitrages entre son empreinte carbone et le développement de son économie :

- ✓ Croissance de sa consommation de charbon.

1) Transition Energétique en Afrique subsaharienne

Actuellement :

- ✓ 48 pays, 1 milliard d'habitants.
- ✓ 60 % des habitants n'ont pas accès à une source électricité. Croissance démographique supérieure au développement de l'électrification.
- ✓ Capacité de production d'électricité : 46 kw/hab (Espagne : 2.300 kw/hab)
- ✓ Electricité chère : 0,2 à 0,5 USD/Mwh (moyenne mondiale : 0,1 USD/Mwh).



1) Transition Énergétique en Afrique subsaharienne (suite)

L'Afrique subsaharienne figure parmi les régions les plus menacées par le dérèglement climatique alors qu'elle y a le moins contribué.

Sur la période 2000-2020, les investissements en Afrique dans les énergies renouvelables ne représentent que 2% de la totalité des investissements mondiaux dans ces énergies.

Les deux objectifs fondamentaux de la transition énergétique en Afrique sub-saharienne selon l'IRENA :

- ✓ **Un accès universel à l'électricité** pour améliorer les conditions de vie.
- ✓ **Une industrialisation basée sur des énergies vertes** et moins chères que les énergies carbonées actuellement consommées.

1) Importance des vastes espaces propices à la production des énergies vertes

- Les vastes espaces propices à la production des énergies solaires et éoliennes sont un facteur déterminant de la stratégie énergétique des nations.
- L'Europe est le seul continent qui n'en dispose pas.



Désert de Mojave USA

1) Y aura-t-il des développements industriels dans les vastes espaces propices à la production des énergies solaires ou éoliennes ?

Pour :

- ✓ Il est plus facile de transporter des produits fabriqués au moyen des énergies vertes (par exemple ammoniac, e-carburants, acier), que des énergies vertes sous la forme d'hydrogène ou d'électricité.
- ✓ Les pays qui disposent de ces espaces veulent en tirer parti pour développer leur puissance économique.

Exemple : Le Chili qui dispose d'espaces très ensoleillés et ventés développe avec l'Allemagne une industrie de production de e-carburant vert pour l'exportation.

Aujourd'hui nous ne savons pas si ce mouvement d'industrialisation dans les espaces de production d'énergie verte sera important.

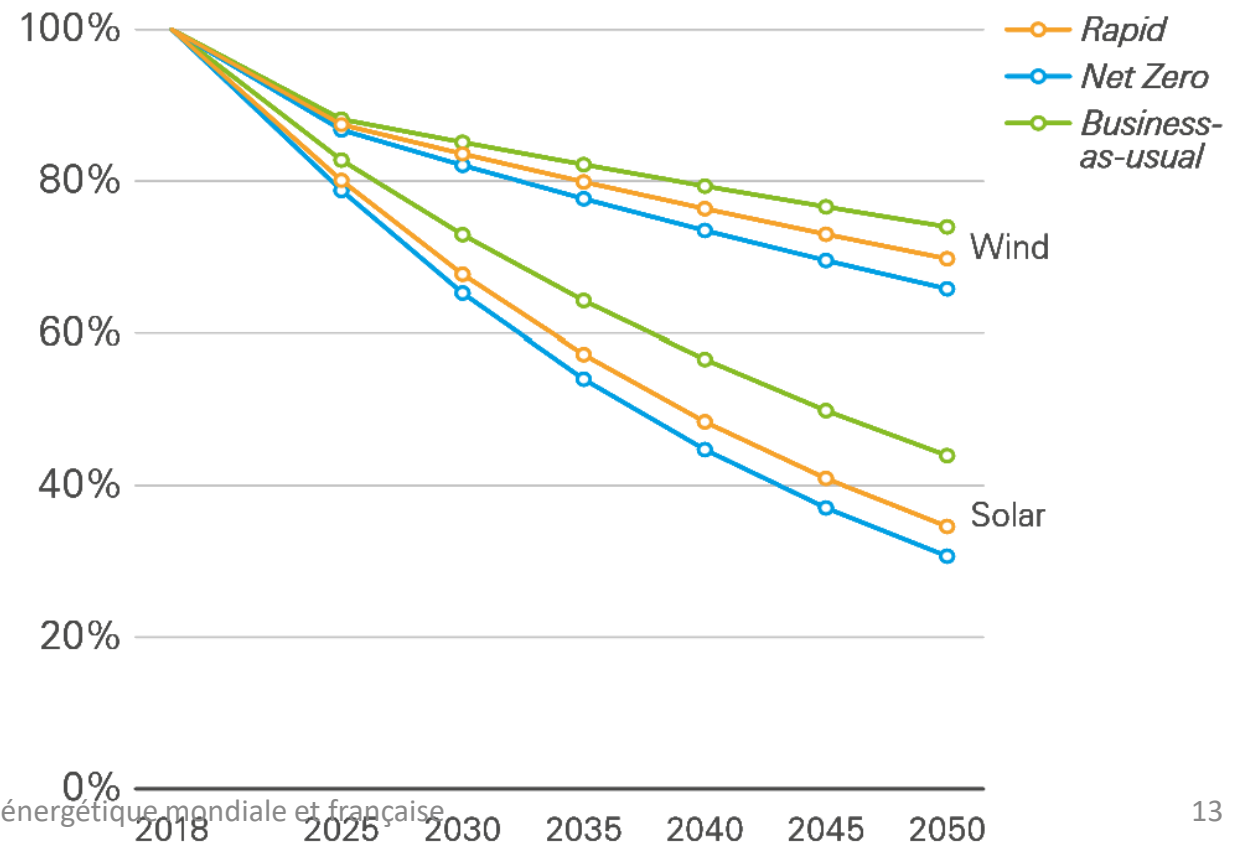
1) Evolution des coûts des énergies solaires et éoliennes

