



QUELLES **BIOMASSES** POUR LA TRANSITION ÉNERGÉTIQUE ?

WEBINAIRE - 15 oct. 2024



SOLAGRO

40 ans d'expertise au service des transitions écologiques :

Énergie

Climat

Agriculture

Alimentation



3 métiers : Ingénierie-conseil, Recherche-prospective, Diffusion et partage des savoirs

Les intervenants



Sylvaine Berger

Directrice adjointe de Solagro, responsable Bioéconomie



Simon Métivier

Chef de projets Bioéconomie de Solagro



Christian Couturier

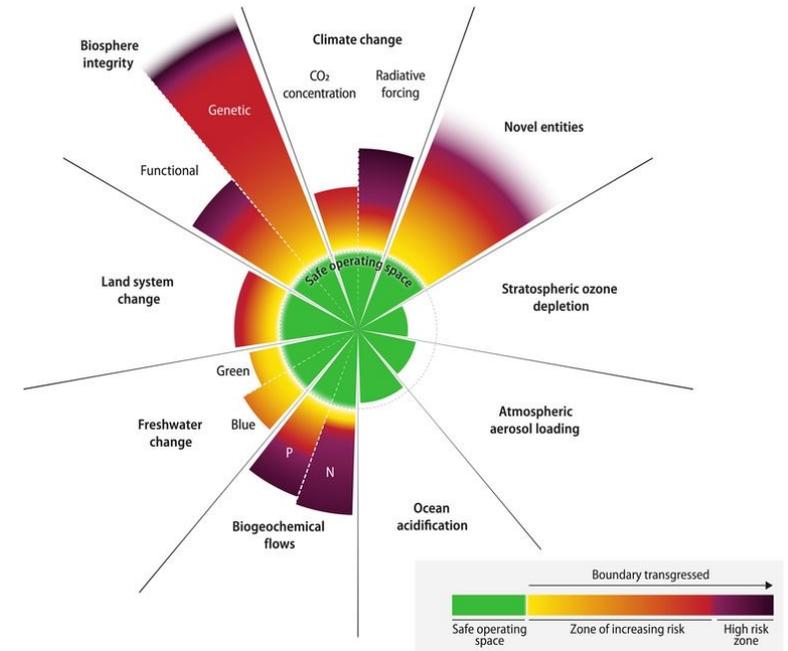
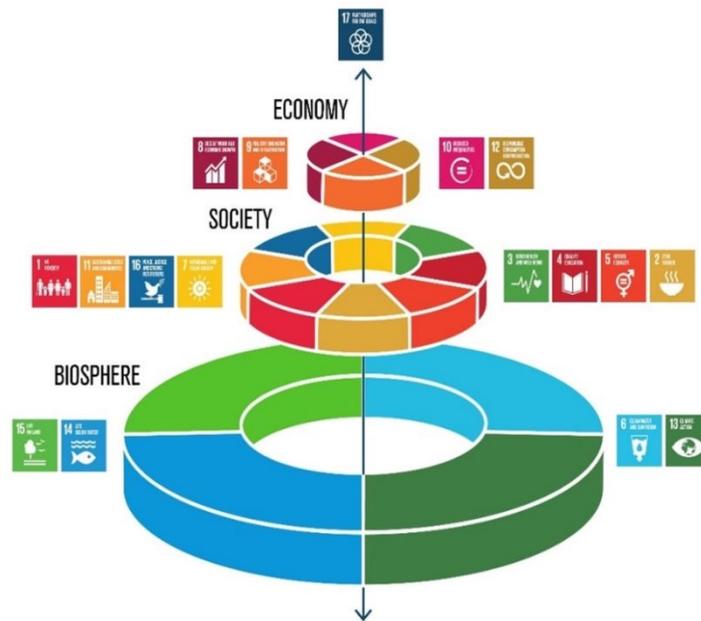
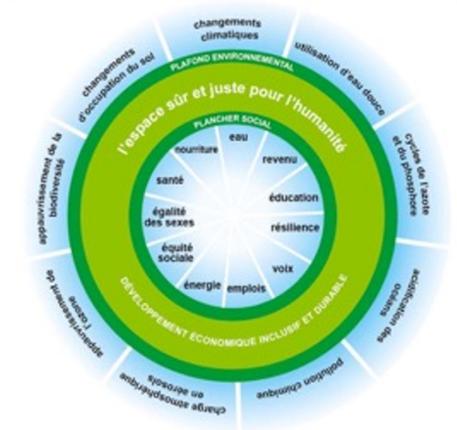
Directeur de Solagro



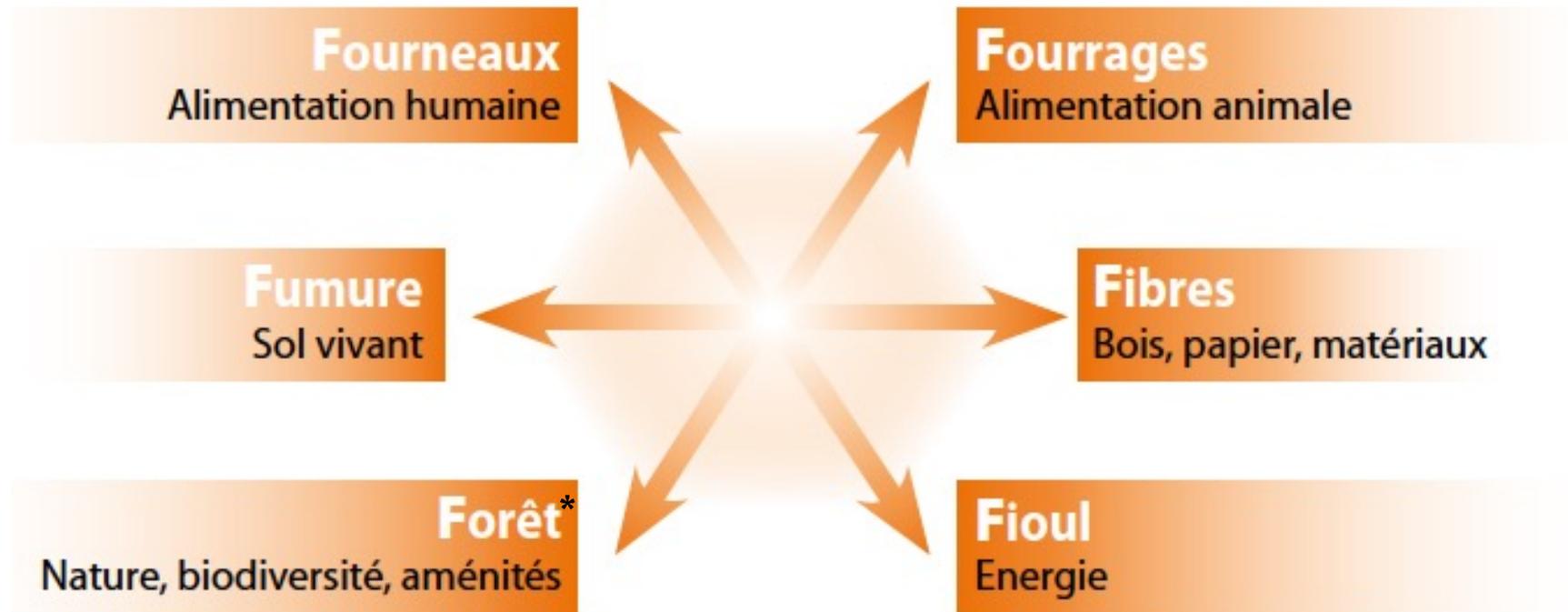
▶ Introduction

Les principes

- Approche « donut »
 - Les « planchers » sociaux au-dessous desquels la vie en société est dégradée : **indicateurs ODD**
 - Les « plafonds » écologiques au-delà desquels la survie sur Terre est menacée : « **limites planétaires** »

