

Un mix de gaz 100% renouvelable en France en 2050 ?

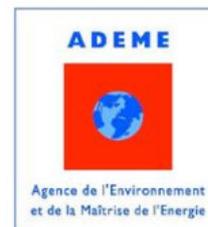
Etude de faisabilité technico-économique

Christian Couturier, Simon Métivier
SOLAGRO

Réalisation



Commanditaires



1. Scénario de cadrage énergétique



2. Scénario de cadrage agriculture foret

3. Etude mix 100 % gaz renouvelable



4. Focus méthanisation

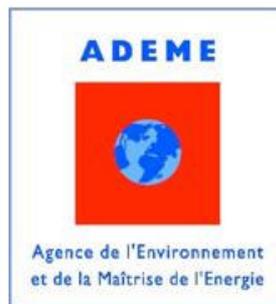
5. Focus gazéification

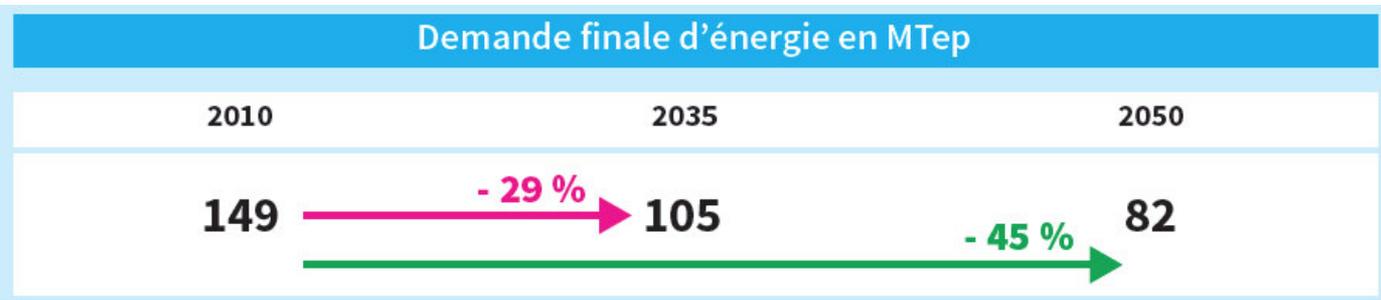
6. Focus Power to gas

7. Synthèse et recommandations

1^{ère} partie

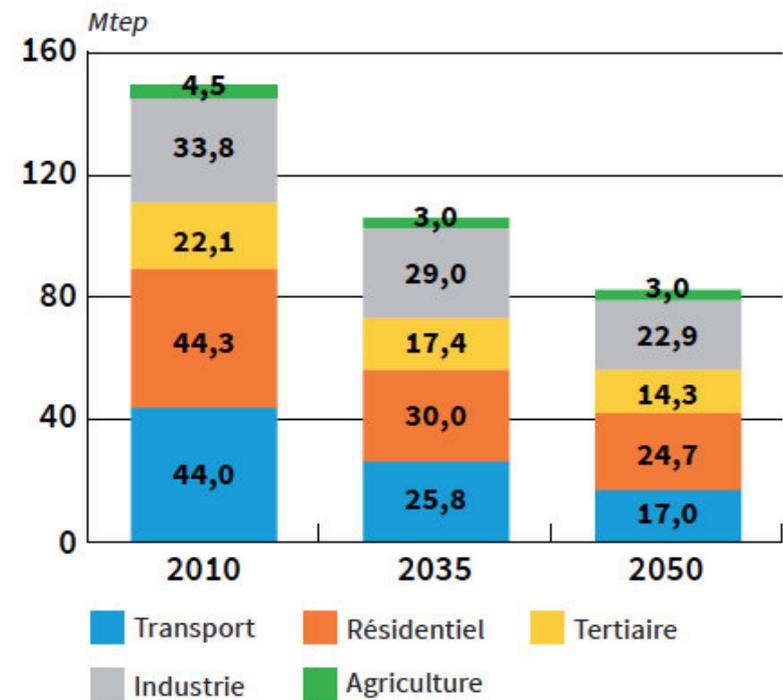
Scénarios énergétiques de cadrage



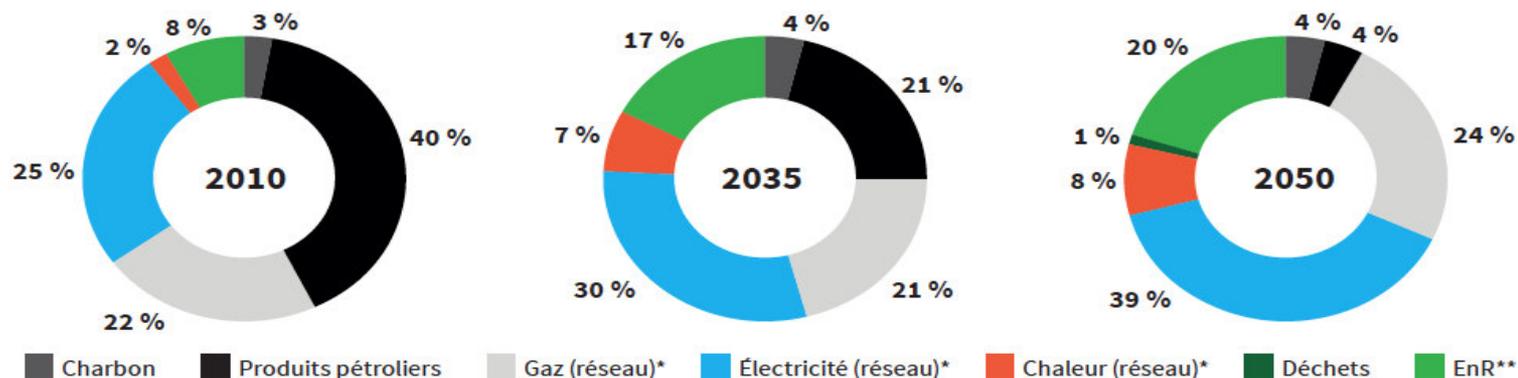


BILAN DES CONSOMMATIONS FINALES D'ÉNERGIE PAR SECTEUR EN 2010, 2035 ET 2050

<i>Unités: Mtep / %</i>	2010		2035		2050	
Transport	44,0	30 %	25,8	25 %	17,0	21 %
Résidentiel	44,3	30 %	30,0	28 %	24,7	30 %
Tertiaire	22,1	15 %	17,4	17 %	14,3	17 %
Industrie	33,8	23 %	29,0	28 %	22,9	28 %
Agriculture	4,5	3 %	3,0	3 %	3,0	4 %
Total	148,7		105,1		81,8	



CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE TOTALE EN 2010, 2035 ET 2050, PAR FORME D'ÉNERGIE



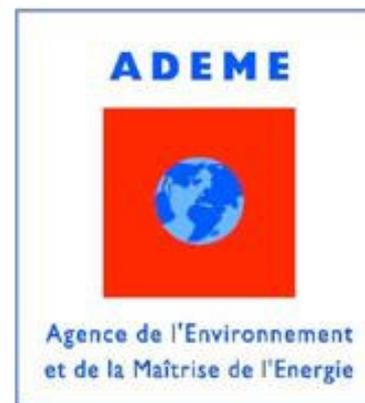
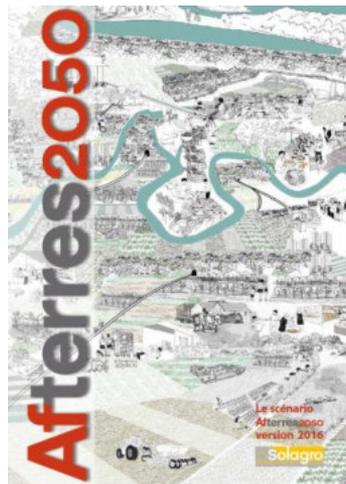
Unités : Mtep / %	2010		2035		2050	
Charbon	5,1	3 %	4,6	4 %	3,5	4 %
Produits pétroliers	59,3	40 %	21,6	21 %	3,6	4 %
Gaz (réseau)	31,5	22 %	21,5	21 %	20,0	24 %
Électricité (réseau)	37,3	25 %	31,9	30 %	31,8	39 %
Chaleur (réseau)	3,0	2 %	7,0	7 %	6,2	8 %
Déchets	0,2	0 %	0,5	0 %	0,6	1 %
EnR**	12,3	8 %	18,2	17 %	16,0	20 %
Total	148,7		105,1		81,8	

* Une partie de l'énergie délivrée par ces réseaux est également renouvelable, cf. page 35.

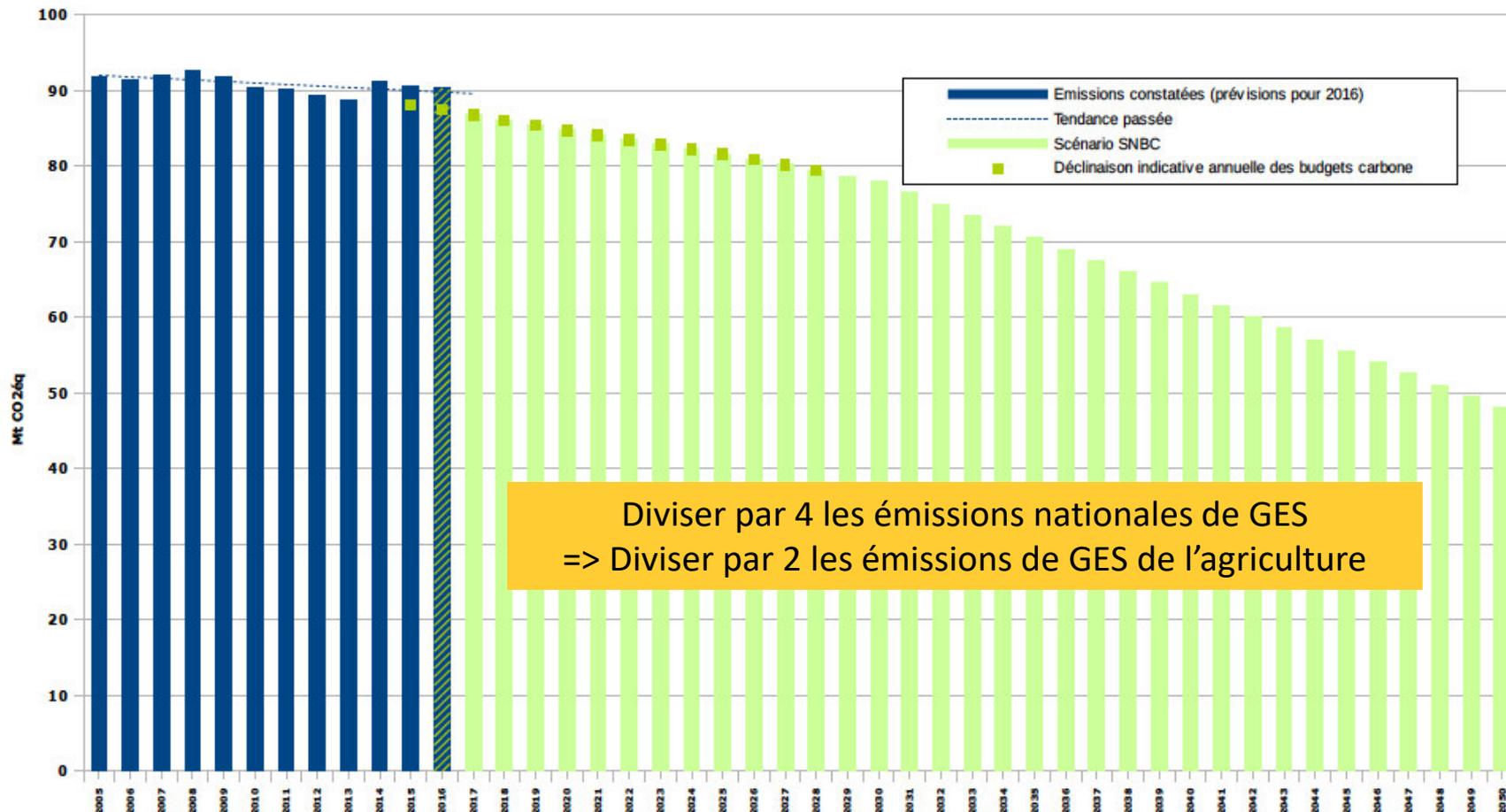
** Inclut les usages directs suivants : biogaz, bois énergie, solaire thermique, pompes à chaleur PAC et CET, biocarburants liquides.

