



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# SCENARIOS ENERGETIQUES DE L'ANCRE

Nathalie Alazard-Toux, Patrick Criqui, Jean-Guy Devezeaux de Lavergne

Alain Le Duigou, Alban Liegeard, Philippe Ménanteau, Henri Safa, Olivier Teissier

Avril 2013



- Les scénarios présentés dans ce jeu de planches sont issus des travaux menés par l'ANCRE de novembre 2012 à Mars 2013
- Ces scénarios ne prétendent aucunement prédire l'avenir: de nature exploratoire, ils présentent un fort caractère volontariste et supposent des évolutions technologiques d'ampleur et parfois des ruptures importantes, loin d'être acquises
- La quantification des scénarios selon une grille complète de critères telles que l'ANCRE l'a publiée en octobre 2012 est en cours, mais n'est pas achevée à ce stade, notamment en ce qui concerne la majorité des indicateurs économiques et environnementaux
- L'ANCRE continuera ses travaux dans les mois à venir et souhaite bénéficier des remarques et propositions des parties prenantes du débat en cours sur la transition énergétique



- L'ANCRE est l'Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie
- Elle regroupe l'ensemble des organismes publics de recherche du domaine et travaille en concertation avec les pôles de compétitivité
- Elle a souhaité prendre part au débat sur la transition énergétique et a proposé à **la Ministre en charge de l'énergie de construire des scénarios énergétiques** à l'horizon 2050 . La ministre a manifesté son vif intérêt pour ce travail de l'ANCRE.
- L'ANCRE a défini les 3 scénarios suivants:
  - « **Sobriété renforcée** » (ou **SOB**)
  - « **Décarbonisation par l'électricité** » (ou **ELE**)
  - « **Vecteurs diversifiés** » (ou **DIV**)





- **Fixer comme objectif premier la réduction des émissions de GES et l'atteinte du facteur 4 à un coût acceptable** (ici: diminution par 4 en 2050 des émissions de CO2 issues de la production et la transformation d'énergie, par rapport à l'année 1990)
- Mettre en œuvre **des actions volontaristes axées sur la demande** en priorité (dont la sobriété à un niveau ambitieux) et **sur l'offre**, en promouvant l'**efficacité** et les **substitutions vers les énergies à bas carbone**
- Développer fortement les EnR dans l'électricité **avec l'hypothèse « nucléaire 50% »** en 2025
- Etablir les **possibilités technologiques** (impact sur l'efficacité, sur les évolutions des usages, sur les dynamiques de substitution des **énergies** entre elles...)
- Evaluer si l'objectif est atteint → révision des hypothèses et introduction de **« technologies de rupture »**



### Les hypothèses sont basées sur le **scénario volontariste DGEC / Enerdata « AMS-O »**

- **Post Grenelle avec mesures supplémentaires** et objectif 2050 de facteur 4
- La croissance économique **1,7% par an** en moyenne sur la période
- La population française s'accroît fortement **75 Mhab en 2050**
- Les **prix de l'énergie** s'orientent à la **hausse** et le **carbone est taxé** (directement ou via les ETS)

Prix	2020	2030	2040	2050
Prix pétrole (€2010/baril)	100	115	135	165
CO2 <b>SOB</b> * (€2010/t)	30	56	100	200
CO2 <b>ELE</b> et <b>DIV</b> (€2010/t)	25	39	75	150

\* Prix plus élevé du CO2 pour des chargements plus radicaux dans les comportements.

### Parmi les grandes questions:

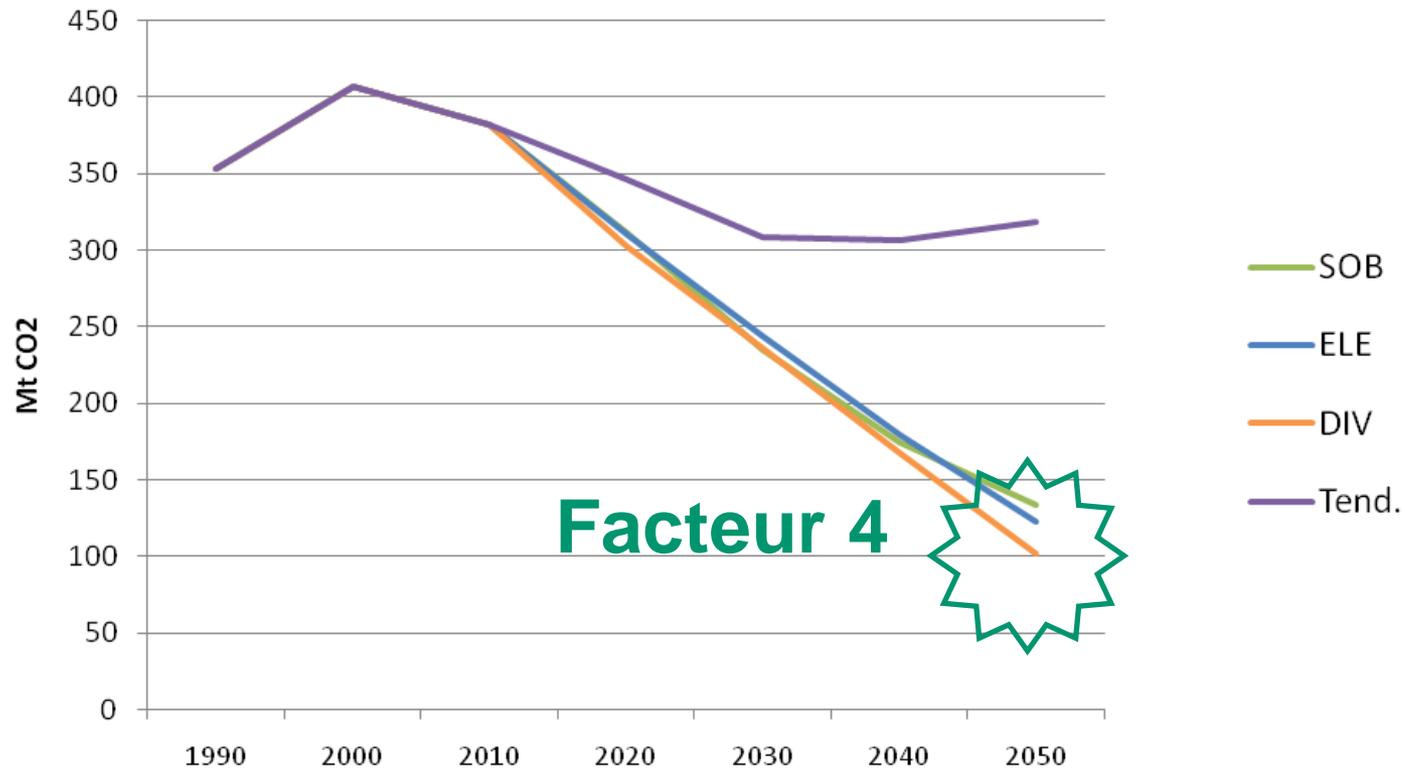
- Les technologies actuellement disponibles suffisent-elles ?
- Faut-il une révolution technologique pour atteindre l'objectif facteur 4?



- **Scénario "Sobriété renforcée"** : la réduction des émissions découlant de la consommation d'énergie fera ici essentiellement appel au **triptyque sobriété renforcée, efficacité énergétique et développement de la part des renouvelables**, ainsi que de manière résiduelle au gaz pour la production d'électricité.
- **Scénario "Décarbonisation par l'électricité"** : la décarbonisation de la consommation d'énergie primaire est basée sur de la **sobriété et de l'efficacité énergétique, et un rôle central de l'électricité d'origine renouvelable (intermittente ou "dispatchable") et nucléaire.**
- **Scénario "Vecteurs diversifiés"** : la décarbonisation s'appuie sur l'efficacité énergétique et un renforcement limité des usages électriques, mais **l'accent est largement mis sur de nouveaux vecteurs comme les bio-énergies, notamment dans des systèmes énergétiques locaux.**

