

Présentation des critères d'évaluation des ressources et de leurs filières de valorisation

La ressource globale de biomasse est une quantité finie. Les enjeux climatiques et la nécessité d'insérer nos modes de production et de consommation au sein des limites planétaires imposent des arbitrages dans la mobilisation de la biomasse. Des choix liés à la biomasse sont donc nécessaires.

Afin d'éclairer le débat, il est proposé un jeu de fiches (14 fiches « Ressources » et 12 fiches « Filières de valorisation ») qui explorent les caractéristiques des filières permettant de valoriser les différentes ressources de biomasse au niveau national.

Les filières de valorisation sont caractérisées par des critères techniques, économiques et environnementaux.

- Les fiches « Filières de valorisation » présentent l'ensemble des critères chiffrés.
- Les fiches « Ressources » reprennent les principaux indicateurs sous un aspect plus qualitatif.

Tous les détails et l'analyse sont à retrouver dans le rapport complet.

Critères techniques

MATURITÉ DE LA TECHNOLOGIE

Classement de la filière sur l'échelle de maturité technologique à partir des TRL (Technology readiness level) :

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
	6	Pilote industriel
Déploiement	7	Première mise en œuvre
	8	Mise en œuvre à plusieurs reprises
	9	Mise en œuvre à grande échelle

VECTEUR PRINCIPAL ET CO-PRODUITS VALORISATION VERS L'ÉNERGIE OU LA CHIMIE

Rendement massique

Les voies de valorisation étudiées se différencient selon le vecteur énergétique intermédiaire produit :

	Chaleur (produite par combustion directe)
	Gaz (méthane, injectable dans les réseaux)
	Carburant liquide (substitut diesel, kérosène, fioul)

Les rendements matière des procédés de valorisation sont présentés en tonne de matière sèche (MS) pour le vecteur énergétique principal mais aussi pour les principaux coproduits tels que :

- Le CO₂ qui peut alimenter les filières power-to-X,
- Le naphta qui peut se substituer au naphta pétrolier pour la production d'oléfines qui sont notamment précurseurs des plastiques
- Une chaleur excédentaire qui peut être valorisée localement, ou convertie en électricité par exemple
- La matière organique pour un retour au sol
- Unité : t produit/tMS intrant

INDICATEURS ÉNERGÉTIQUES

Taux de retour énergétique (TRE) du vecteur principal

Énergie produite par le vecteur principal divisée par la consommation de produits énergétiques (électricité, chaleur, hydrogène, méthanol) pour la production de ce vecteur

Indicateur : TRE retenu et plage des données de la littérature.

Unité : MWh/MWh (pour les combustibles les valeurs sont en PCS)

Bilan énergétique

Le bilan énergétique présente les quantités d'énergie produite ou consommée par la voie de valorisation pour convertir 1 tMS d'intrant. Il est décomposé selon :

- Énergie produite :
 - Vecteur principal produit (carburant liquide, méthane ou chaleur)¹.
 - Co-productions d'énergie : chaleur, électricité, naphta
- Consommation d'énergies auxiliaires².

Unité : MWh/tMS d'intrant (pour les combustibles les valeurs sont en PCS) Critères environnementaux

RETOUR AU SOL

Les technologies de transformation contribuent ou non au retour au sol de la matière organique et des nutriments (azote, phosphore, potassium), éléments essentiels à la croissance des plantes.

	Retour au sol complet (hors matière dans les produits énergétiques)
	Retour au sol partiel et/ou nécessitant un post traitement important et/ou lié à des contraintes de mise en oeuvre
	Pas de retour au sol

ÉMISSIONS DE GAZ À EFFET DE SERRE (GES)

Il permet d'exprimer l'impact en termes d'émission de gaz à effet de serre lors de l'utilisation finale du vecteur produit.

Les fiches valorisation présentent le facteur d'émission retenu et plage des données de la littérature.