2^{ème} partie

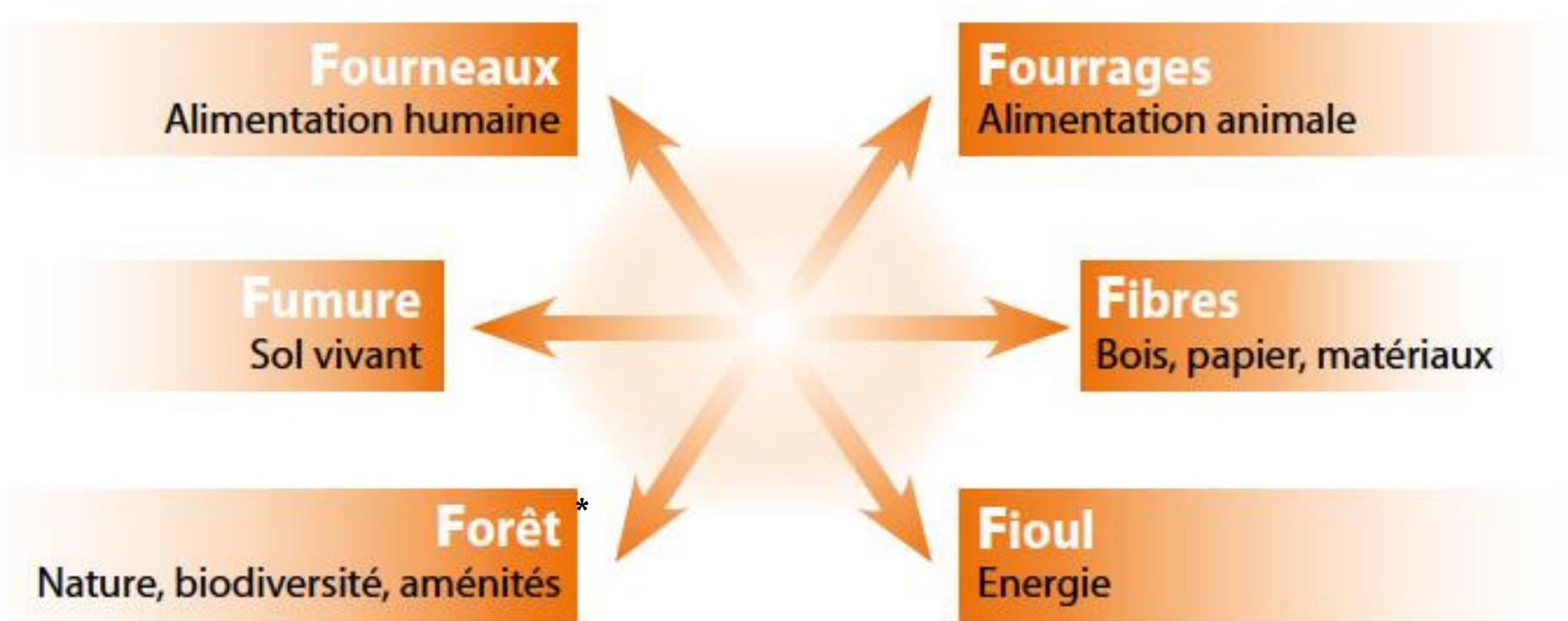
Scénarios agriculture (cadrage)



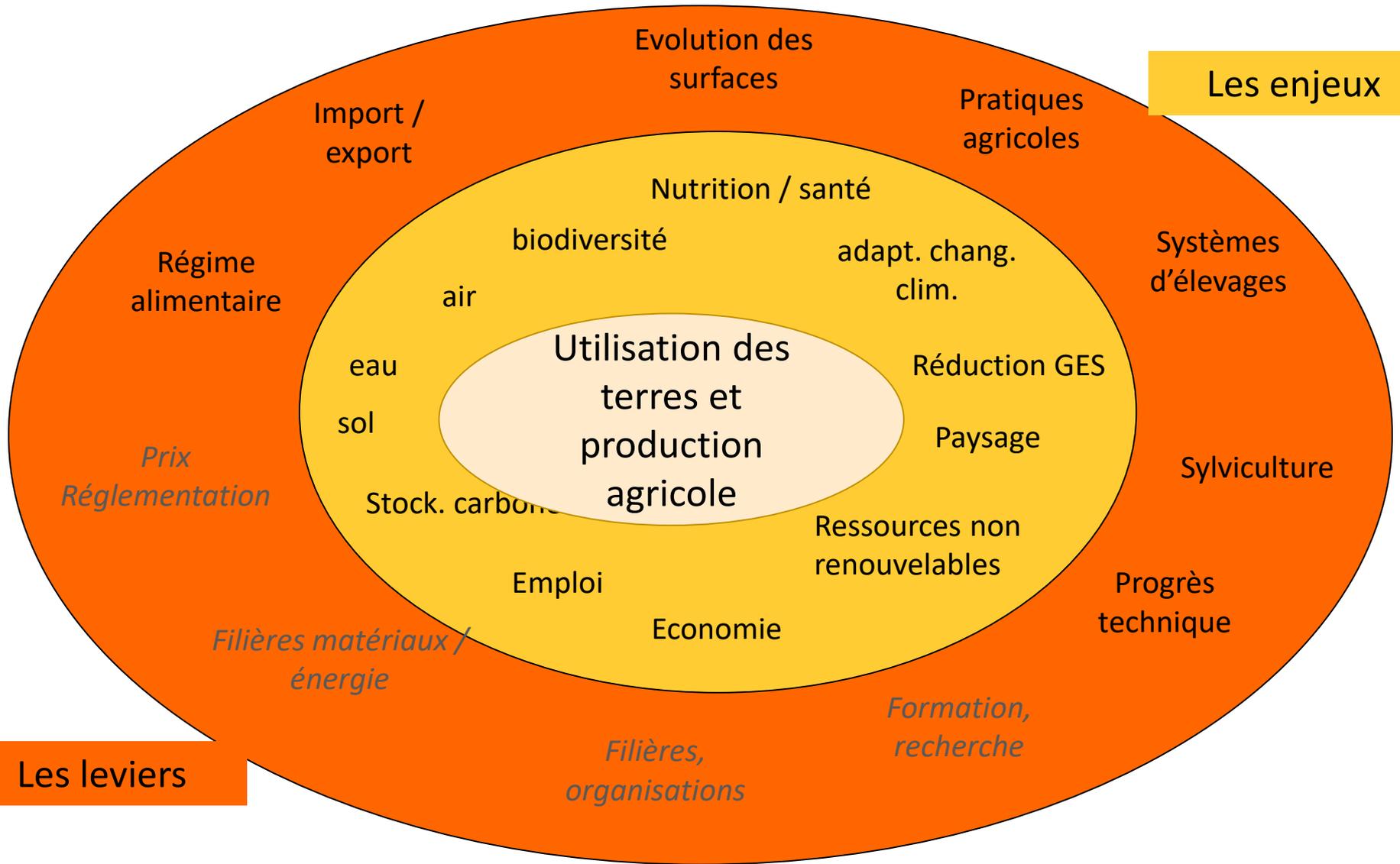
Evolution des émissions de gaz à effet de serre dans le secteur "agriculture" et objectifs SNBC



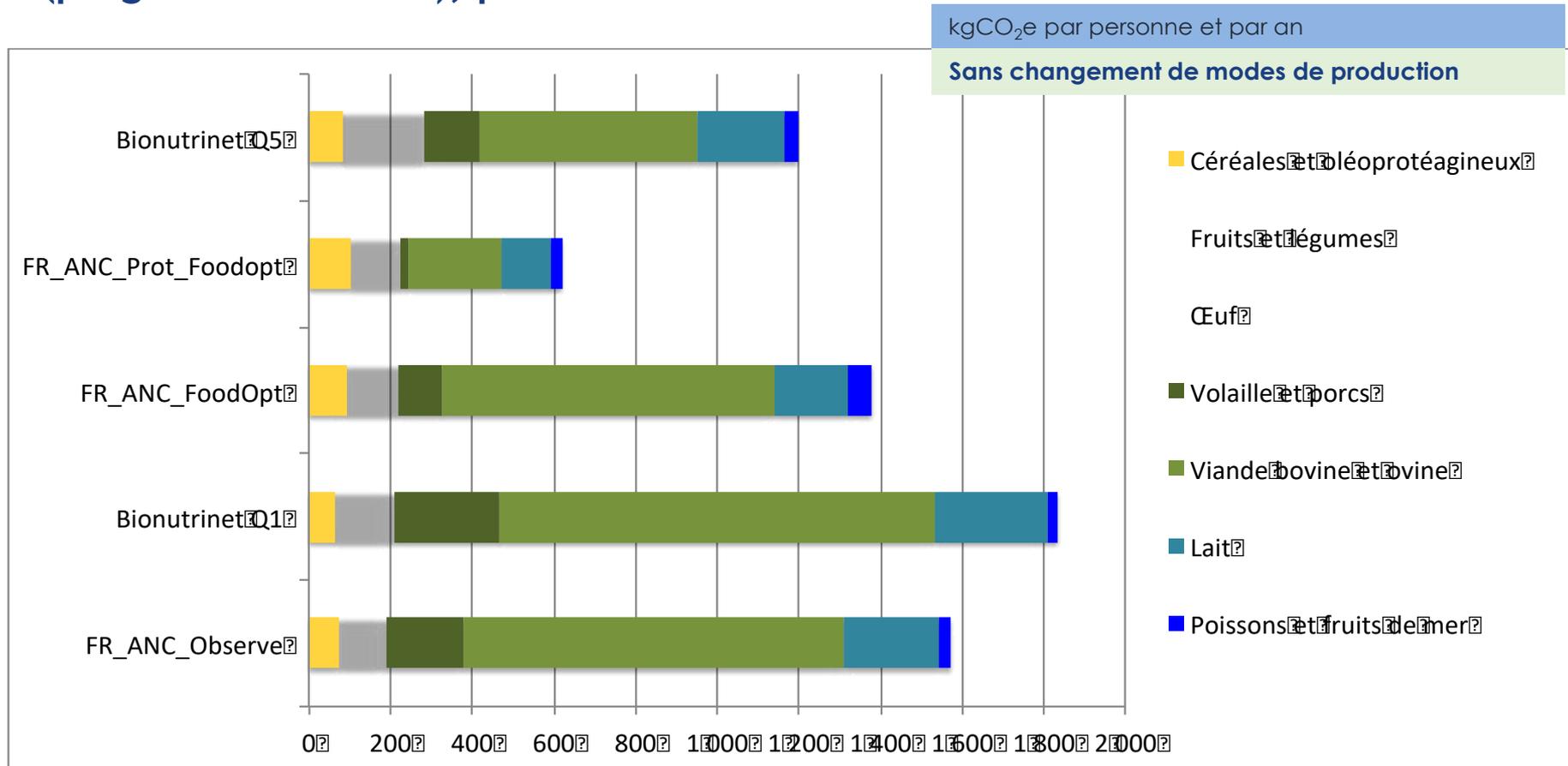
Diviser par 4 les émissions nationales de GES
=> Diviser par 2 les émissions de GES de l'agriculture