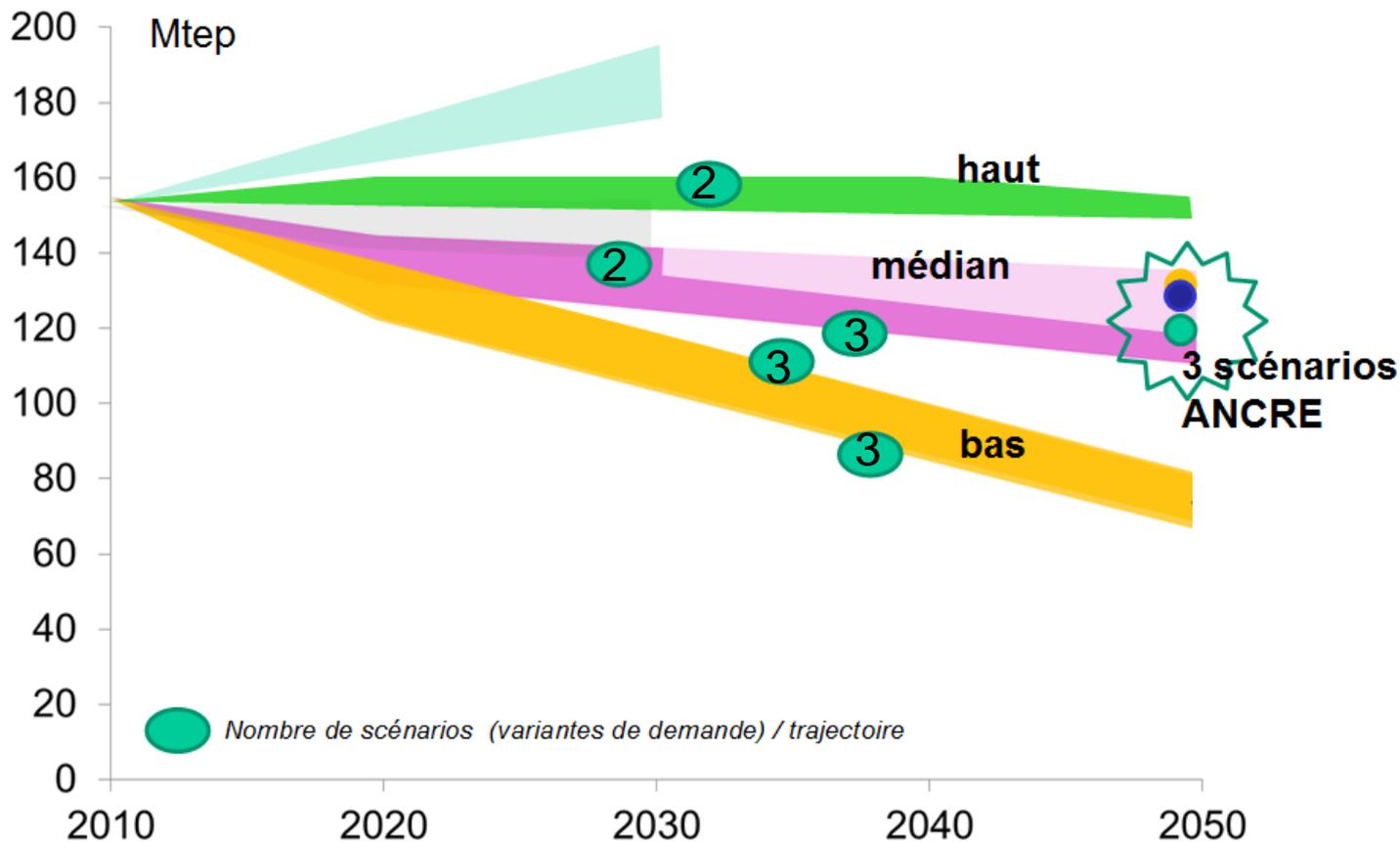


### Emissions de CO2 de l'énergie



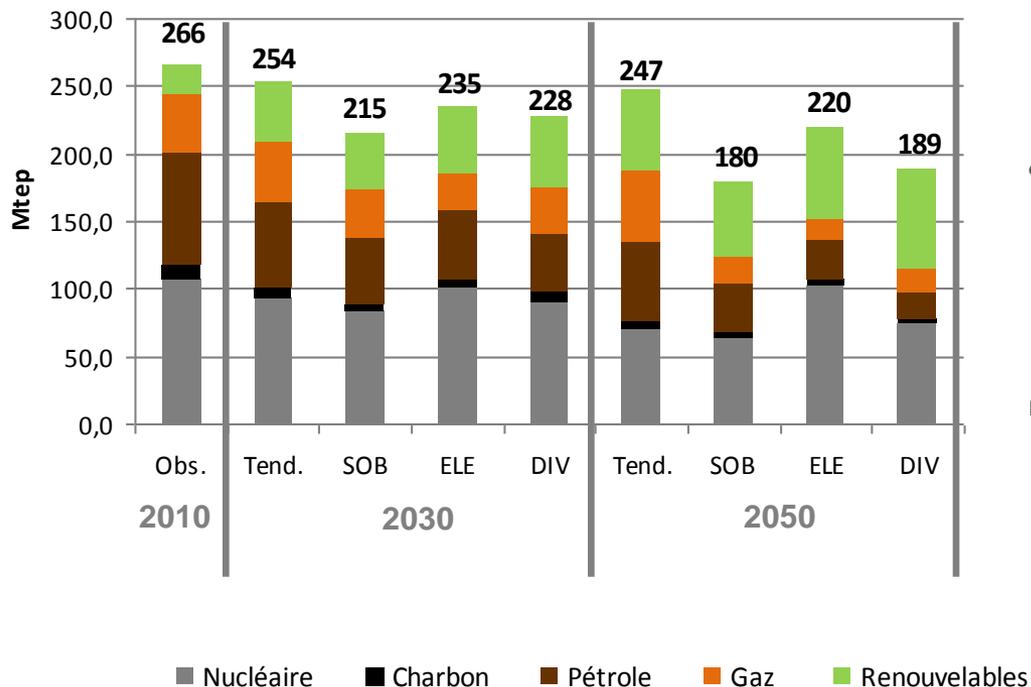


### Consommation d'énergie finale





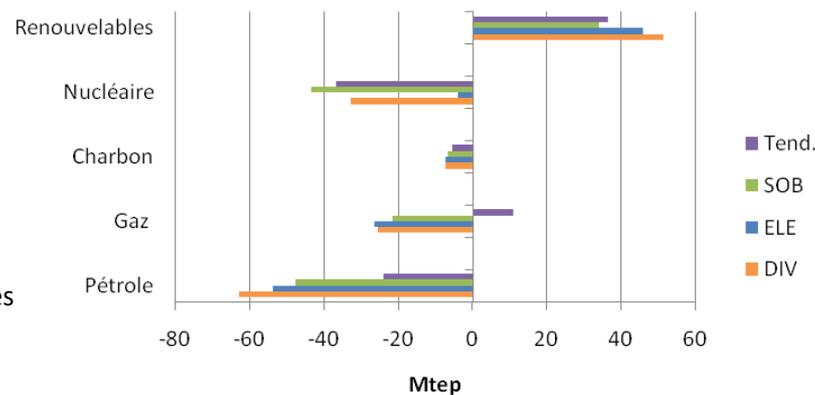
### Consommation d'énergie primaire



### SOB, ELE et DIV :

- Décroissance de l'énergie primaire, **en rupture nette avec la tendance historique**
- Réduction des énergies fossiles au profit des énergies renouvelables

### Evolution 2010 - 2050

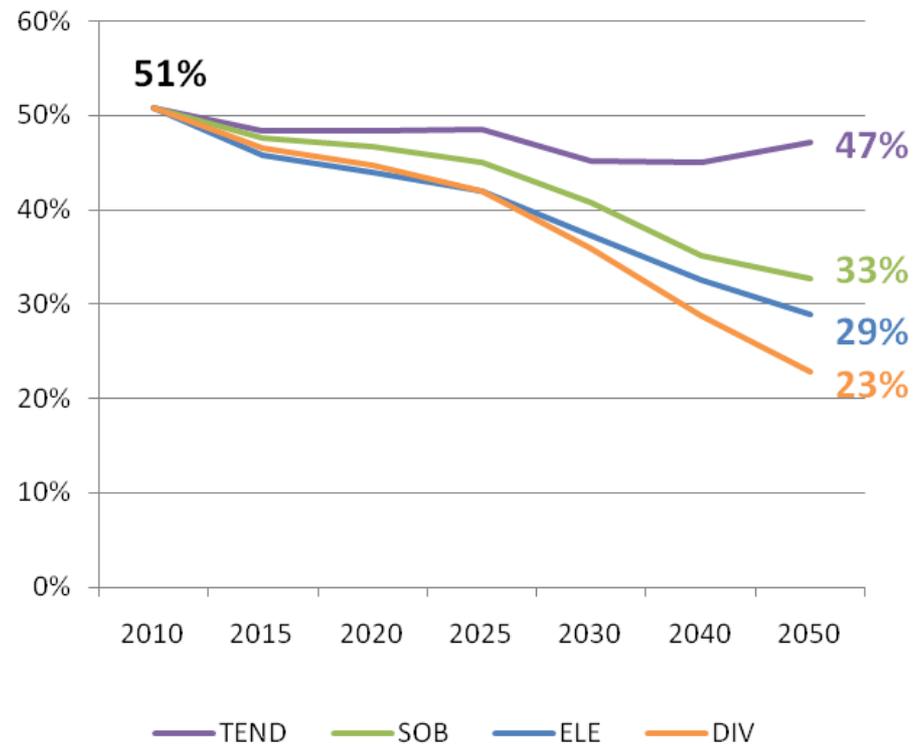




Entre 2010 et 2050:

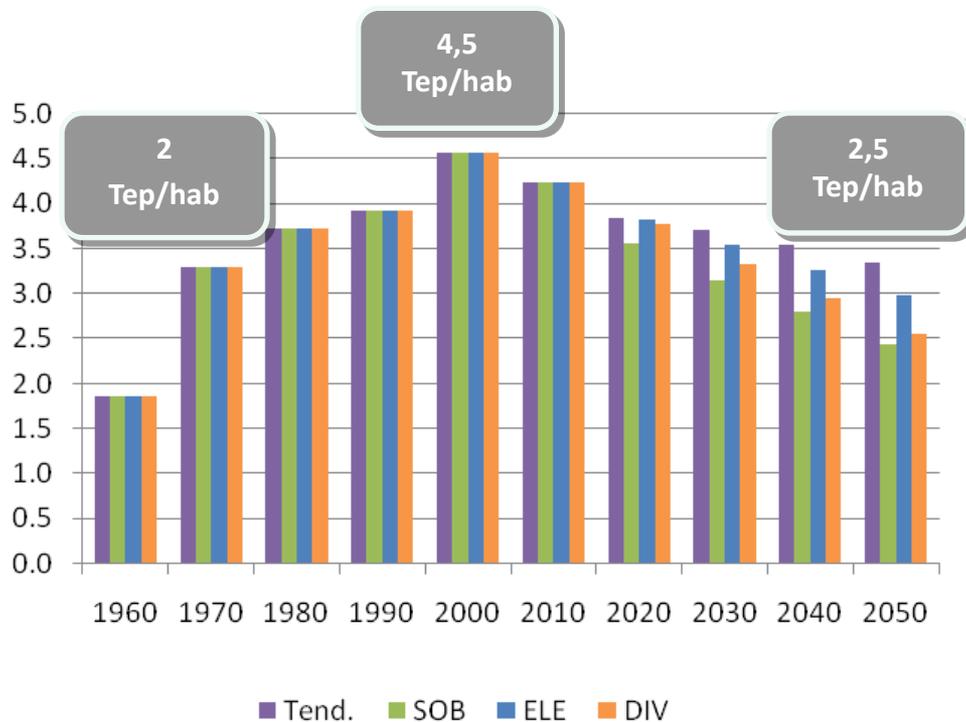
- la **dépendance énergétique s'améliore** et passe de **50% à 20-30%** selon les scénarios
- La prise en compte d'une production nationale (Guyane et hydrocarbures de roches mères) entraîne une réduction supplémentaire de la dépendance de 5 à 10%

### Taux de dépendance énergétique



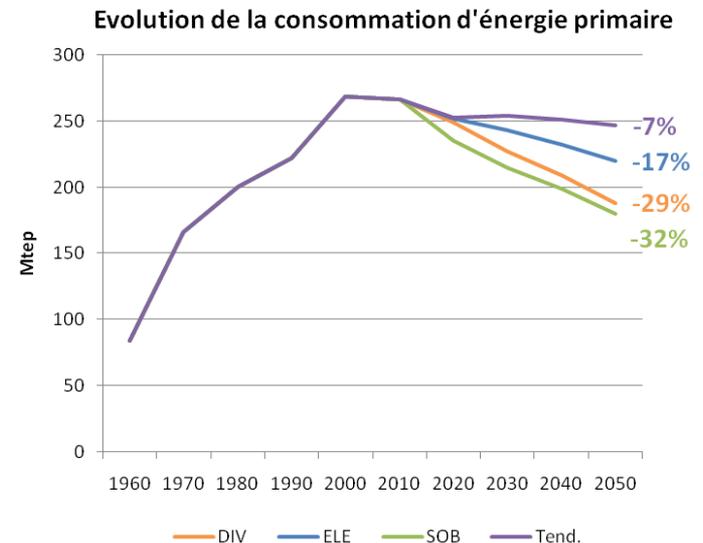


### Energie primaire par habitant (Tep/hab)



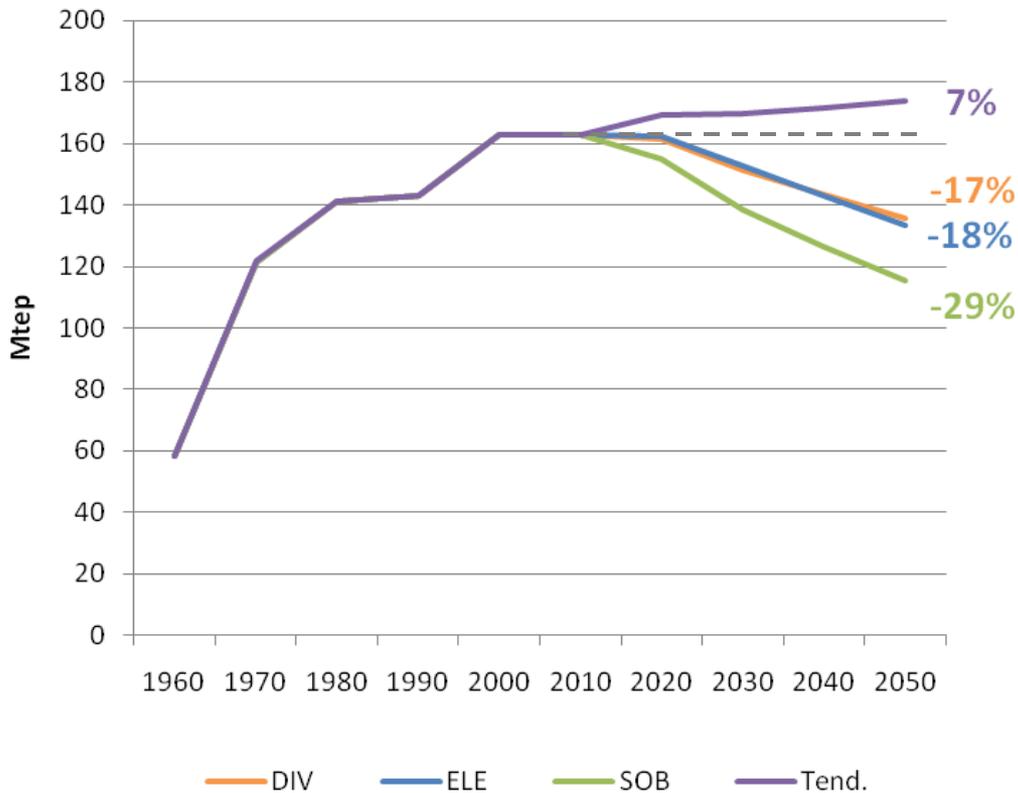
**La tendance historique :**  
une augmentation continue depuis plus de 50 ans

