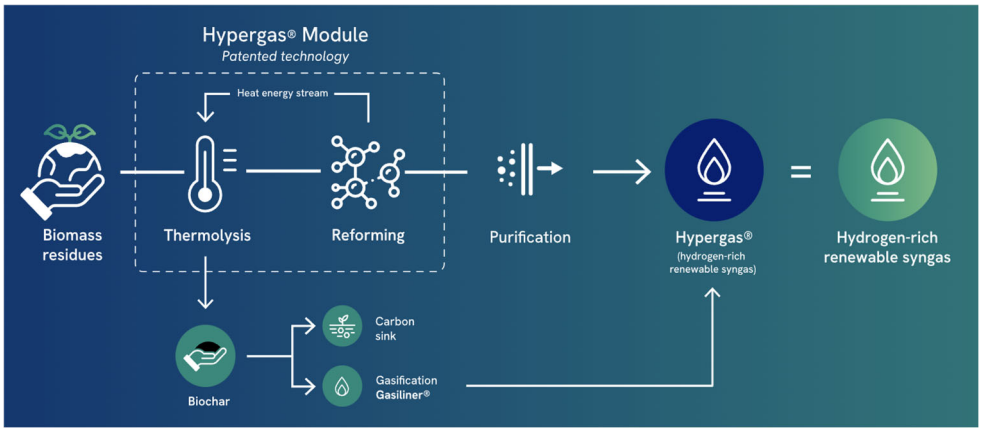
SYNOCA® face à la chaudière biomasse : une nouvelle approche de la production de chaleur renouvelable

Analyse comparative de Haffner Energy - Premier volet d'une série consacrée aux nouvelles voies de valorisation de la biomasse.



Introduction

La biomasse est aujourd'hui la première source d'énergie renouvelable au monde : elle couvre à elle seule environ un dixième de la demande énergétique mondiale et plus de 60 % de la consommation d'énergie renouvelable de l'Union européenne. La chaudière biomasse continue de constituer le socle de ce succès : une technologie mature et largement déployée.

Pendant longtemps, la biomasse énergie a ainsi été principalement utilisée pour produire de la chaleur renouvelable par combustion directe. Mais les limites de ce mode de valorisation deviennent chaque année plus visibles. Sur le plan économique, la chaudière enferme chaque installation dans une contrainte structurelle : elle ne produit qu'une seule forme d'énergie, difficilement stockable et transportable, en un seul lieu et à un instant donné, ce qui expose sa rentabilité aux variations de la demande locale pendant les quinze à vingt années de son amortissement.

Les objectifs de décarbonation et de souveraineté énergétique, la recherche d'une meilleure valorisation des ressources ainsi que l'émergence de technologies plus performantes conduisent aujourd'hui à réinterroger cet usage. **La question n'est plus seulement de remplacer un combustible fossile, mais de créer le plus de valeur possible à partir de chaque tonne de biomasse disponible.**

Sur le plan environnemental, la combustion du bois constitue aujourd'hui une source majeure de particules fines dans de nombreuses villes européennes, ainsi qu'une source significative de NOx. Le chauffage résidentiel est ainsi

identifié comme la première source de PM2,5 dans 56 % des zones urbaines européennes étudiées par le Joint Research Centre. Malgré trois décennies d'optimisation, la combustion reste génératrice de polluants atmosphériques qui doivent être traités en aval dans d'importants volumes de fumées, une contrainte appelée à peser davantage avec le durcissement progressif de la réglementation.

Une autre voie de valorisation existe : convertir d'abord la biomasse en syngaz.

C'est la voie développée par Haffner Energy. **Forte de plus de trente ans d'expérience dans la valorisation énergétique de la biomasse, dont plus de quinze ans dans la combustion**, l'entreprise a développé la technologie propriétaire de thermolyse SYNOCA®, qui convertit la biomasse en HYPERGAS®, un gaz renouvelable constituant un véritable vecteur énergétique, susceptible d'être valorisé sous de multiples formes : chaleur, électricité, gaz et carburants renouvelables.

Ce procédé est aujourd'hui mis en œuvre dans la nouvelle génération technologique H6 et sa gamme modulaire C-iC, conçue pour réduire les coûts d'investissement et les délais de déploiement.