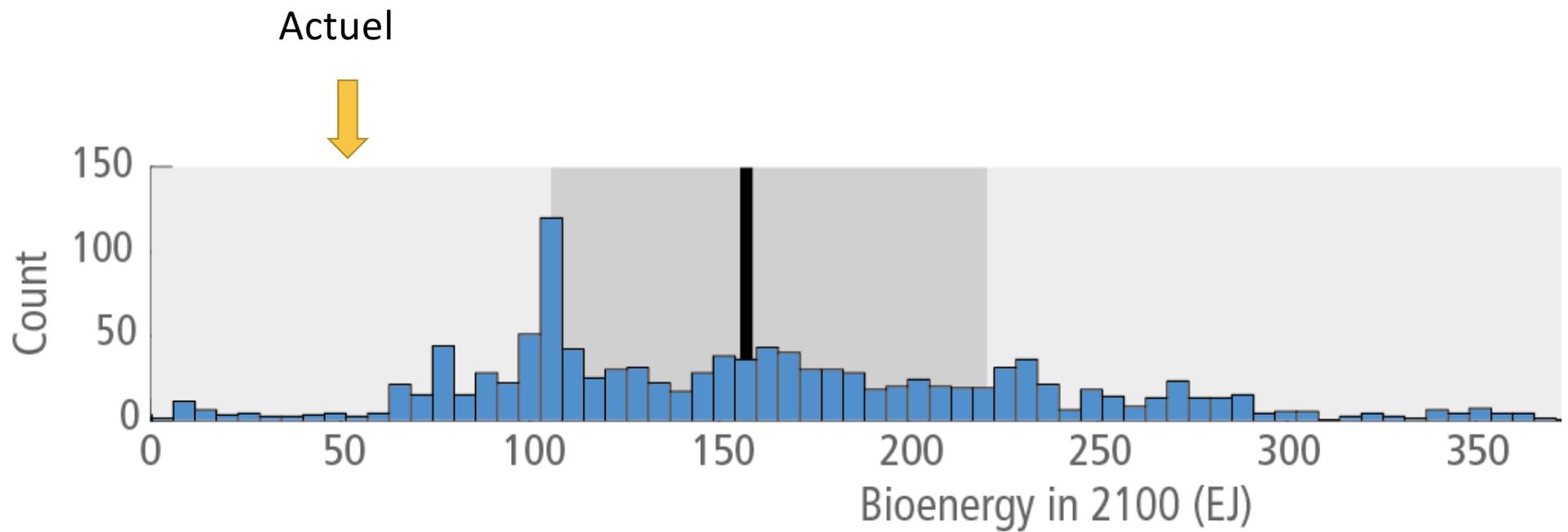


Au cœur du scénario : quels compromis pour l'usage des sols et de la biomasse



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

Le potentiel de bioénergies



AR6 – WGIII – chap.3 - Fig-3.4.



► Présentation de l'étude

Objet et périmètre de l'étude

Etude co-financée par
GRDF



2 objectifs principaux

- Évaluer le potentiel de biomasse pour un usage énergie en 2050 pour la France
- Évaluer les filières de valorisation

Périmètre :

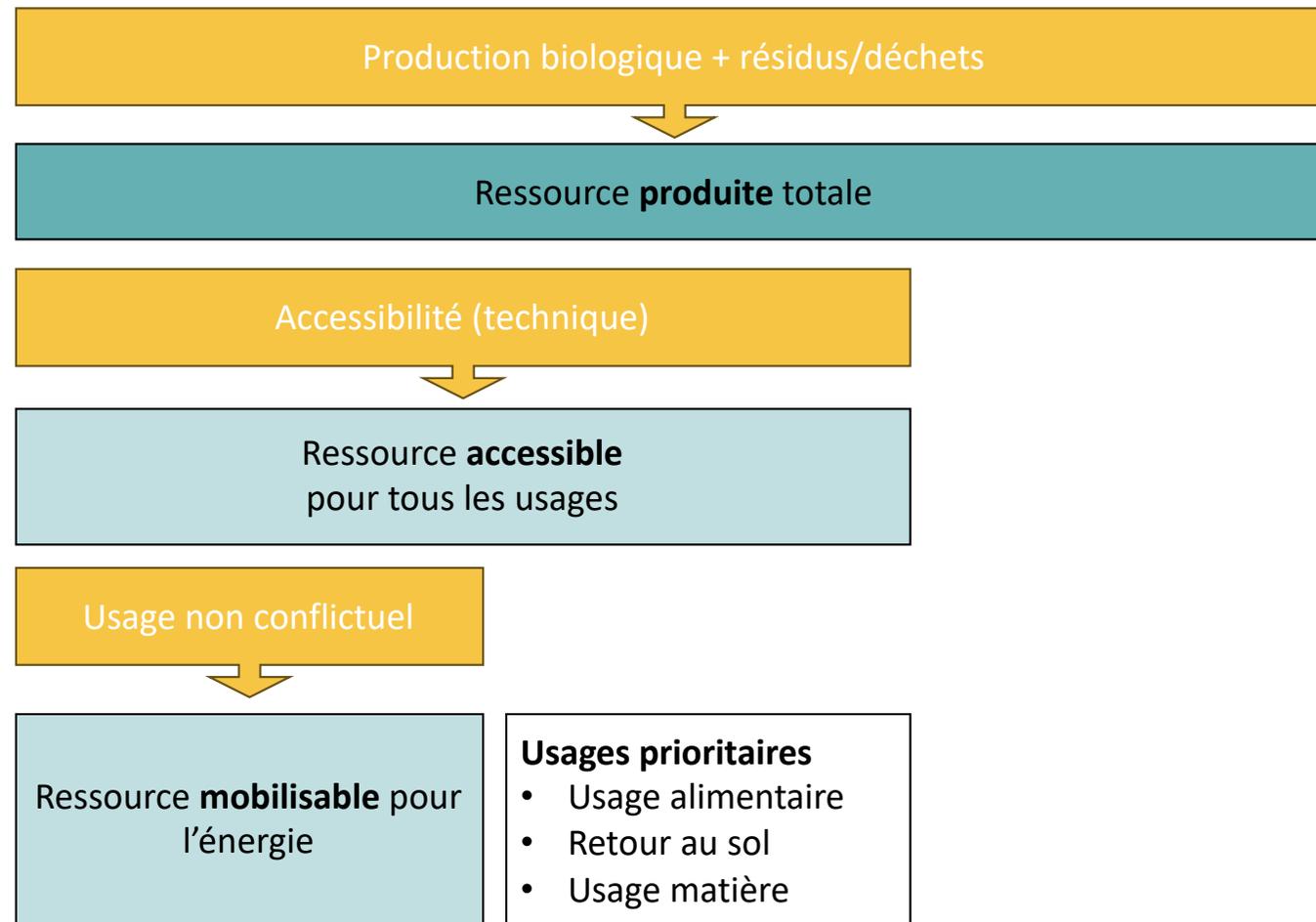
- Biomasse sans concurrence avec les usages alimentaires (humaine et animale)
- Cadre prospectif « usage des terres » : **Afterres2050**
- Études des filières de valorisation :
 - Chaleur (combustion)
 - Méthane
 - Carburant liquide
- France métropolitaine
- Power-to-X non pris en compte

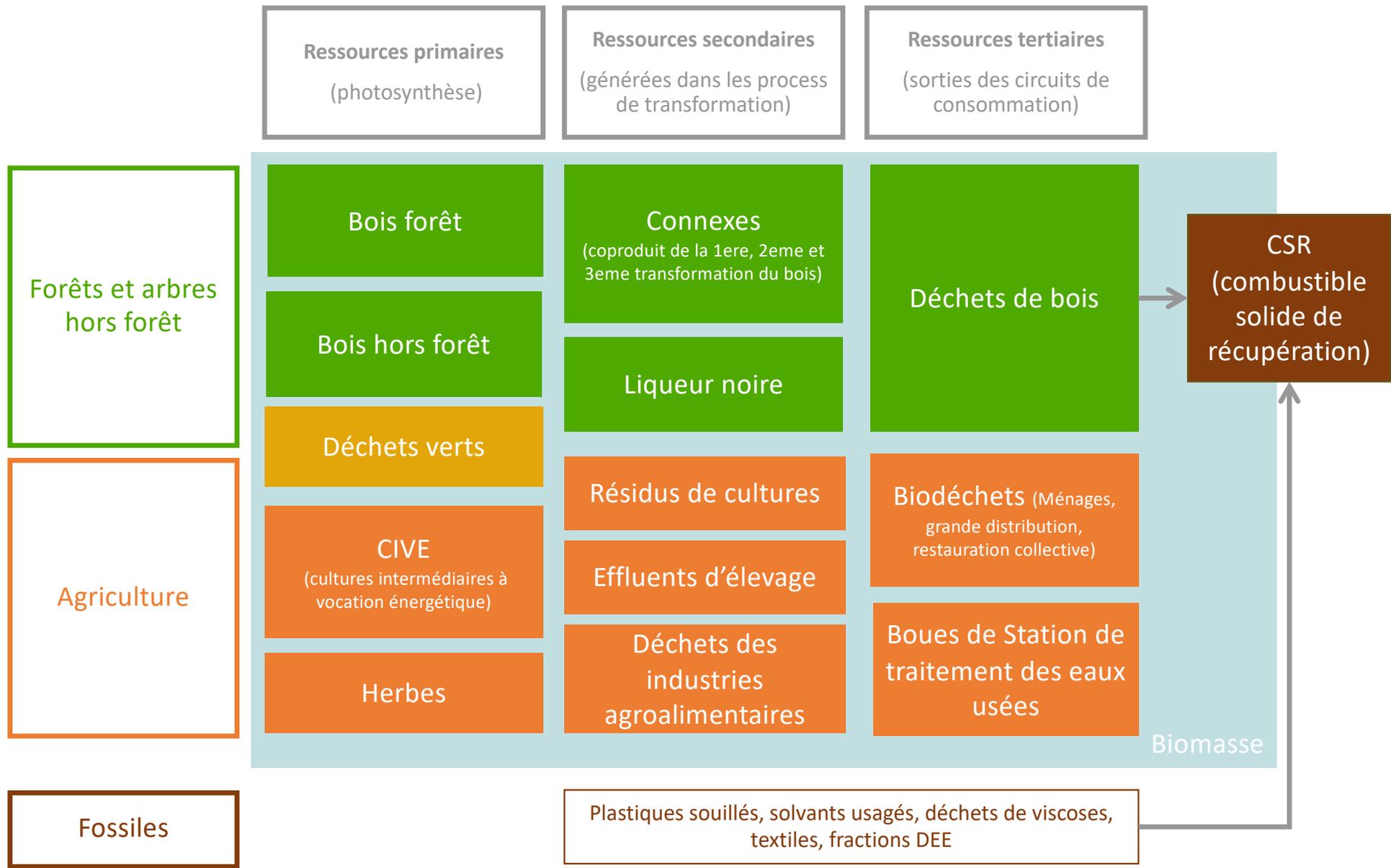
Les derniers résultats d'Afterres 2050 :

