



Schéma directeur énergie de la ville de Montereau-Fault-Yonne

Analyse du potentiel de ressources d'énergie renouvelable et de récupération

13 juillet 2021



S.A.R.L. au capital de 53 500 €uros
RCS Rouen 488 524 919
n° TVA intracommunautaire : FR23488524919
Adresse électronique : plumail@ceden.fr

Sommaire

1	Biomasse	1
1.1	<i>Le patrimoine naturel et les types de ressources en biomasse</i>	1
1.2	<i>Les ressources provenant des milieux naturels</i>	1
1.1.1	La surface forestière	1
1.1.2	La disponibilité forestière théorique	2
1.1.3	Les usages actuels du bois	3
1.3	<i>La ressource en Miscanthus</i>	8
1.4	<i>Optimisation de la chaudière biomasse</i>	8
2	Déchets de bois	9
2.1	<i>Enjeux</i>	9
2.2	<i>Types de déchets de bois</i>	9
2.3	<i>Cadre réglementaire</i>	10
2.4	<i>Disponibilité de la ressource</i>	11
3	Les CSR (Combustible Solide de Récupération)	13
3.1	<i>Enjeux</i>	13
3.2	<i>Cadre réglementaire</i>	13
3.3	<i>Disponibilité de la ressource</i>	14
4	Biométhane	16
4.1	<i>Les modes de valorisation du biogaz</i>	16
4.1.1	Valorisation biogaz en chaleur et / ou électricité	16
4.1.2	Valorisation du biogaz par l'injection dans le réseau	16
4.2	<i>Potentiel énergétique à Montereau</i>	17
4.3	<i>Usages de la chaleur issue du biogaz</i>	17
5	Géothermie	18
5.1	<i>Géothermie de surface</i>	18
5.2	<i>Géothermie profonde</i>	18
5.3	<i>Les sources d'énergie sur la station d'épuration</i>	19
6	Chaleur fatale	20
6.1	<i>Introduction</i>	20
6.2	<i>Valorisation de la chaleur de l'UVE</i>	20
6.2.1	Enjeu	20
6.2.2	Description technique	20
6.2.3	Arbitrage économique chaleur/électricité	22
6.3	<i>Autres sources de chaleur fatale</i>	22
6.3.1	Enjeu	22
6.3.2	Synthèse des potentiels	22
6.3.3	Technique de valorisation	23
7	Conclusions	24

1 Biomasse

1.1 Le patrimoine naturel et les types de ressources en biomasse

Dans la biomasse naturelle, il convient de distinguer **3 principales familles de patrimoine** :

- La **forêt en massif**, les professionnels dissociant usuellement :
 - Les espaces dédiés à la production ;
 - Les autres espaces, dont la vocation peut être différente (protection des milieux, récréation, vocation cynégétique...) ;
- La **forêt agricole**, qui est constitué de bois et bosquets de moins d'un hectare, d'arbres épars, de haies bocagères, arbres fruitiers et de vignes ;
- La **forêt urbaine**, d'entretien relève de la responsabilité des collectivités locales et territoriales (Communes, Départements), de l'État et de ses concessionnaires.

Les ressources en biomasse du territoire proviennent soit directement des milieux naturels, soit de la transformation mécanique du bois (qui génère des produits connexes) ou encore des bois en fin de vie (déchets de bois).

Tableau 1 : Types de ressources en biomasse en fonction de l'occupation des sols à l'échelle régionale (source : CEDEN)

Type de surface			Type de ressources biomasse énergie
Milieux naturels	Forêt	Forêt	Biomasse naturelle et assimilée : plaquettes forestières, bois bûche
	Forêt paysanne	Surface agricole	Bocage (haies), cultures énergétiques (bandes ligneuses, TCR, TCR, cultures miscanthus...), résidus de cultures (paille, menu paille)
		Vignobles	Souches et sarments, arrachage, entretien
		Vergers	Tailles d'entretien, arrachage
	Forêt urbaine	Zones urbaines	Entretien des arbres et des haies des particuliers, patrimoine arboré des collectivités (parcs, cimetières, routes, bâtiments publics...), des entreprises privées
Transformation du bois			Produits connexes de première (scieries) et seconde transformation du bois (menuiseries)
Bois en fin de vie			Bois d'emballages, déchets bois du bâtiment (aménagement, construction, déconstruction), déchets de bois du mobilier (EcoMobilier et VALDELIA)

1.2 Les ressources provenant des milieux naturels

La ressource biomasse peut être mobilisé au-delà du département, on retient en effet usuellement un rayon de 100 km autour d'un lieu de valorisation. L'état des lieux de la ressource sera donc présenté à la maille régionale et départementale.

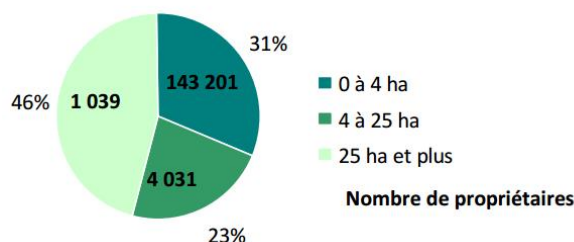
1.1.1 La surface forestière

Sur le territoire régional, la forêt occupe 23 % de la superficie, soit près de 263 000 ha. Ce taux de boisement ne reflète pas la spécificité de la région au niveau national : ainsi l'Île de France concentre 18% de la population pour une surface de seulement 1,9 %. Cette forêt est principalement privée, à plus de 67%.

La **forêt publique** (domaniale et des collectivités) **s'étend sur 86 000 ha** (33 %). L'Office national des forêts (ONF) exploite correctement les massifs forestiers relevant de sa responsabilité : les volumes de bois produits chaque année correspondent peu ou prou à la production biologique.

La **forêt privée est, avec 177 000 ha, dominante**. Comme dans la plupart des territoires, l'essentiel de la forêt relève donc de la responsabilité de propriétaires privés. Le Programme Régional de la Forêt et du Bois (PRFB) synthétise les propriétés forestières privées.

Figure 1 : Nombre de propriétaires en fonction de la taille de la propriété (source PRFB 2019-2029)



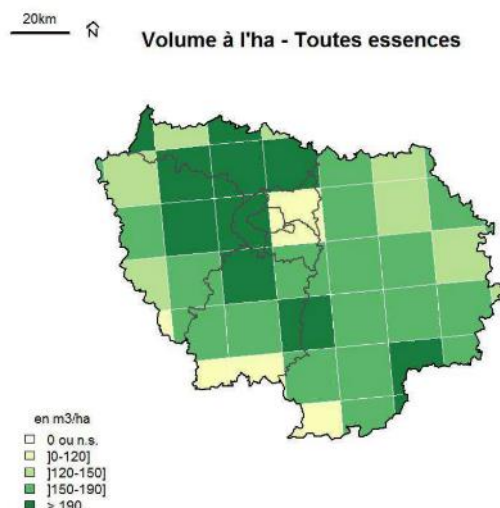
La région compte **143 000 propriétaires, soit 97%**, possédant moins de **4 ha de bois et forêt**. Il s'agit donc d'une forêt extrêmement morcelée.

1.1.2 La disponibilité forestière théorique

La disponibilité forestière peut être évaluée par les indicateurs suivant :

- **Volume sur pied.** La forêt régionale représente près de **44,3 millions de m³**. La répartition de ce volume sur pied sur le territoire est la suivante.

Figure 2 : Répartition du bois sur pied (source PRFB 2019-2029)



- **Production biologique.** L'Inventaire Forestier National évalue la production biologique de la forêt régionale à 1,4 millions de m³ par an. Cette production correspond à la **capacité des arbres des massifs forestiers à transformer par l'effet de la photosynthèse le gaz carbonique atmosphérique en biomasse**. Elle correspond également la **capacité d'accroissement annuelle** de la forêt. Mais cette évaluation ne comptabilise pas les branches dont le diamètre est inférieur à 7 cm (menu bois). Si l'industrie (scieries, papeteries, fabricants de panneaux) ne s'intéressent pas à ces petits diamètres, une utilisation du bois en chaufferie inclut ce compartiment de l'arbre. En conséquence, il convient d'intégrer au travers de facteurs d'expansion déterminés par des travaux de recherche de l'INRA¹ ces menus bois, ce qui porte la **production biologique entre 1,9 et 2,0 millions de m³ par an**. Si les **menus bois** ne présentent aucun intérêt pour l'industrie et sont peu concernés par la production de bois bûches, ils **participent pleinement à la production des plaquettes forestières**, sauf sur les peuplements où une part de la biomasse (les rémanents) doit être abandonnée sur le parterre de coupe dans la perspective d'enrichir le milieu naturel en matière organique et en nutriments (espaces sensibles).
- **Mortalité.** Dans les peuplements forestiers, une part de la biomasse ne peut être valorisée : il s'agit d'arbres morts sur pied ou tombés à terre à l'occasion des tempêtes. Cette biomasse est à retirer de la production biologique. La **mortalité** est estimée à **200 000 m³/an** (en tenant

¹ Facteur d'expansion déterminé par essence. Les facteurs d'expansion s'établissent en moyenne à 1,39 en forêt publique et à 1,42 en forêt privée. Les volumes de bois sur pied sont multipliés par ces facteurs pour chaque essence.

compte des facteurs d'expansion), ce qui représente de l'ordre de **14 % de la production biologique**.

Dans la région Ile-de-France, la disponibilité forestière théorique peut en conséquence être évaluée entre 1,6 et 1,7 millions de m³/an.

Il s'agit de la production biologique après déduction de la mortalité ; elle correspond à la ressource disponible susceptible d'être exploitée sans mettre en péril le caractère durable de la gestion de la forêt.

Une partie de cette ressource sera capitalisée dans les peuplements d'avenir, mais force est de constater que l'exploitation apparaît globalement très inférieure à la production biologique, entraînant un vieillissement conduisant parfois à un appauvrissement des boisements, voire à un dépérissement dans certains cas (chalarose du frêne).

1.1.3 Les usages actuels du bois

1.1.3.1 Définition des types d'usage des bois

• Les types d'usage de la biomasse forestière

Les types d'usages des bois sont définis selon le protocole de l'inventaire forestier national :

- Le **bois d'œuvre (BO)** correspond à la qualité « bois d'œuvre » 1^{er} choix (tranchage, déroulage, ébénisterie, menuiserie fine) et 2^{ème} choix (autre sciage, menuiserie courante, charpente, caisserie, coffrage et traverse), le classement étant réalisé par les opérateurs de l'IGN à l'issue d'observation sur le terrain. La découpe marchande de l'usage bois d'œuvre est de 20 cm « fin bout » pour des billes de 2 mètres de longueur au minimum ;
- Le **bois industrie et bois énergie (BIBE)** correspond à l'ensemble des autres usages (billons de 2 à 4 m pour la trituration et pour l'industrie du panneau, pour la fabrication de piquets, pour la production de bois bûches, perches pour la production de plaquettes forestières...). Les pratiques prévoient usuellement une découpe fin bout :
 - de 10 cm pour les usages industriels ;
 - de 4-5 cm pour le bois bûches ;

Les rémanents sont en général mis en tas ou en andains et abandonnés sur le parterre de coupe. Pour éviter la propagation de maladies prophylactiques, certains gestionnaires/propriétaires exigent un broyage de la biomasse, ce qui entraîne des coûts supplémentaires à la charge de l'exploitant forestier. Lorsque cette contrainte est imposée, la production de plaquettes pour l'énergie devient intéressante pour l'exploitant ou l'entreprise de travaux forestiers.