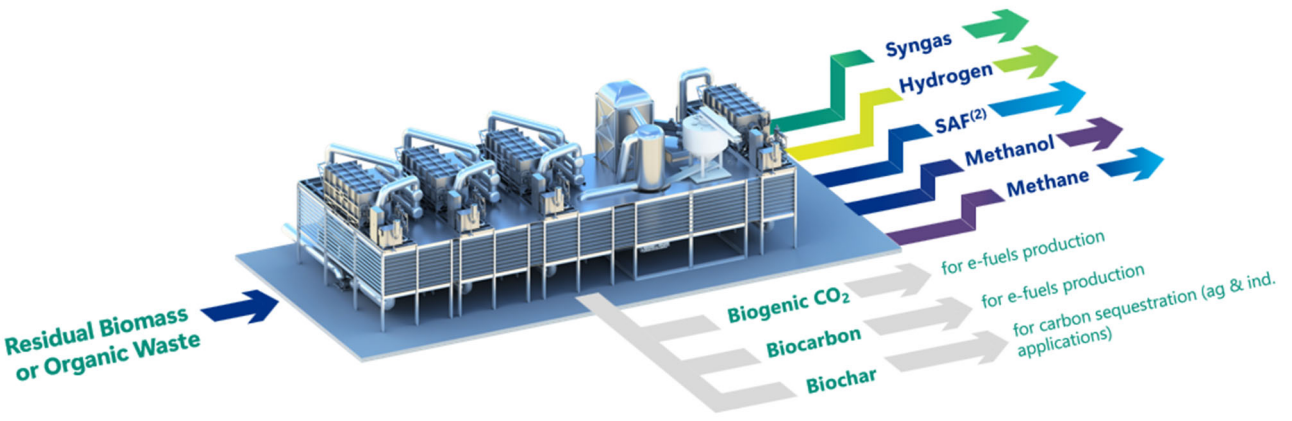
La présente note vise à analyser l'intérêt de cette voie de valorisation en la comparant à la chaudière biomasse — technologie de référence pour la production de chaleur renouvelable — sous quatre angles : **la polyvalence des usages, la flexibilité dans le choix de la ressource primaire, les performances environnementales et le profil d'investissement**.

Un véritable vecteur énergétique

La chaudière biomasse repose sur un principe simple, la combustion directe d'un combustible solide. Cette technologie lui confère une grande simplicité de mise en œuvre et un rendement thermique élevé, de l'ordre de 63 à 75 % [1].

En contrepartie, et malgré trois décennies d'optimisation, elle reste soumise à une contrainte structurelle : elle ne produit qu'une seule forme d'énergie, en un seul lieu et à un seul instant. Les fumées, à environ 850 °C, doivent donc être valorisées immédiatement et sur site. La valeur de l'actif dépend dès lors d'un consommateur situé à proximité, dont la demande doit demeurer stable toute l'année pendant toute la durée d'amortissement, soit quinze à vingt ans. Ainsi, l'arrêt annuel d'un site industriel, une baisse de charge, une relocalisation ou la simple saisonnalité d'un réseau de chaleur dégradent directement l'équilibre économique, aucun report de production n'étant possible.

À l'inverse, la thermolyse transforme cette contrainte en offrant une plus grande liberté de valorisation. L'HYPERGAS® produit est un vecteur d'énergie intermédiaire qui offre une grande souplesse de valorisation. Selon les besoins du marché, une même unité SYNOCA® peut produire de la chaleur, de l'électricité ou des gaz ou carburants renouvelables (hydrogène, méthane, méthanol, carburant d'aviation durable), tout en générant du CO_2 biogénique et du biochar valorisables et pouvant donner lieu à des crédits carbone. Le choix du produit final n'est plus figé lors de la conception de l'installation. Il peut évoluer en fonction des besoins du site, des marchés de l'énergie ou des opportunités de valorisation.



Une alternative au gaz naturel dans les procédés industriels

Au-delà de sa polyvalence, l'HYPERGAS® peut alimenter directement de nombreux procédés industriels aujourd'hui fonctionnant au gaz naturel. Sa température adiabatique de flamme, de l'ordre de 1 800 °C, est compatible avec une large gamme de fours, séchoirs, étuves et procédés thermiques, sous réserve d'une adaptation des brûleurs. Pour l'industriel, la logique reste identique : le procédé consomme une puissance thermique donnée, indépendamment du volume de gaz nécessaire pour la fournir.

En remplaçant le gaz naturel dans certains procédés industriels, l'HYPERGAS® constitue une solution de décarbonation susceptible d'améliorer la compétitivité économique dans les secteurs exposés aux coûts croissants des combustibles fossiles et du carbone.