- [Présentation université 2023](#)
- [Afterres2050 - Forêt & bois 2023](#)
- [Afterres2050 - Biodiversité 2022](#)

- ▶ Potentiel de biomasses à usage énergétique

Méthodologie générale







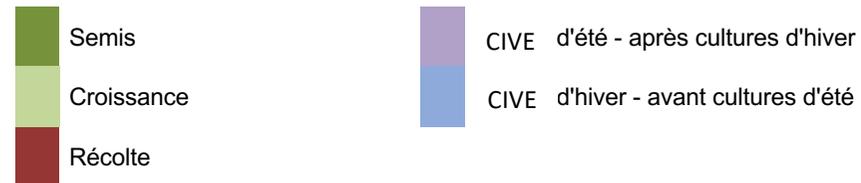
Cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE)

2050 – calendrier d'implantation des CIMSE

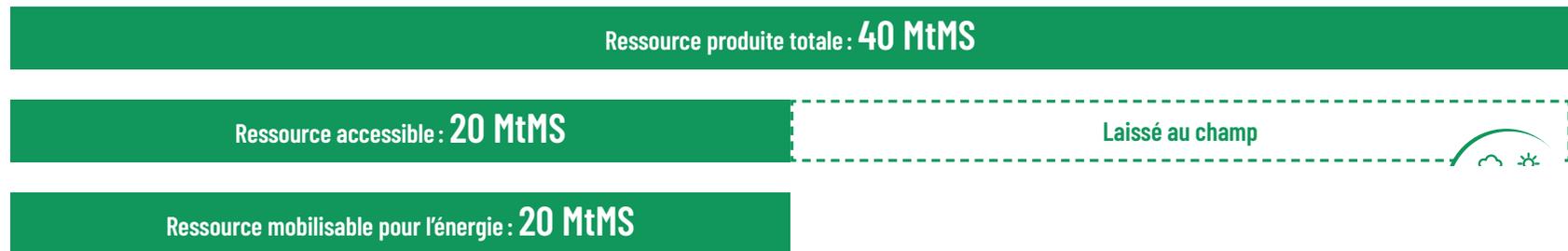
2050	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	Janv	Févr	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Août	Sept	Oct	Nov	Déc	
Colza																			
Blé dur																			
Blé tendre																			
Orge																			
Pois																			
Tournesol																			
Maïs fourrage																			
Maïs grain																			
Betterave																			
Pomme de terre																			
Sorgho																			
Soja																			

Avantages :

- Capture des reliquats d'azote
- Protection contre l'érosion
- Compétition avec les adventices
- Stockage du carbone dans le sol
- Production de biomasse



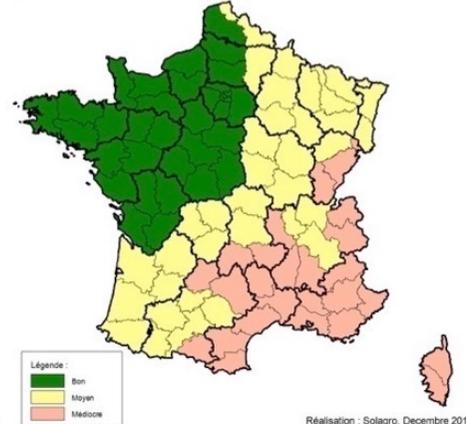
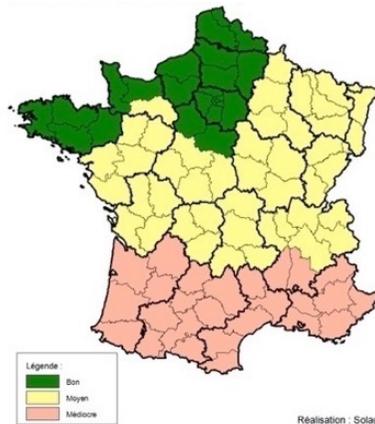
ÉVALUATION DE LA RESSOURCE MOBILISABLE POUR L'ÉNERGIE





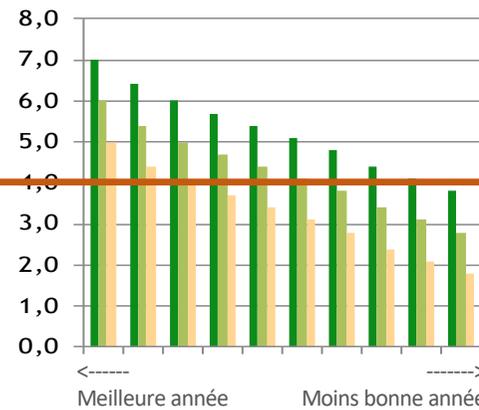
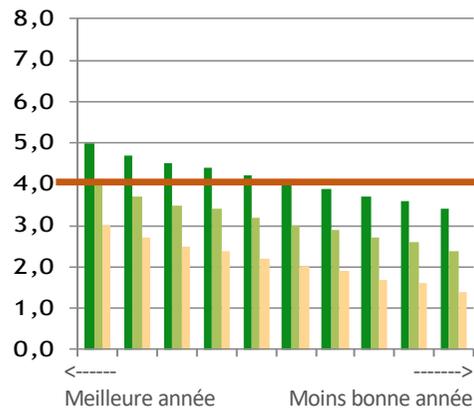
Cultures intermédiaires à vocation énergétique (CIVE)

CIVE été CIVE hiver



Rendement modéré compatible avec conduites CIVE sans irrigation ni fertilisation autre que l'apport de digestat

T MS/ha



Récolte quand production > 4 tMS/ha

Modélisation sur un cycle de 10 ans



Les résidus de culture

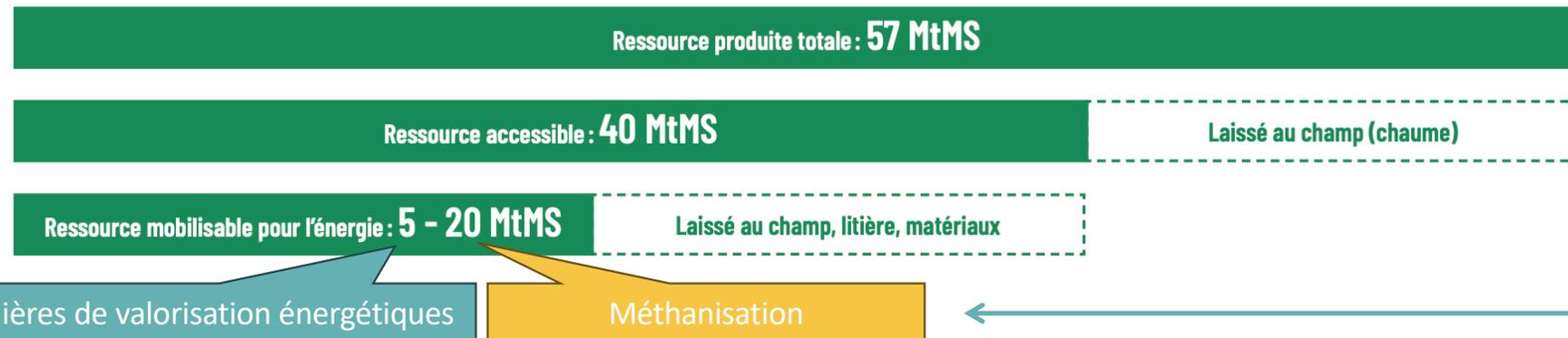
Usages actuels :

- Entretien de la matière organique du sol et fourniture d'éléments minéraux (N, P, K).
- Export pour usage de litière animale
- Autres usages minoritaires : énergie, matériaux (isolant)



Le maintien de cette fonction implique des **seuils de prélèvement** supplémentaires différents **selon qu'il y ait retour au sol ou pas de matière organique et nutriments**