Pour la production de plaquettes forestières, la quasi-totalité de la perche ou du houppier² est en général utilisée.

• Les compartiments de l'arbre et les fractions recensées par l'IGN

L'IGN ventile les compartiments de l'arbre de la façon suivante :

- La **tige principale de l'arbre (tronc) de plus de 7 cm de diamètre**, qui est valorisée par ordre de priorité sous la forme de bois œuvre, de bois industrie, voire de bois énergie (pour les perches écartées à l'occasion des opérations de balivage³ ou d'éclaircies systématiques ou sélectives).
- Les **branches latérales de plus de 7 cm de diamètre**, qui sont valorisées par ordre d'importance sous la forme de bois industrie, de bois énergie (bois bûches et plaquettes forestières), voire de bois d'œuvre.
- Les **branches (menus bois ou MB) de moins de 7 cm de diamètre**, qui peuvent être potentiellement valorisées vers l'énergie (plaquettes, bûches, charbonnettes...).

Toutefois, la globalité de la partie aérienne de l'arbre et les perches ne sont pas comptabilisées. En effet, les **données statistiques de l'IGN ne prennent pas en considération les branches dont le diamètre est inférieur à 7 cm** (menus bois), quel que soit le type d'évaluation : volume de bois sur pied, volume de la production biologique, volume de la mortalité, volume des prélèvements...

Pourtant, les menus bois sont potentiellement valorisables en énergie lors des chantiers d'abattage (bois d'œuvre et bois industrie) ou les chantiers d'éclaircies (bois bûches et plaquettes forestières).

L'IGN considère que sont valorisables en BIBE :

- De l'ordre de 10 % du volume total de bois fort (en marron sur le schéma ci-dessous),
- Les branches (en orange et en jaune sur le schéma ci-dessous) à 100 %,

² Cime de l'arbre.

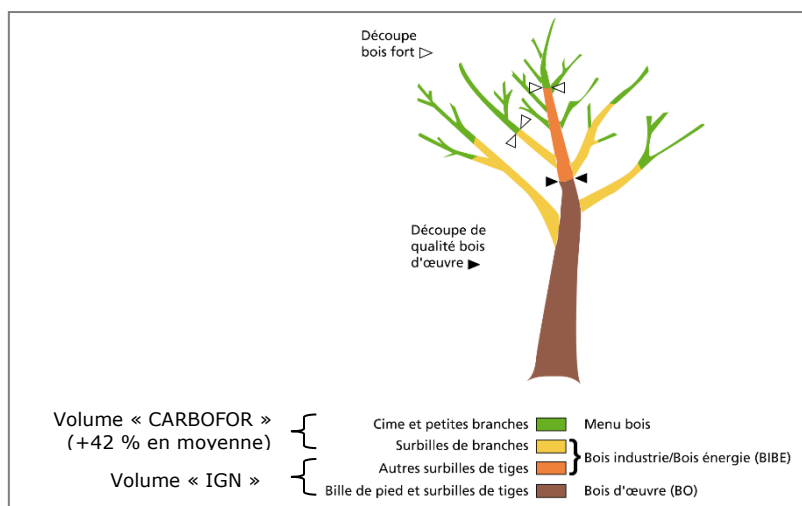
³ Balivage : opération forestière consistant à sélectionner les arbres d'avenir et à supprimer tout ou partie des autres.

- De l'ordre de 50 % des menus bois (en vert sur le schéma ci-dessous).

À partir du tableau 5, la disponibilité en biomasse se répartit de la manière suivante :

- Bois fort (très gros bois, gros bois et moyen bois) : 40 %,
- Petit bois : 30 %,
- Menus bois : 15 %.

Figure 1 :Schéma des compartiments d'un arbre (source : IGN)



En conséquence, la biomasse pouvant être récoltée s'élève au maximum à **85 % de la production biologique, après déduction de la mortalité** (76,5 % de la production biologique). À l'échelle régionale, on peut en conséquence estimer que la **biomasse mobilisable en forêt est en valeur absolue de près de 6,2 millions de m³/an.**

Cette **disponibilité forestière demeure néanmoins théorique**. Elle ne prend pas en considération un certain nombre de facteurs, liés à l'exploitabilité de la forêt ou à des conditions spécifiques conduisant à une réduction de ce potentiel.

L'Institut géographique national et forestier (IGN) estime désormais les prélèvements en forêt en les constatant lors des visites de placettes. Toutefois, ces approches sont disponibles à l'échelle de la région.

Pour estimer les prélèvements, il est également possible d'utiliser une seconde méthode consistant à estimer le prélèvement à partir des enquêtes annuelles de branche (données AGRESTE) et des estimations de consommation de bois de feu (données CEREN et enquête spécifique).

1.2.1.1 Le coût de revient de la production de plaquettes forestières

1.2.1.1.1 Les principales stratégies

D'une manière générale, deux types d'itinéraires techniques principaux permettent de produire des plaquettes forestières :

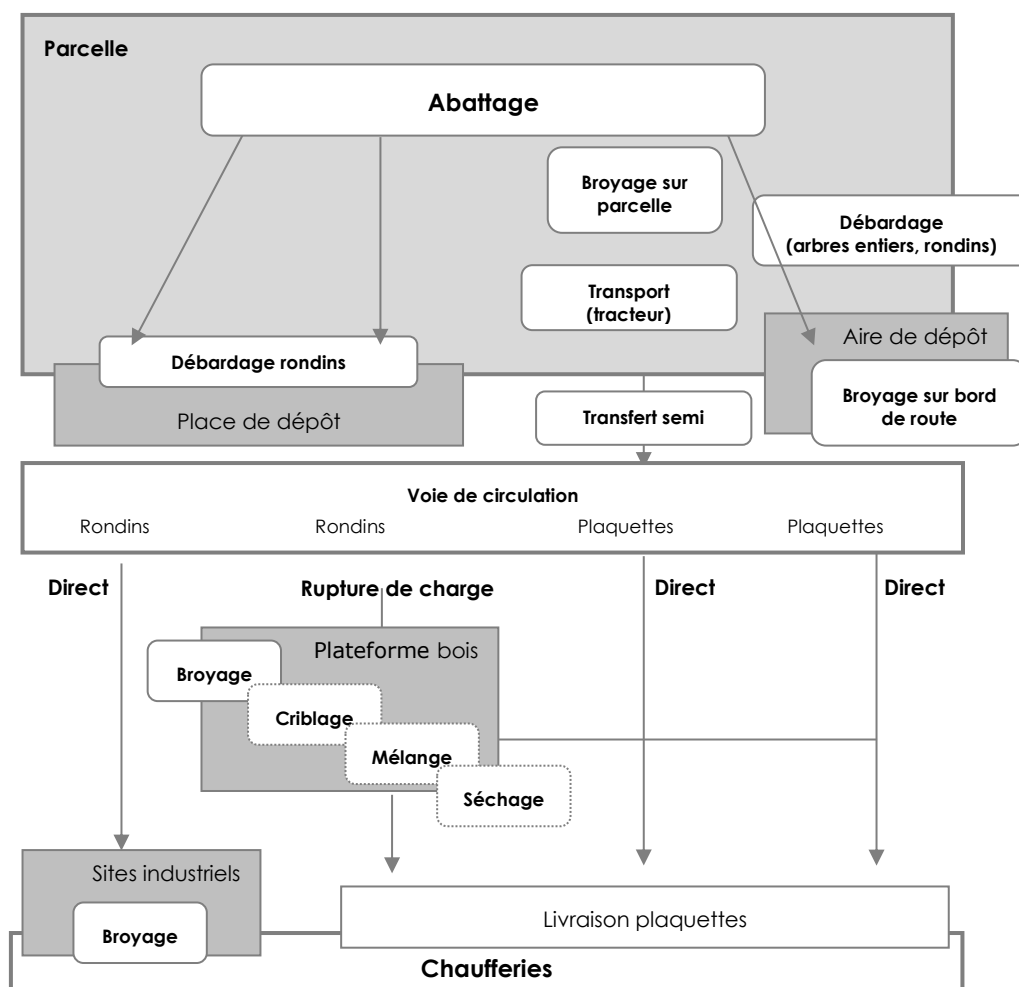
- **Livraison directe** (sans rupture de charge) avec ou sans stockage des arbres sur parcelle ou sur place de dépôt en bord de route. Un stockage de quelques mois sur la parcelle de coupe permet le séchage du bois et l'amélioration de sa qualité grâce à la perte de feuilles et de brindilles riches en éléments minéraux.
- Avec **stockage intermédiaire** sur une plateforme dédiée. Compte tenu de l'importance des chantiers et des débouchées en chaufferies, un stockage des plaquettes sur une plateforme intermédiaire est parfois nécessaire. Cet itinéraire est favorisé par les structures disposant de plateformes comme VEOLIA par exemple. Le passage par une plateforme permet de produire des plaquettes à plus forte valeur ajoutée (mélanges possibles, séchage, criblage).

On distingue également une troisième voie qui consiste à broyer sur la parcelle de coupe, mais cette organisation développée notamment au Danemark ou en Finlande apparaît a priori peu adaptée au contexte régional (excepté sur les deuxièmes et troisièmes éclaircies résineuses).

La localisation du broyage dans la chaîne globale de production implique des itinéraires et des choix de matériels différents. On distingue :

- **Le broyage sur la parcelle de coupe**, réalisé par des broyeurs automoteurs, adapté à des gros chantiers (matériel coûteux) et des conditions topographiques favorables. Au-delà de 15 % de pente, l'engin est déconseillé. Son spectre d'action est donc réduit dans un contexte de marché émergent. Son avantage est de pouvoir mobiliser plus de volume (peu de pertes et broyage de l'intégralité de la perche).
- **Le broyage sur la place de dépôt en bord de route**, effectué par des broyeurs le plus souvent montés sur châssis de camion. C'est l'itinéraire le plus fréquent aujourd'hui en France, avec des broyeurs de forte capacité (> 300 CV).
- **Le broyage sur plateforme**. On distingue alors deux situations :
 - le broyage sur plateforme centralisée : la plateforme est située entre la ressource (les forêts principalement) et les chaufferies ;
 - le broyage sur une plateforme adossée à l'installation de combustion.

Figure 2 : Les différents modes d'organisation de production des plaquettes forestières (source : CEDEN)



Les coûts d'abattage et de débardage sont moins élevés sur les plateformes, mais le coût de production de la plaquette doit intégrer une rupture de charge et un conditionnement supplémentaire.

1.2.1.1.2 Les itinéraires techniques et les coûts de production

Toutes les interventions sylvicoles sont potentiellement concernées par la production de bois pour l'énergie : les éclaircies, les relevés de couvert, les coupes rases, les ouvertures de cloisonnements, voire le dépressage. Potentiellement, tous les compartiments de l'arbre peuvent être introduites dans la production de plaquettes, mais les diamètres de 7 à 35 cm sont privilégiés : billes de mauvaise qualité ou avec problèmes sanitaires, les surbilles et les houppiers, les purges, voire le menu bois sur les sols peu sensibles.