Une production d'électricité plus efficace

À quantité de biomasse égale, transformer la biomasse en gaz épuré permet de produire 1,6 à 2,5 fois plus d'électricité qu'une chaudière biomasse [1][2]. La raison est simple : le gaz peut alimenter directement des moteurs à haut rendement, tandis qu'une chaudière doit d'abord produire de la vapeur avant de la convertir en électricité, une étape dont le rendement est intrinsèquement limité (voir encadré « **Pour aller plus loin** »).

Pour aller plus loin :
Pourquoi le syngaz produit-il plus d'électricité qu'une chaudière ?

La **biomasse solide est un combustible difficile à convertir efficacement en électricité**. Contrairement à un gaz combustible, elle ne peut pas alimenter directement un moteur ou une turbine. Elle doit d'abord être brûlée pour produire de la chaleur, puis cette chaleur doit être convertie en énergie mécanique au moyen d'un cycle thermodynamique avant de produire de l'électricité.

Les principaux cycles utilisés

Cycle vapeur (Rankine)

- L'eau est chauffée jusqu'à produire de la vapeur sous pression.
- La vapeur entraîne une turbine couplée à un alternateur.
- C'est la technologie la plus répandue dans les centrales biomasse.

Cycle ORC (Organic Rankine Cycle)

- Fonctionne sur le même principe, mais remplace l'eau par un fluide organique.
- Ce fluide s'évapore à plus basse température, ce qui le rend particulièrement adapté aux installations de petite puissance.

Ces conversions successives (combustion → chaleur → vapeur ou fluide organique → énergie mécanique → électricité) limitent généralement le rendement électrique des centrales biomasse à 18 à 28 %. [1]

La thermolyse change la donne

La thermolyse transforme la biomasse solide en un gaz combustible (syngaz), permettant de changer complètement la manière de produire de l'électricité.

Contrairement à une chaudière biomasse, qui convertit la chaleur en électricité au moyen d'un cycle vapeur ou ORC, le syngaz issu de la thermolyse peut alimenter directement un moteur à gaz ou une turbine. Cette architecture

réduit les pertes liées aux conversions successives de l'énergie et améliore significativement le rendement électrique

Pour maximiser les performances, la chaleur résiduelle du moteur peut ensuite être récupérée pour produire de la vapeur et alimenter une turbine supplémentaire. Ce cycle combiné permet d'atteindre des rendements électriques de 45 à 50 % (énergie électrique/énergie primaire de la biomasse PCI), soit environ le double de ceux d'une chaudière biomasse conventionnelle [2].

En transformant la biomasse en un syngaz de haute qualité, la technologie de thermolyse SYNOCA® donne accès à des solutions de production d'électricité plus performantes, plus flexibles et mieux adaptées aux besoins industriels et décentralisés. En cogénération, le rendement énergétique global peut dépasser 85 à 90 % grâce à la valorisation de la chaleur.

Une flexibilité biomasse décisive

Le choix de la biomasse est un enjeu à la fois technique et économique, la rentabilité d'un projet dépendant directement du prix du combustible. Les résidus agricoles (pailles, coques, rafles, etc.) comptent parmi les gisements de biomasse les plus abondants et les moins onéreux.

Cependant, ce sont également ceux que les chaudières supportent le plus mal : les cendres de ce type de biomasses contiennent notamment du chlorure de potassium (KCl) qui commence à fondre à environ 776 °C [4]. Or, la température dans une chaudière dépasse largement cette valeur. Les cendres deviennent alors collantes, s'agglomèrent pour former du mâchefer (blocs de cendres durcies), encrassent les surfaces d'échange de chaleur et entraînent des arrêts fréquents pour le nettoyage et la maintenance [3].

Ainsi, une chaudière conçue pour consommer du bois propre ne peut généralement pas fonctionner durablement avec ce type de biomasse.

A contrario, le procédé thermochimique propriétaire SYNOCA® développé par Haffner Energy s'affranchit de ces phénomènes. Il peut valoriser des biomasses à forte teneur en cendres et faible température de fusion sans se heurter aux mêmes contraintes de blocage et d'encrassement.

La thermolyse permet également de valoriser des biomasses conformes à la directive RED III, en particulier des résidus agricoles et forestiers qui ne sont pas en concurrence avec les usages alimentaires ou les autres usages de la biomasse. Ces matières premières sont éligibles à la production de carburants renouvelables avancés, qui bénéficient d'un cadre réglementaire européen spécifique favorisant leur déploiement [5]. Une simple valorisation sous forme de chaleur ne permet pas d'accéder à ces mécanismes réglementaires.