ÉVALUATION DE LA RESSOURCE MOBILISABLE POUR L'ÉNERGIE





Bois forêt

Quantification de la ressource

Mm3	Actuel	2050
Bois d'œuvre (BO)	19	22
Bois d'industrie (BI)	10	13
Bois énergie (BE)	18	27 (11 MtMS)
Total	48	62 (25 MtMS)

Env. 50% de
l'accroissement forestier

ÉVALUATION DE LA RESSOURCE MOBILISABLE POUR L'ÉNERGIE

Ressource produite totale : **25 MtMS**

Ressource accessible : **25 MtMS**

Ressource mobilisable pour l'énergie : **11 MtMS**

Utilisation en bois d'œuvre et bois industrie



Bois hors forêt

Description de la ressource

Ressource diverse :

- Haies et bocage →
- Parcs et jardins →
- Vignes et vergers →
- T(T)CR : Taillis à (très) courte rotation →

Quantification de la ressource

Intérêt majeur en tant qu'infrastructures agroécologiques :

- Actuellement 700 000 km de haies, avec diminution annuelle de 20 000 km/an
- 2050 > atteindre 1 400 000 km de haies

2,2 MtMS

Partie ligneuse des déchets verts

2,6 MtMS

Seulement bois d'arrache (taille : retour au sol)

1,4 MtMS

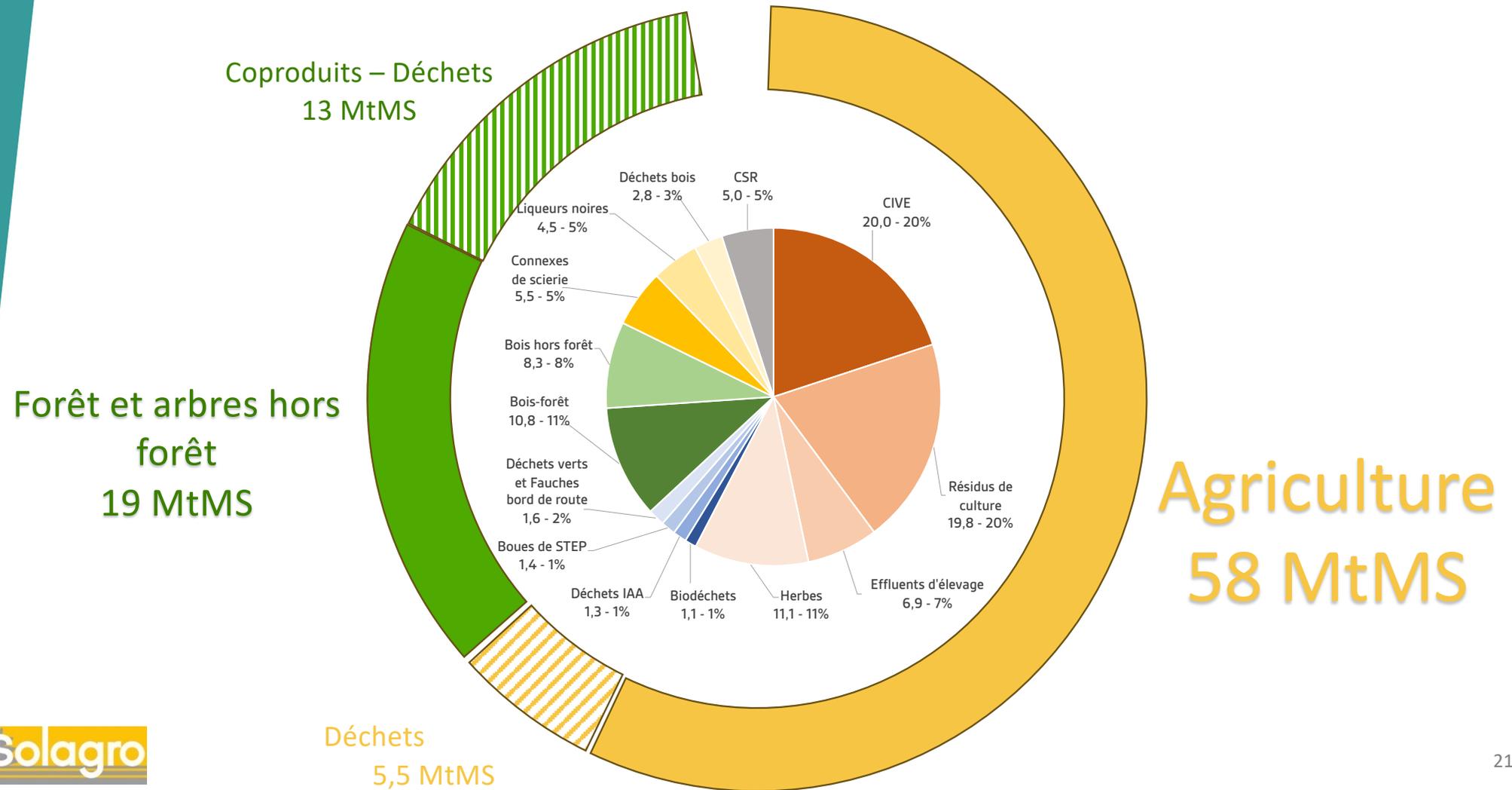
Implantation seulement dans des zones à enjeux (co-bénéfiques), sur env. 300 000 ha :

- Préservation qualité de l'eau
- Limitation de l'érosion

2,2 MtMS

TOTAL = 8,6 MtMS

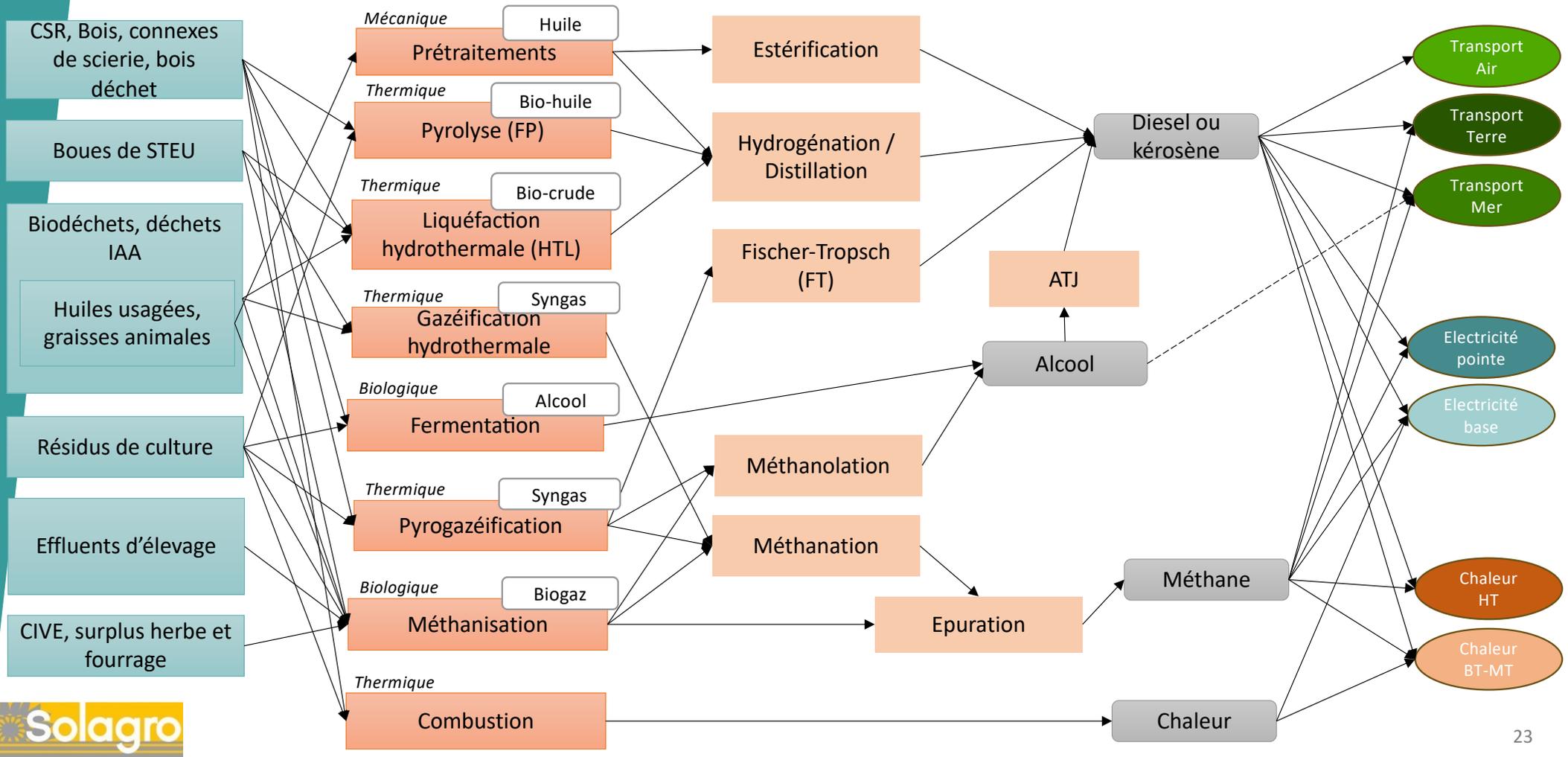
100 Mt_{MS} de biomasse pour l'énergie en 2050





► Filières de valorisation

Les différentes filières étudiées





Gazéification + méthanation



Projet Gobigas

Suède - Démonstrateur commercial



30 MWth

divers types de bois (granulés, plaquettes, écorces, déchets bois A)



12 000 h

de fonctionnement sur la période 2013-2018

Après plus de 70 GWh_{PCS} produits et injectés dans le réseau, l'unité a été mise sous cocon faute de modèle économique : les coûts de production (138 €₂₀₂₄/MWh_{PCS}) étaient supérieurs au prix d'achat du biométhane (63 €₂₀₂₄/MWh_{PCS}) en Suède à cette époque.

