

PYROLYSE ET GAZEIFICATION, UNE FILIERE COMPLEMENTAIRE POUR LA TRANSITION ENERGETIQUE ET LE DEVELOPPEMENT DE L'ECONOMIE CIRCULAIRE

Note stratégique sur le développement de la filière pyrogazéification
élaborée par le Groupe de Travail PyroGaz du CSF Eco-Industries VID

Juin 2015

Auteurs :

Cette note stratégique a été rédigée par le Groupe de Travail PyroGaz, créé au sein du Groupe de Travail Valorisation Industrielle des Déchets du Comité Stratégique de Filière Eco-Industries. Ce Groupe de Travail regroupe une cinquantaine de sociétés (fabricants, collecteurs de déchets, utilisateurs potentiels, bureaux d'étude, centres de recherche,... cf. Annexe 3) et le Club Pyrogazéification (association professionnelle de la filière), et est animé par l'ADEME. Il s'est réuni sur 12 journées entre juin 2014 et avril 2015 en vue de la rédaction de cette note sur l'intérêt du développement de la filière de pyrolyse et de gazéification et les propositions financières et réglementaires pour y parvenir.

Objet :

Note stratégique qui présente l'intérêt du développement des technologies de pyrolyse et gazéification en France, d'une part du point de vue de la valorisation des déchets – dans le respect de la hiérarchie des modes de traitement – et d'autre part de la transition énergétique, sans oublier son impact sur la ré-industrialisation et la création d'emplois non délocalisables.

Objectifs :

1. Faire prendre conscience aux instances décisionnelles de notre pays, des enjeux, notamment économiques, et de la nécessité d'un environnement plus favorable pour un développement rapide de ces technologies en France, source de création d'emplois, de compétitivité de nos entreprises, et d'une plus grande indépendance énergétique.
2. Proposer aux Pouvoirs Publics un cadre réglementaire et économique favorable au développement de ce type de technologies en France qui pourrait alimenter le plan déchet 2014 – 2020, contribuer à l'objectif de réduction du recours à l'enfouissement et à la transition énergétique.

NB 1 : Cette note constitue une version 0. Elle sera susceptible d'être révisée à l'avenir, en fonction des données disponibles.

NB 2 : Cette note a été rédigée alors que le *Projet de Loi de Transition Energétique* et le *Projet de Plan 2014-2020 pour le recyclage et la valorisation des déchets* n'étaient pas encore totalement finalisés.

Synthèse

Les procédés de pyrolyse et gazéification peuvent apporter des réponses innovantes et performantes pour mieux valoriser énergétiquement de nombreuses biomasses et déchets non valorisables sous forme de matière, dans le cadre d'une gestion de proximité et de façon non intermittente. Ces procédés ont besoin pour se développer d'un encadrement réglementaire plus adapté et d'un soutien public afin d'accompagner le lancement de la filière française et lui permettre de devenir une référence mondiale sur ce secteur d'avenir.

Qu'est-ce que la pyrolyse et la gazéification ?

La pyrolyse et la gazéification sont des procédés de traitement thermique de matières carbonées (biomasse et/ou déchet) relativement sèches, à haute température (entre 400 et 1500 degrés Celsius), en absence ou défaut d'oxygène. Ces procédés transforment la matière carbonée en gaz (syngaz), huile et/ou charbon. Les produits obtenus sont sous forme de composés énergétiques qui gardent tout leur pouvoir énergétique pour une application spécifique ultérieure. Une analogie peut être faite avec la méthanisation où les bactéries vont produire du biogaz à partir de matières carbonées (plutôt humides dans ce cas), ce biogaz étant ensuite valorisé dans un moteur à combustion interne ou injecté dans le réseau gaz naturel. A contrario, la combustion et l'incinération utilisent immédiatement le pouvoir énergétique des produits ou déchets sous forme de chaleur, par oxydation en présence d'un excès d'oxygène.

La pyrolyse est le processus naturel à l'origine de la formation des énergies fossiles. Ces technologies de pyrolyse et de gazéification permettent de la même manière la production de composés énergétiques mais beaucoup plus rapidement (de quelques secondes à quelques heures). La valorisation de ces nouveaux composés se fait dans un second temps, directement en aval ou sur un autre site, soit sous forme énergétique, par exemple dans une chaudière ou un moteur à combustion interne en substitution d'une énergie fossile, soit sous forme chimique pour la préparation de biocarburants ou de molécules à haute valeur ajoutée.

Quels sont les avantages d'une transformation en composés énergétiques ?