L'approvisionnement en biomasse et la valorisation des coproduits constituent des facteurs clés de réussite. Haffner Energy accompagne ses clients sur ces deux volets au travers de son service BIOMATCH®, afin de sécuriser les ressources et les débouchés sur la durée.

Un procédé plus propre

Les polluants émis par une chaudière biomasse proviennent majoritairement du combustible lui-même. L'azote organique du bois se convertit à hauteur de 30 à 50 % en oxydes d'azote (NO_x) [6], le soufre en SO_2 (SO_x), le chlore favorise la formation de dioxines et de furanes, tandis que les cendres et les imbrûlés génèrent les émissions de poussières.

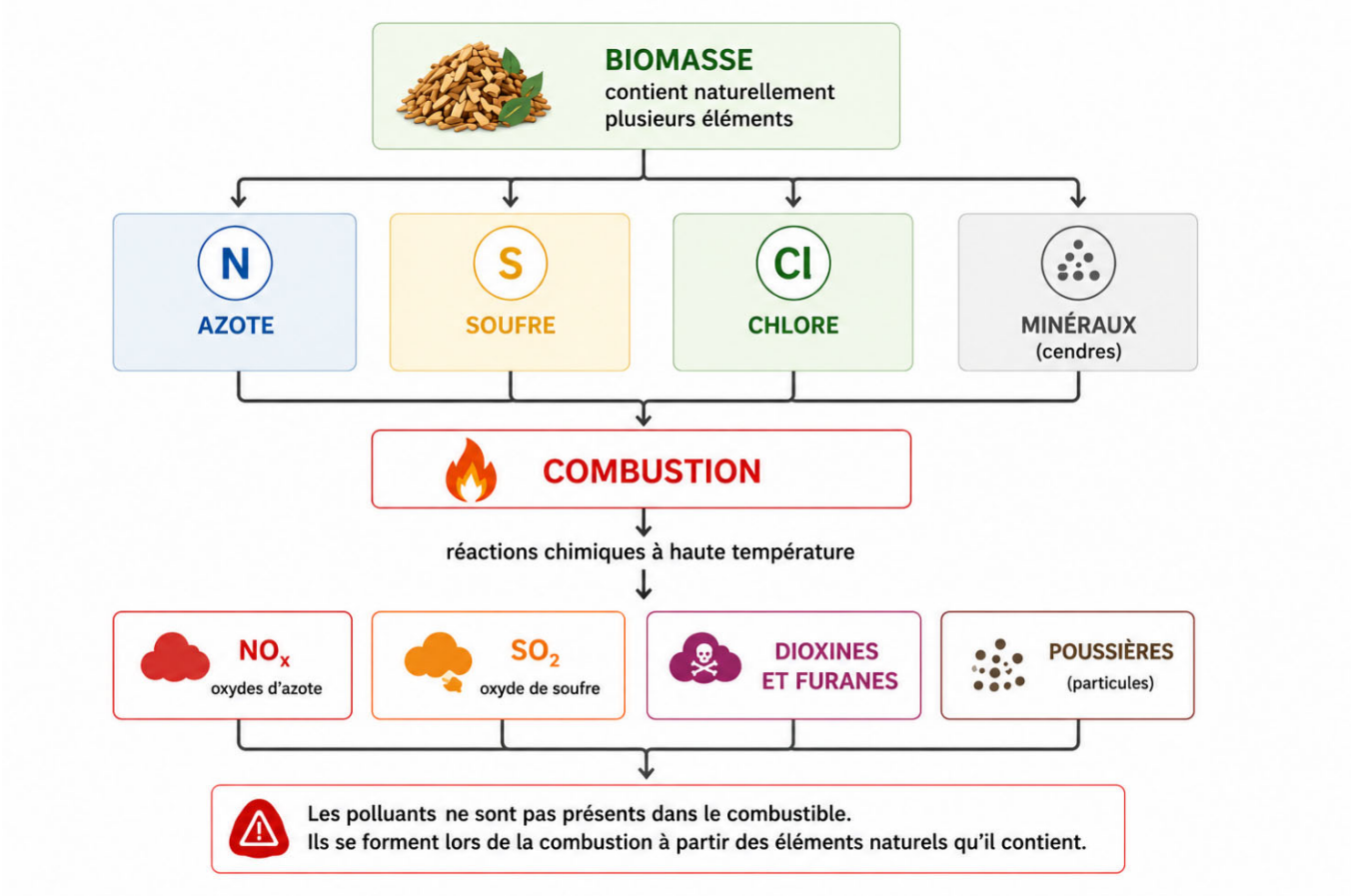


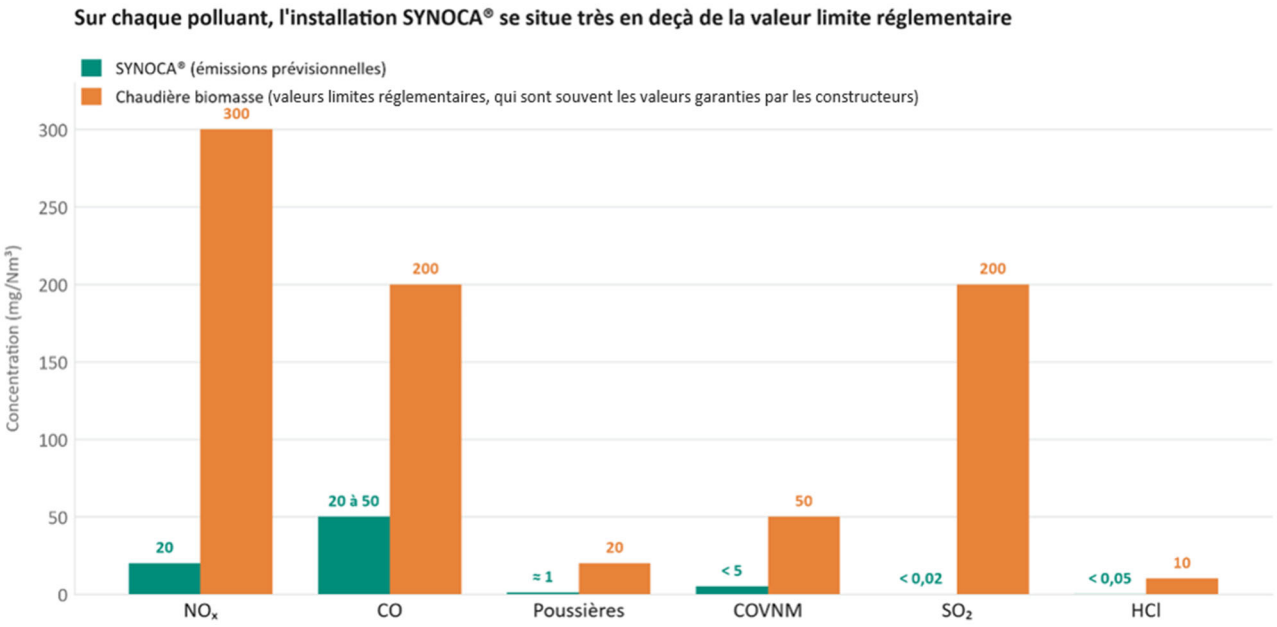
Schéma généré par IA

Les chaudières modernes respectent les valeurs limites réglementaires grâce à des équipements de traitement des fumées. Toutefois, ces niveaux restent généralement supérieurs à ceux des **Meilleures Techniques Disponibles (MTD)** [7]**,** un écart appelé à devenir plus impactant avec le durcissement progressif de la réglementation.

À contrario, SYNOCA® traite les polluants avant la combustion. Le soufre, le chlore et l'azote sont retirés directement du gaz de procédé, ce qui est plus efficace que de traiter des fumées déjà diluées. Cette approche réduit fortement les émissions atmosphériques dès l'origine.

À quantité de biomasse égale, SYNOCA® émet donc beaucoup moins de polluants qu'une chaudière biomasse, même récente : les émissions d'oxydes d'azote (NOx) sont divisées par près de huit et celles de poussières par vingt. Les cendres produites sont entièrement minérales et ne contiennent aucun résidu imbrûlé.

Le tableau ci-après rapproche les émissions prévisionnelles d'une installation de thermolyse de 10 MW électriques et 0.6 t/h de biochar et les valeurs limites réglementaires applicables à une chaudière biomasse neuve de puissance équivalente, à quantité de biomasse identique [8][9].



Pour aller plus loin : Pourquoi SYNOCA® émet-il beaucoup moins de NOx ?