Démonstrateur GAYA

France - Démonstrateur industriel



0,6 MWth

(0,4 MW_{CH₄}). Ce démonstrateur a été mis en service en 2018

Le projet a été mis en service en 2018 et visait à :

- démontrer une technologie améliorée inspirée de celle du démonstrateur Gobigas (Suède)
- tester différents types d'intrants dont des CSR.

Le démonstrateur réalise la méthanation du syngas, mais n'intègre cependant pas la mise aux spécifications et l'injection dans le réseau.

ABSL Swindon

Angleterre - Démonstrateur commercial



10 ktMS/an

mise en service fin 2023

Outre le biométhane injecté dans les réseaux, il commercialise du bioCO₂ liquéfié. Les porteurs de projets comptent ensuite répliquer le projet avec une installation plus importante, de 150 kt/an.

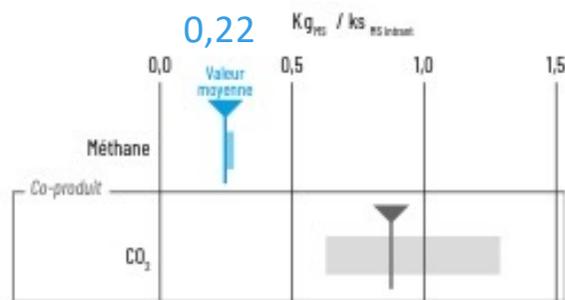
Phase	TRL	Description
Recherche	1	Principes basiques
	2	Formulation du concept et de ses applications
	3	Validation du concept
Développement	4	Pilote expérimental
	5	Démonstrateur
Déploiement	6	Pilote industriel
	7	Première mise en œuvre
	8	Mise en œuvre à plusieurs reprises
	9	Mise en œuvre à grande échelle



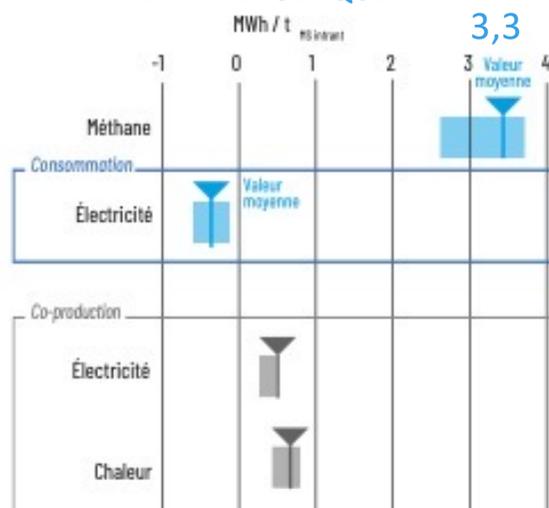
Gazéification + méthanation

Critères techniques

RENDEMENT MATIÈRE



BILAN ÉNERGÉTIQUE



TAUX DE RETOUR ÉNERGÉTIQUE



Critères environnementaux

RETOUR AU SOL DU CARBONE

Matière organique (carbone) ●

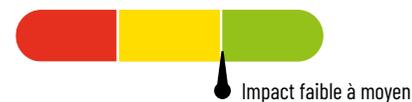
RETOUR AU SOL DES NUTRIMENTS

L'azote est volatilisé. Le phosphore et le potassium peuvent être plus ou moins récupérés et valorisés (dépend des intrants et des procédés).

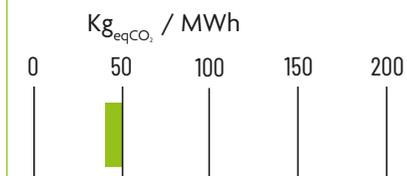
Azote (N) ● Phosphore (P) ●

Potassium (K) ●

POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES



FACTEUR D'ÉMISSION GES

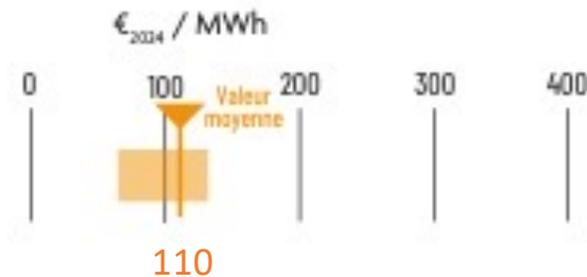




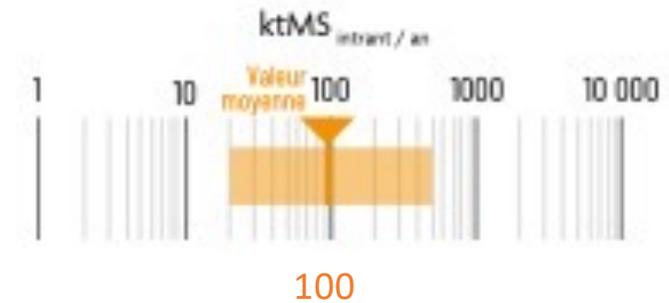
Gazéification + méthanation

Critères économiques et intégration locale

COÛT DE PRODUCTION



TAILLE DES UNITÉS



USAGE DU VECTEUR ÉNERGÉTIQUE

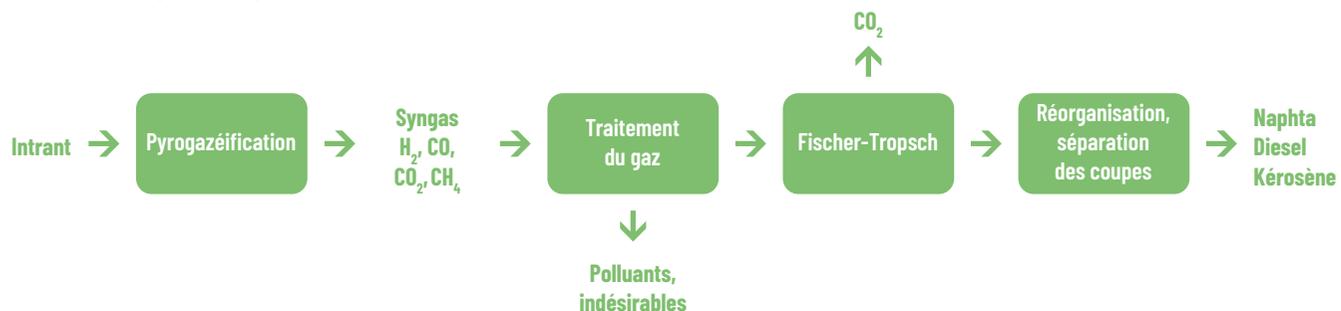
Local à territorial

Le méthane produit est injecté dans le réseau gazier auquel 1/3 des communes sont raccordées, couvrant plus des 3/4 de la population française métropolitaine. Il bénéficie à l'ensemble des consommateurs connectés au réseau. Le développement actuel du bioGNV élargit son usage en particulier au transport de marchandise (camion) et aux transports en commun (bus, car).



Pyrogazéification + Fischer Tropsch

Les étapes du procédé



© Solagro, Sylviane Berger - Guitang (RT)

Démonstrateur BioTFuel

France (Dunkerque)
Démonstrateur semi-industriel

8 kt/an

de carburant liquide.

Le démonstrateur a fonctionné entre 2020 et 2021 à partir de biomasse ligneuse torréfiée.

Démonstrateur Red Rock Biofuel

USA (Lakeview, Oregon)

144 000 t/an

de bois.

Cette unité a été construite, mais jamais opérée. Rachetée en 2023, l'installation est en cours de conversion pour produire du méthane et de l'hydrogène.

Démonstrateur BioTJet

France (Pardies)
Démonstrateur commercial

300 000 t/an

de biomasse.

Projet en cours d'étude de faisabilité (fin prévue fin 2024). Elle serait associée à un électrolyseur pour produire de l'hydrogène et compléter la production de carburant, pour atteindre 75 000 t/an au total.