(source : BP)

Scénario	Gigatonne de CO2 en 2050
Rapide	9
Net Zéro	2
Business as-usual	31

Cost of wind and solar energy by scenario

100% = 2018 price



1) Percées techniques potentiellement importantes

- ✓ **Filière nucléaire** : diminution des CAPEX, diminution des déchets radioactifs, diminution des durées de construction des réacteurs.
- ✓ **Stockage des énergies** : des solutions compétitives pour pallier les intermittences des énergies solaires et éoliennes.
- ✓ **Production à des prix compétitifs de e-carburant liquide** à partir d'hydrogène vert et de CO2 extrait de l'air ambiant ou de source industrielle. **Cela permet d'utiliser les moyens de transport existants sans investissement.**

1) Les deux réacteurs SMR de la société GE Hitachi Energy

	Natrium	BWRX-300
Puissance	350 MW	300 MW
Type	Sodium fast reactor	Refroidissement par eau (1)
Génération	4	3
Vitesse des neutrons	Rapide	Thermique (lent)
CAPEX/MW	Réduction importante vis à vis des réacteurs actuels	Réduction : 60%, (3.000\$/kw) (EPR2 : 5.000\$/kw)
Raccordement au réseau	2028	2028
Installations prévues	USA	USA, Pologne (commande de 10 réacteurs), Estonie, Tchécoslovaquie, Suède
Durée de construction	Forte réduction	2 à 3 ans
Déchets radioactifs	Réduction par un facteur 5	Pas de réduction
Volume de béton/MW	Division par 5 du béton de std nucléaire	Réduction : 60%

GE Hitachi Energy défie la règle « de la durée incontournable du nucléaire ».

(1) Refroidissement par circulation naturelle de l'eau contrairement aux autres réacteurs

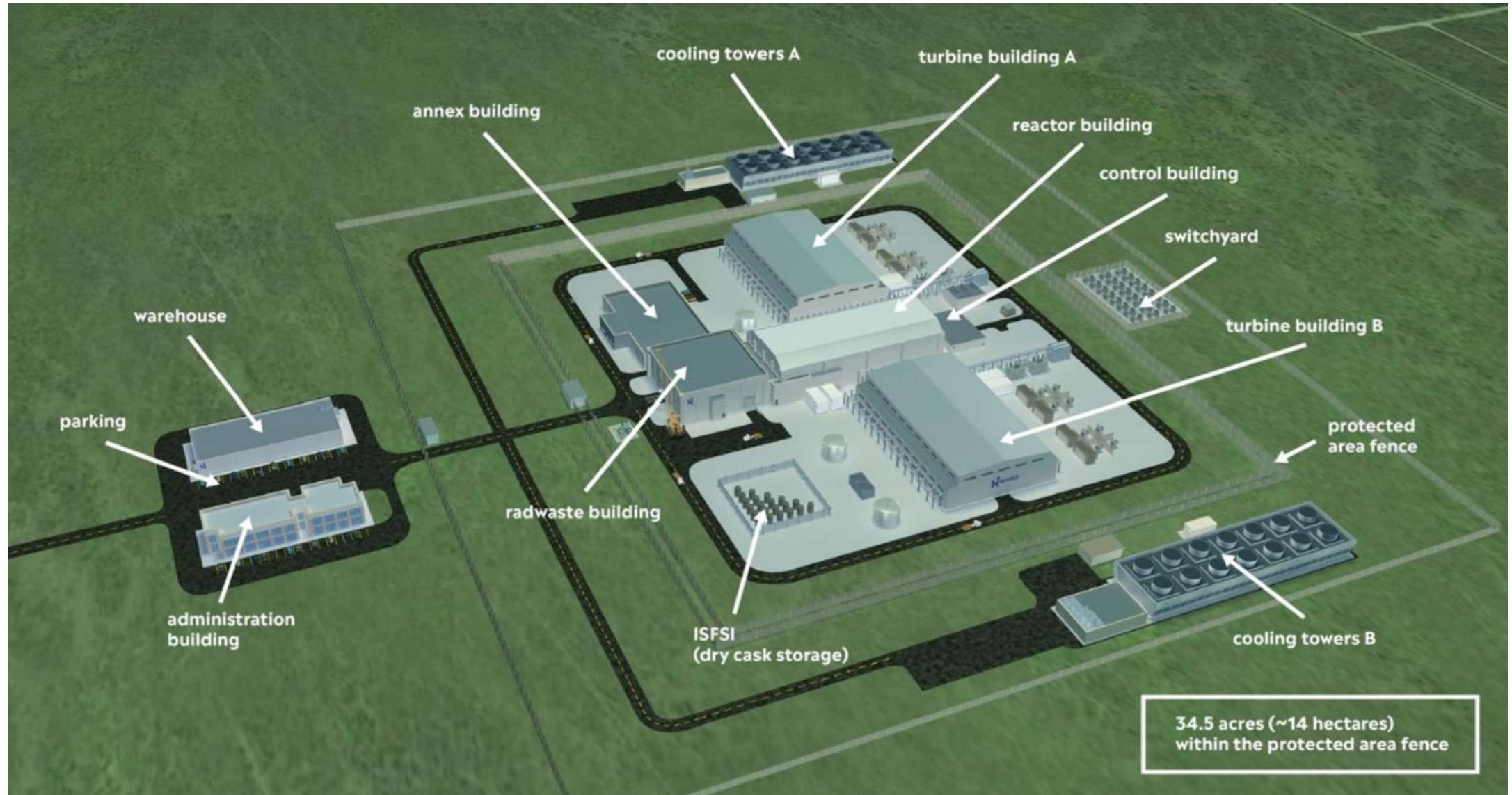
1) Les réacteurs nucléaires (suite)