Les exigences en matière d'essence sont moins fortes que pour le bois de feu : toutes les essences peuvent convenir à la production de plaquettes forestières.

On constate couramment les organisations suivantes :

- Ouvertures de cloisonnements, stockage des perches (arbres « entiers ») en bord de parcelle, broyage sur **place de dépôt**.
- Perches débardées en « 2 m », évacuées et broyées sur plateforme sur coupes d'amélioration, voire de régénération.
- Débardage de branches 0-20 cm et broyage sur une place de dépôt en bord de forêt. Dans ce cas, les rémanents (inférieur à 7 cm) sont valorisés, ainsi qu'une partie des compartiments destinés au bois de chauffage ou à la trituration.

Les coupes rases de taillis ou les premières éclaircies et les ouvertures de cloisonnements (< 25 ans) concernent prioritairement la production de bois de trituration ou de bois énergie. Dans l'hypothèse d'une valorisation en énergie, les arbres entiers sont valorisés, y compris donc les menus bois (découpe 7 cm), soit une augmentation de la biomasse mobilisée de 10 % si l'on considère l'ensemble de l'arbre (soit près de 30 % si l'on considère uniquement le houppier). Notons toutefois qu'une partie des menus bois est perdu lors du débardage (par porteur en général) ou au moment du séchage sur la parcelle de coupe (pertes de brindilles riches en éléments minéraux).

Toutefois, des plaquettes sont aussi produites à partir de bois en 2 m correspondant notamment à des surbilles non valorisables en bois d'œuvre.

Les fiches suivantes détaillent deux itinéraires techniques très distincts :

- la production de plaquettes à partir d'arbres entiers de petits diamètres,
- la production de plaquettes à partir du houppier ou des menus bois d'arbres exploités pour le bois d'œuvre ou le bois de trituration.

Tableau 2 : Premier itinéraire - arbres entiers de petits diamètres

Chantiers dédiés bois énergie-Production à partir d'arbres entiers (diam. < 35 cm)	
Interventions sylvicoles	Interventions : dépressage, premières éclaircies et cloisonnements, élargissements de cloisonnements, coupe rase de taillis Peu de concurrence avec BI (billons de 3 m ou plus), concurrence avec l'affouage
Destination principale de la parcelle	Dans cette configuration, la parcelle est principalement dédiée au bois énergie (ou bois de chauffage en cas d'affouage). Dans le cas d'une coupe rase d'un taillis, certains des individus peuvent être valorisés en bois d'œuvre. Les rendements et les coûts sont très variables, selon qu'il s'agisse d'un simple cloisonnement (25-40 t/ha) ou d'une coupe rase (150-200 t/ha).
Compartiments bois énergie	Arbre de diamètre inférieur à 30-35 cm : objectif plaquettes pour l'énergie (ouverture de cloisonnements) L'arbre coupé est valorisé intégralement, y compris les menus bois, pour la production de bois énergie. Arbres de diamètre supérieur à 30-35 cm : selon les cas, bois d'industrie et/ou bois d'œuvre
Valeur moyenne du bois sur pied	10-15 €/t pour le bois énergie
Itinéraire technique	Abattage au sécateur (pince, scie) monté sur pelle à chenilles. Ressuyage ⁴ 3-4 mois en javelle sur place. Débardage au porteur ou au skidder vers place de dépôt proche. Broyage et évacuation en chaufferie.
Coût de production	Coût de production plaquettes (à 45 % d'humidité, soit un PCI moyen de l'ordre de 2,5 MWh/tonne) : Valeur bois sur pied : 10-15 €/t Abattage/débardage : 20-30 €/t Séchage sur parcelle de coupe : 0 €/t Broyage bord de route : 12-15 €/t Livraison en chaufferie : 10-15 €/t Coût supérieur dans le cas d'une rupture de charge rendue obligatoire par l'absence de débouché en chaufferies collectives ou industrielles et/ou si nécessite de sécher/mélanger les plaquettes. Le coût de revient de la plaquette forestière s'élève usuellement entre 60 et 65 €/tonne livrée, soit de 24 à 26 €/HT/MWh.
Remarque	La production de plaquettes à partir de chantier de premières éclaircies ou de cloisonnements est actuellement constatée notamment en forêt publique ; cette pratique demeure marginale. Elle se substitue souvent à la production de bois bûche (affouage notamment). En forêt privée, le bois bûche est encore privilégié.

⁴ Ressuyage : Opération de séchage en l'état des perches ou javelles

Tableau 3 : Second itinéraire – Déchiquetage de houppiers issus d'une exploitation de bois d'œuvre

Parcelles orientées bois d'œuvre, d'industrie ou bois de chauffage	
Interventions sylvicoles	Eclaircies, relevés de couvert, coupes de régénération.
Destination principale de la parcelle	Dans cette configuration, la parcelle est vendue pour du BO ou du BIBE. Une part des rémanents et du BIBE est si besoin valorisé en bois énergie.
Compartiments bois énergie	Arbres de diamètre supérieur à 35 cm avec objectif bois d'œuvre Menu bois, houppier Arbres avec objectif BIBE/« bois de chauffage » Menu bois surtout Brins Les brins non valorisables en bois d'industrie ou en bois de chauffage sont valorisés en bois énergie
Valeur moyenne du bois sur pied	50-100 €/t au global, avec des usages bois d'œuvre, bois d'industrie et bois énergie Dans certains cas (obligation mètre en andins et de broyer les rémanents sur le parterre de coupe), le bois non valorisé en BO et BI est valorisable sous forme de plaquettes à une valeur nulle. Mais dans l'essentiel des cas, on retiendra une valeur entre 0 et 10 euro/tonne.
Itinéraire technique	Exploitation sylvicole classique. Séparation des catégories et qualités sur la plateforme : BO, BI, BE Broyage sur parcelle ou sur plateforme des billons en 2 m. Compartiments bois énergie : houppiers, surbilles de pied, purges, coupes sanitaires, perches issues d'une opération de balivage
Coût de production	Coût de production plaquettes (à 40 % d'humidité, soit un PCI moyen de 2,7 MWh/tonne) : - Valeur bois sur pied : 0-10 €/t - Abattage : 15-20 €/t (15 lorsqu'il s'agit d'houppiers, de surbilles de pied ou de purge, puisqu'une partie du coût de l'abattage est affectée à la production du bois d'œuvre) - Ressuyage/débardage : 6-7 €/t - Broyage bord de route : 10-12 €/t - Livraison en chaufferie : 10-15 €/t - Coût d'une rupture de charge : Transport sur la plate-forme des bois en toute longueur ou de billon de 2 à 4 m (10 €/t) + Plate-forme (5 €/t) Exemple de chantier  Valeur sur pied moyenne : 10 €/t (→ 20 €/t) 15-20 €/t 6-7 €/t 10 €/t 15-20 €/t 55-75 €/t livrée hors frais de gestion, soit 18 – 25 €/MWh rendu
Remarque	Concurrence avec la production de bois d'industrie et parfois bois de feu pour certaines essences dures (chêne, hêtre...) : les exutoires dépendent de l'essence et de l'humidité, mais un choix devra être fait par le sylviculteur en amont du chantier. Le bois d'industrie et le bois de feu peuvent éventuellement autoriser une rémunération à la tonne ou au stère plus élevée, mais la quantité de biomasse valorisée est plus faible qu'une production de plaquettes : il convient donc de raisonner en termes de recettes à l'hectare.

Coût de revient des plaquettes forestières

À la lumière des différents itinéraires techniques envisageables, le coût de revient des plaquettes forestières s'inscrit dans une fourchette de **18 à 26 €/MWh PCI**. Ces coûts s'entendent hors marge pour le fournisseur de combustible est hors gestion des cendres.

- *Ville de Montereau-Fault-Yonne – cas des déchets verts*

Selon le rapport 2019 du SIRMOTOM, **1 425 tonnes de déchets verts** ont été réceptionnées dans la déchetterie de Montereau-Fault-Yonne et 684 tonnes à Voulx. A ce tonnage s'ajoute 12 m³ de déchets verts apportés par des professionnels. Ces déchets verts sont actuellement **valorisés par compostage**. Ils comportent probablement une part de bois, ainsi qu'une part d'herbes (gazon).

Le SIRMOTOM propose depuis 2015 un service de **broyage des déchets verts** à domicile pour les particuliers, 1000 m³ de déchets verts ont ainsi été broyés en 2019. Ces **broyats servent au jardinage**.

Le potentiel de biomasse urbaine de Montereau-Fault-Yonne fait donc déjà l'objet d'une valorisation, et n'a donc pas vocation à être redirigé en chaufferie biomasse.

1.3 La ressource en Miscanthus

Depuis 2014, une partie de la biomasse consommée par la chaufferie est du miscanthus. Le miscanthus est livré par le fournisseur local BES (Biomasse Environnement Systèmes) situé à Episy à 10km de Montereau. BES est un groupe d'agriculteurs ayant développé la culture du miscanthus.

1.4 Optimisation de la chaudière biomasse

La chaudière biomasse, en fonctionnement dans la chaufferie de Montereau, n'est pas utilisée au maximum de sa charge. En effet sa durée d'utilisation équivalente à pleine puissance n'est que de 3 000 heures là où on considère usuellement qu'une utilisation maximale se situe autour de 5 000 heures. Sans aucune modification des installations actuelles, le réseau de chaleur pourrait donc valoriser la quantité de chaleur correspondant à 2 000 heures d'utilisation à pleine puissance, soit **12 GWh utiles/an**.

2 Déchets de bois

2.1 Enjeux

Les bois en fin de vie sont composés des produits et matériaux arrivant au terme de leur cycle de vie. On les trouve aussi bien dans **l'industrie de la première et la seconde transformation du bois**, que dans le secteur du **BTP**, dans les **entreprises artisanales, industrielles ou tertiaires**, chez les **ménages**...

Comparé à de la biomasse forestière, les déchets de bois représentent un combustible plus délicat du fait de la **teneur importante de ces produits en polluants**. Il s'ensuit qu'une installation de combustion acceptant des déchets de bois va impliquer l'utilisation de matériels et de technologies spécifiques, que ce soit pour le foyer de combustion -- afin d'y maintenir une température suffisamment élevée pour éviter la formation des principaux polluants atmosphériques -- ou le traitement des gaz de fumées.

Les **surcoûts liés à ces équipements spécifiques rendent souvent l'utilisation de cette ressource problématique pour un réseau de chaleur**. En effet, pour atteindre un optimum économique, un tel moyen de production doit fonctionner le plus longtemps possible à sa pleine puissance. Or, un réseau de chaleur se caractérise par un besoin saisonnier, qui fait qu'un moyen de production destiné à couvrir une part majoritaire des besoins peut rarement fonctionner plus de 5 000 heures à pleine puissance. En comparaison, un industriel -- dont le processus de production est constant -- peut viser 8 000, voire 8 300 heures de fonctionnement à pleine puissance.