NOx combustibles (Fuel NOx)

- Causés par l'azote naturellement présent dans la biomasse.
- Formés lors de la combustion (par oxydation de l'azote)
- Principale source de NOx dans une chaudière biomasse.

NOx thermiques (Thermal NOx)

- Proviennent de la réaction entre l'azote de l'air et l'oxygène
- Apparaissent à très haute température (> 1 300 °C).
- Réaction limitée dans une chaudière biomasse.

Pourquoi SYNOCA® réduit-il fortement les émissions ?

Dans le procédé SYNOCA®, l'azote est retiré du gaz de synthèse lors de son épuration, avant toute combustion. Le principal mécanisme de formation des NOx (Fuel NOx) est ainsi éliminé en amont. Il ne subsiste que les faibles quantités de NOx, qui peuvent être limitées grâce à des brûleurs bas-NOx. Le même principe vaut pour le soufre et le chlore, ce qui explique l'écart observé sur l'ensemble des polluants.

Paramètre	SYNOCA® prévisionnel	Flux SYNOCA® total	Chaudière (VLE)	Flux chaudière total
NO_x	20 mg/Nm³	≈ 1,2 kg/h	300 mg/Nm³	≈ 9,2 kg/h
CO	20 à 50 mg/Nm³	≈ 1 à 3 kg/h	200 mg/Nm³	≈ 6,1 kg/h
Poussières	≈ 1 mg/Nm³	≈ 30 g/h	20 mg/Nm³	≈ 610 g/h
COVNM	< 5 mg/Nm³	< 0,15 kg/h	50 mg/Nm³	≈ 1,5 kg/h
SO_2	< 0,02 mg/Nm³	< 0,8 g/h	200 mg/Nm³	≈ 6,1 kg/h
HCl	< 0,05 mg/Nm³	< 1,5 g/h	10 mg/Nm³	≈ 0,31 kg/h
Dioxines / furanes	sous les seuils de mesure	—	0,1 ng I-TEQ/Nm³	≈ 3 µg I-TEQ/h
Cendres	—	≈ 50 kg/h, 100 % minérales	—	≈ 60 kg/h, dont ≈ 10 kg/h d'imbrûlés

Au-delà de la qualité de l'air : un bilan carbone qui peut devenir négatif

Contrairement à une chaudière, SYNOCA® peut produire du biochar, un charbon végétal qui stocke durablement une partie du carbone contenu dans la biomasse. Selon une étude publiée, chaque tonne de biochar permet de retirer durablement de l'atmosphère l'équivalent d'environ **2,7 tonnes de CO_2**, valorisables sous forme de crédits de retrait carbone (CORC) **[10]**. Là où une chaudière est, au mieux, neutre en carbone, la thermolyse peut afficher un bilan carbone négatif.

Un investissement du même ordre de grandeur

Comparer les coûts n'a de sens qu'à base identique. Les deux solutions transforment une quantité donnée de biomasse : l'indicateur pertinent est donc le coût d'investissement par kilowatt de biomasse entrante (PCI), la base retenue dans l'ensemble de cette note.

Pour une installation de quelques mégawatts, une chaudière biomasse représente un investissement de l'ordre de 900 à 1 300 €/kW de biomasse entrante, en euros courants [11], la valeur haute correspondant aux chaudières conçues pour des combustibles difficiles tels que la paille.

Reposant sur la technologie H6, la gamme modulaire SYNOCA® C-iC développée par Haffner Energy se situe autour de 1 000 €/kW de biomasse entrante sur sa plus petite configuration, hors équipements de valorisation aval. Les unités de plus grande puissance bénéficient ensuite d'économies d'échelle qui réduisent encore le coût spécifique d'investissement.

À base de comparaison identique, l'investissement est donc équivalent à celui d'une chaudière au bois et inférieur à celui d'une chaudière capable d'accepter les mêmes biomasses. La différence entre les deux approches réside moins dans le coût de l'équipement que dans la valeur créée par la biomasse qu'il permet de valoriser.

Une chaudière produit essentiellement de la chaleur. SYNOCA® peut, à partir d'une même ressource, produire de la chaleur, de l'électricité, de l'hydrogène, des carburants ou gaz renouvelables, du biochar et du CO_2 biogénique valorisable. L'équation économique dépend donc avant tout de la valeur de ces différents débouchés.

Elle dépend également du coût de la biomasse. Si les deux solutions peuvent bénéficier d'un combustible peu coûteux, SYNOCA® peut valoriser une gamme plus large de biomasses, notamment des résidus agricoles souvent plus abondants et moins chers que le bois. Cette flexibilité renforce encore son potentiel économique.