**Le futur:**  
Une baisse de grande ampleur sera-t-elle possible ?





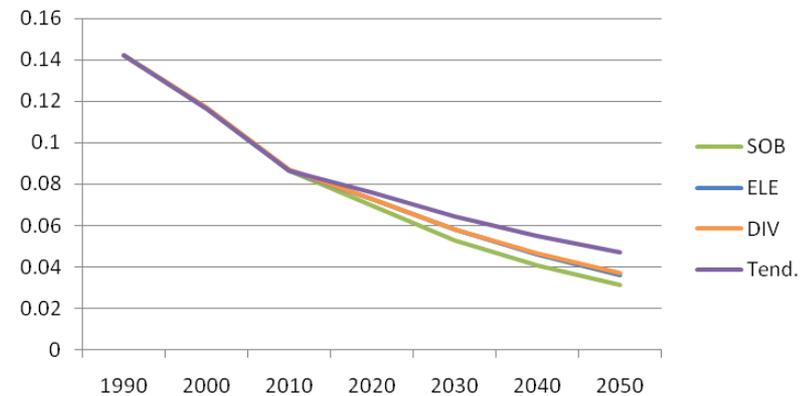
### Evolution de la consommation d'énergie finale



Malgré l'inversion de tendance en terme de consommation d'énergie finale,

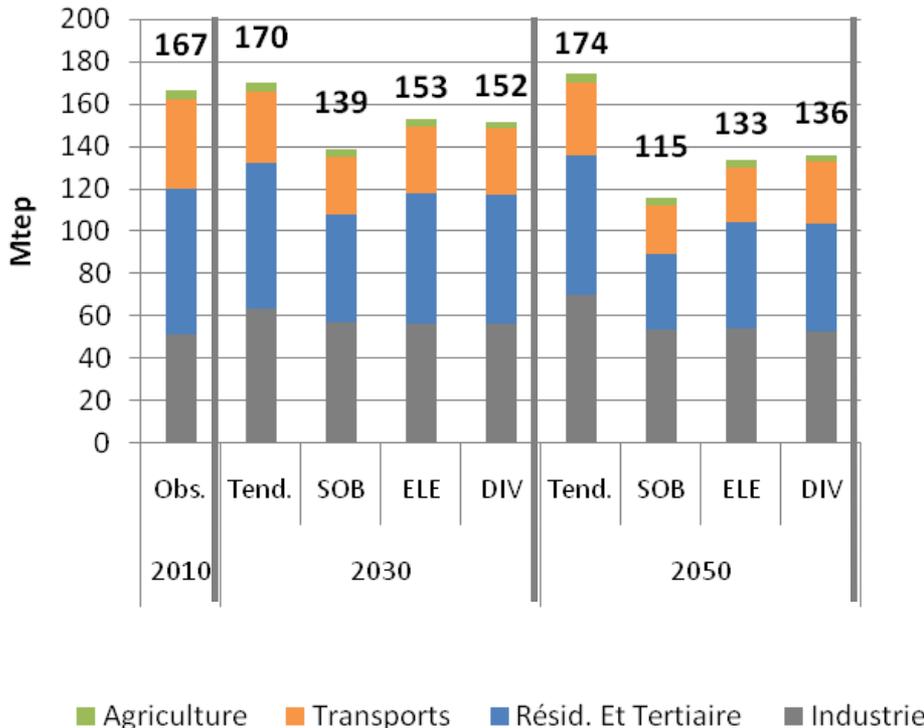
Il est difficile d'améliorer l'intensité énergétique.

### Energie finale par unité de PIB (Tep/k€2010)





### Consommation d'énergie finale par secteur



**Industrie :** niveau ~constant

**Les gains de performance** compensent la hausse de la demande liée à l'augmentation d'activité

**Résid. et Tertiaire :** baisse (25 à 50%)

**Les programmes de rénovation** permettent d'accroître l'efficacité énergétique du secteur

**Transport :** baisse (30 à 45%)

**Efficacité énergétique et sobriété** permettent d'atteindre ce résultat, avec un rôle significatif de la pénétration de l'électricité (selon scénarios)



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Transport



<b>Sobriété Renforcée</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Modifications des comportements et des systèmes</b> pour réduire ou transférer la demande (tarification, mode de possession...)</li><li>• Amélioration de l'efficacité énergétique accrue et pénétration tendancielle des technologies</li></ul>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Amélioration de l'efficacité énergétique accrue</b></li><li>• <b>Diffusion accélérée des motorisations électriques (EV, PHEV) et hydrogène</b></li></ul>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Amélioration accrue et accélérée de l'efficacité énergétique</b> des technologies</li><li>• Développement de <b>carburants à plus faible contenu carbone (GNV, LNG, bio-carburant)</b></li></ul>

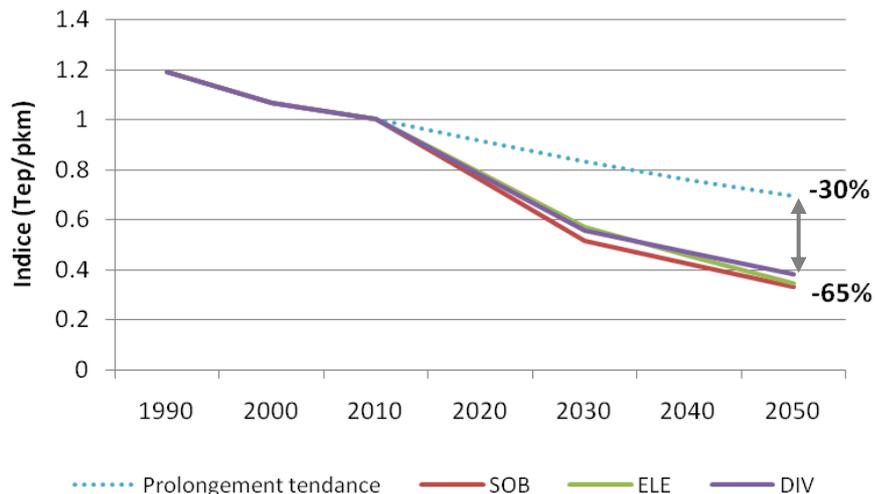


## Ruptures d'efficacité énergétique

**VP 2L/100km :** 2025 véhicules disponibles  
2040 généralisation

**Poids Lourds / Bus :** 2030 -30% consommation (malgré norme de dépollution)

## Efficacité énergétique des transports de passagers



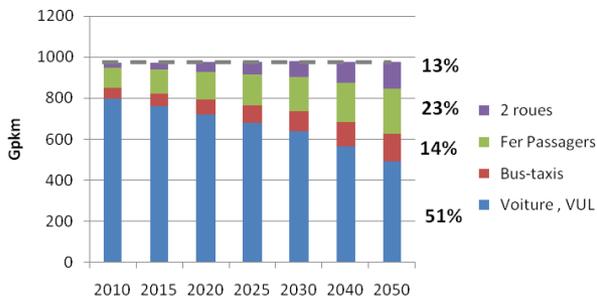
## Développements technologiques transport

<b>Sobriété Renforcée</b>	Développement de <b>véhicules serviciels adaptés aux parcours et à l'autopartage</b>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<p><b>Forte pénétration des solutions électriques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-2030 véhicules électrifiés représentent 65% des ventes (1<sup>er</sup> véhicule = PHEV, 2<sup>ème</sup> véhicule = EV)</li> <li>-À partir de 2030 les livraisons intra-urbaine sont électriques (via politique publique)</li> </ul> <p><b>Développement de l'Hydrogène</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Couloir H2 pour les camions dès 2030</li> <li>- Développement Bus H2, VP à partir de 2040</li> </ul>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<p><b>Amélioration de l'efficacité énergétique accélérée</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-véhicules 2l/100km se généralisent dès 2030</li> </ul> <p><b>Pénétration du gaz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-2030 : Couloir GNL pour les camions et flotte captive</li> <li>-2050 : 50% des Bus GNV, 25% des VP</li> </ul> <p><b>Développement massif des bio-carburants (maintien 1G et développement 2G)</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-2030 : Production x 2,5 (6Mtep)</li> <li>-2050 : Production x 6 (13Mtep)</li> </ul>