De plus, les installations brûlant des déchets de bois sont souvent de forte puissance (supérieure à 15 MW), dans le cas de Montereau-Fault-Yonne **cette ressource semble donc inadaptée**.

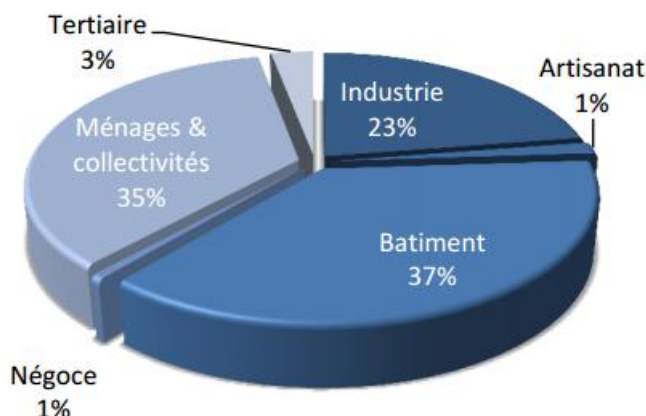
2.2 Types de déchets de bois

Figure 3 :Résumé des déchets de bois générés selon le secteur et les activités

Secteur	Activités	Déchets générés
Bâtiment & Travaux Publics (BTP)	Construction	Emballages en bois (caisses, palettes...) Bois de coffrage Planches d'échafaudage Chutes techniques (charpente, montants d' huisserie...)
	Démolition	Composants en fin de vie : menuiseries, charpentes, planches, parquets, clôtures...
	Rénovation	Mélanges de déchets des deux types précédents
Ménages	Bricolage Changement de mobilier Rénovation (démolition et/ou construction)	Vieux mobiliers Vieilles huisseries (portes, fenêtres, montants...) Vieilles structures en bois (poutres, solives, planchers...) Parois/panneaux en OSB...
Entreprises industrielles et tertiaires	Changement de mobilier Emballages en bois Aménagements	Vieux mobiliers Emballages usagés Déchets de bois divers
Génie civil	Réseaux Equipements (ponts...) Mobilier urbain...	Poteaux Equipements routiers (glissières en bois),
Agriculture	Clôtures, pieux de bouchots...	Vieux pieux dégradés

Leurs origines sont représentées ci-dessous par importance du gisement :

Figure 4 : Origine des déchets de bois



De nature et d'origine diverses, les **déchets de bois** peuvent être classés selon la **typologie** suivante :

- Les bois massifs traités ou non ;
- Les bois de structure reconstitués, utilisés dans le bâtiment (lamellés-collés), dans les aménagements et dans le mobilier (panneaux de process) ;
- Les matériaux complexes.

La présence d'**indésirables ou impuretés externes** comme les charnières métalliques, des vis, poignées, mousses, verre, sable, tissus... est également constatée dans les déchets de bois.

Figure 5 : Typologies des déchets de bois et indésirables (crédit photo : CEDEN)



2.3 Cadre réglementaire

Pour faire l'objet d'une valorisation énergétique, les déchets de bois doivent respecter la réglementation en vigueur encadrant les installations ICPE :

- 2910-A : Installation de combustion - Biomasse, connexes de scieries, bois d'emballages (bénéficiant d'une sortie du statut de déchets) ;
- 2910-B : Installation de combustion :
 - B1 : biomasse au sens b(V) de la directive IED et de la réglementation ICPE,
 - B2 : autres combustibles : exemple déchets de bois sortis du statut de déchets ;
- 2971 : Installation de production de chaleur et d'électricité pour des Combustibles solides de récupération (CSR) ;
- 2771 : Incinérateur de déchets non dangereux ;
- 2770 : Incinérateur de déchets dangereux.

La réglementation fixe pour chaque type d'installation, des seuils pour les combustibles et des valeurs limites d'émission de polluants dans l'atmosphère, mais aussi pour les cendres.

A noter que les bois d'ameublement et les bois de démolition ne sont pas considérés comme biomasse de type 2910-B.

Figure 6 : Valorisation possible selon la classe de déchets de bois

Classe déchets de bois	1	2	3	4
Type de déchets	Bois d'emballage (SSD), connexes de scieries, ...	Déchets papetiers, déchets de bois non traités, DEA SSD	Déchets de bois adjuvantés non dangereux (DEA, bois de la démolition...)	Déchets de bois dangereux (traverse de chemin de fer...)
Rubrique ICPE*	2910-A	2910-B	2971 (ou 2771)	2770

* Les installations ICPE 2771 (et 2770) sont soumises à la TGAP.

Figure 7 : Déchets de bois de classe 1 (palettes ; à gauche) et de classe 3 (déchets d'éléments d'ameublement ; à droite)



Crédit photos : CEDEN

Ces déchets ont **plusieurs destinations** : la valorisation matière (57%), la valorisation énergétique (22%), et l'élimination (21%). Le potentiel intéressant pour la mise en place du réseau de chaleur concerne la partie qui **n'est pas déjà valorisée : l'élimination**.

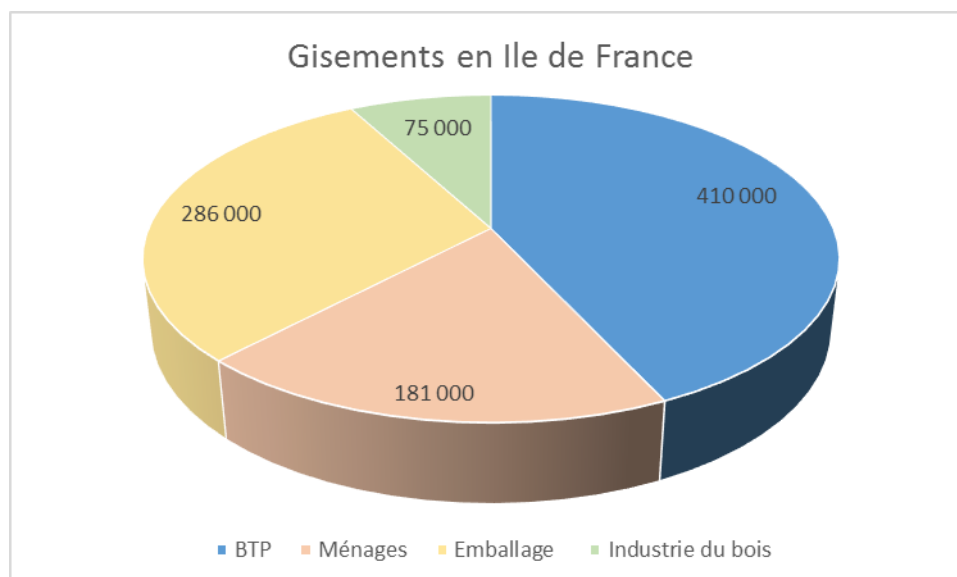
Les déchets du bâtiment et des ménages constituent l'origine majeure des éliminations (par enfouissement) de déchets de bois (88%).

2.4 Disponibilité de la ressource

• Ile-de-France

Au total, la disponibilité théorique de déchets de bois est de **952 000 t/an** dans la région Ile-de-France. Leur répartition par origine est présentée ci-dessous.

Figure 8 : Estimation des flux de déchets de bois selon l'origine – région Ile de France (source : CEDEN/Biomasse Normandie, ECIRBEN)



Parmi ces ressources 641 000 t/an, soit 67% de la ressource totale, font déjà l'objet d'une valorisation matière ou énergétique. La ressource valorisable serait donc de **311 000 t/an** de déchets de bois. Ceux-ci sont actuellement enfouies, brûlés à l'air libre ou font l'objet de dépôts sauvages.

3 Les CSR (Combustible Solide de Récupération)

3.1 Enjeux

Un **combustible solide de récupération** est un déchet non dangereux solide, composé de déchets qui ont été triés de manière à en extraire la fraction valorisable sous forme de matière dans les conditions technico-économiques du moment, préparé pour être utilisé comme combustible dans une installation relevant de la rubrique 2971 de la nomenclature des installations classées pour la protection de l'environnement.

La **production de CSR** s'inscrit en complément de la valorisation matière, en cherchant à valoriser des déchets qui ne peuvent pas être recyclés. Leur préparation vise à répondre à des exigences à la fois de densité énergétique, mais également de réduction de contaminants lors de la combustion.

Les CSR présentent à bien des égards **les mêmes enjeux que l'utilisation de déchets de bois**, en **exacerbant** même la **problématique** soulevée par ces ressources. Ainsi, les CSR vont présenter des quantités de polluants bien plus importants que les déchets de bois, et produire une quantité plus grande de cendres qui ne pourront être valorisées en épandage. A l'inverse, leur coût de production est plus faible que celui des déchets de bois, il est même usuellement négatif, le combustible représentant une recette d'entrée pour le réseau de chaleur ! Cet avantage économique doit toutefois être mis au regard des surcoûts apportés par cette technologie : les équipements sont plus onéreux que pour les déchets de bois, l'exploitation des chaudières impliquera une plus grande consommation de réactifs pour traiter les fumées et enfin, là où les déchets de bois sont considérés neutre en carbone, les CSR présentent un contenu CO₂ proche de celui du gaz naturel. Ceci vient du fait que, dans la réglementation actuelle⁵, seule la partie biogénique des CSR est considérée comme neutre en carbone. La teneur réelle d'un CSR en carbone dépend de sa provenance, mais les études sur les installations européennes de combustion indiquent que ce contenu carbone est d'environ 220 kg par MWh de chaleur produit.

De même sur pour les déchets de bois, ce type de combustible n'est déployé que sur des chaufferies de grande puissance (supérieure à 15 MW), ce qui ne serait pas le cas du contexte de l'étude.

Suivant leur provenance (collecte d'ordures ménagères, déchets des entreprises, etc.) les CSR peuvent prendre des formes très différentes.

Figure 9 : Combustibles solides de récupération fabriqué à partir d'Ordures Ménagères résiduelles (à gauche) et de Déchets d'Activité Économique (à droite)



3.2 Cadre réglementaire

Si la situation était jusqu'alors peu favorable économiquement à la valorisation des CSR, mais le contexte fiscal (augmentation attendue de la TGAP sur l'enfouissement) et réglementaire (cadre ICPE depuis 2016 pour les installations de préparation et de co-incinération des CSR) permet désormais d'envisager cette filière avec plus d'optimisme, dont le développement permettrait de contribuer à l'objectif de réduction de 50 % de l'enfouissement d'ici 2025.

☞ Un cadre pour la préparation et la valorisation des CSR depuis 2016

Depuis 2016, la réglementation ICPE fournit un cadre à la préparation et la valorisation énergétique des CSR (arrêtés du 23 mai 2016). Notons que les installations de production énergétique à base de CSR ne sont pas soumises à la TGAP.

⁵ Dont des évolutions ne sont pas à exclure, celle-ci étant un frein important au développement de la filière CSR en France.