Les offres de centrales nucléaires de la société NuScale Power :

- ✓ **Gamme de centrales nucléaires VOYGR comprenant 4, 6 ou 12 SMR.**
- ✓ **Puissance d'un SMR : 77 MW (eau pressurisée, neutron thermique).**
- ✓ **Puissance des centrales VOYGR : VOYGR4 (308 MW), VOYGR6 (462 MW), VOYGR12 (925 MW).**
- ✓ **La société polonaise KGHM a commandé une centrale nucléaire VOYGR pour un déploiement en 2029.**

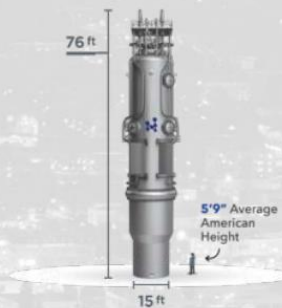
Les SMR concurrenceront fortement les grandes centrales telles que les EPR2 si les constructeurs tiennent les objectifs annoncés.

1) Vue d'ensemble d'une centrale nucléaire VOYGR de NuScale Power

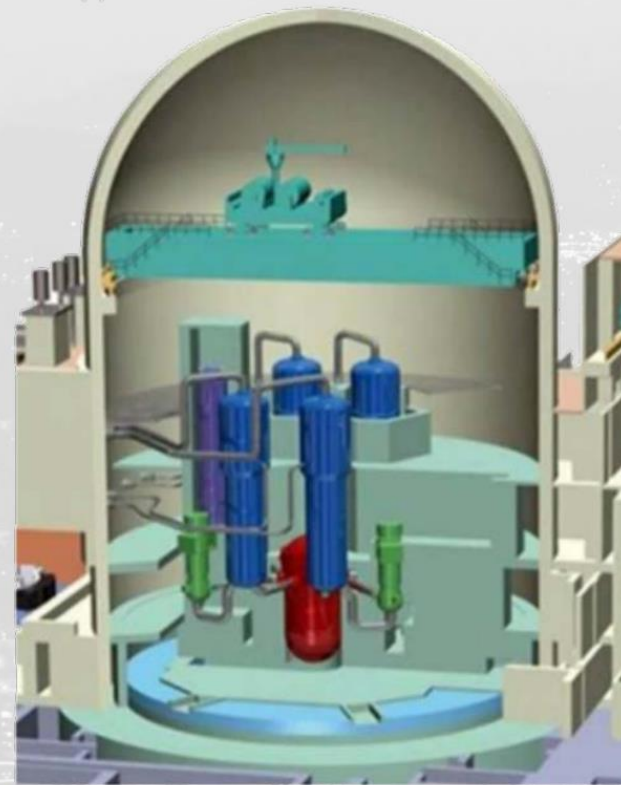


1) Un des réacteurs d'une centrale VOYGR de NuScale Power

Comparison to a Large Pressurized Water Reactor (PWR)



NuScale Power Module



Typical Large PWR

1) Le stockage d'énergie associé à un réacteur Natrium

Stockage thermique basé sur des sels en fusion :

- ✓ Sel en fusion à forte capacité thermique par unité de volume.
- ✓ Température d'ébullition élevée
- ✓ Capacité de stockage : **850 Mwh**
- ✓ Coûts de stockage d'énergie nettement inférieurs à ceux des batteries.



Le réacteur Natrium

- ✓ *Projet lancé par la société Terra power présidée par Bill Gates.*
- ✓ *Réacteur de quatrième génération au sodium et à neutrons rapides.*
- ✓ *Puissance : 350 Mw (en pointe : 500 Mw grâce au stockage d'énergie)*
- ✓ *Division par 5 du volume de béton par Mw (classe nucléaire).*
- ✓ *Calendrier : connexion au réseau électrique 2.028 ; commercialisation en 2030.*

Production de e-carburants

Carburants liquides fabriqués à partir d'énergie électrique et de CO₂.

Avantages :

- ✓ **Pas d'emprunte carbone.**
- ✓ **Utilisable et distribuable par les véhicules et stations service existants : avion, bateau, camion, automobile...**
- ✓ **Faible dépendance des matières rares.**

Situation actuelle : projets pilotes, **coûts de production excessifs.**

Des acteurs mondiaux de l'énergie s'engagent dans des projets pilotes :

- ✓ **Siemens développe au Chili le projet pilote « Haru Oni » de production de e-carburant au Chili à partir d'énergies vertes, solaires ou éoliennes. Production de 500 Millions de litres en 2026.**
- ✓ **Plusieurs sociétés ont lancé en Suède un projet pilote de production à grande échelle de carburant synthétique pour l'aviation à partir d'électricité et de CO₂ recyclé. Une première usine produira 50.000 tonnes de carburant par an.**

1) Les imprévisibilités de la transition énergétique

Imprévisibilités dues à ce que la transition énergétique est une émergence qui résulte des multiples interactions entre des systèmes complexes et des phénomènes mondiaux imprévisibles:

- ✓ **Systèmes économiques, sociaux, géopolitiques**
- ✓ **Découvertes scientifiques**
- ✓ **Les cygnes noirs de Nasim Taleb (guerres, révolutions, cataclysmes)**

C'est une explication des écarts considérables entre les prévisions des analystes (BP et Deloitte prévoient respectivement des coûts annuels de 5,6% et de moins de 1% du PIB pour la transition climatique en Europe).

Comment agir face à cette imprévisibilité ?