Tableau comparatif

Le tableau ci-après récapitule la comparaison sur l'ensemble des dimensions examinées.

Critère	Chaudière biomasse	SYNOCA®
Principe	Combustion directe du combustible solide	Thermolyse (~500 °C) et reformage (~1 000 °C), puis valorisation d'un gaz épuré
Produit énergétique	Chaleur	Chaleur, électricité, carburants & gaz renouvelables, biochar
Rendement électrique	18 à 25 % avec cycle vapeur ou ORC [1]	45 à 50 % sur PCI en moteur à gaz [2]
Emissions	Conformité aux VLE	Sous les niveaux MTD
Bilan carbone	Neutre au mieux	Neutre à négatif ; biochar éligible aux crédits carbones (CORC)
Coproduits valorisables	Non	Biochar et CO_2 biogénique
Assemblage et mise en service	Chantier classique (plusieurs mois)	2 semaines (module préassemblé en usine)
Tolérance à la biomasse	Sensible à l'humidité, aux cendres fusibles et au mâchefer	Résidus agricoles admis, humidité jusqu'à ~55 % avec pré-séchage intégré
Stockage	Non	Oui (selon produit final)
Capex par kW thermique	Comparable	Comparable

Conclusion

Pendant des décennies, la chaudière biomasse s'est imposée comme la technologie de référence pour produire de la chaleur renouvelable. Elle bénéficiait de deux avantages déterminants : une très grande maturité industrielle et un coût d'investissement sensiblement inférieur à celui des technologies alternatives de conversion de la biomasse. Mais l'équation technologique est en train de changer.

À investissement et efficacité thermique désormais comparables, la conversion de la biomasse en syngaz présente des avantages structurels décisifs que la combustion directe ne peut offrir. Elle transforme une ressource renouvelable, stockable et transportable non plus en un flux thermique difficile à stocker et à transporter, mais en un véritable vecteur énergétique, polyvalent et transformable en chaleur, électricité ou molécules renouvelables.

Elle permet également de valoriser une gamme beaucoup plus large de biomasses résiduelles, de réduire très fortement les émissions atmosphériques et, pour la production d'électricité, d'atteindre des rendements très supérieurs à ceux des cycles vapeur ou ORC. À ces avantages s'ajoutent la production de biochar et de CO_2 biogénique, qui ouvrent de nouvelles voies de création de valeur et peuvent, dans certaines configurations, conduire à un bilan carbone négatif.

La différence entre les deux approches ne réside donc plus dans leur capacité à produire efficacement de la chaleur, ni même dans leur niveau d'investissement. Elle réside dans la valeur que chacune permet de créer à partir d'une même tonne de biomasse, mais également dans leur capacité très différente à répondre à des contraintes environnementales qui se renforcent d'année en année, notamment en matière d'émissions atmosphériques.

D'un côté, la combustion convertit immédiatement cette ressource en chaleur, dont l'usage est essentiellement local et instantané. De l'autre, SYNOCA® la convertit d'abord en HYPERGAS®, ouvrant le choix entre différents usages énergétiques et moléculaires, tout en élargissant considérablement le spectre des ressources utilisables.

Notre conviction : la chaudière biomasse vient d'entrer dans une phase irréversible de substitution technologique. Son avantage historique de maturité s'érode à mesure que les technologies alternatives s'industrialisent, tandis que la rigidité inhérente à une technologie conçue pour un usage unique devient un handicap et que son avantage en matière de CAPEX est en train de disparaître. Dès lors qu'une technologie offre, pour un investissement comparable, la même efficacité thermique, davantage de ressources accessibles, beaucoup moins d'émissions et surtout un vecteur énergétique polyvalent, les conditions d'une substitution à grande échelle sont réunies.

L'histoire industrielle a connu de nombreux basculements comparables. La locomotive à vapeur, technologie parfaitement maîtrisée et déployée à très grande échelle, a rapidement cédé la place aux locomotives diesel puis électriques lorsque celles-ci ont offert une meilleure proposition de valeur globale. La chaudière biomasse se trouve désormais à un point de bascule comparable.

Ce Position Paper est le premier d'une série que Haffner Energy consacrera à ses technologies, à leurs différentes applications et aux marchés auxquels elles s'adressent. Ces publications auront vocation à en présenter les principes, les performances et les cas d'usage et, lorsque cela est pertinent, à les comparer aux solutions alternatives disponibles afin d'en éclairer les avantages, les limites et les domaines de pertinence respectifs.