Le fonctionnement en deux étapes des procédés de pyrolyse/gazéification (étape 1 de transformation en composés énergétiques, étape 2 de valorisation) offre de nombreux avantages techniques et environnementaux :

- Les valorisations possibles sont beaucoup plus nombreuses que lors de la production directe de chaleur par combustion de la ressource. A titre d'exemple, l'utilisation d'un composé sous forme gazeuse dans un moteur à combustion interne permet d'atteindre un rendement électrique de l'ordre de 40% alors que celui d'une turbine à vapeur atteindra au maximum 25% en incinération. Les gaz produits peuvent aussi être valorisés directement au cœur de procédés industriels (verrier, briquetier,...) en substitution du gaz naturel, permettant d'atteindre des niveaux de température beaucoup plus élevés que ceux obtenus avec la chaleur récupérée sur un incinérateur.
- Il est possible de purifier avant leur valorisation, les composés énergétiques produits à partir de déchets, en éliminant par exemple les éléments chlorés, précurseurs de la formation de dioxines, et les poussières. Les mesures réalisées sur les unités existantes montrent en effet des taux de

dioxines/furanes, et poussières atmosphériques nettement plus faibles que les valeurs limites d'émission réglementaires même sans traitement de fumées en aval.

- Le volume de fumées dégagées après combustion des composés énergétiques est 2 à 4 fois plus faible qu'en combustion directe, permettant d'améliorer l'efficacité énergétique globale du système (moins de pertes thermiques dans les fumées) mais aussi d'avoir des installations beaucoup plus compactes.

Ces procédés sont-ils déjà développés ?

La mise en œuvre des procédés de pyrolyse/gazéification est ancienne comme en témoigne la fabrication séculaire de charbon de bois, ou de gaz à partir de charbon et/ou de bois (gaz de houille pour l'éclairage de villes au 19ème siècle, gazogène au début du 20ème siècle comme carburant de véhicules de transport). Actuellement, ces procédés se sont développés de façon industrielle dans les zones géographiques où la ressource biomasse ou charbon est abondante et bon marché (Amérique latine, Chine,...).

Pour les déchets, le développement des technologies est plus récent. Une première génération de procédés a été développée à partir des années 80/90 en alternative aux technologies d'incinération. Ces procédés visent avant tout à traiter des ordures ménagères en mélange, dans une logique de santé publique plutôt que de valorisation énergétique, et concernent principalement des unités de grosses capacités (plus de cent mille tonnes par an). Ce type d'installations s'est beaucoup développé par exemple au Japon en raison notamment de leur compacité et du caractère inerte du résidu solide.

Depuis quelques années, une seconde génération de procédés est en cours de développement. Ces procédés se caractérisent par une nouvelle approche : 1/ Ils s'intéressent prioritairement aux déchets issus de refus de tri ou triés à la source et non recyclables, qui sont donc beaucoup plus homogènes que les ordures ménagères en mélange 2/ Ils se caractérisent par des tailles plus réduites en adéquation à la fois avec les gisements de ressources et les besoins énergétiques locaux, 3/ Ils se focalisent sur la valorisation énergétique des déchets et non sur un simple traitement, avec la recherche d'une plus grande efficacité énergétique globale. De nombreuses sociétés françaises et internationales, start-ups et grands groupes, travaillent sur la mise au point de ces nouvelles solutions afin de répondre aux nombreux enjeux environnementaux et énergétiques actuels... et essayer de prendre une position de leader sur ce secteur d'avenir.

Quels sont les enjeux du développement de ces procédés ?

Les procédés de pyrolyse/gazéification se placent au cœur de trois grandes problématiques actuelles et expliquent le fort regain d'intérêt pour ces technologies :

- Lutter contre les pollutions et mieux gérer les déchets résiduels dans le cadre d'un modèle d'économie circulaire. La volonté affirmée de réduire l'enfouissement va ainsi développer les opérations de tri en vue de la valorisation matière, ce qui va générer une augmentation significative du gisement des refus de tri à pouvoir calorifique élevé, qu'il sera judicieux d'orienter vers une valorisation énergétique optimisée.
- Disposer d'une énergie non intermittente, plus sûre sur le plan géopolitique que les énergies fossiles, et à un prix abordable et stable. La production de composés énergétiques à partir de ressources locales permettra d'améliorer l'indépendance énergétique de la France tout en diminuant les impacts de la volatilité des prix.

- Produire une énergie renouvelable, notamment à partir des ressources biomasses non alimentaires. Ainsi, les biomasses ligno-cellulosiques sont difficilement méthanisables mais se prêtent parfaitement bien à la pyrolyse/gazéification pour la production par exemple de biocarburants de 2e génération.