- ✓ **Les conseils de Nasim Taleb : piloter à vue en s'adaptant aux circonstances, s'affranchir des dogmes, des positions rigides.**
- ✓ **Exemple : les difficultés de la diminution des empreintes carbone en Europe, aggravées par la guerre d'Ukraine, obligent à revoir les priorités entre les filières d'énergie décarbonées.**

2) La transition climatique en France et l'amélioration de la compétitivité de l'économie française

2-1) Démarche d'analyse globale

2-2) Energie solaire

2-3) Energie éolienne

2-4) Energie nucléaire

2-1) Une démarche globale d'analyse de la transition climatique en France

Le rapport Futurs Energétiques 2050 de RTE. Les scénarios de la transition climatique :

- Coûts des scénarios
- Faisabilité technique ...

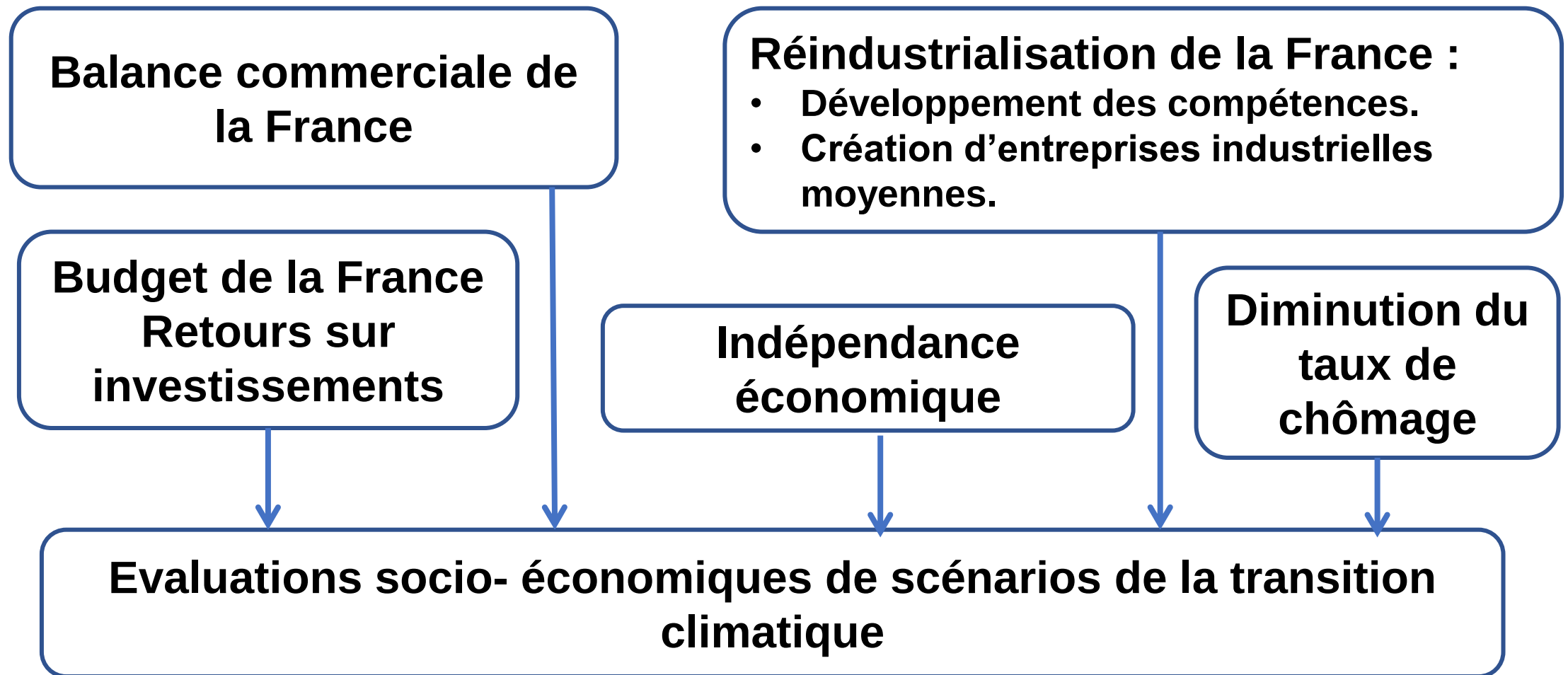
Des analyses socio-économiques des contribution de la transition énergétique à :

- Compétitivité de l'économie française
 - Développement de l'emploi
- (non traités dans le rapport RTE)*

Analyse globale pour les décisions d'investissement dans les scénarios de la transition climatique.

Remarque : cette démarche est conforme à celle définie dans le rapport RTE , chapitre 11 page 453.

2-1) Critères d'évaluation socio-économique des scénarios de la transition énergétique