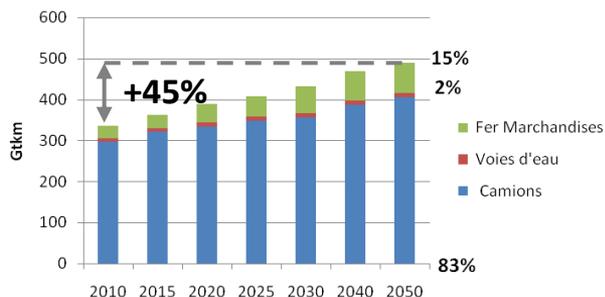
### Sobriété Renforcée

#### Mobilité des personnes



**2050**  
**PARC VP**  
**divisé par 2**

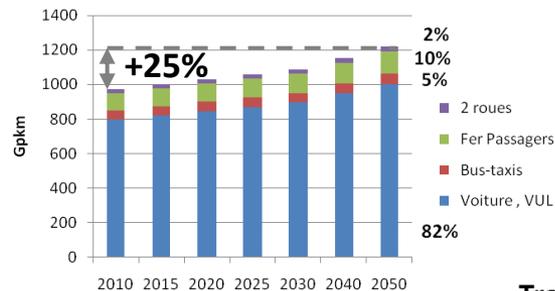
#### Trafic de marchandises



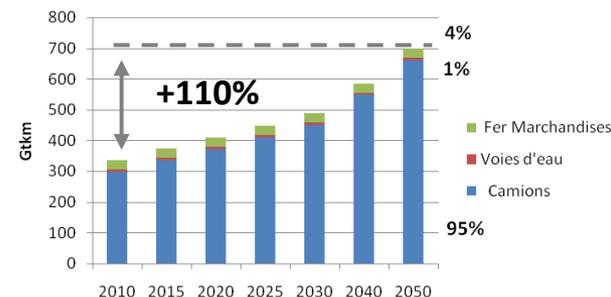
### Décarbonisation par l'électricité

### Vecteurs diversifiés

#### Mobilité des personnes



#### Trafic de marchandises

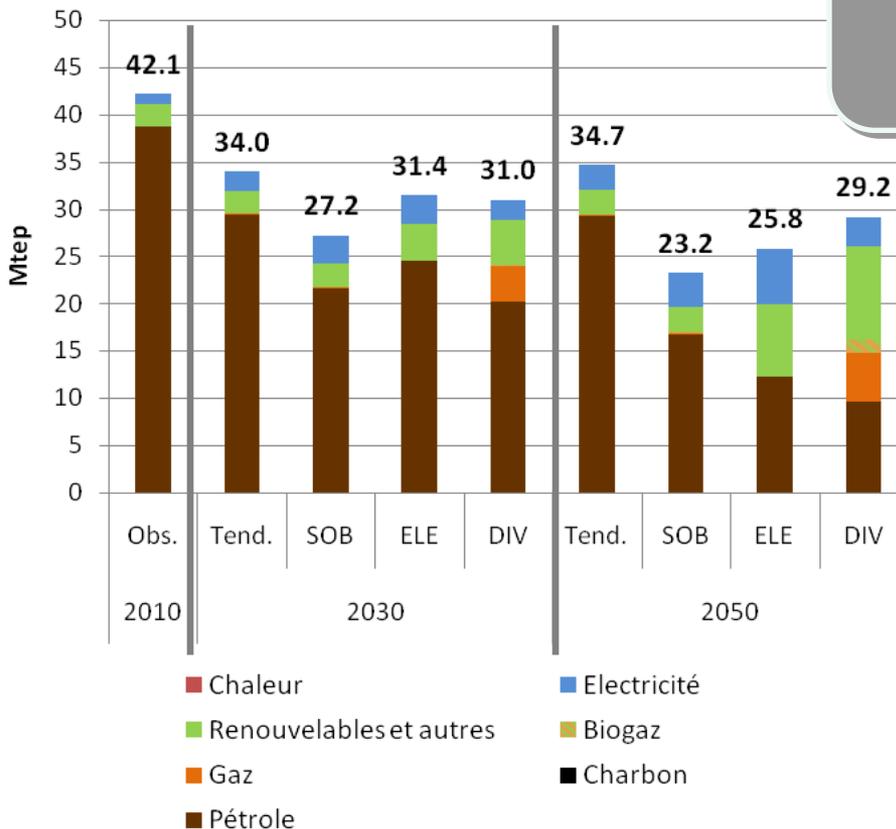


- Mobilité totale constante mais - 20% mobilité par personne
- Développement des modes alternatifs à la voiture
- **Augmentation modérée du trafic de marchandises** et développement du feroutage (15% du trafic, soit 75Gtkm en 2050)

- **Conservation des tendances**
  - Passagers : +0.6% / an jusqu'à 2050 (+25% / 2010)
  - Marchandises : +1.9% / an jusqu'à 2050 (+110% / 2010)
- **Conservation des répartitions actuelles entre modes**



### Consommation par énergie



Malgré l'accélération de la mise sur le marché des technologies:

**2030** Les carburants fossiles restent encore essentiels (part du mix >65%)

**2050** Ils sont progressivement remplacés par les biocarburants, l'électricité, le gaz ou l'H2

- **SOB** : Pénétration modérée des technologies alternatives
  - 25% de véhicules électrifiés (VE et PHEV) dans le parc en 2050
- **ELE** : Fort développement des solutions électrique et hydrogène
  - 45% de mobilité électrique (EV, PHEV) en 2050
  - 10% de mobilité H2 (FCEV) en 2050
- **DIV** : Diversification des solutions techniques et des carburants ; gains en efficacité énergétique accélérés
  - 25% de mobilité électrique (EV, PHEV) en 2050
  - fort développement du GNV
  - 40%<sub>énergie</sub> de carburants liquides et gazeux ex biomasse



	Economiques	Organisationnels	Technologiques
<b>Sobriété Renforcée</b>	<b>Incitations économiques à la sobriété</b>	<p><b>Structuration d'une offre de service de mobilité multi-mode</b> (pour les passagers et marchandises)</p> <p><b>Modifications de l'aménagement urbain</b> (voies de bus, piste cyclable...) et <b>des infrastructures routières</b></p>	<p>Développement de véhicules adaptés à l'usage (adaptation poids, motorisation et autonomie)</p> <p>Réduction de la consommation des véhicules</p>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<p><b>Investissements massifs dans les infrastructures</b> de recharge des véhicules électrifiés et dans l'H2</p> <p><b>Aide à la diffusion des nouvelles technologies</b> (Electrique, H2)</p>	<p>Développements de réseaux électriques</p> <p>Développement d'une filière hydrogène carburant : production, transport, distribution (corridor et flotte captive dans un premier temps)</p>	<p><b>Baisse des coûts des PHEV, EV et FCEV</b></p> <p>Améliorations des performances des batteries (capacités, temps de recharge)</p> <p><b>Réduction de la consommation</b> des véhicules</p>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<p><b>Investissements dans la production de biocarburants et la distribution de carburants gazeux</b></p> <p>Aide à la diffusion des nouvelles technologies (GNV, GNL)</p>	<p>Structuration d'une très importante <b>filière biocarburant 2G liquide et gazeux</b></p> <p><b>Développement d'une filière GNV et GNL carburant :</b> compression/liquéfaction, transport, distribution</p>	<p><b>Réduction accélérée de la consommation</b> des véhicules</p> <p>Amélioration des moteurs à allumage commandé fonctionnant au gaz pour les véhicules lourds</p>



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Résidentiel et tertiaire



<b>Sobriété Renforcée</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Comportements plus sobres</b> : tassement de la demande de surface (m<sup>2</sup>/hab et m<sup>2</sup>/emploi) et renouvellement urbain plus dense, pas d'effets-rebond, stabilisation puis réduction progressive de la demande d'électricité spécifique</li><li>• <b>Améliorations de l'efficacité énergétique</b> : rénovation complète du parc existant en 2050 (x4 par rapport au rythme actuel) et constructions neuves très performantes</li><li>• <b>Disparition du fioul</b> dans les usages de chauffage et ECS</li></ul>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Poursuite tendance de la demande</b> : surfaces, répartition habitat collectif/habitat individuel, électricité spécifique, etc.</li><li>• <b>Amélioration de l'efficacité énergétique moins poussée</b> : rénovation de la moitié du parc existant en 2050 (doublement par rapport au rythme actuel)</li><li>• <b>Fortes substitutions des énergies carbonées par l'électricité</b> (développement massif des pompes à chaleur haute performance PAC)</li></ul>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Poursuite tendance de la demande et améliorations de l'efficacité énergétique moins poussée</b> (idem ELE sauf demande en électricité spécifique plus faible)</li><li>• <b>Fortes substitutions des énergies carbonées par la biomasse, les réseaux de chaleur</b> et dans une moindre mesure le solaire ; le gaz issu de la biomasse se substitue partiellement au gaz naturel</li></ul>



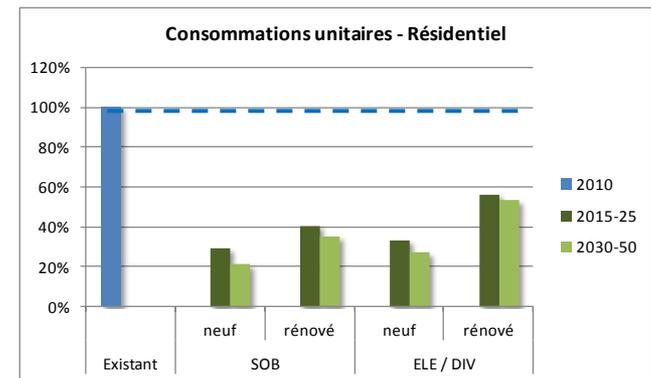
### Evolutions des performances « réelles » du bâtiment

<p><b>Sobriété Renforcée</b></p>	<p><b>Parc « neuf » très performant dès 2015</b>, respect immédiat de la RT2012 qui s'améliore à nouveau en 2025 (nouvelle RT)</p> <p><b>Parc rénové très performant dès 2015</b> (-60% sur la consommation de chauffage / existant), <b>pas d'effet rebond</b></p>
<p><b>Décarbonisation par l'électricité</b></p>	<p><b>Parc « neuf » performant en 2015</b> (dérive +10% sur le niveau RT2012), qui s'améliore en 2025 (nouvelle RT)</p> <p><b>Parc rénové performant dès 2015</b> (-50% sur la consommation de chauffage), <b>pénalisé par un effet rebond de l'ordre de 10%</b></p>
<p><b>Vecteurs diversifiés</b></p>	<p><b>Idem ELE, la différenciation porte uniquement sur les vecteurs énergétiques.</b></p>

### Innovations technologiques

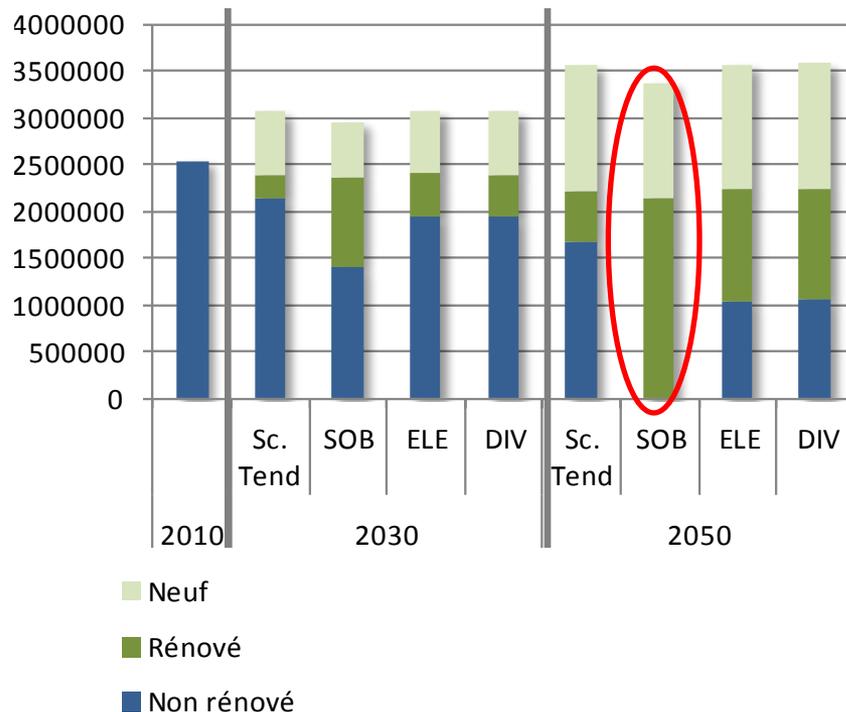
- 1. Matériaux** (super isolants minces, vitrages performants, VMC, ...)
- 2. Systèmes de chauffage performants** (PAC réversibles, mini cogen, stockages thermiques, chauffe-eau thermodynamiques)
- 3. Monitoring / suivi / optimisation des consommations**
- 4. Approches systémiques intégrées, réseaux intelligents** (elec – chaleur)

**Besoin de formation et qualification des acteurs**





### Evolution du parc résidentiel



### Hypothèses communes

- Rythmes identiques de constructions neuves et destructions (dans la fourchette des scénarios INSEE) sauf scénario SOB (moins besoin construction malgré destruction accélérée)
- Rupture en terme de rénovation du parc (2 à 5 fois plus selon scénarios)