Unité : en kgeqCO₂/MWh (PCS pour les combustibles)

POLLUANTS ATMOSPHERIQUES

Indicateur qualitatif pour juger l'impact d'une filière sur la qualité de l'air. On retient ici tous les rejets dans l'air (particules, NO_x, NH₃...) qui impactent la santé humaine ou la biodiversité. Les gaz à effet de serre ne sont pas considérés ici (voir l'indicateur « facteur d'émission »).

L'impact sur la qualité de l'air peut avoir lieu sur le site de conversion de la biomasse mais aussi lors de son usage final qui peut être dans un autre lieu (pour les carburants par exemple).

Critères économique et d'intégration territoriale

COÛTS DE PRODUCTION

Coûts de production des vecteurs finaux. Ces coûts intègrent un niveau de rentabilité propre à chaque étude. Ici encore les résultats doivent être considérées comme des tendances et non être utilisée pour une comparaison précise des filières.

Les résultats des différentes études ont été convertis en euro 2024. Il est important de noter que le niveau de fiabilité de ces résultats diffère selon le niveau de maturité des technologies.

Pour les technologies matures, les coûts sont basés sur des retours d'expérience d'unités commerciales. Pour les technologies en cours de développement/moins matures, l'analyse est basée sur des éléments théoriques/prospectifs (articles scientifiques, rapports techniques, livres blancs d'acteurs...).

Coûts de production retenu et plage des données de la littérature.

Unité : en € 2024/MWh (PCS pour les combustibles)

Ils sont synthétisés dans les fiches ressources selon 3 catégories :

€ correspond à < 100 €/MWh

€€ correspond à entre 100 et 200 €/MWh

€€€ > 200 €/MWh

Gris clair = données théoriques/labo ; noir = données issues de retour d'expérience

TAILLE DES UNITÉS

Taille des unités moyenne retenue et plage des données de la littérature.

Unité : en ktMSintrant/an

INTÉGRATION TERRITORIALE

Cet indicateur cherche à qualifier si le vecteur énergétique produit est utilisé localement ou pas. L'approche est faite par type de vecteur :

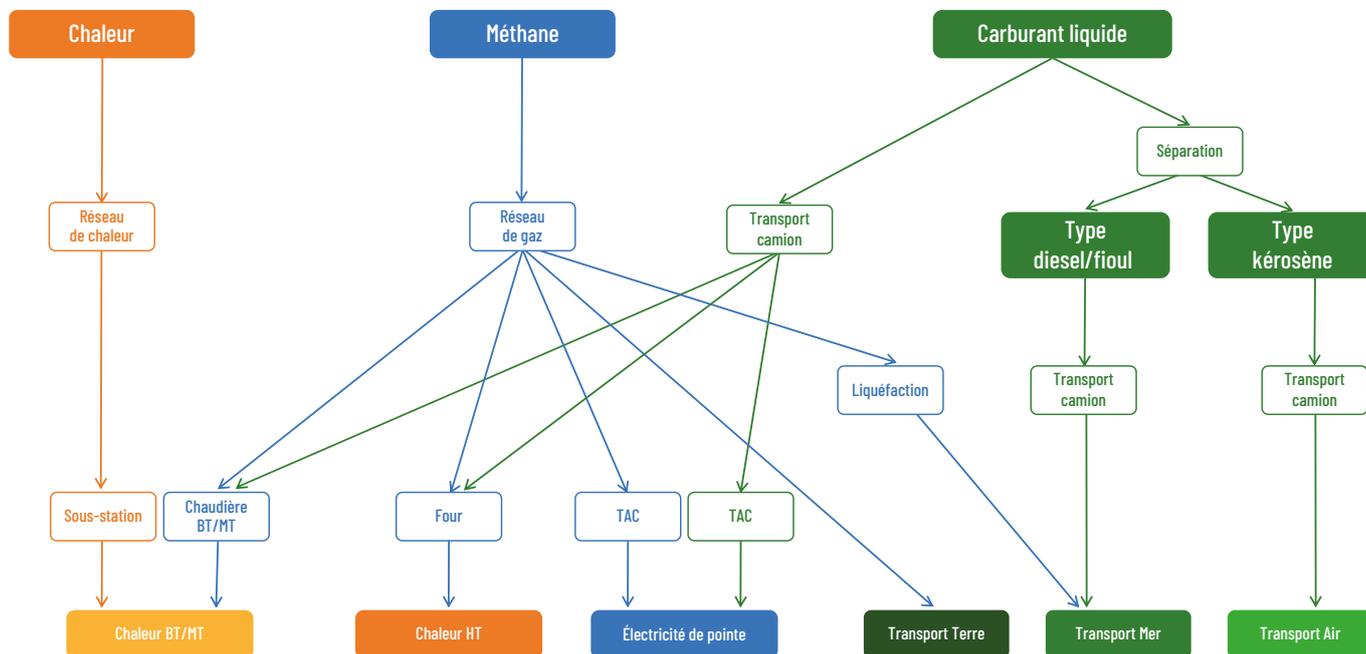
	usage local à territorial
	usage principalement extra-territorial
	usage principalement local