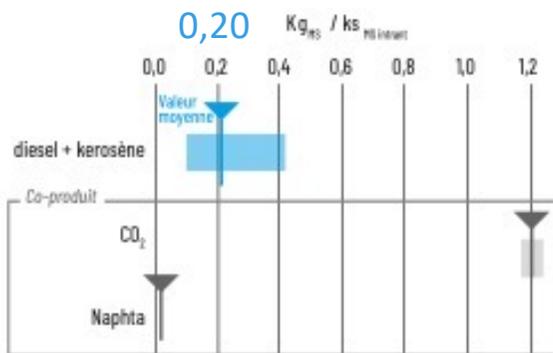
Phase	TRL	Description
Recherche	1	Principes basiques
	2	Formulation du concept et de ses applications
	3	Validation du concept
Développement	4	Pilote expérimental
	5	Démonstrateur
Déploiement	6	Pilote industriel
	7	Première mise en œuvre
	8	Mise en œuvre à plusieurs reprises
	9	Mise en œuvre à grande échelle



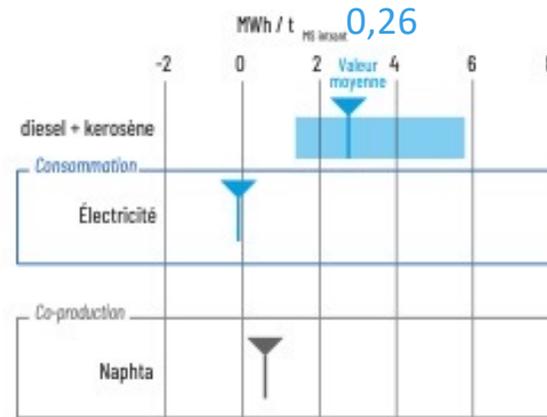
Pyrogazéification + Fischer Tropsch

Critères techniques

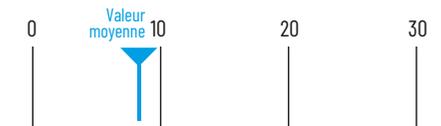
RENDEMENT MATIÈRE



BILAN ÉNERGÉTIQUE



TAUX DE RETOUR ÉNERGÉTIQUE



Critères environnementaux

RETOUR AU SOL DU CARBONE

Pas de retour au sol de la matière organique.

Matière organique (carbone) ●

RETOUR AU SOL DES NUTRIMENTS

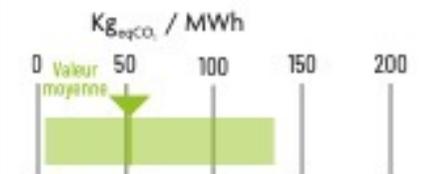
L'azote est volatilisé. Le phosphore et le potassium peuvent être plus ou moins récupérés et valorisés (dépend des intrants et des procédés).

Azote (N) ● Phosphore (P) ●
Potassium (K) ●

POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES



FACTEUR D'ÉMISSION GES

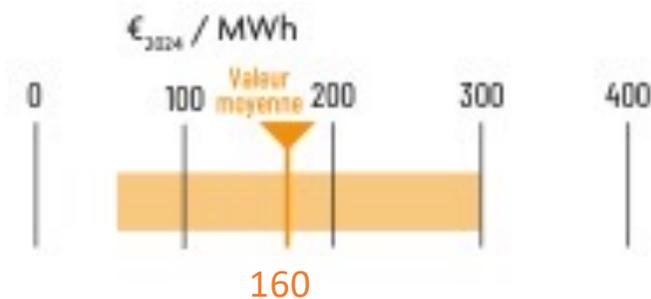




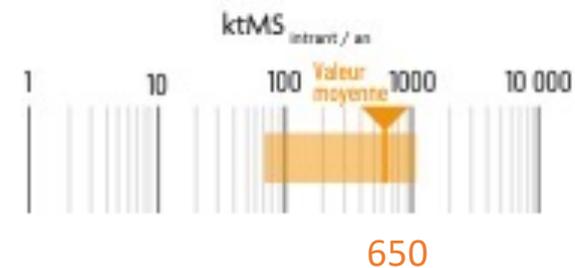
Pyrogazéification + Fischer Tropsch

Critères économiques et intégration locale

COUT DE PRODUCTION



TAILLE DES UNITÉS



USAGE DU VECTEUR ÉNERGÉTIQUE

L'usage est principalement extraterritorial.

Le carburant produit sera à visée soit de l'aviation, mode de transport accessible à une faible part de la population, ou le secteur du transport maritime qui est déconnecté des usages locaux de l'énergie.

N° Fiche	Filières	Vecteur principal produit	Critères techniques			Critères environnementaux				Critères économiques et intégration territoriale		
			Maturité	Co-produits chimique / énergétique	Taux retour énergétique vecteur principal	Retour au sol carbone	Retour au sol Nutriment	Émissions de GES (geq CO ₂ /MWh)	Polluants atmosph.	Coût de production	Taille des unités (ktMS/an)	Usage du vecteur énergétique
#1	Estérification de déchets gras		●	Glycérine	> 10	●	●	50 - 50	●	€	10 - 800	Princ. extra- territorial
#2	Hydrogénation de déchets gras		●	-	5 à 10	●	●	50 - 80	●	€	100 - 2000	Princ. extra- territorial
#3	Pyrolyse rapide		●	Naphta	< 5	●	●	-20 - 100	●	€€	100 - 3000	Princ. extra- territorial
#4	Liquéfaction Hydrothermale		●	Naphta	< 5	●	●	50 - 50	●	€€€	90 - 300	Princ. extra- territorial
#5	Gazéification Hydrothermale		●	CO ₂ biogénique	> 10	●	●	-	●	€€€	4 - 50	Local à territorial
#6	Pyrogazéification (Fisher Tropsh)		●	CO ₂ biogénique, Naphta	5 à 10	●	●	10 - 130	●	€€	70 - 1000	Princ. extra- territorial
#7	Pyrogazéification (méthanation)		●	CO ₂ biogénique	> 10	●	●	50 - 50	●	€€	20 - 500	Local à territorial
#8	Pyrogazéification (méthanolation)		●	CO ₂ biogénique	5 à 10	●	●	-	●	-	80 - 600	Princ. extra- territorial
#9	Fermentation		●	CO ₂ biogénique	> 10	●	●	80 - 240	●	€€€	30 - 5000	Princ. extra- territorial
#10	Méthanisation (méthanolation)		●	CO ₂ biogénique	< 5	●	●	-	●	-	3 - 100	Princ. extra- territorial
#11	Méthanisation (épuration)		●	CO ₂ biogénique	> 10	●	●	40 - 40	●	€€	3 - 100	Local à territorial
#12	Combustion		●	-	> 10	●	●	10 - 20	●	€	0 - 100	Princ. local

Rendement	Ressource compatible
TWh/MtMS	MtMS
10,7	0,4
11,6	0,4
2,5	37,2
3,0	39,6
3,3	39,6
2,6	37,2
3,3	37,2
2,2	37,2
1,5	32,2
2,3	63,2
2,5	63,2
4,9	41,7

Compatibilité Ressources / filières de valorisation

Agricole +
déchets

Arbres forêt et
hors forêt +
déchets/co-
produits

CSR



MtMS		Estérification de déchets gras	Hydrogénation de déchets gras	Pyrolyse rapide	Liquéfaction hydrothermale	Gazéification hydrothermale	Pyrogazéification (Fisher Tropsch)	Pyrogazéification (méthanation)	Pyrogazéification (méthanolation)	Fermentation	Méthanisation (méthanolation)	Méthanisation (Epuraton)	Combustion
Fiche ressource	Vecteur final												
#1	CIVE (Culture intermédiaire à vocation énergétique)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20,0	20,0	-
#2	Résidus culture	-	-	4,8	-	-	4,8	4,8	4,8	4,8	19,8	19,8	4,8
#3	Effluents élevage	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6,9	6,9	-
#4	Herbes	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,1	11,1	-
#5	Biodéchets (ménage, GMS, Resto)	0,1	0,1	-	-	-	-	-	-	-	1,1	1,1	-
#6	Déchets IAA	0,4	0,4	-	1,3	1,3	-	-	-	-	1,3	1,3	-
#7	Boues de STEP	-	-	-	1,4	1,4	-	-	-	-	1,4	1,4	-
#8	Déchets verts non ligneux + Tontes bord de route	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	1,6	-
#9	Bois énergie issu de forêt	-	-	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	-	-	10,8
#10	Bois énergie hors forêt	-	-	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	8,3	-	-	8,3
#11	Connexes scieries	-	-	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	-	-	5,5
#12	Liqueurs noires	-	-	-	4,5	4,5	-	-	-	-	-	-	4,5
#13	Bois déchet	-	-	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	-	-	2,8
#14	CSR	-	-	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	-	-	-	5,0
Total		0,4	0,4	37,2	39,6	39,6	37,2	37,2	37,2	32,2	63,2	63,2	41,7