2-1) La dégradation de l'économie française

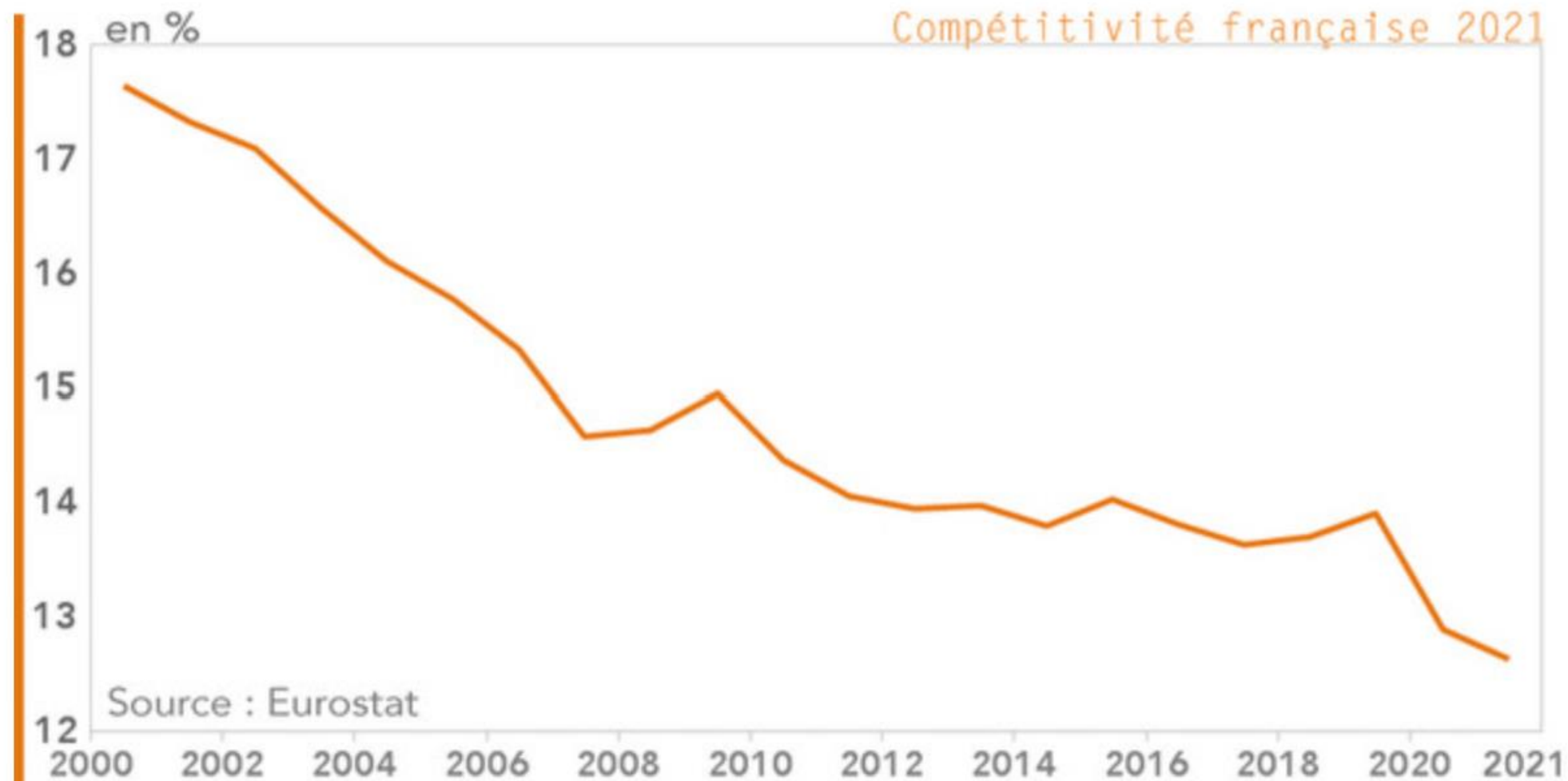
Au début de ce siècle les économies allemandes et françaises étaient à des niveaux comparables. **Vingt ans plus tard :**

	Allemagne	France
Balance commerciale en 2019 (Mdr Euros)	+228	- 82
PIB en 2019 (milliard d'Euros)	3400	2400
L'industrie en 2019 (% du PIB)	25%	12%
Position extérieure (1) en 2020 (milliard Euros) :	+2800	-644
Investissements étrangers sur deux ans : (2019-2020) en Mrds d'Euros :	90	76

Actuellement la désindustrialisation de la France se poursuit.

*(1) La position extérieure nette représente le **patrimoine ou l'endettement net** des français ou allemand (des résidents) vis-à-vis du reste du monde.*

2-1) La dégradation de l'économie française : évolution de la part de la France dans les exportations de biens de l'Europe



1) Les principales causes de la dégradation de l'économie française

Manque de compétences particulièrement dans l'industrie :

- ✓ La France forme moitié moins d'ingénieurs que l'Allemagne
- ✓ Désintérêt en France pour les métiers de l'industrie.
- ✓ Dégradation de l'enseignement en France.

Manque d'industries moyennes :

- ✓ Elles sont trois fois plus nombreuses en Allemagne.
- ✓ Les entreprises moyennes sont plus importantes que les grandes entreprises pour le développement du tissu industriel d'un pays parce qu'elles délocalisent peu leurs activités.

2-1) La France peut-elle supporter les bouleversements socio-économiques de la transition climatique et de la guerre d'Ukraine ?

Bouleversements :

- ✓ **Economiques** : investissements considérables pour la production des énergies nucléaires, solaires, éoliennes..., pour la décarbonation des transports, des habitats, des industries...
- ✓ **Sociaux** : nombreuse suppressions et créations d'emplois. Augmentations des prix dues aux taxes carbone et indirectement aux dépenses de la transition énergétique.
- ✓ **De la guerre d'Ukraine** :
 - ✓ Augmentation des prix et difficultés d'approvisionnement des énergies et des matières premières.
 - ✓ Augmentation des dépenses militaires.
 - ✓ Dépenses pour soutenir l'Ukraine et ses réfugiés.

2-1) La France peut-elle supporter les bouleversements socio-économiques de la transition climatique? (suite)

La Cour des Comptes tire la sonnette d'alarme sur la dégradation de l'économie française : déficit budgétaire, soutenabilité de la dette publique.

Il y a un risque important que la France ne puisse pas tenir ses objectifs de la transition climatique :

- ✓ **Faiblesse de l'économie France**
- ✓ **Rejet par la population des hausses des prix et des pertes d'emploi.**
- ✓ **Difficultés de financement des investissements de la transition climatique dues à l'endettement de la France et aux hausses des taux des intérêts décidées par les banques centrales pour pallier l'inflation.**

2-1) La France peut-elle supporter les bouleversements socio-économiques de la transition climatique?