### 2050

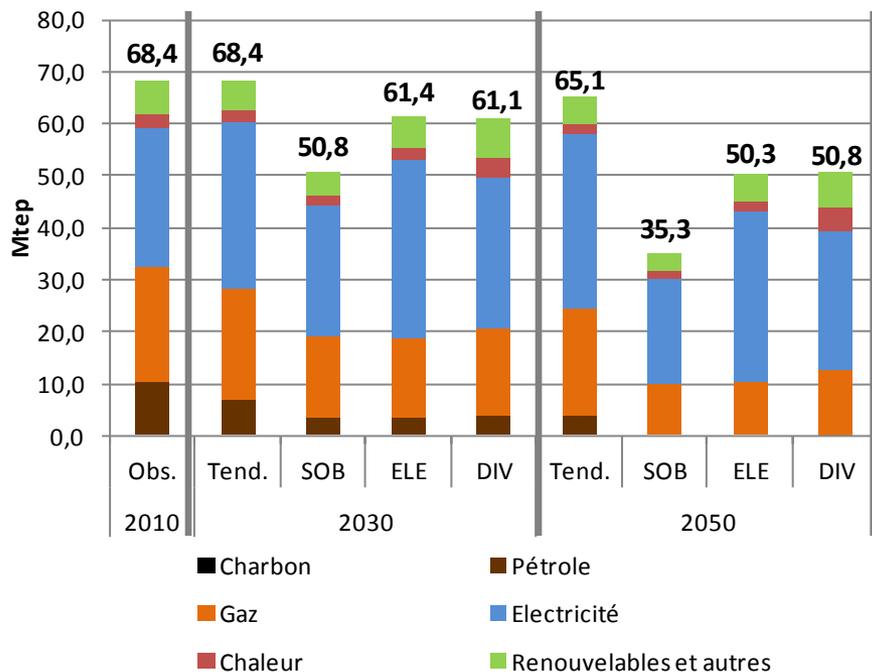
- **TEND** :
  - la part du neuf est de 35% (résidentiel) – 25% (tertiaire)
  - 45% du parc est de l'ancien non renové
- **SOB** :
  - la part du neuf est de 35% (résidentiel) – 20% (tertiaire)
  - **la totalité du parc existant est renovée**, soit 650 000 logements/an contre 125 000 aujourd'hui
- **ELE et DIV** :
  - la part du neuf est de 35% (résidentiel) – 25% (tertiaire)
  - 30% du parc est de l'ancien non renové

Mutation du secteur d'activité



## Résidentiel/tertiaire Part des différentes énergies finales

### Consommation par énergie



Disparition du fioul  
Recul modéré du gaz  
Croissance de la part de l'électricité

- **TEND** : pas d'évolution des parts de marché (sauf fioul)
- **SOB** : parts de marché peu modifiées.
- **ELE** : forte augmentation des parts de marché de l'électricité pour chauffage et ECS (de 20 % à 60 %)
- **DIV** : augmentation des parts de marché de la chaleur et des sources renouvelables (solaire thermique, biomasse)



	Economiques	Organisationnels	Technologiques
<b>Sobriété Renforcée</b>	<p><b>Investissements massifs</b> dans la rénovation (+530 G€ / tendanciel), instruments d'incitation à identifier</p> <p>Tarification adaptée pour limiter les effets rebonds</p>	<p><b>Mutation du secteur d'activité, en volume (x4)</b></p> <p><b>Nécessité d'améliorer qualifications et performance (Formation)</b></p>	<p><b>Solutions de rénovations complètes adaptées</b> au contexte (matériaux, équipements, etc.).</p> <p><b>Equipements performants</b> pour chaud, froid, ECS, ventilation, ... et usages spécifiques</p> <p>Smart grids pour intégration ENR intermittentes</p>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<p>Investissements importants dans la rénovation du parc bâti (+210 G€ / tendanciel), instruments d'incitation à identifier</p> <p><b>Incitation appropriées à l'installation de PAC</b></p>	<p>Montée en puissance du secteur, en volume (x2).</p> <p>Nécessité d'améliorer qualifications et performance (Formation)</p>	<p>Développement de <b>solutions performantes de PAC</b>, pour le neuf et l'existant (chauffage) <b>et chauffe-eau thermodynamiques (ECS)</b></p> <p>Gestion de la pointe électrique</p>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<p>Investissements importants dans la rénovation du bâti (+210 G€ / tendanciel) instruments d'incitation à identifier</p> <p><b>Investissement important dans les réseaux énergétiques locaux</b></p>	<p>Montée en puissance du secteur, en volume (x2).</p> <p>Nécessité d'améliorer qualifications et performance (Formation)</p> <p><b>Disponibilité des ressources en biomasse</b></p>	<p><b>Solutions technologiques performantes en biomasse, chaleur, solaire (thermique).</b></p> <p>Développement des réseaux chaleur (vers réseaux intelligents) avec <b>solutions approv. intégrées à l'échelle quartier / ville</b></p>



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Industrie



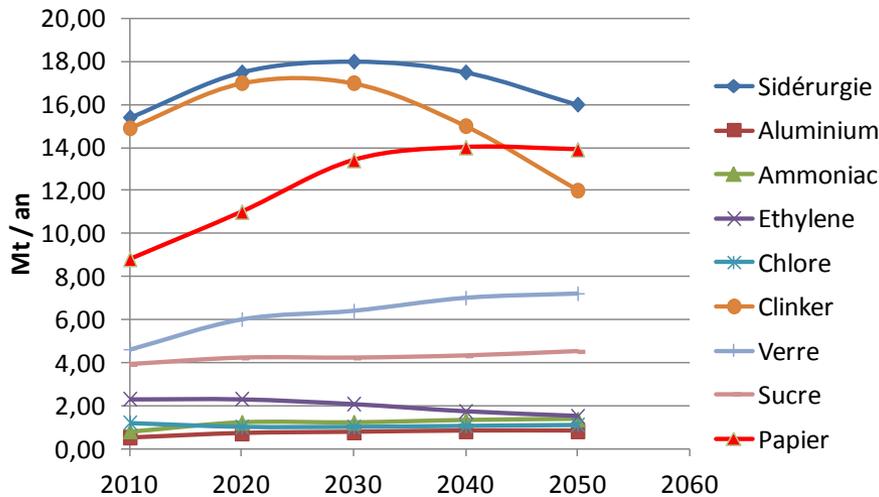
### Hypothèses communes

- **Évolutions des productions industrielles identiques** pour les 3 scénarios
- Prise en compte d'un **développement nécessaire du CCS à partir de 2030** ( montée progressive) pour respecter trajectoire d'émissions de CO2

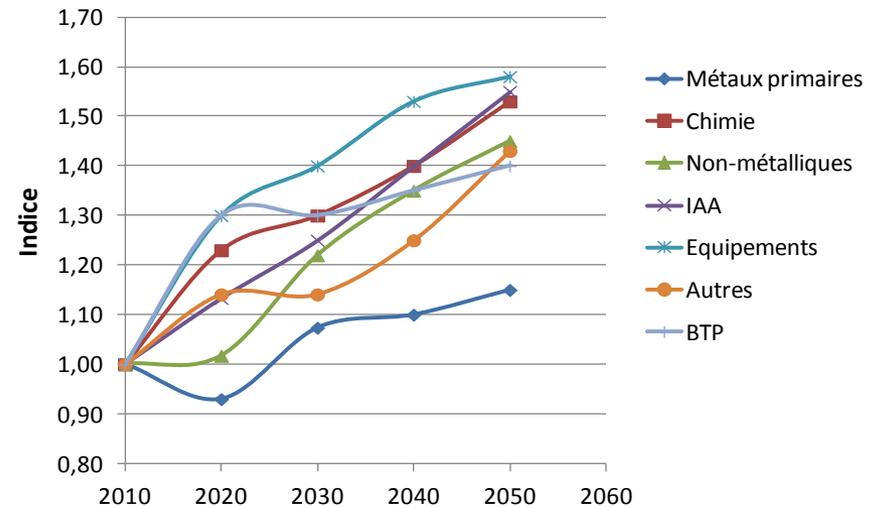
<b>Sobriété Renforcée</b>	<b>Amélioration poussée de l'efficacité énergétique / électricité et combustibles: jusqu'à 95% du maximum</b>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<b>Bascules énergétiques des combustibles fossiles vers électricité (+15% dans l'industrie au total, à l'horizon 2050 par rapport au scénario SOB)+ développement de l'acier électrique (de 1/4 à 1/3 en énergie)</b> <b>Efficacités énergétiques moindres que SOB (facteur 0,9)</b>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<b>Bascules énergétiques des combustibles fossiles vers vecteurs énergétiques renouvelables</b> <b>Efficacités énergétiques moindres que SOB (facteur 0,9)</b>



#### Hypothèses d'évolutions de production des Industries Grandes Consommatrices d'Énergie (IGCE)



#### Hypothèses d'évolutions normalisées de production des Autres Industries (AI)



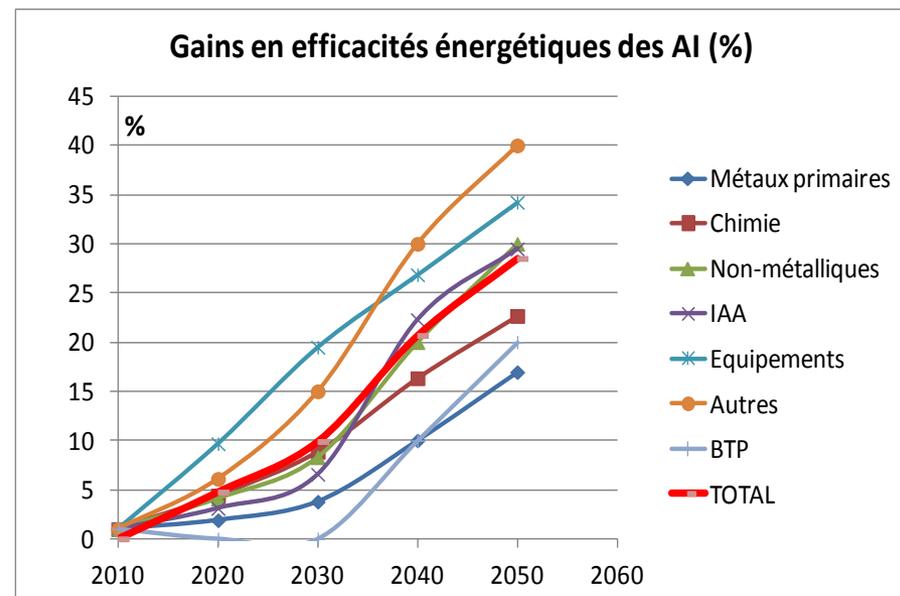
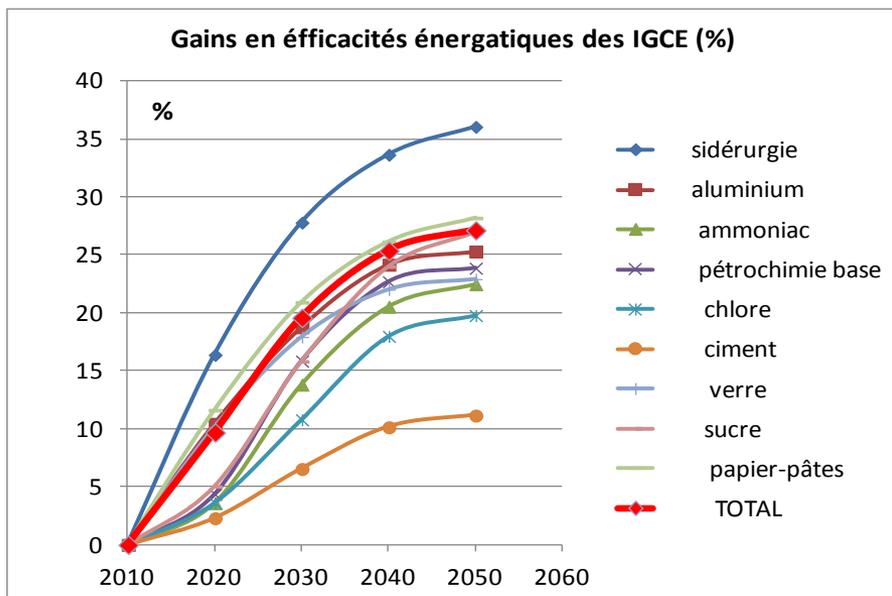
- **Les évolutions des activités** ont été définies **en cohérence avec une croissance tendancielle de 1,7%**
- Les IGCE se maintiennent ou décroissent (lien notamment avec les nouveaux matériaux dans le bâtiment)
- Les autres industries sont en croissance



#### IGCE

(Exemples scénarios SOB)