• Exigences

Les caractéristiques d'un lot de CSR sont stables dans le temps. Un lot de CSR est homogène. Un CSR répond à un cahier des charges qui fixe les exigences spécifiques définies par un client. L'arrêté « préparation » fixe qu'un CSR :

- est préparé à partir de déchets non dangereux ;
- a un PCI sur CSR brut supérieur ou égal à 12 000 kJ/kg ;
- a fait l'objet d'un tri dans les meilleures conditions technico-économiques disponibles des matières indésirables à la combustion, notamment les métaux ferreux et non ferreux ainsi que les matériaux inertes ;
- ne dépasse pas les teneurs en chacun des composés suivants :
 - mercure (Hg) : 3 mg/kg de matière sèche ;
 - chlore (Cl) : 15 000 mg/kg de matière sèche ;
 - brome (Br) : 15 000 mg/kg de matière sèche ;
 - total des halogénés (brome, chlore, fluor et iode) : 20 000 mg/kg de matière sèche.

☞ *Augmentation attendue de la TGAP enfouissement*

La politique actuelle de réduction de l'enfouissement, et plus particulièrement l'objectif de réduction de 50 % du tonnage de déchets enfouis à l'horizon 2025, va conduire à détourner quelque 12 millions de tonnes de déchets de l'enfouissement. Pour faciliter l'atteinte de ces objectifs, la Feuille de route sur l'économie circulaire (Frec) prévoit d'"adapter la fiscalité pour rendre la valorisation des déchets moins chère que leur élimination". Pour cela, le PLF 2019 prévoit trois mesures pour, qu'à terme, le coût de la mise en décharge et de l'incinération soit supérieur de dix euros par tonne (€/t) à celui du recyclage. La première est la hausse de la **TGAP déchets** (taxe générale sur les activités polluantes) à partir de 2021. La TGAP applicable à l'enfouissement progressa de 12 €/t en 2021, pour atteindre 54 €/t. Elle progressera ensuite jusqu'à **65 €/t en 2025**.

Tableau 1 : Calendrier des hausses de taux de la TGAP « stockage » (source : loi de finance 2019)

Désignation des installations de stockage de déchets non dangereux concernées	Unité de perception	Quotité (en euros)						
		2019	2020	2021	2022	2023	2024	A partir de 2025
A. – Installations non autorisées	tonne	151	152	164	168	171	173	175
B. – Installations autorisées réalisant une valorisation énergétique de plus de 75 % du biogaz capté	tonne	24	25	37	45	52	59	65
C. – Installations autorisées qui sont exploitées selon la méthode du bioréacteur et réalisent une valorisation énergétique du biogaz capté	tonne	34	35	47	53	58	61	65
D. – Installations autorisées relevant à la fois des B et C	tonne	17	18	30	40	51	58	65
E. – Autres installations autorisées	tonne	41	42	54	58	61	63	65

La **TGAP applicable au traitement thermique** augmentera de 5 €/t en 2021, pour atteindre 20 €/t (incinération) et 14 €/t (valorisation énergétique). En 2025, celle-ci passera à 25 €/t (incinération) et 15 €/t (valorisation énergétique).

3.3 Disponibilité de la ressource

Les ressources à partir desquelles peuvent être produits des CSR sont notamment :

- Le tout-venant (fraction combustible) issus des collectes en déchèteries ;
- Les refus de tri de collecte sélective des recyclables ménagers ;
- Les refus à haut pouvoir calorifique issus des unités de tri-mécano biologique (TMB) ;
- Les déchets d'activités économiques résiduels (fraction combustible) ;

Les % de CSR (net après déduction des refus générés lors de la production des CSR) pouvant être produits à partir de ces ressources sont les suivants :

- 50 et 60 % des refus de tri de Déchets d'Activités Economiques (DAE) ;
- 50-55 % des refus de tri/ compostage ou tri/ méthanisation / compostage ;

- Jusqu'à 35-40 % de ces flux d'OMR, voire 50 % si l'on considère des OMR avec collecte séparative des biodéchets.

- *Ile-de-France*

En Ile-de-France, le **flux potentiel de CSR s'élève** à près de **550 000 t/an**. Une partie de ce flux concerne déjà des CSR, valorisés en cimenterie notamment, produits sur certaines installations franciliennes (SEMARDEL = 15 000 t/an) ou en dehors de l'Ile-de-France (exemple : Déchets d'équipements et d'ameublement collectés en IDF et traités en Normandie à Oissel pour produire du CSR).

Tableau 2 : Flux potentiels de CSR en IDF

	OMr enfouies	Refus de tri TMB	Recyclables secs	DAE enfouis	Refus de tri DAE/ou filière CSR	Total CSR
Ressource brute	722 224	-	400 000	3 000 000		550 000
Refus de tri ou filière CSR	Sans objet	-	96 000		-	
Total CSR	180 556	-	76 800	300 000		

- *Ville de Montereau-Fault-Yonne*

En 2019, 11% de l'ensemble des déchets collectés par le SIRMOTOM hors gravats (ordures ménagères, déchetteries, collecte sélective, déchets végétaux...) n'a pas été valorisé ou recyclé. Ces déchets concernent le plâtre non valorisable, les encombrants collectés en porte à porte, les tout-venants encombrants des déchetteries et les refus de tri. Ils représentent environ **2 500 tonnes/an**.

4 Biométhane

4.1 Les modes de valorisation du biogaz

Le biogaz peut suivre plusieurs filières de valorisation :

- La production de chaleur ;
- La production simultanée de chaleur et d'électricité avec encadrement législatif des conditions de vente par l'arrêté DEVR1636693A du 13/12/16 ;
- L'injection dans le réseau de gaz naturel avec encadrement législatif des conditions de vente par le décret DEVR1107323D 27 juin 2014 ;

4.1.1 Valorisation biogaz en chaleur et / ou électricité

La valorisation du biogaz peut être prévue pour des réseaux de chaleur (cogénération) ou pour des industriels (méthanisation industrielle). Le modèle relatif aux réseaux de chaleur est abordé dans le schéma directeur de ces réseaux. Celui des industriels n'est pas abordé, étant la résultante d'une optimisation au cas par cas entre utilisation process et injection réseaux.

4.1.2 Valorisation du biogaz par l'injection dans le réseau

Sauf exception, l'injection dans le réseau de gaz est désormais privilégiée compte tenu de l'intérêt financier que présente cette solution.

Pour évaluer la faisabilité d'injecter dans le réseau de gaz, une perte de 10% sur les volumes de biométhane produite est retenue. Ce rendement tient compte des pertes résultant de l'épuration du biogaz, des arrêts annuels dus à l'entretien des équipements de méthanisation, de l'autoconsommation.

Le territoire est bien desservi par le réseau de gaz et il présente des potentiels d'injection élevés. Une approche complémentaire est à prévoir en étroite relation avec GRDF pour examiner les conditions réelles d'injection du biométhane dans le réseau.

L'injection sur le réseau de distribution repose sur :

- La création d'une canalisation de distribution entre le réseau de distribution de gaz existant et l'unité de méthanisation (compter entre 50 et 100 €/ml selon les débits et les difficultés de création de la tranchée) ;
- La construction d'un poste d'injection sur le réseau de distribution, regroupant les fonctions d'odorisation, d'analyse du gaz, un système anti-retour et le comptage. Le poste d'injection sur le réseau de distribution est loué à environ 52 k€/an par GRDF.

Des contraintes d'injection peuvent apparaître sur le réseau de distribution. En première approche, il faut s'assurer que la production ne dépasse pas la consommation minimale de gaz sur la zone de desserte gazière (contrainte d'étiage). Si les prévisions de production dépassent les prévisions de consommation, trois possibilités de levée de contrainte existent :

- Le maillage du réseau de distribution, qui consiste à relier deux zones de dessertes gazières entre elles, afin de permettre un débouché plus important au gaz injecté ;
- La création d'unité de rebours, installation industrielle permettant la compression du gaz depuis le réseau de distribution vers le réseau de transport. Cette solution est encore récente, et présente des coûts importants (de l'ordre de 2 M€). La création de rebours doit se faire sur la base d'un schéma de déploiement important de production de biogaz, pour rentabiliser l'investissement ;
- Le positionnement de station de recharge de GNV sur les poches de distribution en contraintes, afin d'augmenter le niveau de consommation de gaz et de relever la puissance injectable ;

Enfin, il est également possible de se raccorder sur le réseau de transport de gaz, avec à priori des débits injectables très élevés. Pour cela il est nécessaire :

- De comprimer le gaz pour porter sa pression au niveau de celle du réseau de transport. Les compresseurs sont des équipements relativement coûteux (environ 180 k€ pour un compresseur de 200 m³/h, auxquels il faut rajouter des OPEX de l'ordre de 10 %) ;
- De construire une canalisation de transport entre le compresseur et le poste d'injection (de 220 à 800 €/ml) ;
- De construire un poste d'injection sur le réseau de transport, regroupant les fonctions d'odorisation, de comptage, de système anti-retour et d'analyse. Le poste d'injection est facturé par GRT Gaz à 670 k€.

Le déploiement d'un nombre important d'unités de production en injection sur le réseau de gaz doit donc être coordonné pour garantir l'utilité des infrastructures créées.

4.2 Potentiel énergétique à Montereau

Un projet d'implantation d'une unité de méthanisation sur la commune de SALINS (77), à 6 km au nord de Montereau-Fault-Yonne, est en cours. Ce projet est porté par un agriculteur (Mr FICHOT) et porte le nom de VALOSFER.

Au total, VALOSFER envisage un volume de traitement de matières organiques d'environ 36 200 t/an, soit 99,2 t/j. Ces matières organiques seront composées de :

- Fumier équin : 12 100 t/an,
- Pulpes de betterave 10 000 t/an,
- Menue paille 500 t/an,
- Issues de céréales 600 t/an,
- Ensilage sorgho 2 000 t/an,
- Ensilage avoine 7 000 t/an,
- Ensilage maïs 4 000 t/an.

La fermentation aura lieu en condition mésophile (chauffé à une température de 35-40°C) dans **deux méthaniseurs** de 30,5 m de diamètre et de 8 m de haut, soit **5 240 m³ de volume de digestion pour chaque digesteur**. La quantité de digestat brut produit est de 79 600 t/an. Le digestat brut subit une séparation de phase :

- Le **digestat liquide** est envoyé dans une lagune des stockages de 2 885 m³,
- Le **digestat solide** est stocké sur une plateforme de stockage de 3 320 m².

Le biogaz produit est collecté dans les stockages de gaz des méthaniseurs et dans la cuve de maturation. Le **volume total de stockage est de 7 600 m³**. Les méthaniseurs et la cuve de maturation sont équipés de plages d'injection de dioxygène permettant la désulfuration du biogaz. Le biogaz subira ensuite un processus de condensation par refroidissement géothermique pour en extraire une partie de la vapeur d'eau. Il sera finalement transformé en biométhane à l'aide de charbon actif. **Ce biométhane est directement injecté dans le réseau gaz GRDF**. Le gaz pauvre obtenu par l'épuration, n'est pas injecté dans le réseau mais est brûlé dans la chaudière haute température qui fournira la chaleur nécessaire au processus de fermentation (mésophile). **La production annuelle de biogaz est estimée à 6 800 000 Nm³, ce qui représente environ 36 600 MWhPCS/an**. Il a été considéré une part de méthane de 50% dans le biogaz (généralement située entre 50 et 65%) et le volume de biométhane a été converti en valeur énergétique annuelle à partir du pouvoir calorifique supérieur de 10,7 kWhPCS/Nm³.