La position de Carlos Tavares directeur général de Stellantis :

- ✓ **Un réquisitoire contre la décision d'interdire la production de voitures thermique à partir de 2035**
- ✓ **Le classes moyennes n'auront pas les moyens d'acheter des voitures électriques qui sont plus chères. Le gouvernement n'aura pas les moyens de subventionner les achats voiture.**
- ✓ **Licenciements dans l'industrie automobile dus à la diminution de la main d'œuvre pour fabriquer les véhicules électriques.**

2-2) Contributions des fermes solaires à la compétitivité de l'économie française

- ✓ Développement des compétences industrielles : **NON.**
 - ✓ Il est trop tard pour que la France puisse développer une industrie compétitive dans la filière de l'énergie Solaire.
 - ✓ Les emplois dans l'installation des fermes solaires sont peu qualifiés, donc ne contribuent pas au développement de compétences industrielles.
- ✓ Création d'industries moyennes : **NON.**
- ✓ Diminution du chômage : **OUI** (à évaluer, des emplois peu qualifiés).
- ✓ Exportation de biens et de service : **NON** (la France n'a pas une maîtrise industrielle de la filière des énergies solaires).
- ✓ Diminution des importations d'énergie fossile : **OUI** (comme les filières éoliennes et nucléaires).

2.2) Les fermes solaires

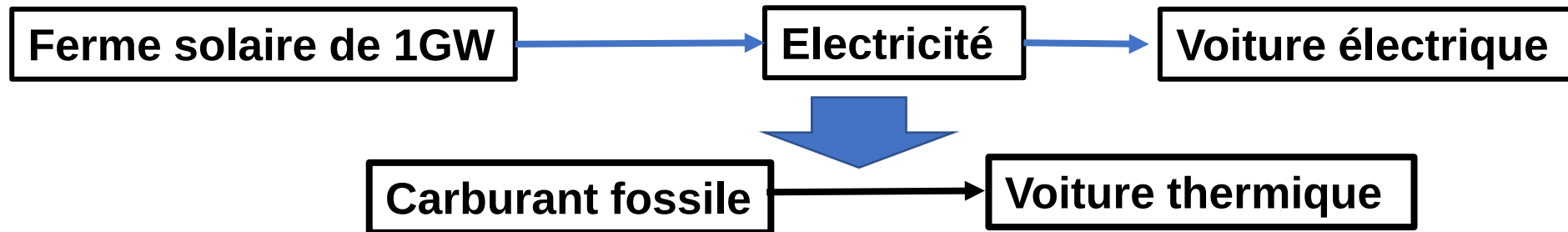
Cas d'une ferme solaire de 1 GW (*puissance de crête*):

- ✓ **Production annuelle d'électricité** (*taux de charge 0,15*) : **1,3 twh**
- ✓ **Terrain pour les panneaux solaires** : **14 km²** (*hypothèse : 11 km² pour une production annuelle de 1 twh*)
- ✓ **Importation des panneaux solaires** : **0,5 Milliards d'Euros**
- ✓ **CAPEX** : **1 Milliard d'Euros** (hors investissements pour la gestion des intermittences des énergies solaires)

Pour une production d'électricité au moyen de panneaux solaires équivalente à celle d'un EPR2 (*taux de charge 0,8*) :

- ✓ **8,5 fermes solaires de 1GW.**
- ✓ **Terrain pour panneaux solaires** : **120 km²**

2-2) Cas d'une ferme solaire de 1 GW développée pour l'électrification des mobilités.



Diminution des importations de pétrole sur une période de 30 ans : 6 milliards d'Euros (environ 3 milliards si actualisé). (*hypothèse : coût du baril de pétrole : 80 Euros*)

CAPEX de la ferme solaire : 1 Milliard d'Euros

Nota : Un calcul de retour sur investissement devrait prendre en compte les coûts de la gestion des intermittences, du développement des stations services...

2-2) Faut-il accentuer le développement des fermes solaires avant le déploiement de la nouvelle génération de réacteurs nucléaires

Pour :

- ✓ **La France peut faire mieux** que l'Allemagne parce qu'elle a une situation géographique nettement plus favorable (ensoleillement, surface territoriale). **La production d'énergie solaire de l'Allemagne est 3 à 4 fois** supérieure à celle de la France.
- ✓ **Une protection contre les** hausses du prix des énergies.
- ✓ Pas d'augmentation de la puissance de la filière nucléaire avant la déploiement des EPR2 : 2035-2037.
- ✓ Contribution à la diminution des émissions de CO2 malgré la perte du puits de carbone du terrain occupé par les fermes solaires. Cas une ferme de 1GW) :
 - ✓ Diminution des émission de CO2 : 20.000 tonnes/an
 - ✓ Perte due à la suppression du puits : 1.400 tonnes/an

2-2) Faut-il accentuer le développement des fermes solaires avant la nouvelle génération de réacteurs nucléaires ? (suite)

Contre :

- ✓ La France peut-elle mener en même temps des investissements énormes dans le nucléaire, avec un tardif retour sur investissement, et dans le solaire ?
- ✓ Agnès Molinier Verdier, directrice de la fondation iFRAP, dit que la France qui est déjà une bonne élève de la décarbonisation et qui tutoie déjà les sommets en matière de dépenses publiques et de fiscalité devrait **limiter ses ambitions dans la transition énergétique au développement de ses filières de l'énergie nucléaire.**
- ✓ Lenteurs dues au procédures administratives et aux réactions des populations.

2-3) Contributions des fermes éoliennes onshore à la compétitivité de l'économie française

Contributions comparables à celle les fermes solaires

- ✓ Développement des compétences industrielle : **NON** (peu de fabrication en France, beaucoup d'importation)
- ✓ Création d'entreprises moyennes : **NON**
- ✓ Diminution du chômage : **OUI**
- ✓ Exportation de bien et de services : **NON** (Il est trop tard pour que la France puisse s'imposer sur ce marché)
- ✓ Diminution des importations d'énergie fossile : **OUI** (équivalente à celle des filières solaires et nucléaires)

2-3) Contribution des fermes éoliennes offshore à la compétitivité de l'économie française

- ✓ Développement de compétences industrielle : **OUI** (fortes compétence techniques, créations d'entreprises en France)
- ✓ Création d'entreprises moyennes : **OUI**.
- ✓ Diminution du chômage : **OUI** (à évaluer)
- ✓ Exportation de biens et de service : **NON** (ou faible : la France n'a pas encore une puissance industrielle dans la filière des éoliennes offshore lui permettant d'avoir des parts de marché significatives de biens et de services).
- ✓ Diminution des importations d'énergie fossile : **OUI** (équivalente à celle des filières des énergies nucléaires et solaires).