#### AI

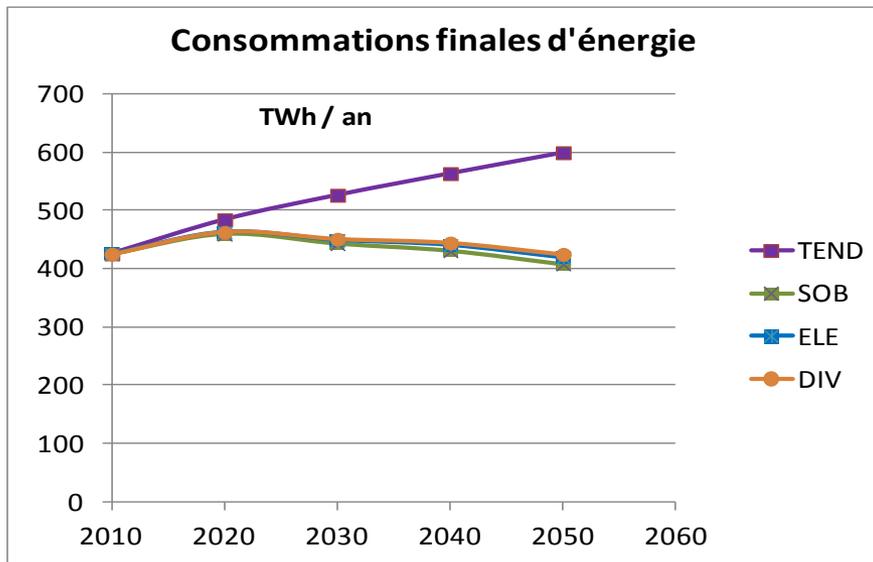


L'amélioration potentielle de l'efficacité énergétique est de 10 à 40 % selon les secteurs (enquête CEREN auprès des industriels)

L'amélioration est plus rapide pour les IGCE qui ont un intérêt économique immédiat

**SOB** : 95% du « gisement » atteint en 2050

**ELE** et **DIV** : 90% des gains atteints pour le scénario **SOB** en 2050

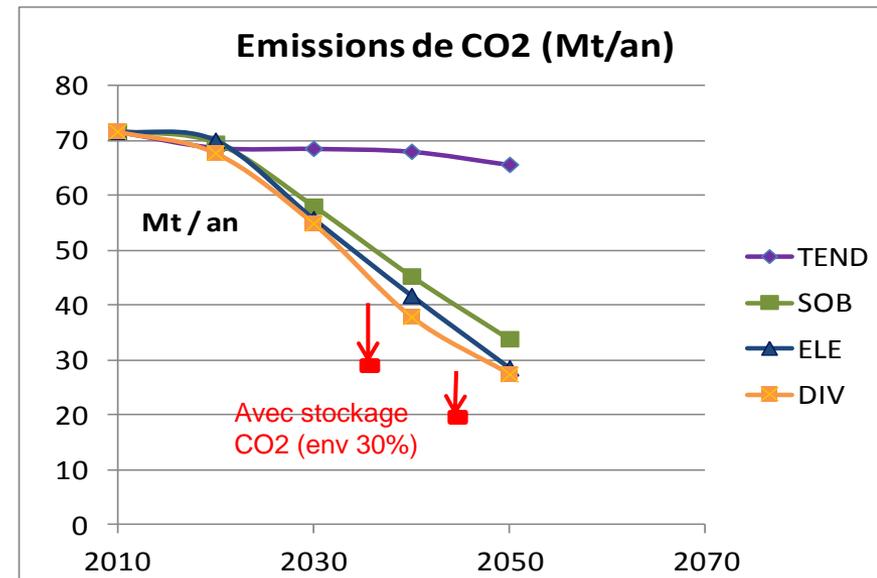


#### TEND:

- +45% de consommation d'énergie en 2050

#### SOB, ELE et DIV :

- **Consommations énergétiques stables**, pour une production industrielle sensiblement accrue.
- **Baisse de consommation des IGCE**, légère hausse pour les AI (l'efficacité énergétique compense l'augmentation activité)



#### TEND:

- légère baisse des émissions en 2050 (Mix)

#### SOB, ELE et DIV :

- en 2050, réduction des émissions de CO<sub>2</sub> d'un **facteur 3,5**,
- facteur 4 atteint avec CCS (10 Mt/an à partir de 2040).



### Réduction de la consommation des composants et des procédés

- Amélioration des **composants et/ou procédés** avec un impact crucial sur la consommation énergétique : fours, moteurs, procédés de séchage, de séparation et de production de froid...
- Amélioration des **connaissances des phénomènes** physiques et chimiques mis en œuvre, modélisation,
- Amélioration du **pilotage des installations** ce qui implique le développement de capteurs, d'actuateurs et de logiciels ou de systèmes de contrôle/commande fiables et à coûts réduits.

### Réduction et récupération des pertes énergétiques et des matériaux

- **Recyclage**, en particulier des métaux non ferreux et du verre
- Minimisation des **pertes thermiques** (isolants) ou **valorisation** en réutilisation directe (échangeurs thermiques, intégration énergétique) ou après transformation (chaleur en électricité ou en énergie mécanique par exemple),
- Développement de **composants et/ou procédés avancés** : pompes à chaleur (yc haute température), cycles thermodynamiques, thermo- ou piézo-électricité...
- Valorisation des **sources de chaleur diffuses et basse température**.

### Intégration et mutualisation énergétique

- **Intégration énergétique** pour la conception / re-conception de procédés (analyse exergétique, pincements...) : procédés, usines, mais aussi sites industriels et territoires,
- **Mutualisation de la production d'utilités**
- **Composants et/ou procédés** : vapeur/chaleur, air comprimé, H<sub>2</sub>, groupes froid, ..., à l'échelle d'une usine ou d'un site, et réseaux, capacités de stockages adaptées, interfaces entre les réseaux (électricité, chaleur, gaz).



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Production d'énergie



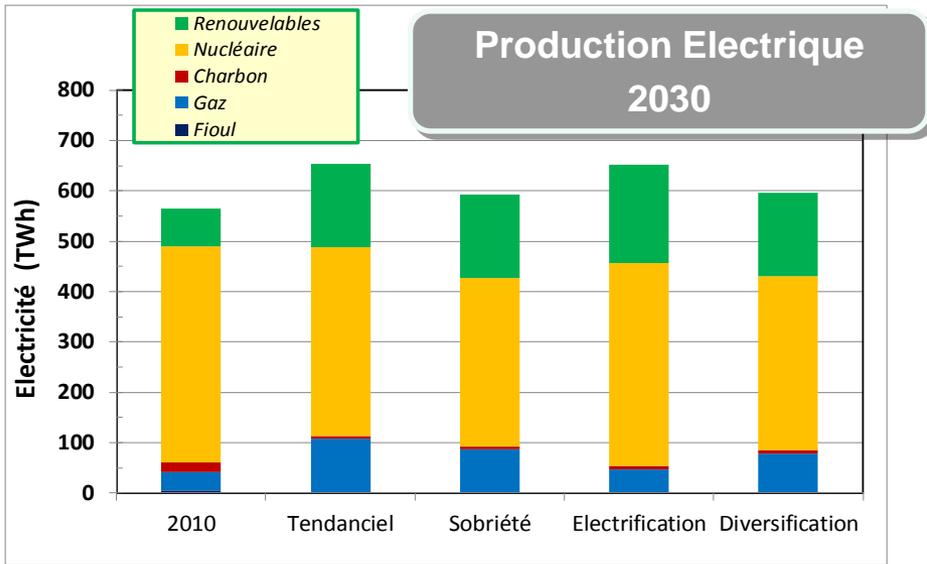
<b>Sobriété renforcée</b>	<b>Développement rapide des EnR « électriques » Nucléaire à 50% en 2025</b> Technologies de rupture : Capture et Stockage du CO <sub>2</sub> (40 Mt) et gestion de réseau pour limiter les besoins de soutien aux EnR intermittentes
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<b>Développement rapide des EnR « électriques » Nucléaire à 50% en 2025</b> Technologie de rupture : Stockage électrique de très grande capacité (60 GW, 100 TWh)
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<b>Développement rapide des EnR toutes énergies Nucléaire à 50% en 2025</b> Technologie de rupture : Développement du chauffage urbain par récupération de la chaleur des centrales électriques (200 TWh)



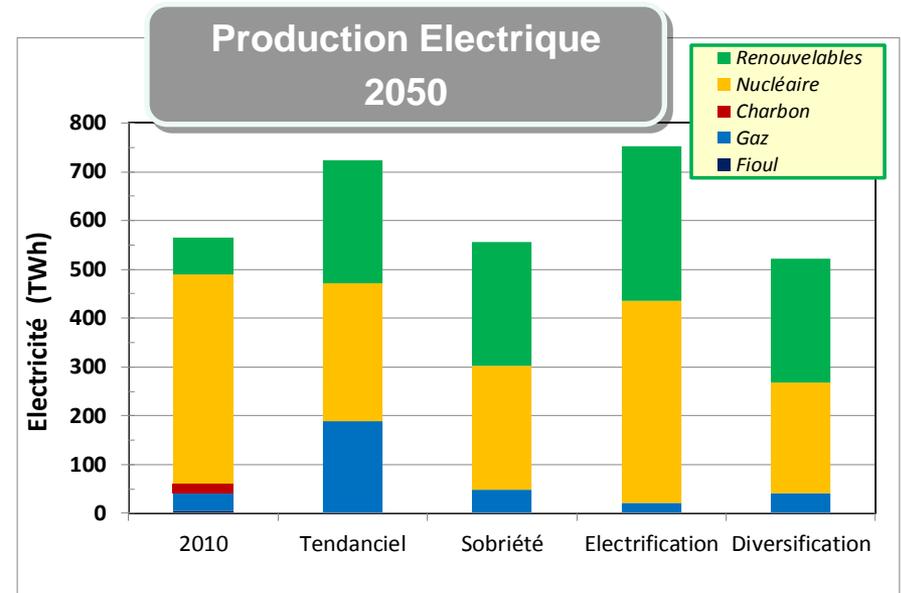
- ✓ **Baisse du nucléaire** à 50% de la production électrique dès 2025
- ✓ **Introduction de renouvelables** à un rythme très soutenu
- ✓ **Élimination progressive des centrales au fioul et charbon**
- ✓ « **Back-up** » de l'intermittence **par des centrales au gaz**
- ✓ **Prise en compte des objectifs nationaux, voire au-delà**
- ✓ **Exports d'électricité stables**

### ENR 2020: objectifs nationaux

- ✓ Eolien: **25 GW** (19 GW onshore + 6 GW offshore)
- ✓ Solaire PV: **10.6 GW** (objectif = 5.4GW)
- ✓ Energies marines: **800 MW**
- ✓ Biogaz: **0.3 Mtep**
- ✓ Géothermie: **80 MW**
- ✓ Biomasse et déchets: **1.2 Mtep**
- ✓ Solaire thermodynamique: **10% du solaire PV**



Le nucléaire restera une composante importante de la production électrique



La gestion de l'intermittence est assurée par:

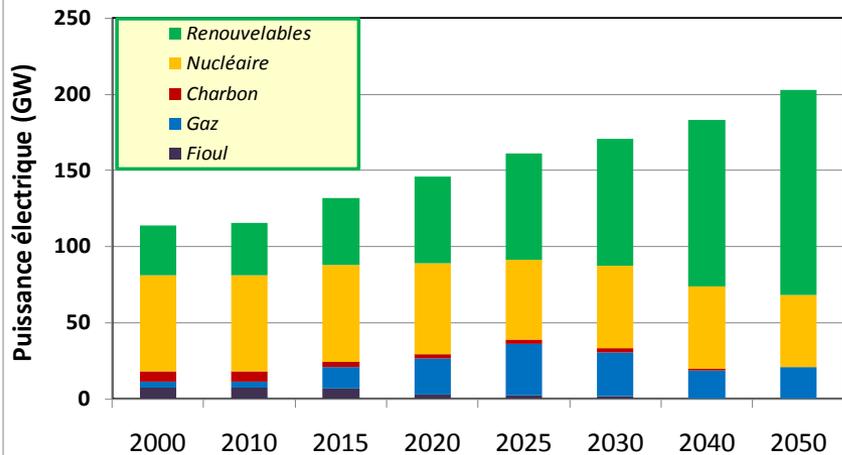
- des smart grids (SOB)
- du stockage électrique (ELEC)
- de la cogénération (DIV)

NB: la contrainte des 50% de nucléaire joue sur la consommation intérieure.