4.3 Usages de la chaleur issue du biogaz

A l'instar de la majorité des réseaux de chaleur existant en France, le **réseau de Montereau-Fault-Yonne** dispose de chaudières gaz, et **est donc compatible avec la valorisation de biogaz** dans sa production de chaleur.

Toutefois, cette **valorisation** n'est **pas forcément préconisée** : en effet, à la différence du réseau de chaleur, le biogaz présente la particularité d'être directement accessible à un très grand nombre d'utilisateur – tous les bâtiments raccordés au réseau de distribution GrDF, de fait. Il peut donc être **souhaitable de préserver cette ressource EnR&R** pour les bâtiments pour lesquels le raccordement au réseau de chaleur n'est pas envisageable : zones éloignées, **habitation pavillonnaire**, etc. Le réseau de chaleur a plus vocation à venir valoriser des sources de production directes de chaleur, comme par exemple l'UVE du SYSTRADEM.

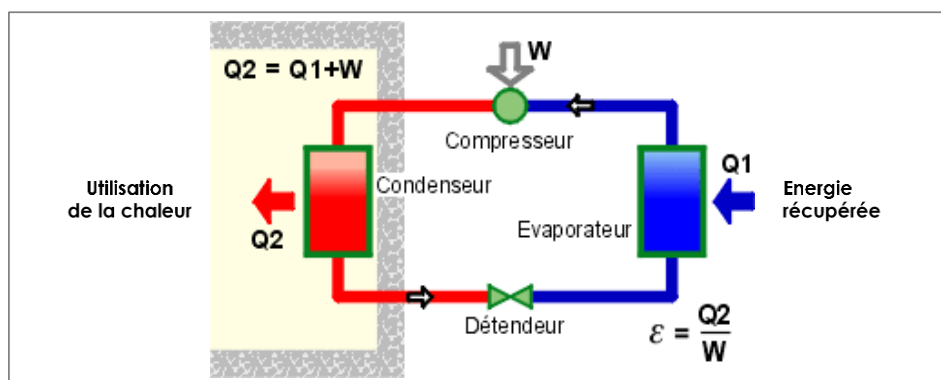
A titre d'exemple, les besoins des habitations chauffées individuellement au gaz sur Montereau-Fault-Yonne sont de l'ordre de 42 GWh PCS/an, soit une quantité supérieure à celle produite par le projet VALOSFER. Ce point doit toutefois être considéré avec attention : en effet la production de biogaz sera probablement constante sur l'année, là où les besoins de chaleur vont baisser drastiquement en période estivale. Il est donc probable que le biogaz issu de VALOSFER doive être également associé aux consommations des industriels, qui sont quant à elles très importantes (166 GWh PCS /an).

5 Géothermie

5.1 Géothermie de surface

La géothermie de surface connaît un regain d'intérêt avec l'amélioration des performances des nouveaux modèles de pompes à chaleur. En effet, elle se base sur l'utilisation d'une ressource à une température faible (de 15 à 18 °C habituellement), qui nécessite donc l'utilisation d'une pompe à chaleur pour pouvoir transférer l'énergie à un réseau de chaleur, aux températures habituellement comprises entre 60 et 95°C. Le fonctionnement de principe d'une pompe à chaleur est le suivant.

Figure 10 : Fonctionnement d'une pompe à chaleur (PAC)



Les conditions de cette valorisation dépendent toutefois crucialement de la loi d'eau du réseau. Deux cas sont susceptibles d'être rencontrés :

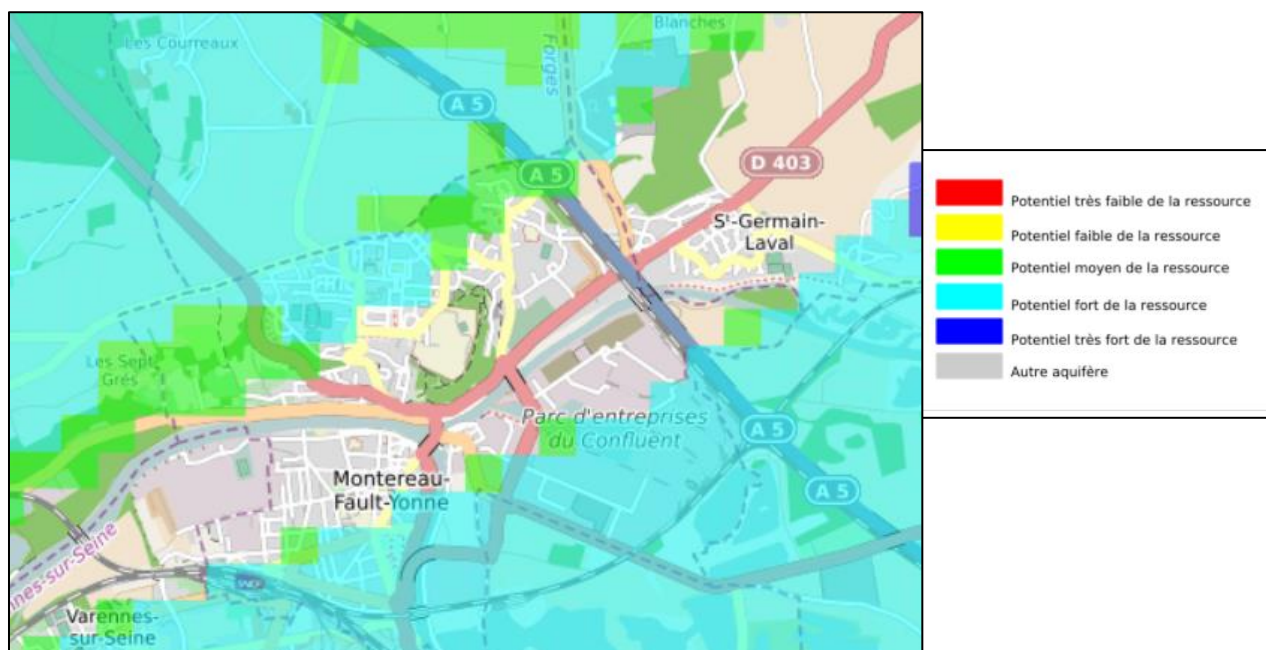
- **Le cas d'un secondaire ancien, avec des retours chauds.** Dans ce cas, le régime de température du réseau va être de 80°C à 90°C au départ, pour un retour à 65°C (le réseau est alors qualifié de **Basse Température**, par opposition aux réseaux en eau surchauffée). Il s'ensuit que l'écart de température avec la source de chaleur fatale est conséquent, ce qui aboutit à deux répercussions pénalisantes : d'une part l'utilisation de pompes à chaleur extrêmement spécifiques et donc onéreuses, et de l'autre un COP peu performant (inférieur à 3) qui va imposer une consommation électrique élevée et priver le projet d'une subvention ADEME. En coût global, l'utilisation de chaleur fatale à une telle loi d'eau aboutit à un **coût de revient** de la chaleur supérieure à **70 € HT/MWh**.
- **Le cas d'un secondaire neuf** doté d'émetteurs de chaleur conçus pour produire **des retours froids**. Le régime de température est alors bien plus bas, de l'ordre de 65°C/20°C pour de la production d'ECS instantanée, et de l'ordre de 45°C/30°C pour un chauffage en plancher chauffant. Le réseau est alors qualifié d'**Ultra Basse Température**. Cette situation permet de diminuer les coûts d'investissement de la pompe à chaleur tout en lui assurant un bien meilleur COP (de l'ordre de 5,5), ce qui permet de diviser par deux le **coût de revient** de la chaleur fatale, de l'ordre de **40 € HT/MWh**.

5.2 Géothermie profonde

Dans le cas de l'étude présente, la grande partie des abonnés actuels du réseau de chaleur possèdent des lois d'eau de secondaire ancien : l'intérêt économique de la solution géothermique est donc inexistant. Cette solution pourrait toutefois trouver un accueil favorable en solution autonome pour les futures constructions ou selon le type de chauffage des cibles identifiées.

Le site géothermies.fr, créée en partenariat par le BRGM et l'ADEME, propose des cartographies destinées à recenser les zones propices à la géothermie.

Figure 11 : Potentiel de géothermie sur Montereau-Fault-Yonne



Le potentiel géothermique de surface sur système ouvert de la Ville de Montereau-Fault-Yonne est moyen à fort selon le secteur. Les données ne sont pas connues pour une partie importante de la ville et la précision est faible, des études complémentaires seraient à entreprendre avant toute démarche supplémentaire.

5.3 Les sources d'énergie sur la station d'épuration

Le potentiel énergétique contenu dans les eaux usées est très important et renouvelable. Il correspond à l'énergie nécessaire au chauffage de plus de 10% du patrimoine bâti.

La station d'épuration reçoit et rejette d'importants flux d'eau qui proviennent des effluents urbains et/ou industriels.

Ces flux contiennent une quantité d'énergie élevée, actuellement non valorisée. Toute l'énergie potentielle est actuellement dissipée dans l'environnement.

La valorisation de ces flux énergétiques pourrait suivre deux voies :

- par **voie directe** (échange avec un fluide caloporteur) ;
- par voie indirecte ou **voie thermodynamique** (pompe à chaleur).

La chaleur récupérée pourrait être utilisée pour deux types d'usage :

- sur le site de la station d'épuration ;
- à l'extérieur du site pour assurer le chauffage et/ou couvrir les besoins thermiques des process.

Les données concernant la récupération de chaleur sur les eaux épurées et la localisation de la STEP sont **en attente de la direction du service assainissement de la CCPM**.

L'ADEME a mené une étude sur les gisements de chaleur fatale en IDF en 2015. Sur la STEP de la Grande Paroisse, le débit moyen horaire serait de 45 L/s. L'étude conclut que le potentiel valorisable maximal en basse température sur cette STEP est de 1 777 MWh.

6 Chaleur fatale

6.1 Introduction

La chaleur fatale est définie comme une chaleur produite par un processus sans en être la finalité première, et qui est donc perdue. Ce type d'énergie concerne l'ensemble des industries, que ce soit les usines d'incinération, les data center, les industries lourdes, etc. En France, on estime à près d'un tiers la part de l'énergie consommée par l'industrie qui est perdue sous forme de chaleur fatale.