* *Foresta* (VII^e Siècle) : « territoire soustrait à l'usage général » ; « terrain sur lequel on a prononcé un ban, une proscription de culture, d'habitation »



- Simulations (optimisation nutritionnelle et environnementale) : facteur 1,15 avec FoodOpt (proche Bionutrinet Q5) et facteur 2,5 avec Prot-Food_Opt (programme MEDINA), proche de l'assiette WWF





CULTURES ASSOCIÉES



LUTTE BIOLOGIQUE



AGRO FORESTERIE



AUTONOMIE PROTÉIQUE



PÂTURAGE TOURNANT



ROTATION INTÉGRANT DES LÉGUMINEUSES



COUVERTS VÉGÉTAUX



TECHNIQUES CULTURALES SIMPLIFIÉES



SEMIS DIRECT SOUS COUVERTURE VÉGÉTALE



PRÉS-VERGER



SEMENCE PAYSANNE



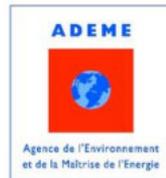
orsaé
orez l'agroécologie



Solagro

3^{ème} partie

L'étude 100 % gaz renouvelable



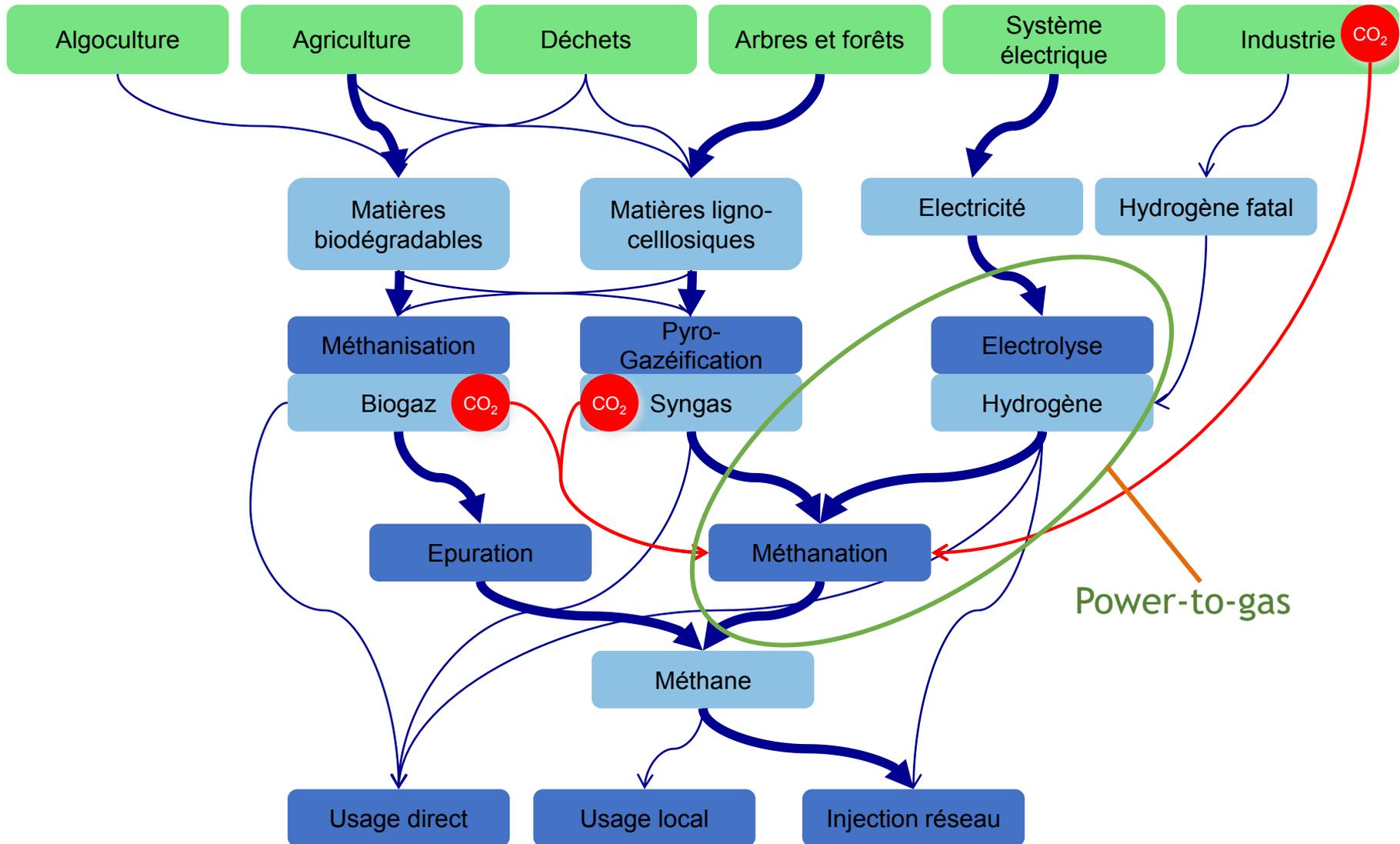
- **Objectifs**

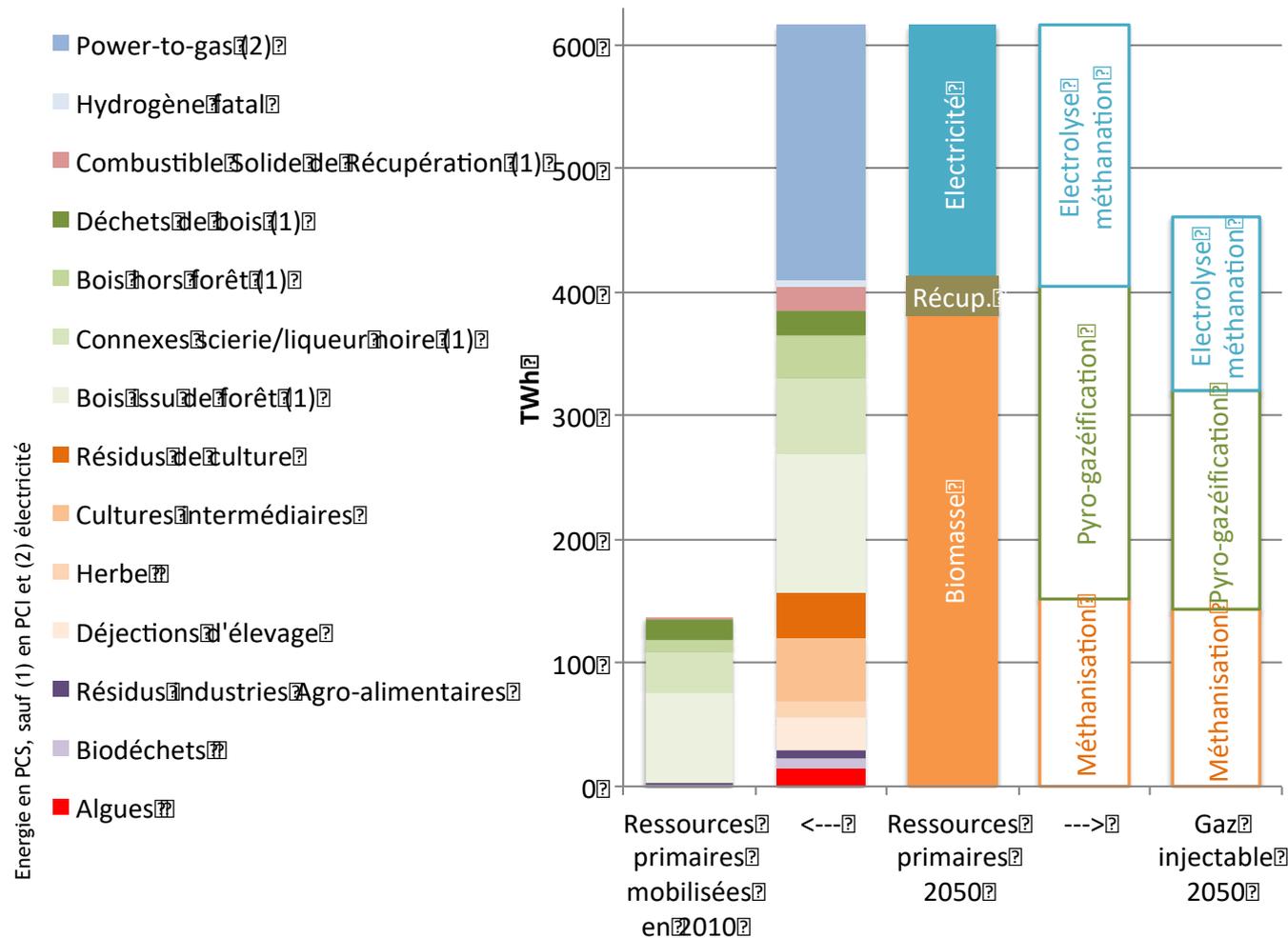
Analyser les conditions de faisabilité technico-économiques d'un système gazier français basé à 100% sur les énergies renouvelables

- Avec quels types de gaz est-ce possible?
- Quelles évolutions du réseau sont nécessaires?
- Quel est l'impact sur le coût moyen du gaz délivré?
- Premières observations sur les conditions de réalisation de ce système

→ **Périmètre**

- France métropolitaine - Pas d'imports de ressources
- Focalisé sur gaz de réseau (n'explore pas les usages hors réseau, ou via des réseaux tierces : ex H2)
- Pas d'optimisation du système énergétique globale / Pas de trajectoire