1 - Pour la voie liquide, plusieurs carburants sont en général produits, on retient la somme « diesel + kérosène », utiles aux filières aérien et maritime, jugées prioritaires car sans alternative

2 - Outre l'électricité et la chaleur, l'hydrogène peut aussi être utilisé dans les filières des carburants liquides pour l'hydrogénation des biohuiles ou biobruts. Le calcul de la consommation d'énergie ne prend pas en compte les autoconsommations

ÉVALUATION DU POTENTIEL DE PRODUCTION D'ÉNERGIE SELON L'USAGE

En complément du potentiel de production d'énergie par vecteur, une évaluation par type d'usage a été réalisée, les chaînes de rendement pouvant être différentes selon les vecteurs. Les différentes chaînes étudiées :



Description des cas d'usage

CHALEUR BASSE TEMPÉRATURE (BT) / MOYENNE TEMPÉRATURE (MT) :

Il peut s'agir de chauffage de bâtiment ou de chaleur industrielle basse ou moyenne température (ex : vapeur). Pour la biomasse en valorisation directe par combustion, il est pris en compte un réseau de chaleur pour relier la chaufferie aux usagers, avec une perte de chaleur de 10 % (5 % de perte dans les réseaux + 5 % de pertes dans la sous-station). Pour la valorisation avec le vecteur méthane, il est pris en compte une distribution du gaz avec le réseau et l'utilisation d'une chaudière gaz, avec une perte de 7 %.

Le calcul a également été fait pour les combustibles liquides en considérant une distribution par camion-citerne puis une chaudière type « fioul », avec une perte de 7 %.

Si les réseaux de chaleur utilisaient des combustibles gazeux et liquides, il conviendrait d'ajouter à ce calcul les pertes liées à la conversion (5 % pertes) et à l'acheminement sur les réseaux de chaleur (10 % pertes).

CHALEUR HAUTE TEMPÉRATURE :

Il s'agit d'usages industriels avec des températures supérieures à 1000°C. On retrouve typiquement les fours pour matières minérales (verre, clinker/ciment,

céramiques...). L'exemple se base sur un four verrier avec un rendement de 60 %. Seuls les vecteurs gaz et combustible liquide sont considérés car l'usage de la combustion directe de biomasse ne permet pas de satisfaire entièrement cet usage (une contribution partielle, seulement, peut être possible).

PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ DE POINTE :

Ils'agit de centrales électriques pilotables et fortement flexibles (démarrage rapidement). Ce type de centrale thermique restera particulièrement nécessaire parmi les outils d'équilibrage du réseau électrique qui va intégrer une part croissante d'électricité renouvelable (éolien et photovoltaïque). Cette spécificité oblige à avoir recours à des turbines à combustion (voire des moteurs), qui nécessitent des combustibles gazeux ou liquides. Le rendement retenu est de 35 %.