2-3) Contribution des fermes éoliennes offshore à la compétitivité de l'économie française

- ✓ **Haute technicité**
- ✓ **Perspective de fort développement en haute mer parce que moins de risque de rejet par les populations.**
- ✓ **Puissance installée en 2020 : France : 2MW, Allemagne : 7 MW**
- ✓ **Objectifs de puissance installée : France 2028 : 6 GW, Allemagne 2030 : 20 GW, GB 2030 : 40 GW**

2-3) Contribution des fermes éoliennes offshore à la compétitivité de l'économie française (suite)

- ✓ **Succès de la politique gouvernementale de création d'usines pour la fabrication des composants (pales...).**
- ✓ **Fin 2019 : 2690 emplois.**
- ✓ **Exemples d'unités industrielles créées :**

	Activité	Emplois
Cherbourg	Fabrication de pales	550
Montoir de Bretagne	Assemblage de nacelles	300
Le Havre	Fabrication de pales	750
Nantes	Siège mondial de l'activité offshore de GE	200
Saint Nazaire	Production de fondation, sous stations électriques	200

2-4) Contribution des réacteurs nucléaires à la compétitivité de l'économie française

- ✓ **Compétences industrielles : OUI** (il est envisagé d'embaucher 4.000 ingénieurs pour réaliser le plan de 6 EPR2).
- ✓ **Développement d'industries moyennes en France : OUI.**
- ✓ **Diminution du chômage : OUI.**
- ✓ **Balance commerciale : ??**
 - ✓ **Exportations d'électricité ?** Seront-elles significatives avant la mise en service de futurs EPR2 prévue en 2035-37 ?)
 - ✓ **Exportations de réacteurs EPR2 ?** (compétitivité des EPR2 en 2035 ?)
- ✓ **Diminution des importations d'énergie fossile : OUI** (équivalente à celle des filières éoliennes et solaires).
- ✓ **Indépendance économique : OUI** (indépendance vis-à-vis des énergies fossiles et des matières premières rares)

2-4) La compétitivité des filières de l'énergie nucléaire

Le rapport « Futurs énergétique 2050 » et d'autres analyses économiques démontrent la **supériorité de la filière nucléaires vis à vis des filières solaires et éoliennes** parce que les besoins globaux de **financement de investissements** sont **notablement plus faibles**. Cela est essentiellement dû à l'absence d'investissement pour la gestion des intermittences.

Il est donc possible de réduire les coûts de la transition climatique française en augmentant le déploiement de la filière nucléaire au-delà de ce qui est prévu dans le scénarios de RTE.

Remarque : L'affirmation, dans le rapport RTE, qu'il n'est pas possible d'aller au-delà de 50% pour la part du nucléaire dans la production d'électricité est surprenante et ne semble pas crédible.

2-4) Les SMR

Il y a plusieurs dizaines de projets SMR dans le monde. Ils sont attrayants vis-à-vis des grandes centrales nucléaires de 1GW ou plus grâce à une forte diminution, jusqu'à une division par 2, des :

- ✓ **coûts de construction**
- ✓ **durées de construction.**

Il est probable que les SMR à refroidissement par eau atteindront les objectifs annoncés parce qu'il s'agit d'une technologie éprouvée.

Les EPR2 seront-ils compétitifs vis-à-vis des SMR lors de leur première exploitation en 2035-37 ?

La France a engagé des investissements considérables dans les EPR depuis leur lancement 2007. Ce serait un échec industriel et économique de ne pas réussir à vendre des EPR2 sur le marché mondial des réacteurs nucléaires.

2-4) La sûreté des réacteurs SMR

Jean-Michel Ruggieri, chef de programme à la direction des énergies du CEA, dit que **les réacteurs SMR peuvent atteindre l'objectif de zéro rejet radioactif même en cas d'accident grave :**

- ✓ Il y a moins de chaleur à évacuer en cas d'accident parce que leur puissance est plus faible ce qui fait que l'on peut utiliser des systèmes de sûreté reposant sur la convection naturelle passive.
- ✓ On a pas besoin de pompes fonctionnant à l'électricité pour refroidir la centrale. C'est la panne du système de refroidissement qui a provoqué l'accident de Fukushima.

GE-Hitachi annonce que son réacteur SMR BWRX-300 a une sûreté de classe mondiale parce que la condensation de la vapeur et la gravité assurent son refroidissement pendant au moins 7 jours sans utilisation de pompe et sans intervention d'un opérateur.

La plupart des constructeurs de SMR font des annonces similaires.

2-4) Pour l'évaluation d'un scénario de déploiement de SMR

Les réacteurs SMR pourront contribuer significativement à la compétitivité de l'économie française si leurs concepteurs tiennent les objectifs annoncés:

- ✓ **diminution des coûts de la transition énergétique grâce à une forte diminution des investissements (CAPEX)**
- ✓ **amélioration de la compétitivité de l'économie française grâce à la diminution des coûts des énergies.**

Il est important d'évaluer un scénario de déploiement de SMR : contributions à la compétitivité de l'économie française, faisabilité, risques... pour améliorer au moment opportun la compétitivité de la filière nucléaire française.