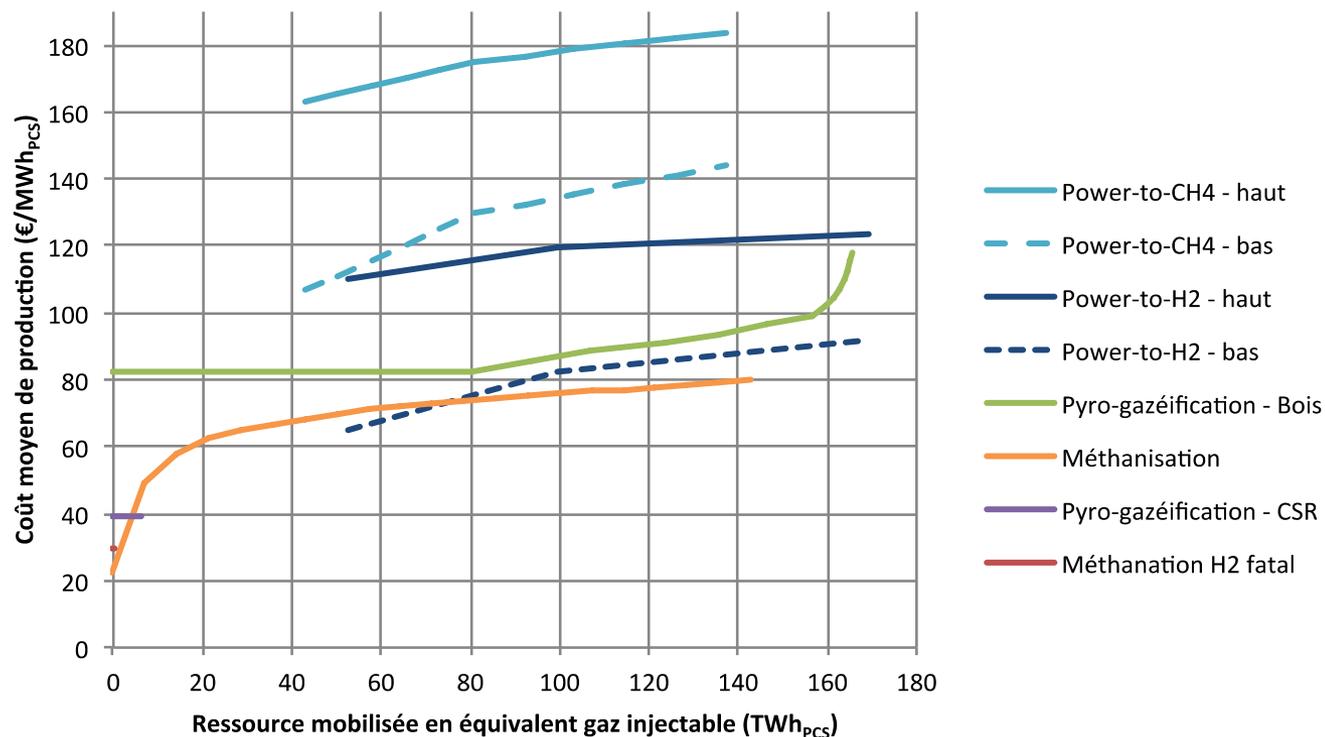
- Ressources 620 TWh :
- Agricole : 130 TWh_{PCS}
- Bois énergie : 230 TWh_{PCI}
- Biodéchets+IAA : 15 TWh_{PCS}
- Algues : 14 TWh_{PCS}
- CSR : 20 TWh_{PCI}
- H2 fatal : 0,3 TWh_{PCS}
- Power-to-gas : 210 TWh

- Potentiel injectable 460 TWh_{PCS}
- 140 TWh_{PCS} par méthanisation
- 180 TWh_{PCS} par pyro-gazéification
- 140 TWh_{PCS} par power-to-gas

Ne prend pas en compte l'utilisation des mêmes ressources pour d'autres usages que le gaz injectable

Nom	Description
100% EnR&R	<p>Scénario le plus proche du scénario énergie-climat ADEME 2035-2050</p> <ul style="list-style-type: none"> - Substitution d'une partie de la cogénération biogaz et bois
100% EnR&R avec pyrogazéification haute	<p>Vecteur gaz est renforcé :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cogénération biogaz en partie substituée - Cogénération bois supprimée au profit de la gazéification/injection - Réseau de chaleur bois supprimé au profit de la gazéification/injection
100% EnR&R avec biomasse limitée pour usage gaz	<p>Identique « 100% EnR&R » + limitation des ressources méthanisables et bois à 80% de leur potentiel, en raison de :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Difficulté de mobilisation de la ressource biomasse (impacts environnementaux ou acceptabilité sociale sous-estimés...) - Et/ou difficulté technologique sur les filières les moins matures (ex : gazéification/injection)
75% EnR&R	<p>Identique « 100% EnR&R » + le gaz naturel est encore présent et représente 25% de la consommation.</p>

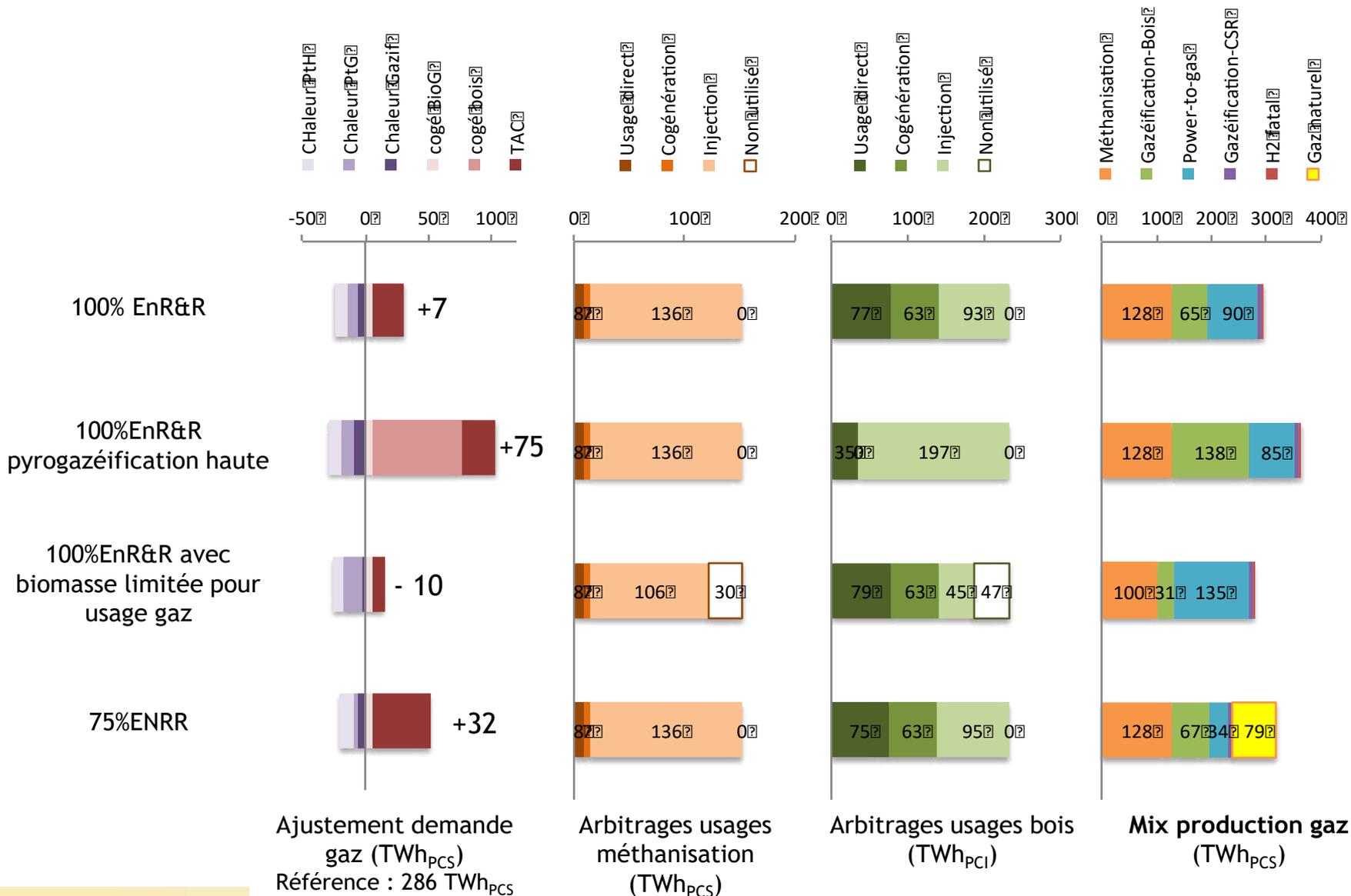
- Méthanisation $\leq 80\text{ €/MWh}$
- Pyrogazéification entre 80 et 120 €/MWh (sauf CSR à 40 €/MWh)
- Power-to-gas entre 65 à 185 /MWh
 - 65-125 €/MWh PtH2
 - 105-185 €/MWh PtCH4



Notes :

- Pour les filières de méthanisation et de pyrogazéification-bois, les coûts de production dépendent du niveau de mobilisation globale des ressources en biomasses, qui inclut les ressources mobilisées pour d'autres usages que la production de gaz injectable (combustion).

- LCOE avec taux actualisation 5%



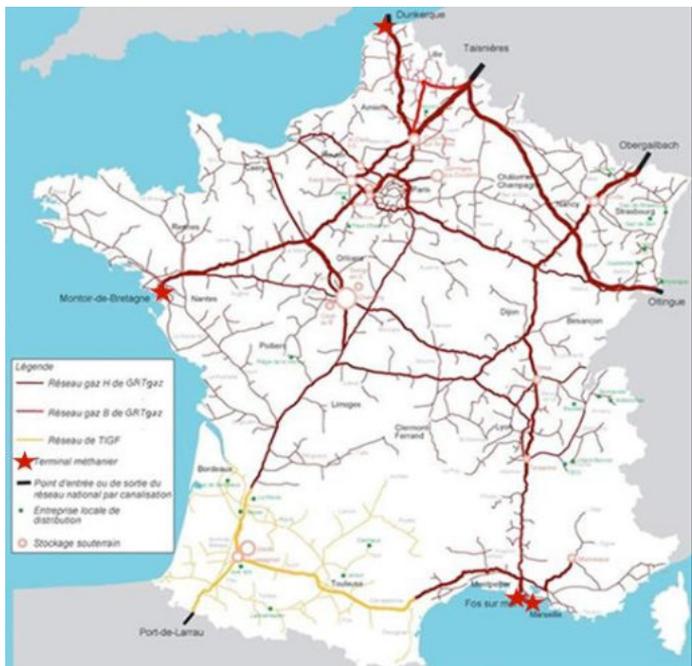
Réseau actuel :

• Infrastructure composée de :

- Points d'entrée de gaz : gazoduc ou terminaux méthanier (<10)
- Réseau de transport (40-70 bar) / réseau de distribution (16-0,4 bar)
- Stockages souterrains (16 stockages = 132 TWh)

• Fonctionnement :