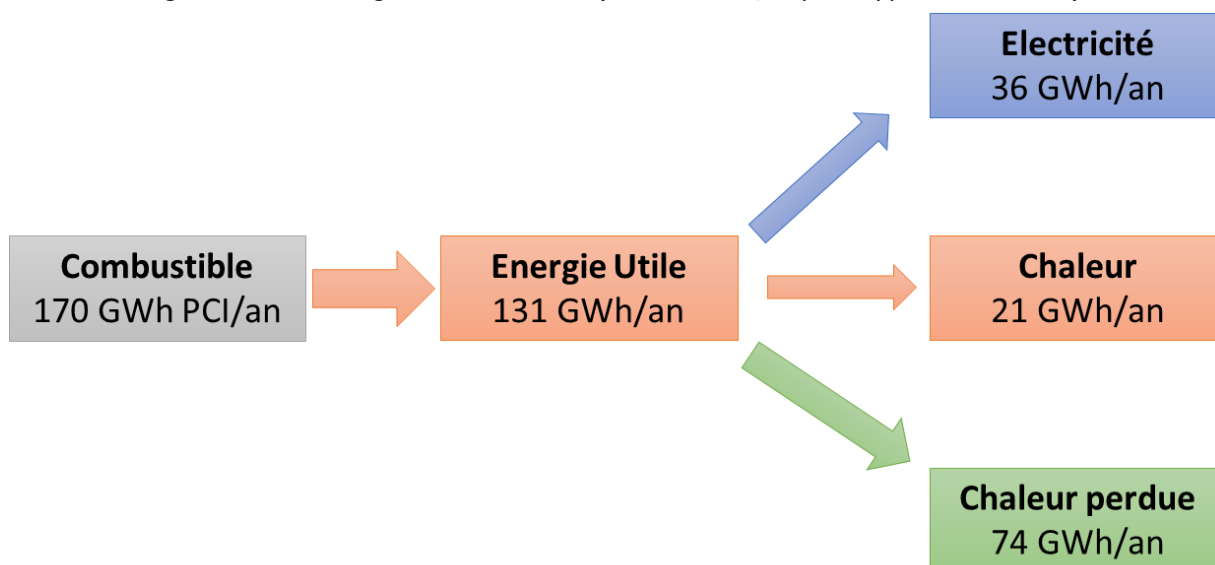
Les installations ICPE d'une puissance thermique totale supérieure à 20 MW ont obligation de réaliser une étude de valorisation de la chaleur fatale via un réseau de chaleur en cas de rénovation substantielle ou d'installation nouvelle (décret du 14 novembre 2014 transposant l'article 14.5 de la directive européenne 2012/27/UE sur l'efficacité énergétique).

6.2 Valorisation de la chaleur de l'UVE

6.2.1 Enjeu

La commune de Montereau-Fault-Yonne accueille **une usine d'incinération des déchets ménagers**, cette usine étant actuellement exploitée par **VEOLIA** dans le cadre d'une délégation de service public avec le SYSTRADEM, syndicat de traitement des déchets. La **chaleur** issue de la combustion des ordures ménagères est **valorisée** sous forme d'**électricité** via une turbine à condensation et sous forme de **chaleur** à destination du réseau de chaleur actuel. Comme le montre le graphique suivant, un peu plus de 50% de cette chaleur est perdue dans le fonctionnement actuel.

Figure 3 : Flux d'énergie annuels de l'UVE (source CEDEN, d'après rapport SYSTRADEM)

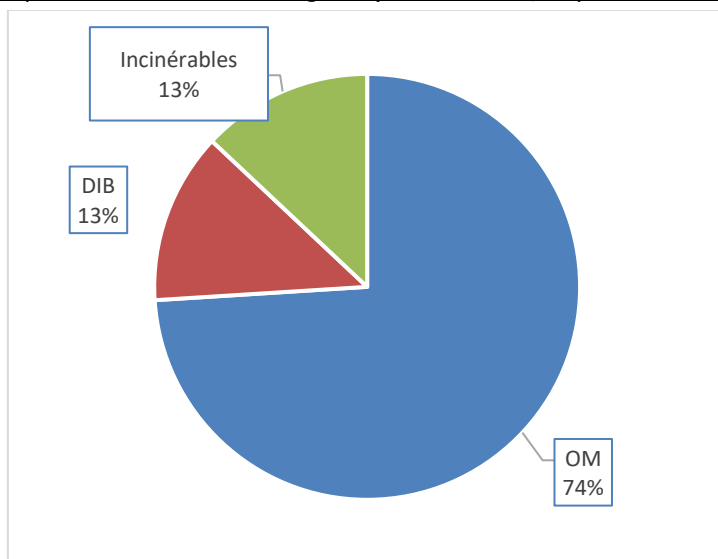


Cette quantité d'**énergie disponible** est **extrêmement conséquente** (elle représente le double de chaleur livrée par le réseau de chaleur de Montereau), tout l'enjeu est donc de **valoriser cette chaleur sans dégrader la production d'électricité**, ou tout du moins en compensant un manque à gagner éventuel.

6.2.2 Description technique

La composition des déchets intrants traités est la suivante :

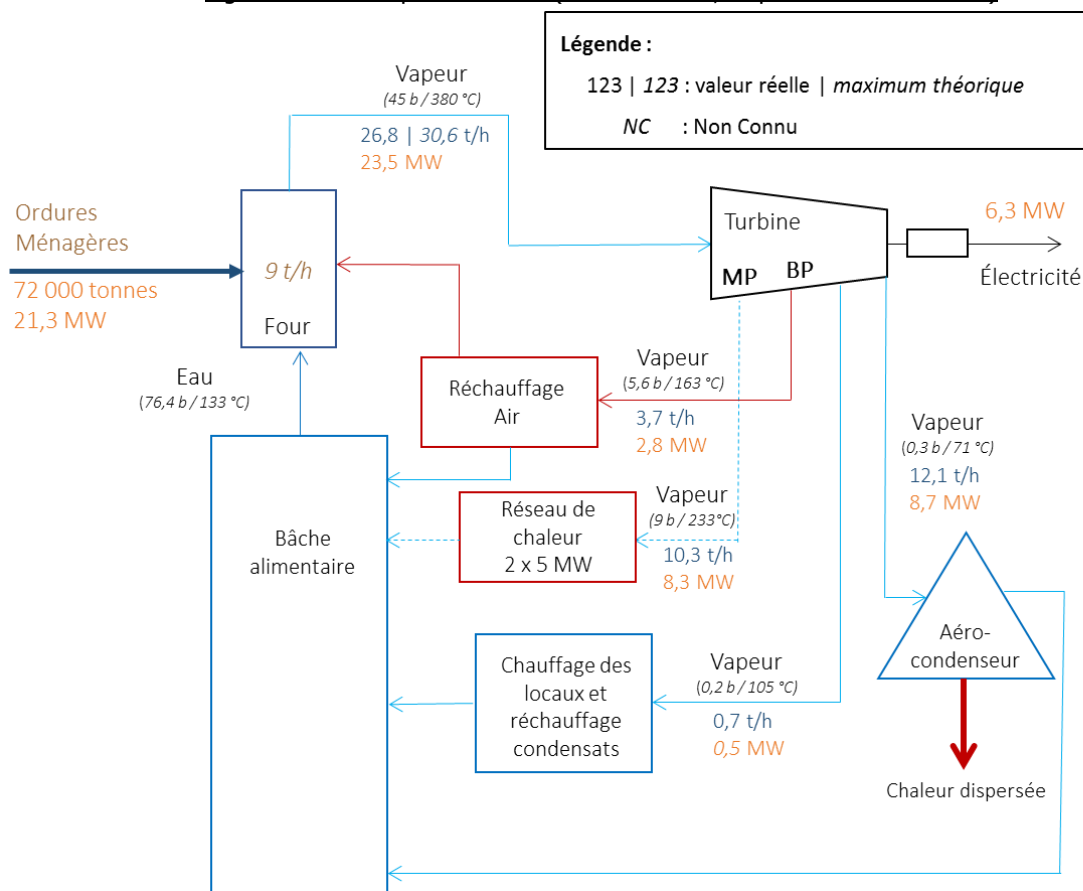
Figure 4 : Composition des ordures ménagères (source CEDEN, d'après données SYSTRADEM)



La grande majorité des ordures traitées vient donc de la collecte des ménages. Le **PCI moyen** d'après le rapport du SYSTRADEM est à **2,35 MWh PCI/t**. Les tonnages entrants maximaux autorisés par la DRIEE sont de 72 000 tonnes. Cette capacité est systématiquement atteinte, voir dépassée certaines années. Un dossier de demande d'augmentation de ces tonnages à 77 000 tonnes a été déposé auprès de la DRIEE à l'été 2020.

Le schéma simplifié de l'UVE est le suivant :

Figure 5 : PID Simplifié de l'UVE (source CEDEN, d'après données VEOLIA)



Le **four à rouleau de 9 t/h**, produit entre 29,6 t/h et 30,6 t/h de vapeur à 380 °C et à 45 bars en entrée de turbine. Cette vapeur est ensuite dirigée vers une turbine pour produire de l'électricité et en partie vers des échangeurs de chaleur alimentant le RCU. La turbine date de 2012 et dispose d'une puissance de 6,3 MW.

2 échangeurs de 5 MW permettent de transférer de la chaleur vers le réseau. Sauf en cas d'**arrêt de la chaudière biomasse**, en hiver, seul un échangeur est en fonctionnement. En moyenne, 2 à 3 MW sont utilisés sur l'année et 1 MW en période estivale. **La température de départ pour le**

réseau de chaleur est aux alentours de 100°C et peut évoluer en fonction des besoins de l'exploitant du réseau de chaleur. La fourniture contractuelle de chaleur annuelle est de 20 000 MWh/an, cette fourniture a toujours été respectée y compris en 2020 où plusieurs arrêts supplémentaires ont eu lieu.

En hiver, la fourniture de chaleur est priorisée sur la vente d'électricité, le prix de vente de la chaleur étant plus intéressant que celui d'électricité. L'exploitant de l'UVE pourrait envisager l'installation d'un troisième échangeur de 5 MW à destination du réseau en cas d'augmentation des besoins de ce dernier.

6.2.3 Arbitrage économique chaleur/électricité

Ainsi que le l'indique le schéma de principe de l'UVE, la **production de chaleur n'est pas antinomique avec celle d'électricité**. En effet, la vapeur destinée à la production de chaleur n'est pas prélevée avant la turbine, mais au sein de celle-ci. Une grande partie de l'énergie contenue dans cette vapeur est donc convertie en électricité, indépendamment de la production de chaleur : il s'agit de la partie de la turbine fonctionnant entre 45 et 9 bars. A contrario la seconde partie de la turbine, de 9 à 0,3 bars, ne pourra pas être utilisée dans le cas d'une production de chaleur. La production de chaleur introduit donc la **notion d'arbitrage économique entre les ventes d'électricité et de chaleur**.

On peut estimer la perte de production d'électricité en comparant la production d'électricité dans la deuxième partie de la turbine (de 9 à 0,3 bars) et celle de chaleur issue du soutirage à 9 bars.

On estime ainsi que **pour 1 MWh de chaleur** valorisée sur le réseau, la production d'électricité est diminuée de **0,06 MWh d'électricité**.

Cette comparaison peut être exprimé en termes de recettes (€HT). Le tarif de vente de chaleur est de 22,77 €HT/MWh en hiver et de 7,12€HT/MWh en été. Celui de l'électricité est de 56,0 € HT/MWh en hiver et 32,7 €HT/MWh en été. Il s'ensuit que la vente d'1 MWh au réseau de chaleur permet de dégager une **recette chaleur de 18 €HT** au prix d'une perte de **recette électricité de -3,1 €HT**. **Le bilan est donc largement favorable à la production de chaleur**.