PRODUCTION DE CARBURANT :

Les vecteurs gazeux et liquides peuvent être utilisés en tant que carburant pour des moyens de transport, mais seuls les carburants liquides sont accessibles pour l'aviation.

Pour rappel, il a été retenu le parti pris suivant : les filières produisant des carburants liquides considérées sont celles pouvant produire majoritairement des carburants aériens, et dans une moindre mesure du carburant maritime (voire terrestre). Ces deux secteurs présentent peu d'alternatives, surtout l'aviation. Les procédés produisent en sortie une diversité d'hydrocarbures dont la chaîne est plus ou moins longue, et qui peut partiellement être réorganisée pour maximiser la production de tel ou tel hydrocarbure. Il a donc été fait le choix de considérer les arrangements de procédés conduisant à maximiser la production de carburants aériens puis la co-production de carburants pour le maritime (ou pour poids-lourds routier).

Dans l'étude des chaînes de conversion, pour les carburants liquides, on considère en amont une séparation entre la partie pouvant se substituer au kérosène et le reste pouvant être valorisé comme carburant maritime

ou routier. Les carburants sont ensuite acheminés par camion-citerne sur les sites d'approvisionnements des moyens de transport. Les filières gaz peuvent également desservir les usages carburant mais uniquement maritime (ou routier) avec une étape de liquéfaction¹. Dans tous les cas, l'énergie calculée pour ces cas d'usages représentent bien l'énergie « au réservoir » du moyen de transport et non l'énergie utile « à la roue ou au sillage », qui elle intègrerait des pertes supplémentaires de plus de 60-70 %².

Hypothèses et sources :

1 - Considéré sans perte sur le vecteur même s'il y a une consommation d'énergie auxiliaire.

2 - Au-delà du type de moyen de transport, le type de carburant peut impacter le rendement du réservoir à la roue : dans le cas du méthane les moteurs de bateau peuvent avoir des rendements supérieurs à ceux fonctionnant au diesel de près de 20% (Balcombe et al. 2021), à l'inverse pour les motorisations de poids-lourds, les rendements sont généralement dégradés de 14 à 22% selon les usages (Equilibre, CRMT, et IFSTAR 2018).

Chaleur	Rendement PCS	Source
Réseau de chaleur	95 %	Ademe. 2020. « Analyse du cycle de vie de systèmes renouvelables de production de chaleur et de froid de grande puissance ».
Sous-Station	95 %	Danish Energy Agency. 2021. « Technology data - Energy transport »
Methane	Rendement PCS	Source
Réseau gaz	100 %	Danish Energy Agency. 2021. « Technology data - Energy transport »
Chaudière gaz BT-MT	93 %	Danish Energy Agency. 2024. « Technology data - generation of electricity and district heating »
Four verrier	60 %	JRC. 2012. « Best available referencedocument for the manufacture of glass »
TAC	35 %	Danish Energy Agency. 2024. « Technology data - generation of electricity and district heating »
Liquéfaction	100 %	Solagro
Carburant liquide	Rendement PCS	Source
Transport camion	100 %	200 km, avec camion consommant 40 l/100 km, taille citerne 40 000 l
Chaudière fioul BT-MT	93 %	Idem methane
Four verrier	60 %	JRC. 2012. « Best available referencedocument for the manufacture of glass »
TAC	35 %	Danish Energy Agency. 2024. « Technology data - generation of electricity and district heating »
Séparation diesel	-	Selon procédé : 70 % kérosène/30 % Diesel-fioul, sauf pour filière méthanol (90 % kérosène/10 % Diesel-fioul), d'après sources étudiées dans les fiches valorisation
Séparation kérosène	-	Selon procédé : 70 % kérosène/30 % Diesel-fioul, sauf pour filière méthanol (90 % kérosène/10 % Diesel-fioul), d'après sources étudiées dans les fiches valorisation