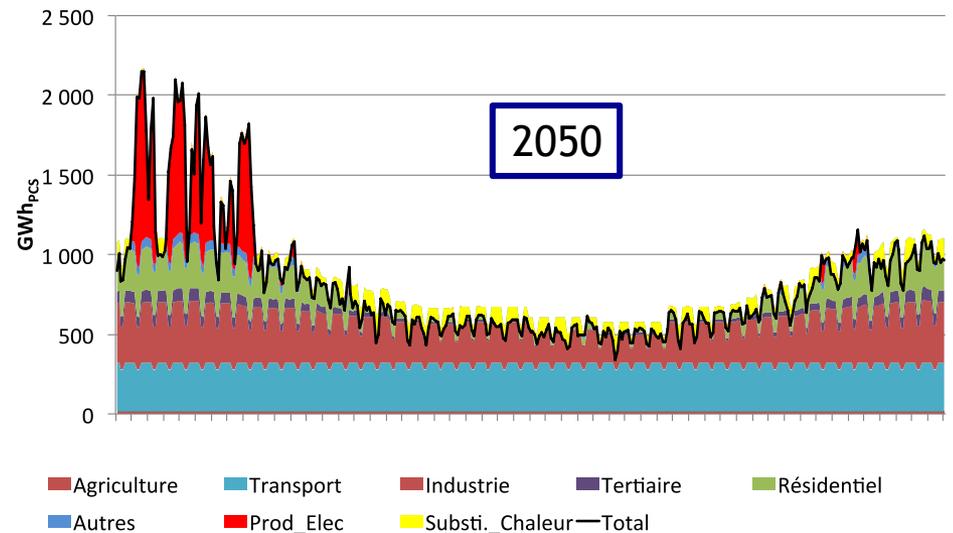
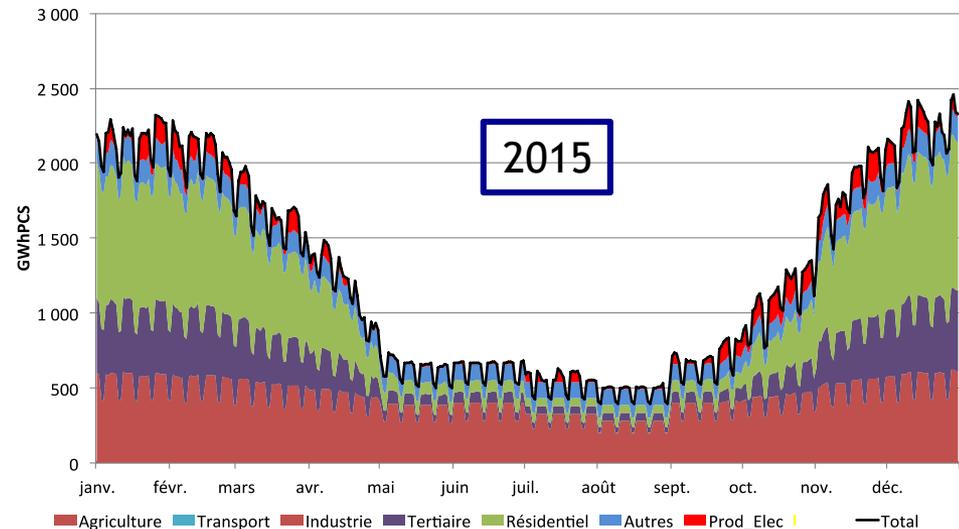
- Type « écoulement gravitaire » : de la haute pression (points d'entrée / Stockage) vers la basse pression

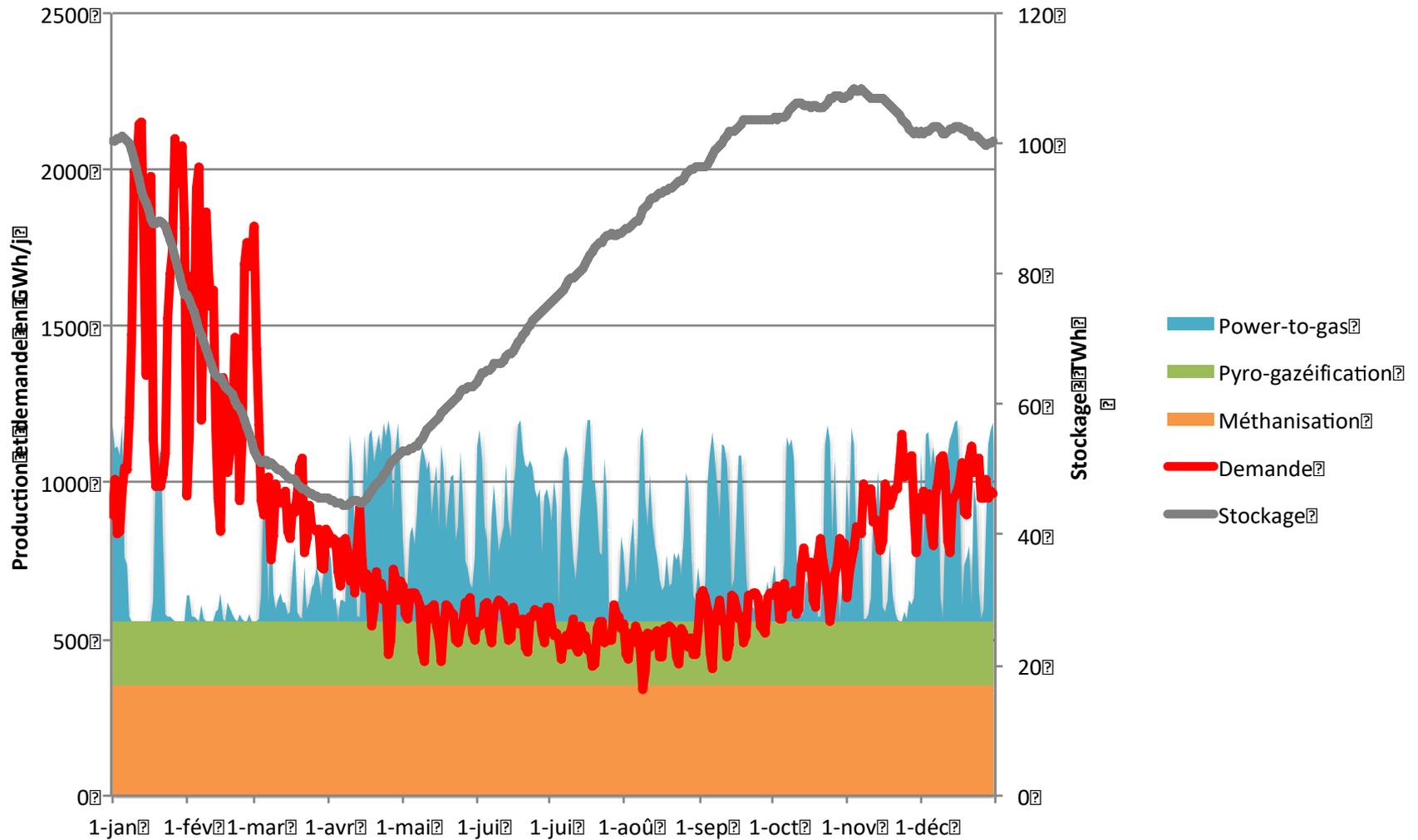


Passage au 100% gaz ENRR, 2 principaux enjeux :

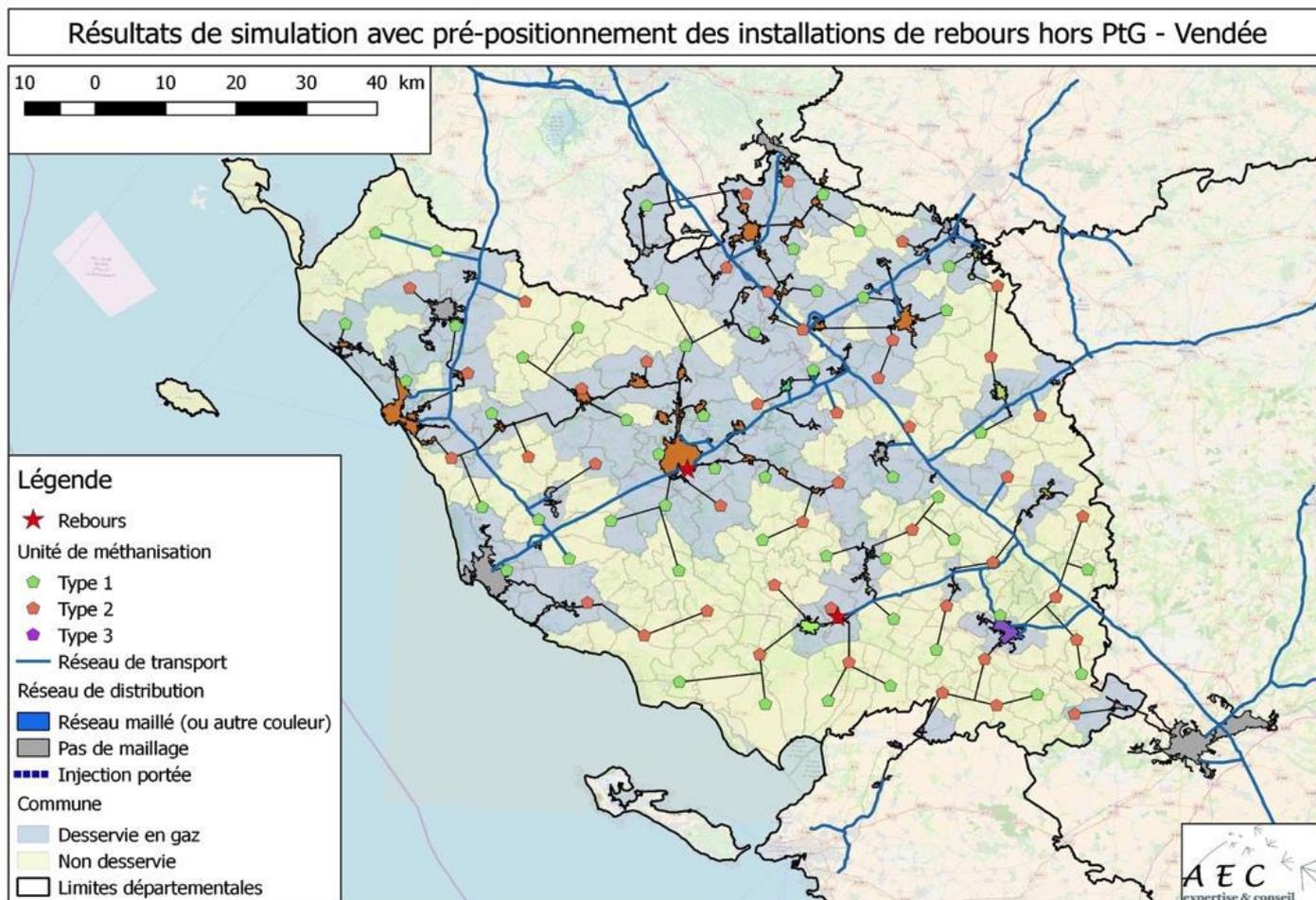
- Raccordement de la ressource (méthanisation, gazéification, power-to-gas)
=> env. 8 000 unités de production
- Equilibrage offre-demande :
 - Temporel
 - Géographique

- Forte baisse de la demande en hiver
- En été, la baisse des usages traditionnels est compensée par le nouvel usage « gaz carburant »
- La demande gaz reste importante (dépend des scénarios) pour la production électrique avec des puissances d'appel plus élevées et plus concentrées qu'aujourd'hui





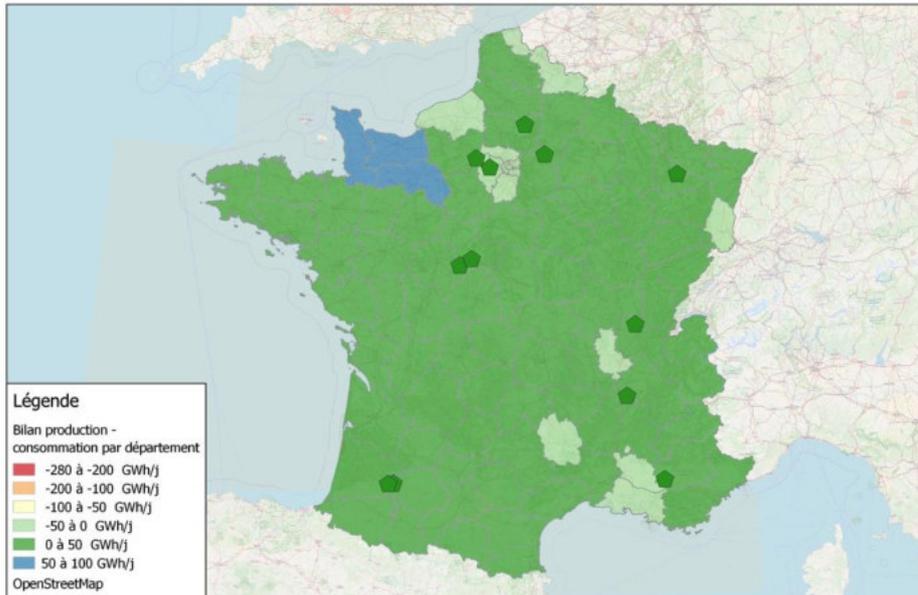
Intérêt de la planification du développement des réseaux avec mutualisation des coûts de développement (S3REnR gaziers)