6.3 Autres sources de chaleur fatale

6.3.1 Enjeu

Suivant l'approche initiée par le PCAET, nous considérons les Installations Classées pour la Protection de l'Environnement, qui utilisent souvent des procédés énergivores et sont donc de bons candidats à une valorisation de la chaleur fatale.

Le potentiel de chaque site peut être évalué d'après la puissance déclarée de chaque installation. De plus, ces potentiels peuvent être classés dans deux catégories :

1. Les gisements de chaleur à **haute température** (HT : $T > 90^{\circ}\text{C}$). Ce sont les gisements les plus intéressants du point de vue de la distribution de la chaleur car ils peuvent servir d'approvisionnement direct.
2. Les gisements à **basse température** (BT). Ces gisements sont plus difficilement exploitables : ils vont nécessiter soit un appoint de chaleur via une autre source d'énergie, soit une demande particulière comme un chauffage par plancher chauffant dans des bâtiments neufs.

6.3.2 Synthèse des potentiels

Il a été identifié 5 sites industriels sur la commune de Montereau susceptibles de disposer de chaleur fatale :

- **SMAB** : un centre de traitement de déchets dangereux. Toutefois, il ne s'agit pas d'un traitement par incinération, mais d'un traitement mécano-biologique, qui n'implique donc pas de potentiel de chaleur fatale ;
- **SAM Montereau** : Société des Aciéries de Montereau spécialisée dans la fabrication des aciers. La puissance installée des appareils de combustion serait de 126 MW d'après la fiche ICPE du site. La source pertinente de chaleur fatale se situe au niveau des **fumées du four**, à arc électrique, d'une **puissance de 80 à 100 MW**. L'industriel a transmis des relevés de températures et de débits, au niveau de ces fumées, sur deux mois de fonctionnement. Ces données ont permis d'estimer un potentiel haute-température valorisable. Il est à noter que le four est en fonctionnement tous les jours sauf les jeudi et vendredi et 1 week-end sur 4. A terme, la production pourrait se faire 6 jours sur 7 au lieu de 5 actuellement. Par ailleurs, le

fonctionnement du four n'est pas stable, il dépend du cycle de production d'acier. La puissance disponible n'est donc pas constante dans le temps ;

- **Linde France SAS** : société dédiée à la fabrication des gaz industriels. La puissance installée des appareils de combustion serait de 2 MW d'après la fiche ICPE du site. Aucun retour n'a été obtenu de la part de l'industriel ;
- **PRYSMIAN** (anciennement SILEC Cable) : société spécialisée dans la fabrication de câbles d'interconnexions pour l'énergie, le pétrole, le gaz et les télécommunications. La puissance installée des appareils de combustion serait de 39 MW d'après la fiche ICPE du site. Aucun retour n'a été obtenu de la part de l'industriel ;
- **Gordon Choisy** : entreprise de Tannerie, identifiée par l'ADEME. Cette société ne fait pas partie des sites ICPE de Montereau.

La synthèse des gisements valorisables est la suivante.

Industrie	Potentiel valorisable HT (GWh/an)	Potentiel valorisable BT (GWh/an)
SAM Montereau	91*	248**
Linde France SAS	Sans réponse	
PRYSMIAN	11**	23**
Gordon Choisy	6**	0**
SMAB	Aucune source de chaleur	
Total	108	271

* Ces données sont issues de l'exploitation de données transmises par SAM Montereau

**Ces données sont issues de l'étude du potentiel de chaleur fatale de 2015 de l'ADEME en IDF.

Le potentiel disponible au sein de SAM Montereau est prometteur. Toutefois, cette ressource ne présenterait un intérêt que si son coût de revient est inférieur à la chaleur de l'UVE. Une telle comparaison nécessitera une étude détaillée sur le site de SAM. Il est également à noter que la ressource serait intermittente, la production n'étant pas continu sur la semaine.

6.3.3 Technique de valorisation

La valorisation de la chaleur fatale dans l'industrie peut prendre plusieurs formes :

- En premier lieu, la chaleur produite à un endroit précis du processus industriel peut être réutilisée sur le site, sur d'autre partie du processus : on parle alors de **valorisation interne**.
- Si sa situation le permet, l'industrie peut être **raccordée à un réseau de chaleur existant** où elle alimentera une ou plusieurs branches, suivant la capacité du gisement.
- Enfin, pour un potentiel excentré mais de taille conséquente, on peut envisager la **création d'un réseau de chaleur dédié**.

La pertinence économique de la valorisation de ces potentiels va donc de pair avec les problématiques d'expansion des réseaux et de développement urbain.

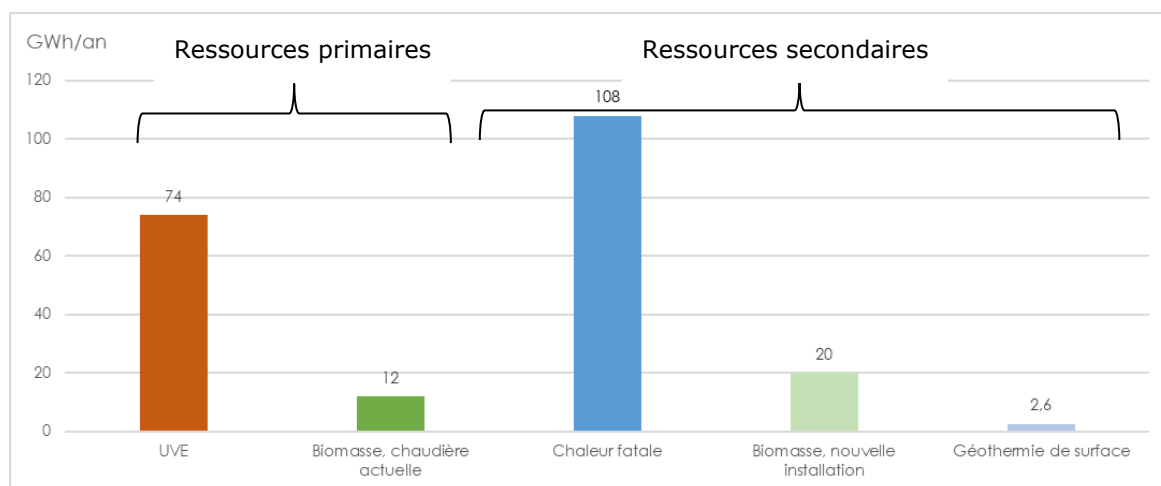
7 Conclusions

Le territoire de Montereau-Fault-Yonne présente un certain nombre de gisement de chaleur EnR&R. Toutefois, toutes ces sources n'ont pas forcément vocation à alimenter le réseau de chaleur actuel ou des extensions. La présente étude permet de catégoriser les ressources suivant leur degré de pertinence :

- **Ressources inadaptées** : Il s'agit des **déchets de bois** et des **CSR** (Combustibles Solides de Récupération) et de la **géothermie profonde**. En effet, ces ressources nécessitent un facteur d'échelle important pour être mises en œuvre, de par la taille des équipements associés. En première approximation, il faudrait un potentiel additionnel d'au moins 50 GWh/an (soit 5 000 équivalents logement) pour justifier de tels moyens de production.
- **Ressources secondaires** : il s'agit de ressources qui pourraient être utilisées sur le réseau de chaleur, mais qui ne présentent pas les meilleurs rapports coûts/bénéfices ou la meilleure pertinence technique. Il s'agit en premier lieu du **biométhane** : le réseau de chaleur peut tout à fait utiliser cette ressource, mais il est bien plus intelligent de la réserver pour les consommateurs de gaz n'ayant pas d'autres possibilités de verdir leur consommation de gaz. C'est notamment le cas de l'habitat individuel, très présent sur le territoire. Il s'agit également de la **géothermie de surface**, qui n'a d'intérêt environnemental et économique que sur des bâtiments neufs ou présentant des températures de chauffage très basses, ce qui n'est pas le cas du patrimoine raccordé actuel. Cette solution pourrait éventuellement être retenue localement, par exemple sur la ZAC des Bords d'Eau. Toutefois, du fait du faible besoin de cette ZAC – les nouvelles constructions devant respecter la RE2020, c'est-à-dire une excellente isolation thermique – il est probable que le coût de revient de la chaleur soit élevé : on constate sur des réseaux similaires (ZAC avec géothermie de surface) des tarifs de l'ordre de 90 à 100 €TTC/MWh, alors que le réseau actuel est à 80 €TTC/MWh. Enfin, il s'agirait également de **la chaleur fatale industrielle** (hors UVE). Le potentiel est existant, notamment auprès de SAM Montereau. Toutefois une telle opération aurait très certainement deux obstacles à franchir : la modification éventuelle du process industriel pour permettre la récupération d'une part, et la conclusion d'un contrat entre l'industriel et le réseau de chaleur garantissant une vente de chaleur sur une période suffisamment longue, les industriels pouvant être réticent sur les notions d'engagement à long terme. De plus, dans le cas de SAM Montereau, l'usine ne fonctionne pas en continu sur la semaine, l'industriel est, dans son organisation actuelle, à l'arrêt 2 jours par semaine.
- **Ressources prioritaires**. Il s'agit en premier lieu de **l'UVE du SYSTRADEM**. En effet, il apparaît clairement que le potentiel de fourniture de chaleur est largement au-delà des capacités actuelles de l'usine : un seul échangeur de 5 MW est actuellement nécessaire en fonctionnement nominal, là où l'exploitant de l'UVE indique être prêt à alimenter trois échangeurs de 5 MW simultanément. Cette volonté est compréhensible car il ressort de l'analyse que, au vu des tarifs de vente de la chaleur et de l'électricité, l'UVE a bien plus intérêt à vendre son énergie sous forme de chaleur que sous forme d'électricité. Cette solution présente en outre l'avantage de ne requérir aucun nouveau foncier, elle doit donc être privilégiée. Par ailleurs, **la biomasse** pourrait également se développer. En effet, la ressource est abondante au niveau départemental et les cours du marché actuels présentent une remarquable stabilité. De plus, cette valorisation supplémentaire pourrait se faire en conservant les équipements actuels, la chaufferie biomasse installée présentant un faible taux d'utilisation.

En termes de volumes de chaleur disponible, ces sources présentent un potentiel de 217 GWh/an, se répartissant comme suit.

Figure 12 : Gisement des ressources EnR&R sur le territoire de Montereau



L'ordre de priorité d'usage des ressources EnR&R serait donc le suivant :

1. En premier lieu, la **chaleur fatale de l'UVE** du SYSTRADEM. Cette fourniture peut tout à fait s'imaginer au détriment de la production d'électricité, l'équilibre économique de l'UVE étant très favorablement orienté vers la vente de chaleur au réseau.
2. La valorisation de la **chaleur fatale des industriels** (hors UVE), en particulier la chaleur de SAM Montereau.
3. La valorisation de **biomasse** supplémentaire (plaquettes et miscanthus) dans la **chaufferie actuelle**, cette dernière étant sous-utilisée.
4. Le recours à la **géothermie de surface**, pour des opérations locales comme la ZAC des Bords d'Eau.
5. La valorisation additionnelle de biomasse via l'installation d'une **nouvelle chaufferie**.