Sources

[1] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Biomass Combined Heat and Power Catalog of Technologies*, v.1.1, sections 6 et 7, septembre 2007. https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/biomass_combined_heat_and_power_catalog_of_technologies_v.1.1.pdf

[2] U.S. Environmental Protection Agency (EPA), *Catalog of CHP Technologies*, section 2 : Technology Characterization - Reciprocating Internal Combustion Engines, mars 2015 (révision septembre 2017). https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-07/documents/catalog_of_chp_technologies_section_2._technology_characterization_-_reciprocating_internal_combustion_engines.pdf

[3] M. Jach-Nocoń, G. Pełka, W. Luboń, T. Mirowski, A. Nocoń, P. Pachytel, « An Assessment of the Efficiency and Emissions of a Pellet Boiler Combusting Multiple Pellet Types », *Energies*, vol. 14, n° 15, article 4465, 2021. Chaudière à granulés de 20 kW : frittage des cendres et réduction de la puissance nominale sur granulés de miscanthus, de rafles de maïs et de coques de tournesol. https://doi.org/10.3390/en14154465

[4] A. Mlonka-Mędrala, K. Gołombek, P. Buk, E. Cieślik, W. Nowak, « The influence of KCl on biomass ash melting behaviour and high-temperature corrosion of low-alloy steel », *Energy*, vol. 188, article 116062, 2019. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116062

[5] Directive (UE) 2018/2001 du Parlement européen et du Conseil du 11 décembre 2018 relative à la promotion de l'utilisation de l'énergie produite à partir de sources renouvelables, telle que modifiée par la directive (UE) 2023/2413 du 18 octobre 2023 (RED III), annexe IX partie A et article 27. https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj

[6] IEA Bioenergy, Task 32, *Nitrogen flows in biomass combustion systems : full cycle perspective*, février 2023. https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/nitrogen-flows-in-biomass-combustion-systems/

[7] Décision d'exécution (UE) 2021/2326 de la Commission du 30 novembre 2021 établissant les conclusions sur les meilleures techniques disponibles (MTD) pour les grandes installations de combustion, au titre de la directive 2010/75/UE. JO L 469 du 30.12.2021. Champ d'application : installations de combustion d'une puissance thermique nominale totale égale ou supérieure à 50 MW. Remplace la décision d'exécution (UE) 2017/1442, annulée par le Tribunal le 27 janvier 2021 (affaire T-699/17). https://eur-lex.europa.eu/eli/dec_impl/2021/2326/oj

[8] Directive (UE) 2015/2193 du Parlement européen et du Conseil du 25 novembre 2015 relative à la limitation des émissions de certains polluants dans l'atmosphère en provenance des installations de combustion moyennes (directive MCP), annexe II, tableau 1 (installations neuves, biomasse solide : SO2 200, NOx 300, poussières 20 mg/Nm³, à 6 % O2). https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2015/2193/oj

[9] Arrêté du 3 août 2018 relatif aux installations de combustion d'une puissance thermique nominale totale inférieure à 50 MW soumises à autorisation au titre des rubriques 2910, 2931 ou 3110, Légifrance (valeurs limites CO et dioxines/furanes, à 6 % O2). https://www.legifrance.gouv.fr/jorf/id/JORFTEXT000037284792

[10] S. Fawzy, A. I. Osman, N. Mehta, D. Moran, A. H. Al-Muhtaseb, D. W. Rooney, « Atmospheric carbon removal via industrial biochar systems : a techno-economic-environmental study », *Journal of Cleaner Production*, vol. 371, article 133660, 2022. 2,879 tCO_2e bruts incorporés et 2,685 tCO_2e nets retirés par tonne de biochar. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133660

[11] Danish Energy Agency, *Technology Data for Energy Plants for Electricity and District heating generation*, catalogue de données technologiques, version 0009 (avril 2020), chapitre 09, fiches « Wood Chips, DH-Small / DH-Medium / DH-Large » et « Small Straw, DH only » : investissement nominal de 0,79 (plaquettes) à 0,90 (paille) MEUR/MW de biomasse entrante pour les unités de 6 MW, en prix fixes 2015 hors taxes, soit environ 900 à 1 300

€/kW en euros courants après réévaluation des coûts de construction. https://ens.dk/en/analyses-and-statistics/technology-catalogues