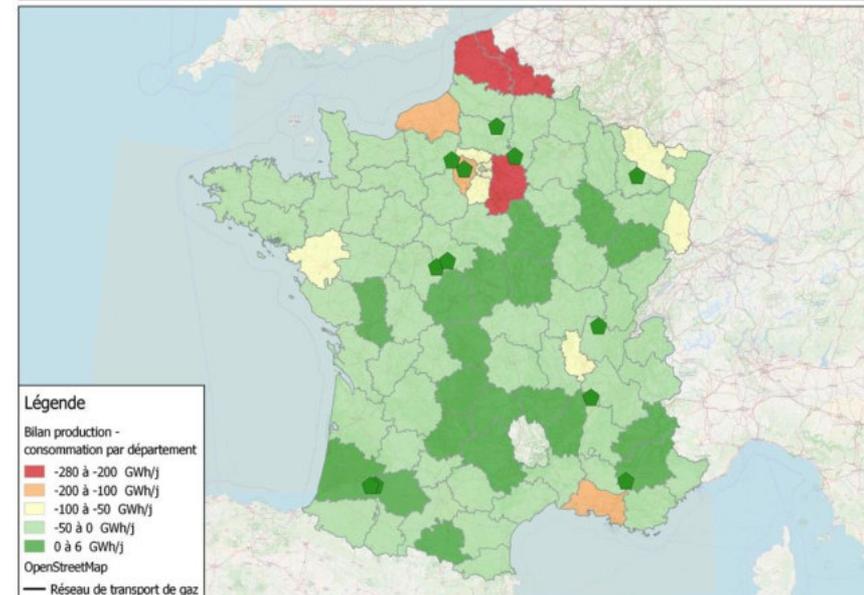
- Au national :
 - Pics de consommation semblables aux pics actuels (localisation et volume)
 - Pics de production diffus
- Pour le réseau de transport :

- Pas de renforcements majeurs à priori
- Besoins de modification des stations de recompression (bidirectionnel)
- Volume de gaz transité plus faible

Structure du réseau de gaz - Pic de production Scénario 2 climat chaud



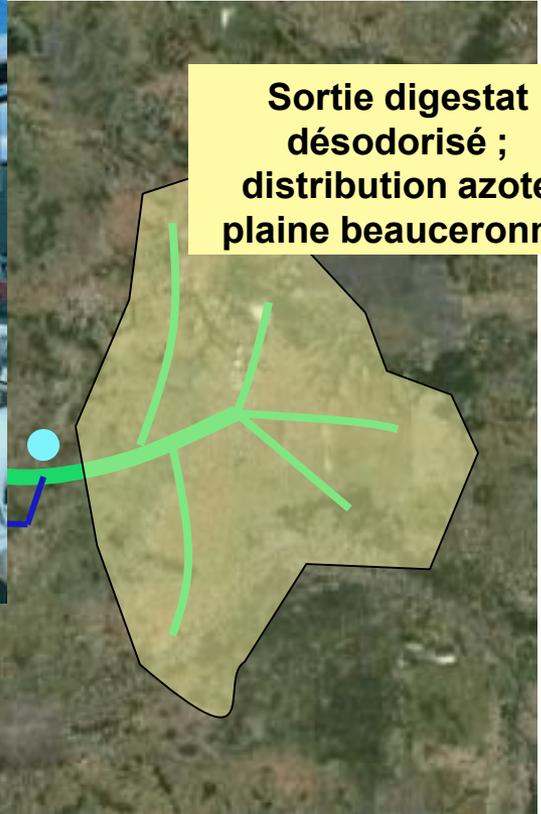
Structure du réseau de gaz - Pic de consommation Scénario 2 climat froid





Génération
biogaz, injection
réseau public

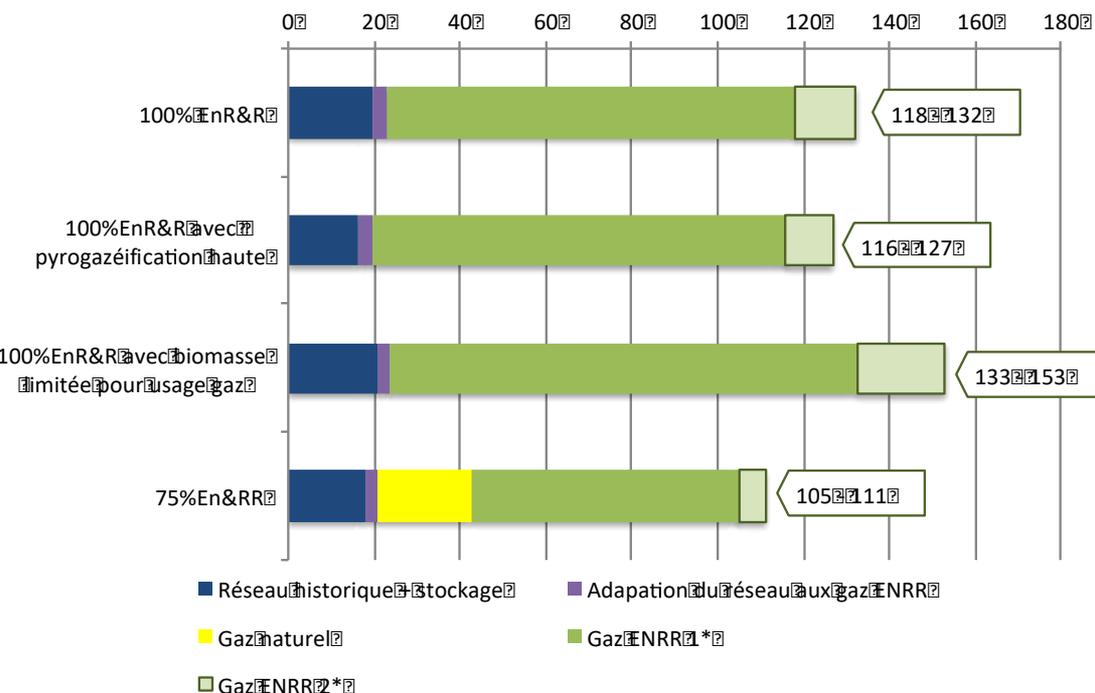
"Canagesteur" (canalisation -
digesteur), fermentation
longue durée



Sortie digestat
désodorisé ;
distribution azote
plaine beauceronne



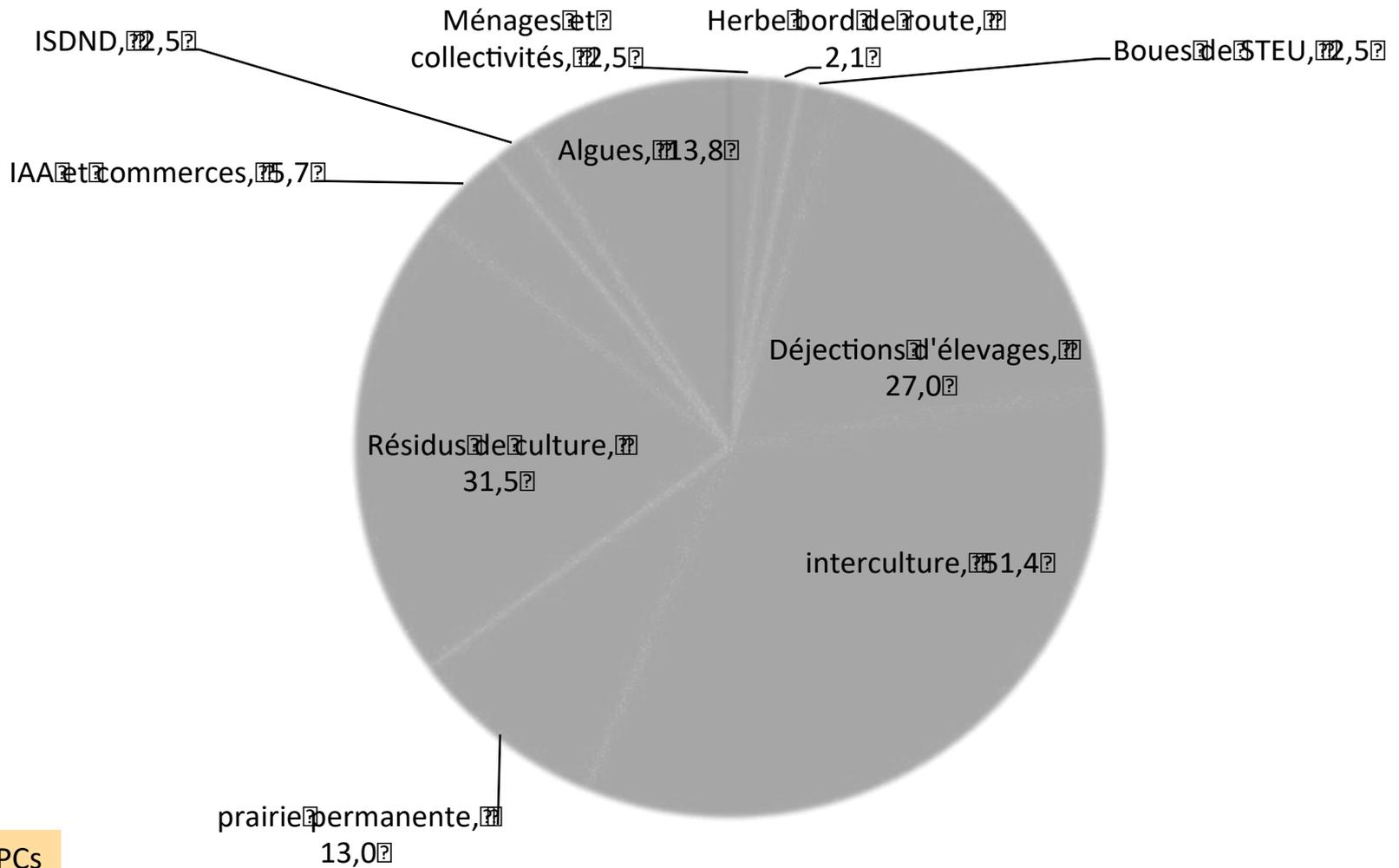
Coût du MWh gaz consommé
€/MWh



- **Coût du gaz entre 100 et 150 €/MWh_{PCS} selon les scénarios**
 - Les deux premiers scénarios ont des coûts similaires, malgré un périmètre de l'usage gaz différent (+23% de demande pour « pyrogazéification haute »)
 - « 100% EnR&R avec biomasse limitée pour usages gaz », la baisse de contribution par la biomasse est compensé par le power-to-gas plus cher, et induit un surcoût de 14%.
 - S4 « 75% ENRR » : le maintien du gaz naturel à hauteur de 25% permet réduire les couts de 10 à 20%