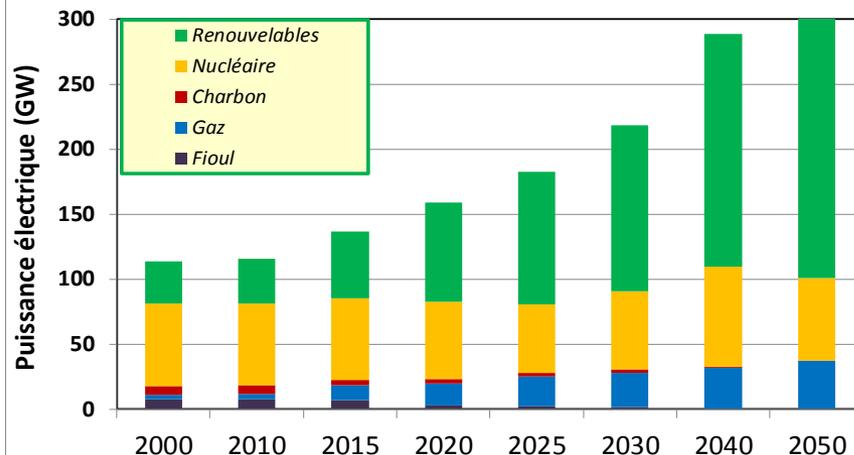


## Puissance électrique installée

### Scénario SOBRIETE - Puissance électrique installée

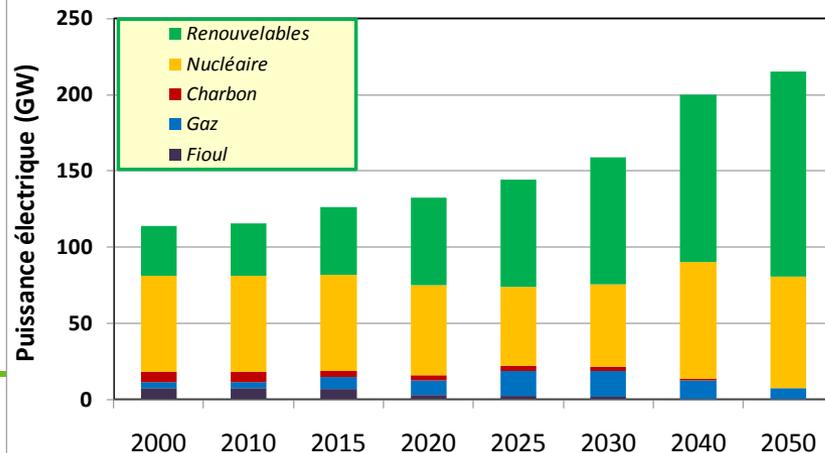


### Scénario ELECTRIFICATION - Puissance électrique installée



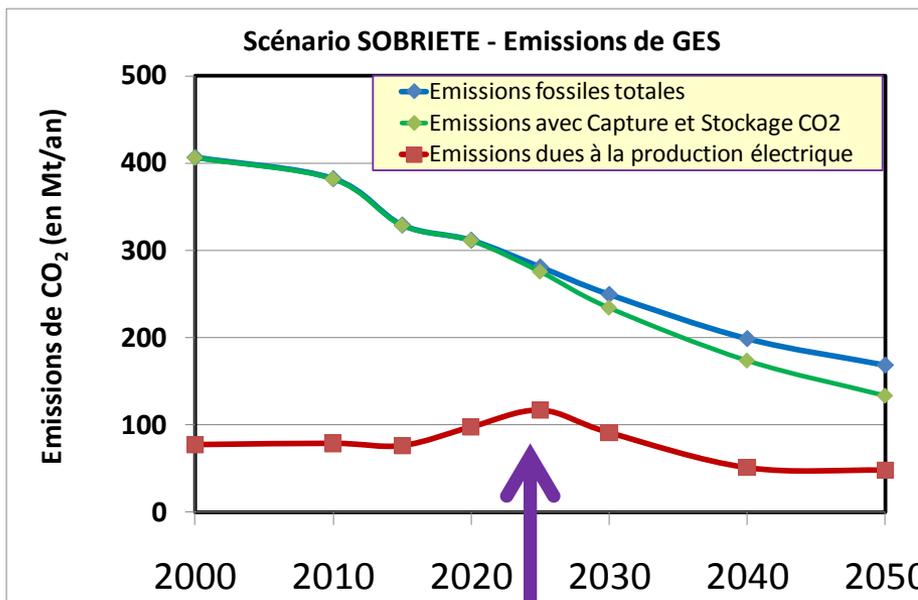
- Très forte pénétration des EnR variables (ERV)
- La puissance électrique installée est très supérieure à la pointe de puissance appelée
- La puissance nucléaire peut être transitoirement supérieure

### Scénario DIVERSIFICATION - Puissance électrique installée



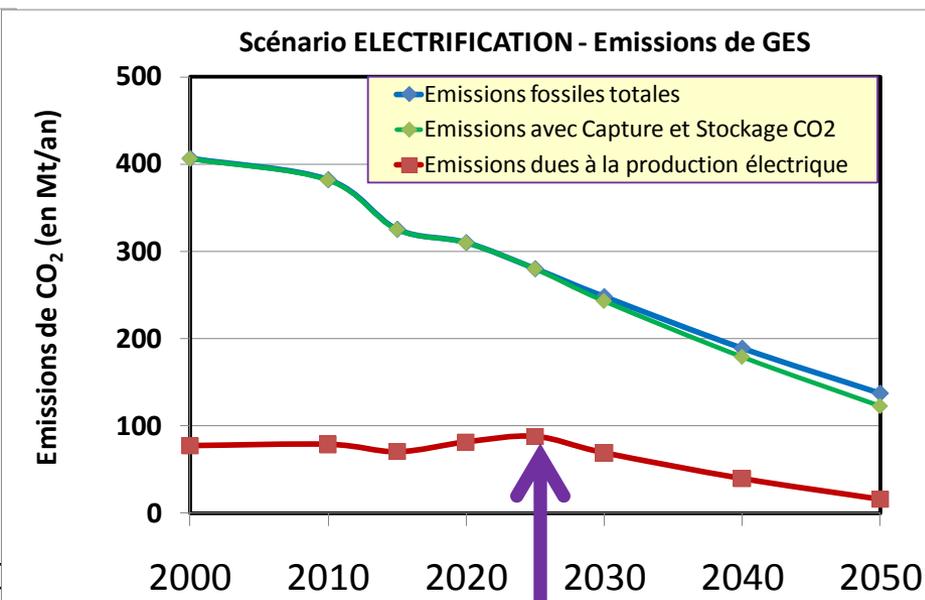


### SOB



Un accroissement des émissions de CO<sub>2</sub> de la production électrique dû à la baisse du nucléaire et au « back-up » en gaz...

### ELE



... qui pourrait être effacé par du stockage massif d'électricité... lequel reste une « technologie de rupture »  
... Ou par le relâchement de la contrainte des 50% de nucléaire



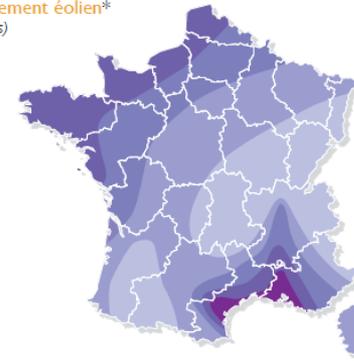
- **Prise en compte de l'introduction d'énergies intermittentes sur le réseau électrique**
  - Performances, origines et coûts des matériels (éolien, solaire...)
  - Développement, gestion et équilibrage du réseau (smart grids)
  - Stockage d'électricité de grande capacité (à définir)
  - Production interruptible de nouveaux vecteurs énergétiques
  - Suivi de charge des centrales nucléaires
- **Récupération de la chaleur fatale des centrales**
  - Développement des réseaux de chaleur
  - Optimisation de la chaleur industrielle
- **Production de vecteurs énergétiques flexibles**
  - Biomasse de 2<sup>nde</sup> génération (carburants liquides)
  - Carburants gazeux (biogaz, hydrogène, méthane)
- **Capture et stockage du CO<sub>2</sub>**

# Production d'énergie

## Impact des ENR en terme de surface

- 2050 : les surfaces mobilisées pour la production électrique éolienne et solaire sont évaluées à environ 1150km<sup>2</sup> à terre et 750km<sup>2</sup> en mer
- Ce qui représente à terre l'équivalent d'un département comme l'Essonne.

Le gisement éolien\*  
(en m/s)



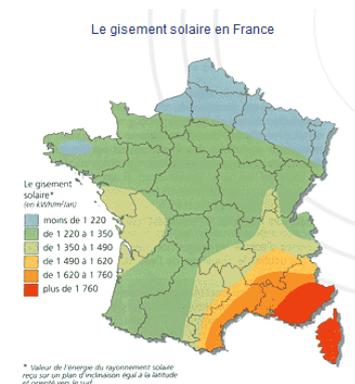
	Bocage dense, bois, banlieue	Rase campagne, obstacles épars	Prairies plates, quelques buissons	Lacs, mer	Crêtes, collines**
ZONE 1	<3.5	<3.5	<5.0	<5.5	<7.0
ZONE 2	3.5 - 4.5	4.5 - 5.5	5.0 - 6.0	5.5 - 7.0	7.0 - 8.5
ZONE 3	4.5 - 5.0	5.5 - 6.5	6.0 - 7.0	7.0 - 8.0	8.5 - 10.0
ZONE 4	5.0 - 6.0	6.5 - 7.5	7.0 - 8.5	8.0 - 9.0	10.0 - 11.5
ZONE 5	>6.0	>7.5	>8.5	>9.0	>11.5

\* Vitesse du vent à 50 mètres au dessus du sol en fonction de la topographie.  
\*\* Les zones montagneuses nécessitent une étude de gisement spécifique.

Source : ADEME

	Puissance installée (GW)	Surface associée (km <sup>2</sup> )
Solaire	45	650
Eolien On shore	50	500
Eolien Off shore	15	750

Le gisement solaire en France



\* Valeur de l'énergie du rayonnement solaire reçu sur un plan d'inclinaison égal à la latitude et orienté vers le sud.