Possibilités de production

Filières de valorisation		Ressources mobilisables	Energie produite (vecteur principal)		Selon usage final				
					chaleur BT-MT	chaleur HT	Electricité pointe	Co-produits	
								Carburant poids-lourd ou maritime	Carburant aérien
MtMS	Type	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	TWh	
Fiche Filière de valorisation n° 1	Déchets gras + Esterification	0,4		4,8	4,4	2,9	1,7	1,5	3,3
Fiche Filière de valorisation n° 2	Déchets gras + hydrogénation	0,4		5,1	4,8	3,1	1,8	1,6	3,5
Fiche Filière de valorisation n° 3	Pyrolyse rapide	37,2		93,8	87,0	56,3	32,9	29,3	64,5
Fiche Filière de valorisation n° 4	Liquefaction hydrothermale	39,6		119,1	110,5	71,5	41,8	37,2	81,9
Fiche Filière de valorisation n° 5	Gazéification hydrothermale	39,6		131,2	121,2	78,4	45,9	130,7	0,0
Fiche Filière de valorisation n° 6	Pyrogazéification +Fisher Tropsch	37,2		97,5	90,4	58,5	34,2	27,8	69,7
Fiche Filière de valorisation n° 7	Pyrogazéification + méthanation	37,2		123,8	114,4	74,0	43,3	123,4	0,0
Fiche Filière de valorisation n° 8	Pyrogazéification + méthanolation	37,2		82,2	76,3	49,3	28,9	8,7	73,5
Fiche Filière de valorisation n° 9	Fermentation	32,2		48,7	45,2	29,2	17,1	15,8	32,8
Fiche Filière de valorisation n° 10	Méthanisation + méthanolation	63,2		146,8	136,1	88,1	51,5	15,6	131,2
Fiche Filière de valorisation n° 11	Méthanisation + Epuration	63,2		156,6	144,7	93,6	54,8	156,1	0,0
Fiche Filière de valorisation n° 12	Combustion	41,7		204,6	184,6	0,0	0,0	0,0	0,0

> Pas forcément cumulables entre filières (voir tableau précédent) !



► Les enseignements de l'étude

Les enseignements de l'étude

1. Le **potentiel de biomasse mobilisable pour l'énergie dépend fortement des filières de valorisation** (compatibilité technique et enjeu de retour au sol) : 100 MtMS (340 TWh max), mais chute à 45 MtMS (max 205 TWh) si non recours à la méthanisation.
2. Les **ressources issues de l'agriculture représentent 60% du potentiel**, les arbres (forêt, hors forêt) 20%, et les déchets ou coproduits 20%.
3. Il existe **3 filières matures aux potentiels et usages variés** :
 - La **combustion** reste pertinente pour un **usage de température basse et moyenne**. Mais elle doit faire face à des **enjeux de qualité de l'air et de non-retour au sol de la matière organique stable et de l'azote**. **42 MtMS (env 205 TWh)**
 - La **méthanisation**, au fort potentiel, permet la production de **chaleur haute température, d'électricité de pointe et de carburants** (hors aérien). (60 MtMS/an, soit 157 TWhPCS)
 - Le **traitement des déchets d'huile et graisse**, au **potentiel extrêmement limité**, est la seule à pouvoir produire du carburant aérien. (5 MtMS, soit env 6TWhPCS)
4. Pour **produire plus de carburants aériens** à partir de biomasse, il faut passer par des **filières non encore complètement matures**, telles la **fermentation**, la **gazéification (Fisher-Tropsch)** ou encore la **pyrolyse rapide**. Et ces filières mobiliseront des ressources en concurrence avec la combustion.

Les livrables



Rapport

- Contexte et enjeux
- Cadrage et méthode
- Synthèse des résultats
- Bibliographie



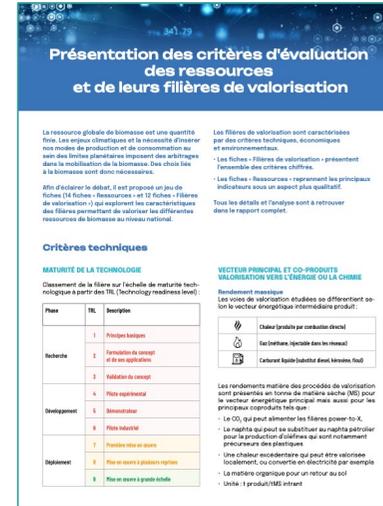
14 fiches ressources

- Description
- Evaluation
- Comparaison aux autres études
- Valorisations actuelles
- Valorisation énergétiques possibles



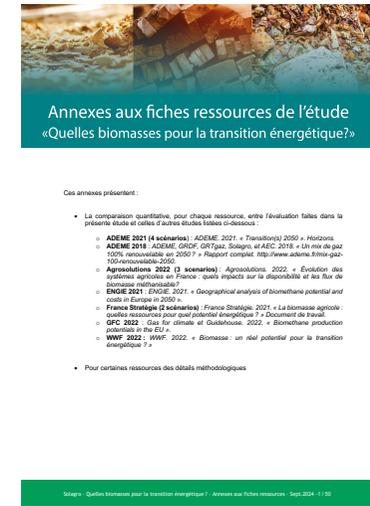
12 fiches valorisation

- Description du procédé
- Etat de développement
- Indicateurs techniques
- Indicateurs environnementaux
- Indicateurs économiques et intégration territoriale



Fiche critère

- Description détaillée des indicateurs utilisés dans les fiches valorisation



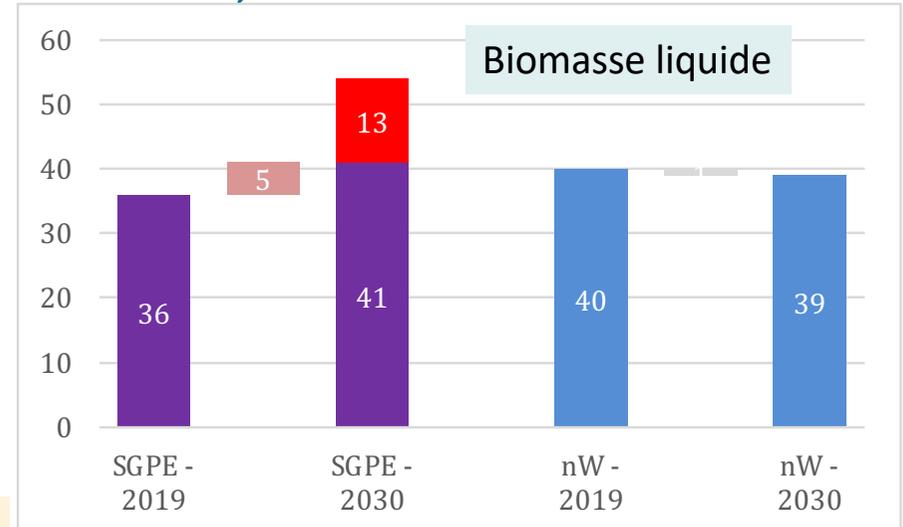
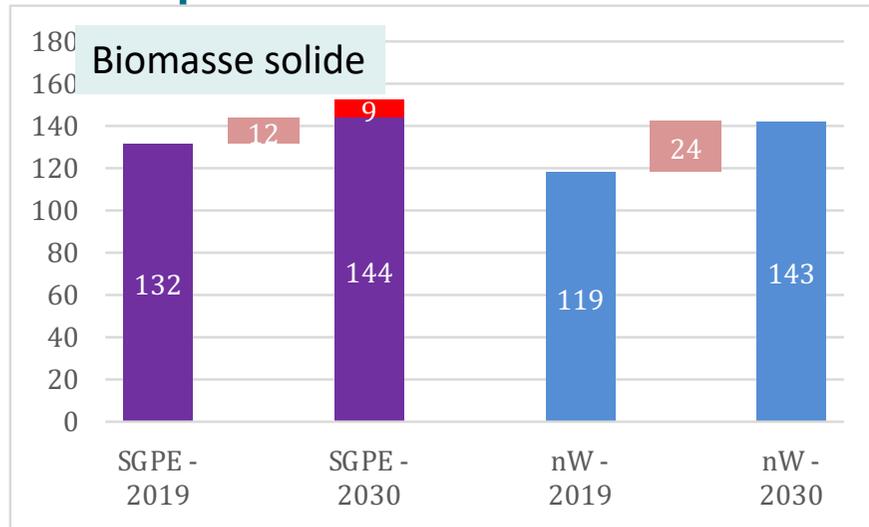
Annexes fiches ressources

- Détails des comparaisons des évaluations avec d'autres études
- Détails méthodologiques