- La part réseau est faible entre 15% et 20 % du coût total, et en particulier les seuls coûts de raccordement (dont maillage et rebours) représente que 3%.
- En comparaison à un approvisionnement 100% gaz naturel, les scénarios permettraient d'éviter entre 45 et 67 Mt_{CO2}/a (1)

4^{ème} partie : Focus agriculture et méthanisation



TWh PCs



Produire de l'énergie

Biométhane

Carburant

Fournir du CO2

Méthanation

Favoriser la transition agroécologique

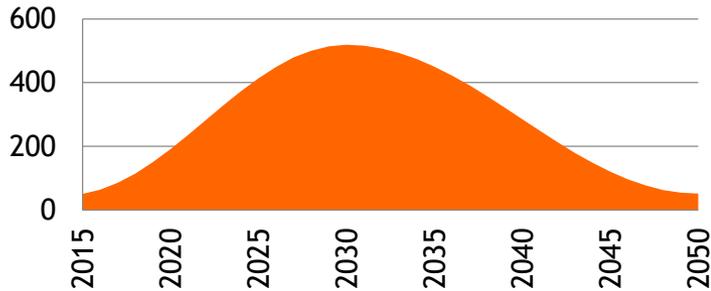
Recyclage nutriments (NPK)

Optimisation matière organique

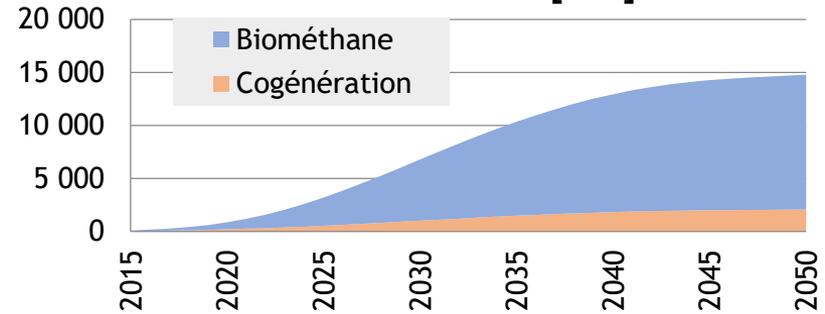
Créer un outil socio-économique

Bioéconomie rurale, territoriale, circulaire, Multi-fonctions, co-productions

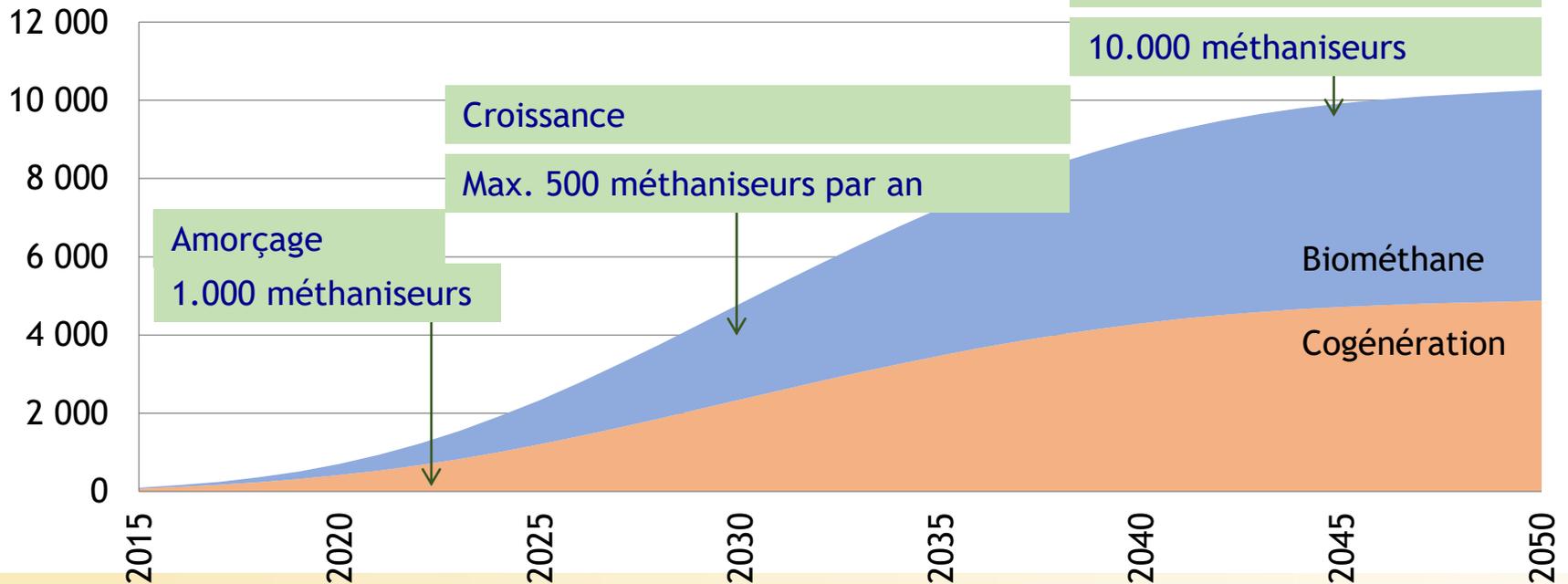
Nombre de nouvelles unités par an



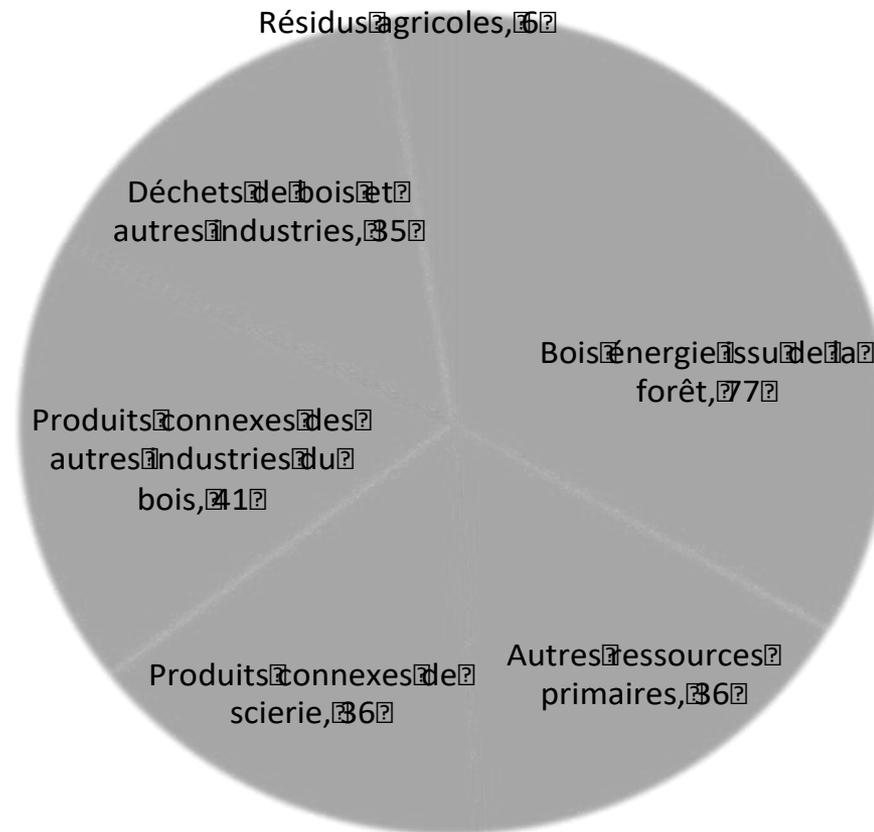
Puissance cumulée [MW]



Parc cumulé [Nombre]



5^{ème} partie : Focus forêt et gazéification



TWh PCs

- « Quel rôle pour les forêts et la filière forêt-bois dans l'atténuation au changement climatique ? », IGN / INRA, Juin 2017

	Scénario - avec « effet densité dépendance »			
MtCO ₂ /an en 2050	Situation actuelle	Extensification	dynamiques territoriales	Intensification
Stockage dans les écosystèmes forestiers	80	102	75	50
Stockage dans les produits bois	0	-1	3	7
Évités par effet de substitution	40	34	48	64
TOTAL	120	136	126	121

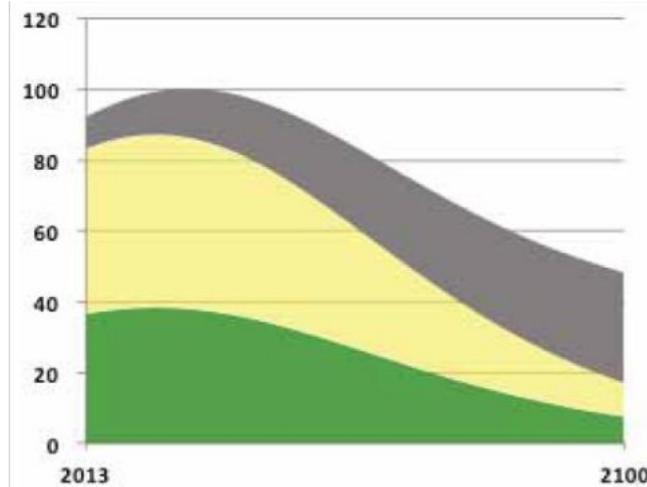
- **Peu de différences** en bilan global (puits + substitution) entre EXT, DYNA et INT

Mm³

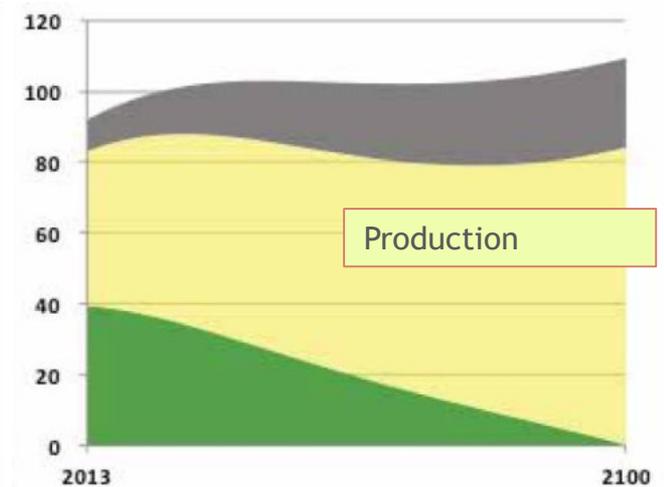
- Mortalité
- Prélèvements
- Accumulation

➤ La prise en compte du long terme favorise les scénarios de type « sylviculture dynamique »