Source : ADEME



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Biomasse



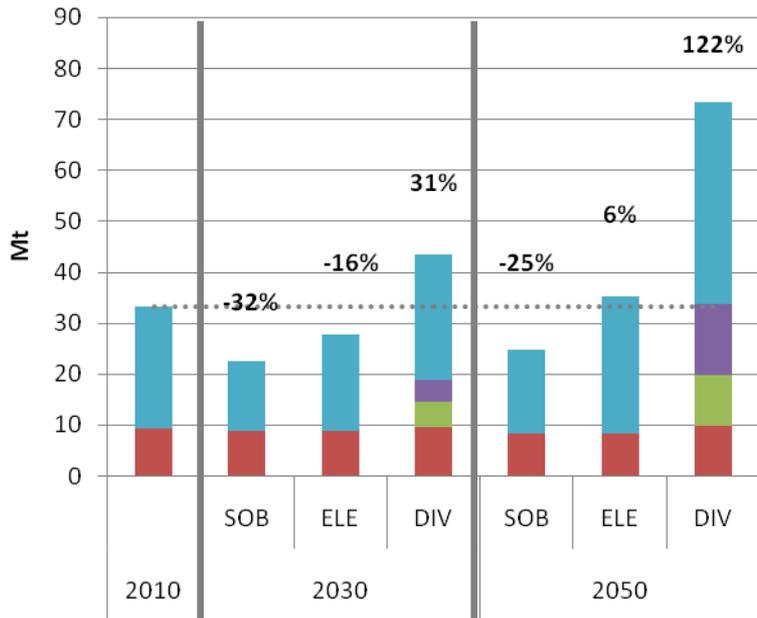
### Hypothèses technologiques clés des scénarios

<b>Base commune</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Méthanisation des déchets (4,6 Mtep de Biogaz en 2050)</b></li><li>• Résidentiel : Part de la chaleur biomasse en augmentation dans tous les scénarios</li><li>• Industrie : Structuration et développement d'une filière bois pour l'énergie</li></ul>
<b>Sobriété Renforcée</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Biocarburant : <b>Maintien des niveaux de production actuels</b> et remplacement progressif de la G1 par G2</li></ul>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Biocarburant :<ul style="list-style-type: none"><li>– Pas de recours supplémentaires aux ressources agricoles</li><li>– Développement modéré du BTL pour la production de carburant pour l'aviation et production d'électricité (capacité 10Mt en 2050)</li></ul></li><li>• Développement de la cogénération pour la <b>production d'électricité</b></li></ul>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Développement du recyclage du CO2 par <b>méthanation</b> (carburant, usage domestique...)</li><li>• Développement important du BTL et introduction du BTL allothermique du fait de la <b>contrainte sur la ressource</b></li><li>• Augmentation de la part de <b>chaleur biomasse</b> via chaudière collective</li></ul>



## Biomasse Ressources mobilisées

### Ressources agricoles et forestières pour l'énergie



#### Déchets:

2050

Mobilisation de 80% des déchets (élevage, agriculture et ordures ménagères)

100 Mt de déchets permettent de produire 4.6Mtep de biogaz

#### Ressources agricoles et forestières

- Pas de recours supplémentaire aux cultures agricoles G1

#### SOB

- 2050 : **Recours à la biomasse réduit de 25 %**
- Réduction du bois et maintien des cultures agricoles

#### ELE

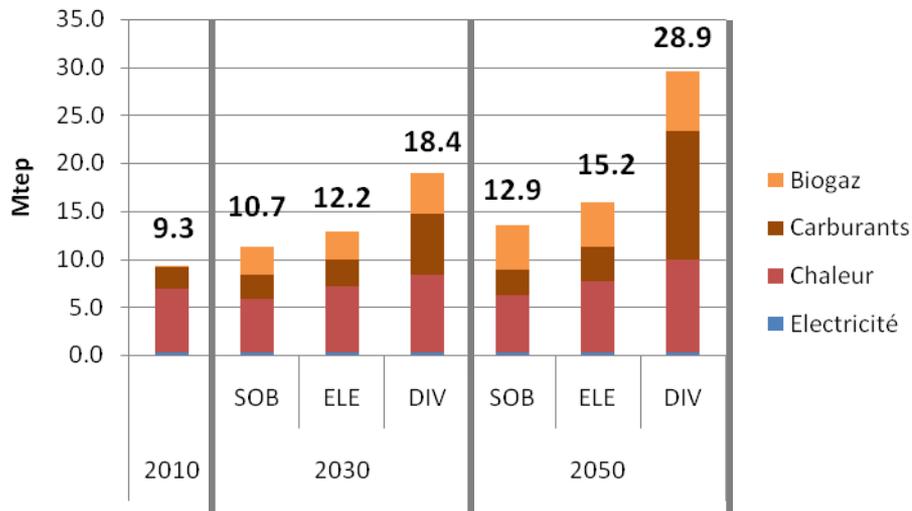
- 2050 : **Maintien du recours à la biomasse**  
(usage du bois : déplacement de la chaleur vers les carburants G2)

#### DIV

- 2050 : **Recours à la biomasse x 2**
- **Besoin de 2,2 Mha supplémentaires**  
(soit 12% des terres arables, 8% des surfaces agricoles utiles)
  - Développement important de la filière bois énergie
  - Développement massif de cultures dédiées à l'énergie et des TCR ou TTCR

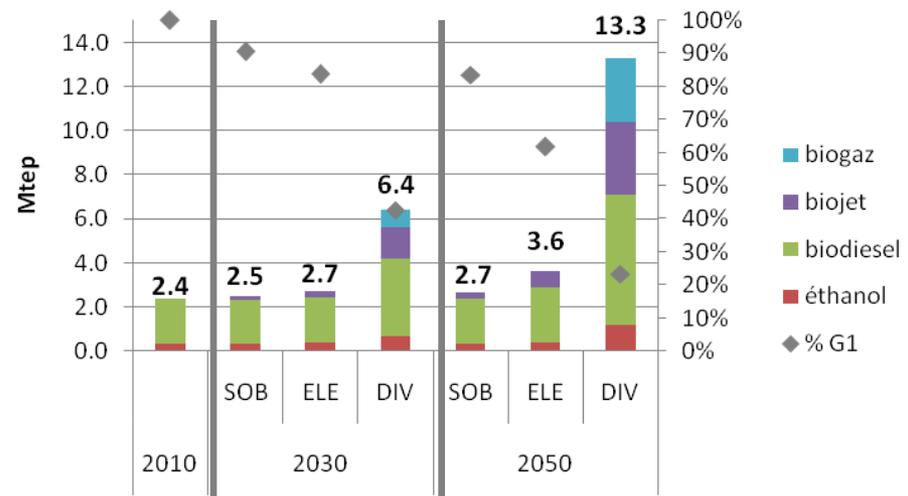


## Production de Bio-énergie



- **SOB, ELE et DIV** : Bio-énergie en croissance
- **SOB, ELE** : Le biogaz issu de déchets est la source de croissance
- **DIV** : multiplication par 3 des bioénergies (carburant x6, chaleur x 1,5)

## Production de biocarburants



- **SOB et ELE** : L'efficacité énergétique des transports permet d'atteindre des taux d'incorporation de **20% énergie dans les carburants routier**
- **DIV** : Le développement massif des biocarburants permet d'atteindre **40% énergie dans les carburants routiers**



### Ruptures nécessaires à la réalisation des scénarios

<b>Base commune</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Structuration de la filière de valorisation des déchets</b> (élevage, agriculture et ordures ménagères) en <b>biogaz</b></li></ul>
<b>Sobriété Renforcée</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Développement des chaudières biomasse collectives</li></ul>
<b>Décarbonisation par l'électricité</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Structuration de la filière cogénération</li><li>• Développement et <b>réduction des coûts des technologies BTL</b></li></ul>
<b>Vecteurs diversifiés</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Structuration d'une filière de valorisation importante de la biomasse lignocellulosique.</b></li><li>• Développement et <b>réduction des coûts de la gazeification et de la méthanation.</b></li><li>• Développement et <b>réduction des coûts des technologies BTL et éthanol G2</b></li></ul>



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

# Scénarios ANCRE

-

## Quels enseignements?



ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

Abstraction faite à ce stade de toutes considérations économiques, l'atteinte du facteur 4 est techniquement possible avec des stratégies diversifiées, mais au prix d'efforts très soutenus

Dans chaque scénario, des **modifications importantes de comportements** et le **déploiement massif de technologies nouvelles**, en supposant leur **faisabilité économique et sociétale**, permettent **d'approcher le facteur 4**.

Pour chaque scénario, il est nécessaire de mettre en œuvre au moins une **technologie de rupture pour atteindre le « facteur 4 »**

Les dynamiques du recours aux technologies nouvelles sont différentes selon les secteurs et les natures des technologies. A l'exception de certaines EnR et des STICs, **les nouvelles technologies ne peuvent jouer un rôle majeur qu'à partir de 2025-2030**

Il importe cependant de les développer sans tarder par **un effort soutenu de R&D mené au plan national et européen**



# ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

## Des verrous technologiques et organisationnels nombreux sur la route du facteur 4

Déployer ces nouvelles technologies nécessitera de lever de **nombreux verrous technologiques** que l'alliance ANCRE a identifiés dans son rapport publié fin 2012

*Stockage statique centralisé et décentralisé de l'électricité*

*Hybridation des réseaux électricité-gaz-chaleur*

*Mise en œuvre de sites industriels intégrés*

*Optimisation et mobilisation des ressources en biomasse*

*Capture, séquestration ou recyclage du CO2*

*Développement du chauffage urbain nucléaire, d'origine géothermique...*

*Véhicules à moteur thermique à 2 l/100km,*

*Diffusion des véhicules électriques ou à hydrogène, généralisation du stockage embarqué de l'électricité*

*Production d'hydrogène bas carbone (EnR, nucléaire)*

*Pompes à chaleurs haute et très haute température,*

*Eolien offshore flottant,*

...



Consulter le rapport en [cliquant ici](http://www.allianceenergie.fr/page000100dc.asp?card=902) ou l'actualité liée à l'adresse suivante : <http://www.allianceenergie.fr/page000100dc.asp?card=902>



# ANCRE

Alliance Nationale de Coordination de la Recherche pour l'Énergie

## Les scénarios de l'ANCRE informent le débat en cours sur plusieurs registres (1/2)

### (i) Le registre de la **vision mobilisatrice** :

- Des objectifs ambitieux sont possibles
- Les potentiels des différents secteurs sont contrastés :  
priorité aux actions dans les transports et le résidentiel tertiaire
- L'ensemble des acteurs doivent se mobiliser de manière coordonnée



### (ii) Le registre des **indices de faisabilité** et de performance:

- La faisabilité des scénarios étudiés est jugée très ambitieuse
- Tous les scénarios nécessitent le recours à des « technologies de rupture »
- Pour mettre en œuvre des techniques avancées, des prix élevés de l'énergie seront nécessaires, avec des impacts sociaux à limiter par des mesures adéquates
- L'emploi national en sortira renforcé si les techniques utilisées sont développées nationalement



### (iii) Le registre des **actions à entreprendre**:

- Développer les politiques sur la base de nos atouts actuels:
  - Très fort dynamisme des parties prenantes, surtout au plan territorial
  - Faible niveau d'émission du secteur électrique
  - Maintien d'une industrie forte dans certains secteurs : automobile, aéronautique, nucléaire, STICs...
- Mettre en place les outils économiques adéquats, en particulier dans le domaine des transports et du résidentiel,
- Renforcer l'effort de R&D dans le domaine de l'énergie et mieux la coordonner au plan européen,
- Cibler des actions de R&D de moyen à long terme sur des « technologies de rupture », sans se limiter aux choix faits dans le cadre de ces scénarios, après une analyse précise des choix français,
- Renforcer les projets de démonstrateurs au plan des territoires, réseaux locaux, mais aussi industrie (PME et IGCE), en interaction avec les population et les organisations locales,
- Formaliser un pilotage des décisions étape par étape, en fonction des résultats atteints et du contexte.

- **Ce qui reste à faire:**

- Bilans multicritères en intégrant la dimension économique
- Réexamen des hypothèses croisées économiques et technologiques (demande, offre –dont notamment la part de l'électricité nucléaire à 50% en 2025, intégration...)
- Présentations et discussions contradictoires des travaux menés



- **Rapport complet attendu pour octobre**

- A terme: **proposition de pérennisation d'une compétence de prospective technologique et mix énergétiques**, à coordonner avec les structures existantes, en appui à la formalisation de la stratégie nationale dans le domaine de la recherche