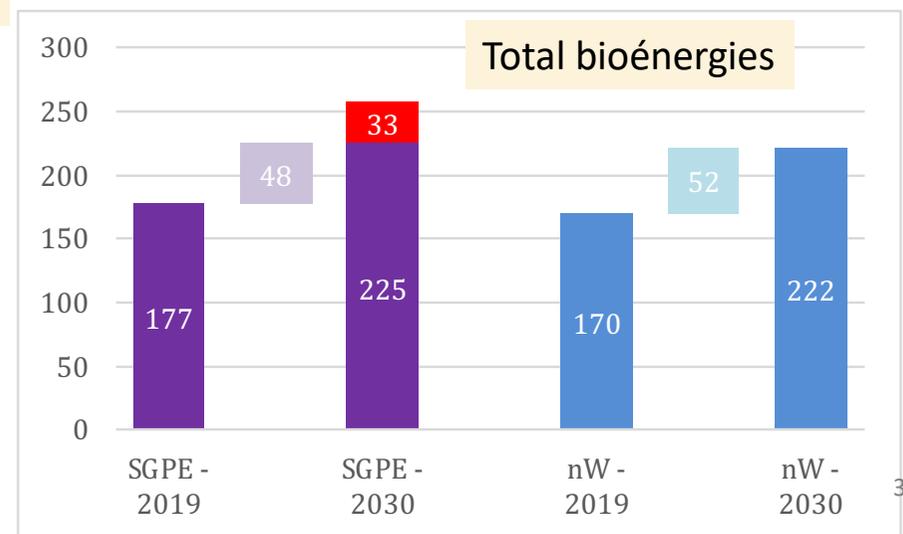
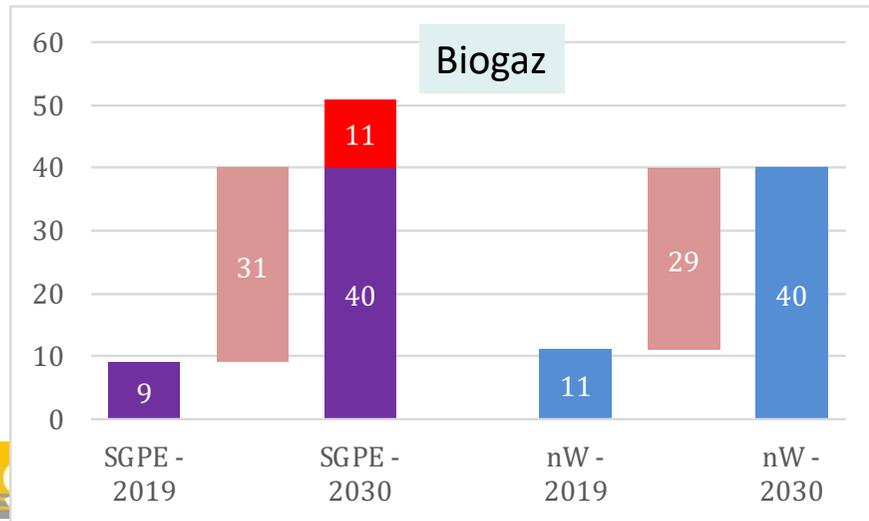
<https://solagro.org/travaux-et-productions/publications/quelles-biomasses-pour-la-transition-energetique>

- ▶ Mise en perspective et nécessité de mise en œuvre

Comparaison SNBC/SGPE (juill. 2024) / nW - Afterres



TWh



[Agriculture](#)[Consommation](#)[Énergie](#)

Les bioénergies : quelle place dans la transition énergétique ?

Publié le 13 décembre 2023

[Accueil](#) > [Publications](#) > Les bioénergies : quelle place dans la transition énergétique ?

 NOTES OUVERTES AU DÉBAT COLLABORATIF - N°51

La Note de La Fabrique Ecologique « Les bioénergies : quelle place dans la transition énergétique ? » issue du groupe de travail initié par François Demarcq est désormais disponible en ligne. Cette note a un double objectif : rappeler ce qu'est la biomasse, à quoi elle peut servir pour mettre en lumière les limites et les arbitrages nécessaires, et expliciter quelques messages simples pour une prise en compte raisonnée et partagée de la biomasse dans les politiques publiques. Alors que la révision de notre stratégie énergétique est un enjeu majeur pour atteindre la « neutralité carbone » en 2050, cette Note propose de redonner une juste place à la thématique de la biomasse, une source d'énergie majeure et « multiusages » insuffisamment prise en compte dans les débats publics.

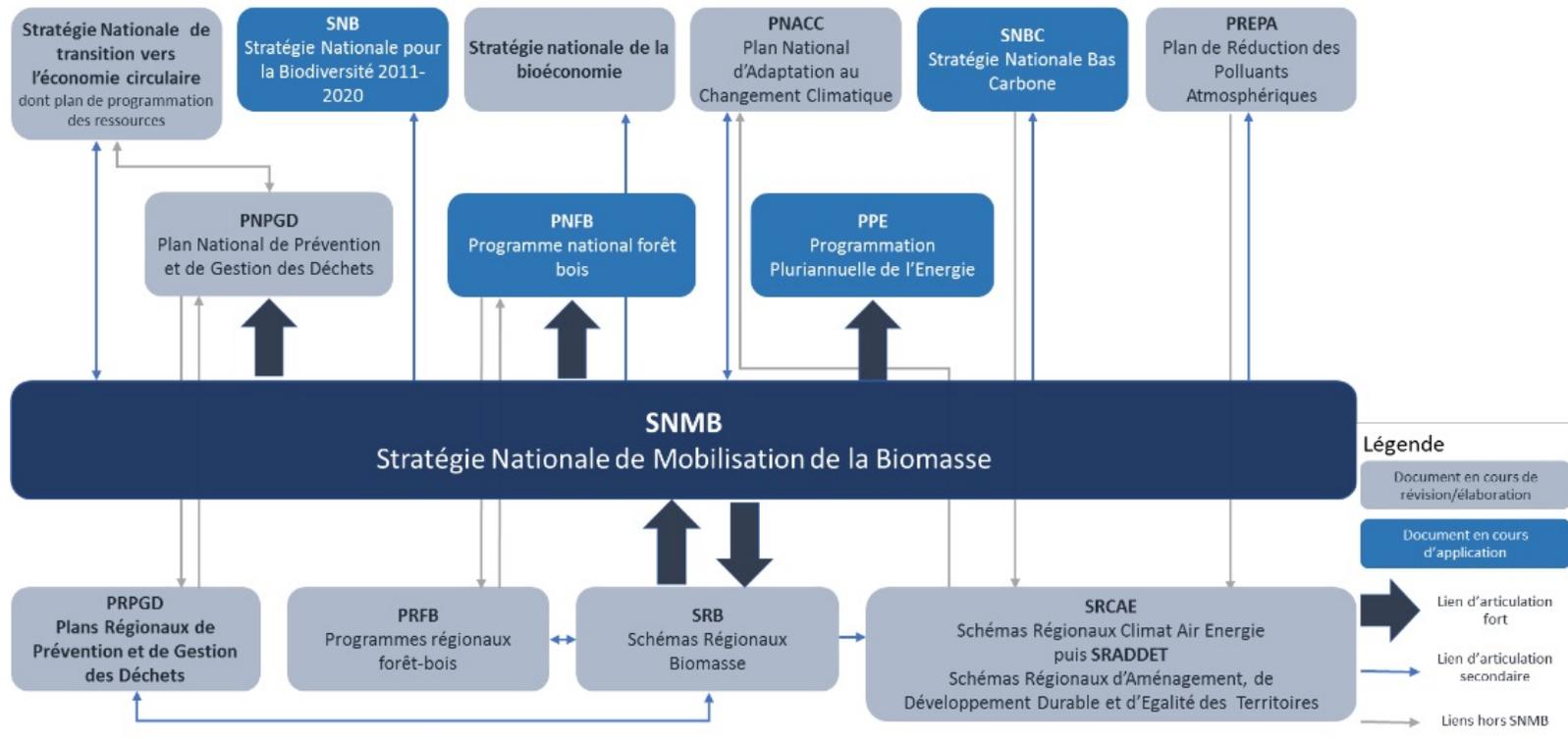
Médias

TÉLÉCHARGER LE PDF

Cette Note est actuellement ouverte à la co-construction citoyenne. Ceci signifie que chacun(e) peut contribuer à son amélioration en faisant des commentaires et surtout en proposant des amendements précis, soit ci-dessous ou par email à l'adresse contact@lafabriqueecologique.fr. À l'issue de cette période collaborative, le groupe de travail qui a rédigé le document initial se réunira une dernière fois pour retenir les amendements jugés pertinents. Leurs auteurs seront dans ce cas sollicités pour que leur nom figure, s'ils le souhaitent, dans la fiche de présentation de la note en tant que contributeur. La version définitive sera ensuite publiée.

Les bioénergies insérées dans la gouvernance territoriale

- La **Stratégie Nationale de Mobilisation de la Biomasse (SNMB)** donne le cadre général, en lien avec les autres documents d'orientation nationaux.
- Les **Schémas Régionaux Biomasse (SRB)** déclinent la SNMB, en lien avec les autres documents d'orientation régionaux.





Merci de votre participation !

Pour soutenir nos travaux et contribuer aux transitions,
Rejoignez-nous! Adhérez à l'association - www.solagro.org