Scénario sylviculture constante

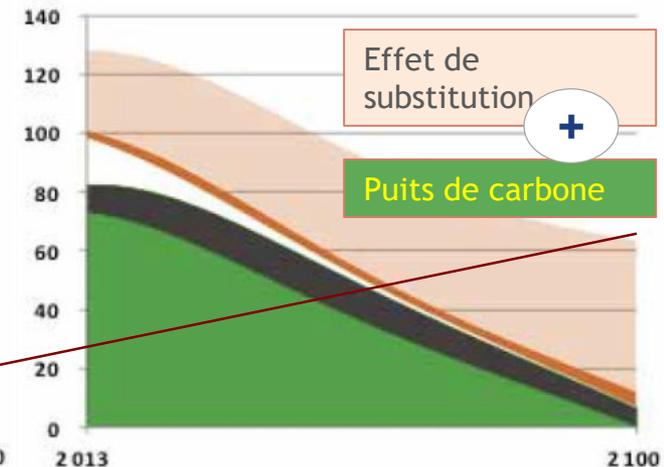
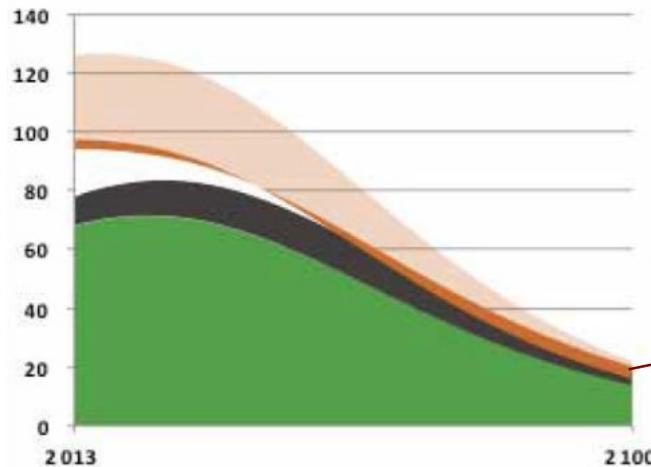


Scénario sylviculture dynamique



MtCO₂

- substitution
- produits
- sols
- bois mort
- croissance



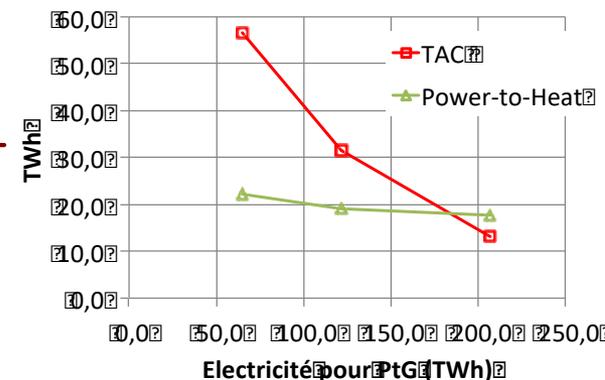
Source : *travaux exploratoires* de J-L. Peyron, ECOFOR, in « Climat, Forêt, Société – Livre Vert », Y. Caulet, Nov. 2015

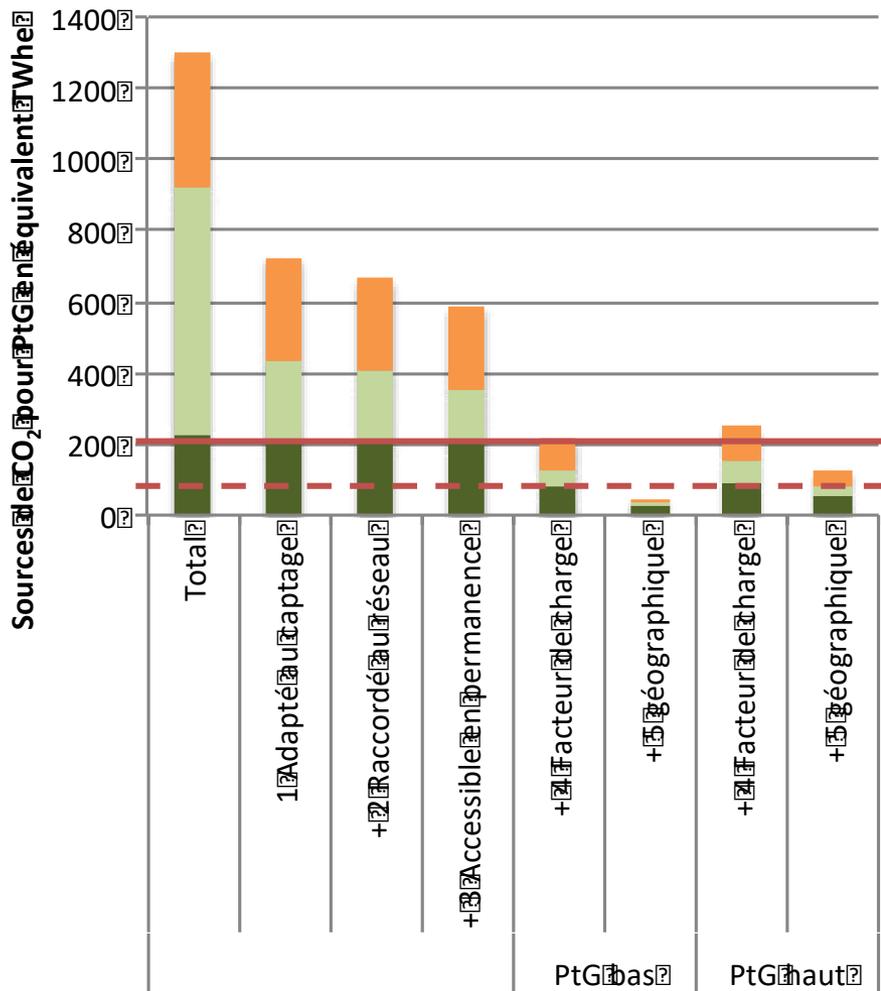
6^{ème} partie : Focus Power to Gas

- Principales hypothèses issues de l'étude ADEME :
- « Un MIX électrique 100% ENR en 2050 - Quelles opportunités pour décarboner les systèmes chaleur et gaz »

Evalue différentes configurations optimisées du système électrique avec du power-to-gas plus ou moins développé

- Description du power-to-gas (60 à 207 TWhélec)
 - Capacités installées par région
 - Profil horaire de fonctionnement
 - Coûts approvisionnement de l'électricité
- Description des autres interactions avec le système gazier
 - **Power-to-heat** : Chaudière électrique ou pompe à chaleur en substitution d'autres ressources énergétiques dont le gaz, pendant les périodes de forte production électrique
 - Besoin de **Turbine à Combustion (TAC)** gaz pour la production de pointe électrique
 - Capacités installées par région
 - Profil horaire



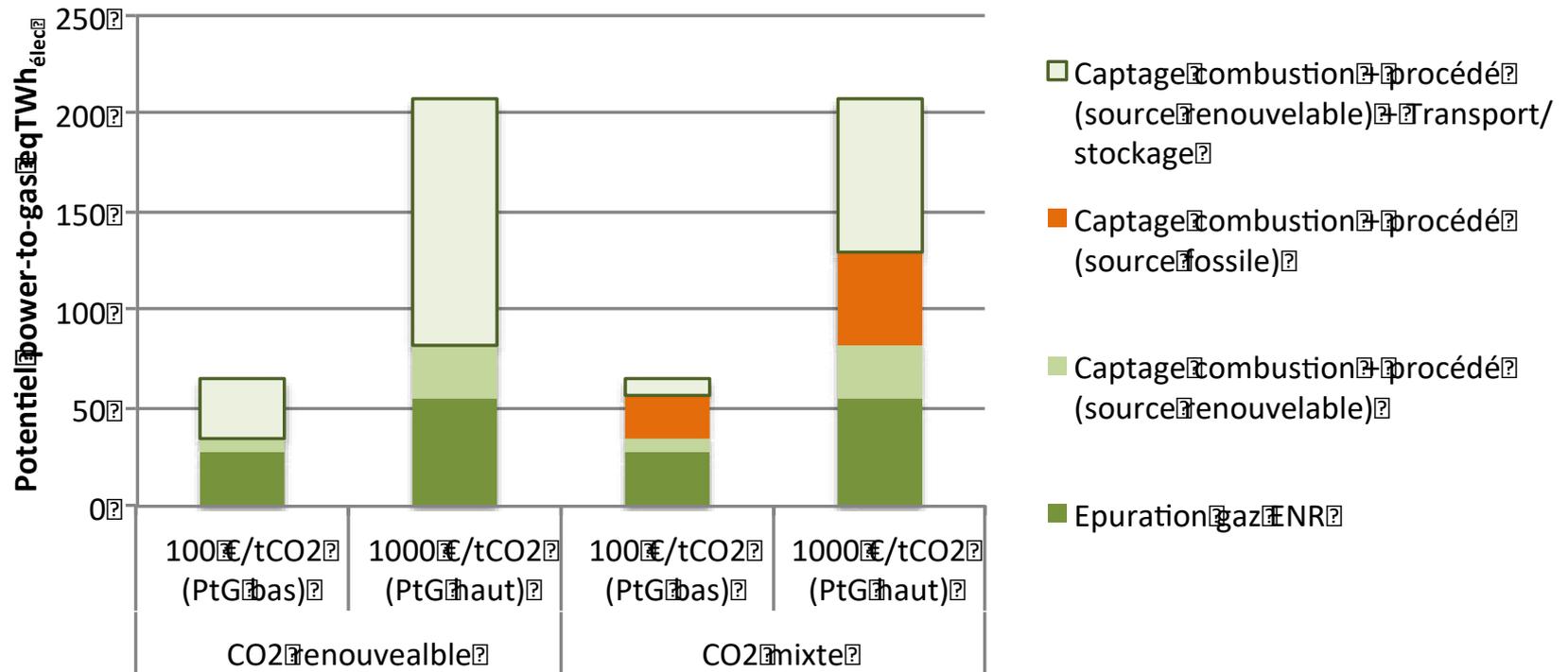


- PtG haut (207 TWh)
- - - PtG bas (64 TWh)
- Captage à combustion par procédé (source fossile)
- Captage à combustion par procédé (source renouvelable)
- Epurations gaz INR



Difficile de satisfaire la demande de PtG uniquement à partir des flux continus de CO₂

- Mix d’approvisionnement selon type CO₂ et potentiel PtG mobilisé
- Coûts d’approvisionnement selon type CO₂ et potentiel PtG mobilisé



Conclusion

1. Basculer du fossile au renouvelable
2. Passer de réseaux gravitaires séparés à réseaux décentralisés et interconnectés gaz / électricité
3. Passer des usages basse enthalpie (chauffage air à 19°C) aux usages haute exergie (transports, électricité de pointe, chaleur HT industrie, usages matière)
4. Changer de modèle économique : moins de gaz (plus rare) ⇔ plus de valeur (plus cher)

... se rappeler d'où l'on vient : *OPECST - Audition de Laurence Hézard, directeur général de GrDF, du 13 Février 2013 : « À la création de GrDF, il m'avait été demandé de préparer un plan de démantèlement du réseau de gaz naturel, réputé sans avenir ».*

- **100% gaz renouvelable : possible mais à hauteur de 250 à 300 TWh**
 - Ne pas miser une stratégie de maintien de la demande qui reposerait sur des technologies à TRL ou ESRL < 8
- **Compétition entre vecteurs énergétiques :**
 - Forte concurrence pour les usages thermiques basse température
 - Intérêt limité pour production d'électricité en base et semi-base
 - ... mais intérêt majeur en pointe électrique
 - Complémentarité confirmée gaz - électricité par la méthanation
 - Fort intérêt pour les vecteurs gaz dans les transports
 - *Paradoxe : passer progressivement des usages traditionnels du gaz (chauffage bâtiments) à des usages dont il est totalement absent... le gaz doit sortir des bâtiments !*
- **Mutation du réseau (donc des métiers)**
 - Aller chercher le gaz : du gaz de ville au gaz de campagne
 - Ne plus investir dans nouveaux raccordements gaz, réserver les investissements réseaux aux SR3ENR gaz