Il y a sur le marché des réacteurs plusieurs SMR qui semblent attrayants :

- ✓ **ceux choisis par la Pologne : BWRM-300 de GE-Hitachi, VOYGR de NuScale.**
- ✓ **le projet de réacteur SMR français NuWard.**
- ✓ **....**

2-4) Le projet français de réacteur SMR NuWard

Une centrale nucléaire comprenant deux réacteurs SMR Nuward

Puissance totale : 340 MW, (chaque réacteur : 170 MW).

Réacteur à eau pressurisée, neutrons thermiques (lent)

Dimension de la cuve du réacteur : hauteur : 13,5 m, diamètre : 4 m

Durée de construction (centrale : 2 réacteurs): 4 à 5 ans. (EPR2:10 ans)

Date de commercialisation : 2035-2040. (Retard de 8 à 10 ans vis-à-vis du SMR BWRX DE GE-Hitachi : 300 MW)

Fabriqué en usine.

CAPEX : 2.000 à 3.000 Euros/KW (CAPEX EPR2 : 5.000 Euros/KW)

2-4) Le projet français de réacteur SMR NuWard (suite)

- A 340 MWe power plant including 2 integrated reactors (2x170 MWe) in a single nuclear building
- A combination of proven and innovative technologies

A compact reactor...



... integrated in a metallic containment immersed in a water basin



2-4) La faiblesse de la filière nucléaire française est largement due à deux erreurs d'orientation

- 1) Le lancement du projet EPR de Flamanville en 2007. **Sous-estimation :**
 - ✓ des difficultés de réalisation d'un projet de cet ampleur.
 - ✓ de la nécessité de réduire les coûts de développement (CAPEX).
 - ✓ de la nécessité de réduire les durées construction.
- 2) Le lancement du projet Astrid :
 - ✓ **Sous-estimation des couts et durées de développement** d'une nouvelle génération de réacteurs nucléaires.

La France serait aujourd'hui compétitive sur le marché des réacteurs SMR de troisième génération, par exemple en face de GE-Hitachi, si elle avait lancé un projet SMR de la troisième génération à refroidissement à eau et neutrons thermiques (lents) pendant la décennie 2000-2010.

3) Conclusion : synthèse de la contribution des filières énergétiques à la compétitivité de l'économie française.

	Solaire	Eoliennes on shore	Eolienne off shore	Nucléaire
Développement des compétences industrielles	NON	NON	OUI+	OUI+++
Création d'entreprises moyennes	NON	NON	OUI+	OUI+++
Diminution chômage	OUI	OUI	OUI	OUI
Développement des exportations	NON	NON	NON	???
Energie Intermittente.	OUI	OUI	OUI	NON
Dépendance des matières premières rares	Forte	Forte	Très forte	Faible
Facteur de charge	0,15	0,25	0,35	0,8
CAPEX : production de 1 twh/an (en Mrds Euros) (1)	0,78	0,75	0,87	0,78

(1) Sans tenir compte du CAPEX de la gestion des intermittence.

3) Conclusion (suite)

Il y a des risques importants que la transition climatique soit freinée par des difficultés de financement parce que les besoins de capitaux sont considérables.

Ces risques sont aggravés par la guerre en Ukraine qui aura probablement un impact durable sur les économies mondiales

Il n'y aura pas un modèle mondial unique de transition climatique. Chaque pays a définira sa transition énergétique en tenant compte de ses ambitions, de ses ressources financières, industrielles, climatiques...

3) Conclusion (suite)

Il y aura de nombreux évènements imprévisibles dans la transition énergétique parce qu'elle résultera de l'émergence de nombreuses interactions entre des systèmes et phénomènes imprévisibles : systèmes économiques, sociaux, innovation techniques, les cygnes noirs Nasim Taleb...

Il faudra gérer la transition énergétique avec la souplesse d'adaptation nécessaire pour tenir compte de ces évènements imprévisibles par exemple augmenter la production d'une filière énergétique, modifier une taxe carbone.

Le rapport « Futurs énergétique 2050 » et d'autres analyses économiques démontrent la supériorité de la filière nucléaires vis à vis des filières solaires et éoliennes parce que ses **besoins globaux de financement sont notablement plus faibles**. Cela est essentiellement dû à l'absence d'investissement pour la gestion des intermittences.

3) Conclusion (suite) : l'alternative de l'e-carburant

Porsche, Siemens et ExxonMobil construisent au Chili une usine pilote de production de e-carburant à partir d'électricité, d'eau et de CO2 extrait de l'atmosphère :

- ✓ **objectif de production annuelle de cette usine pilote : 550 millions de litres en 2026 : 3,4 millions de barils, 340 millions d'Euros si 1 baril $\leq$ 100 Euros.**
- ✓ **Projet de construire 12 usines : Chili, USA, Australie : investissement de 50 milliard dollars : 40 millions de barils, 4milliards d'Euros si 1 baril $\leq$ 100 Euros.**

Avantage des e-carburants : diminution considérable des coûts des transitions énergétiques des mobilités grâce au maintien des véhicules thermiques et infrastructures existants dans les transports terrestres, aériens, maritimes.

3) Conclusions (suite)

Les réacteurs SMR contribueront significativement à la compétitivité de l'économie française si les objectifs annoncés sont tenus :

- ✓ **diminution des coûts de la transition énergétique grâce une forte diminution des investissements (CAPEX),**
- ✓ **amélioration de la compétitivité de l'économie française grâce à la diminution des coûts des énergies.**

Les SMR seront des concurrents sérieux sur le marché des réacteurs nucléaires, notamment face aux EPR2.

La faiblesse de la filière nucléaire française est largement due à deux erreurs d'orientation : le lancement du projet EPR de Flamenville et le lancement du projet Astrid.

Il semble qu'il manque entrepreneur visionnaire parmi les responsables de la filière nucléaire française.

Fin