En 2013 GrDF a examiné dans le cadre d'une étude approfondie le potentiel de production de biométhane par gazéification en tenant compte des usages actuels des ressources et des conditions technico-économiques d'exploitation. La conclusion de l'étude est la suivante : « *Le potentiel technique de production de biométhane 2G [via gazéification], pour 2020 et 2050 varie de 100 à un maximum de 250 TWh/an selon le scénario envisagé [...]. Ce potentiel est à comparer aux 400 TWh consommés en 2011 en gaz naturel sur le territoire français et confirme l'intérêt de la filière au regard des objectifs du Grenelle de l'Environnement. L'étude montre également que ce potentiel significatif a pu être atteint en raison de la flexibilité des technologies et du rendement élevé dont bénéficie la filière.* »

En effet, ces procédés se prêtent plus facilement à des installations de petites et moyennes capacités (quelques milliers ou dizaines de milliers de tonnes par an), plus facile à intégrer localement, à proximité des gisements de déchets et/ou de biomasse (souvent peu denses en terme d'énergie par m³, et donc plus chers à transporter), ceci leur permettant d'être en meilleure adéquation avec les besoins des industriels à l'échelle du territoire dans le cadre du développement d'une économie circulaire.

Sur le plan environnemental et à partir des études menées par GrDF, le développement des technologies de pyrolyse/gazéification représente un enjeu d'environ 3% de l'effort national de réduction des gaz à effet de serre par rapport aux objectifs 2020 du projet de loi de transition énergétique et pour la croissance verte, et de 7,6% par rapport aux objectifs de 2050. De plus ces technologies permettent une meilleure maîtrise des rejets atmosphériques (poussières, dioxines,...).

Quels sont les impacts économiques du développement des procédés de pyrolyse/gazéification ?

Les impacts économiques du développement de la filière sont multiformes : impact sur la balance commerciale (environ 1 milliard d'euros en 2030 via la réduction d'achat de gaz naturel), contribution à la compétitivité des entreprises françaises (particulièrement les industries énergétiquement intensives), développement d'une filière française innovante et d'un savoir-faire pouvant être valorisé à l'export pour répondre à la très forte demande de solutions dans de nombreux pays du monde et devenir une industrie de référence.

Les premières études menées par le GT PyroGaz montrent des coûts d'investissement sensiblement similaires à ceux de l'incinération (à la tonne traitée), avec une certaine variabilité des montants en fonction des procédés utilisés et des tailles d'installation. En raison des avantages mentionnés (meilleure efficacité énergétique, traitement de proximité,...), les procédés peuvent donc proposer des solutions complémentaires aux filières existantes et à moindre coût pour répondre aux enjeux actuels de notre société. Les différentes technologies, incinération, méthanisation, pyrogazéification sont en effet très complémentaires en termes de ressources traitées et de besoins à satisfaire.

A court terme, la filière a surtout besoin de mesures incitatives pour lui permettre de créer un écosystème favorable à son développement. A moyen terme (5 à 10 ans), l'augmentation du nombre d'installations et le retour d'expérience permettront de réduire de manière conséquente les coûts d'investissement et d'exploitation, et d'obtenir des conditions de financement plus favorables, ce qui permettra de créer un cercle vertueux par la création d'une filière innovante et compétitive sur le marché.

Sur la base des chiffres de GrDF, le GT PyroGaz estime que les investissements à réaliser d'ici 2030 seront d'environ 3,6 milliards d'euros pour la création d'un parc d'une capacité de 3,8 GW thermique. Le coût total des aides publiques pour le lancement de la filière est estimé à environ 300 millions d'euros.

Ce développement aura également des impacts importants en termes de création d'emplois. Sur la base des installations existantes, la création d'emplois liés à la seule exploitation des unités (hors construction, hors impact en amont sur la compétitivité des centres de tri, hors impact en aval sur la compétitivité des entreprises utilisatrices) est estimée à environ 2 500 emplois en 2025, et 6000 en 2030.

Quels sont les freins et les leviers au développement de cette filière ?

Plusieurs freins rendent pourtant particulièrement difficile le développement en France de telles installations permettant d'acquérir le retour d'expérience nécessaire. Ces freins relèvent notamment d'un déficit de connaissance des particularités de ce type de procédés, notamment de seconde génération, et de leurs enjeux, d'une assimilation réglementaire aux installations d'incinération de déchets, et de mesures financières non incitatives. Par exemple, une installation produisant un gaz purifié à partir de déchets triés, pour alimenter un moteur à combustion interne se voit appliquer des valeurs limites d'émissions nettement plus contraignantes que celles qui sont appliquées à un moteur à combustion interne fonctionnant... au gaz naturel (!). De même, une installation traitant moins de 10 000 t/an de déchets triés produisant un syngaz propre et épuré pour une application industrielle, est soumis aux mêmes contraintes administratives et opérationnelles qu'une installation d'incinération traitant plus de 200 000 tonnes de déchets bruts en mélange par an.

Dans de nombreux pays, et à commencer par nos voisins européens (Angleterre, Pays-Bas,...), ces freins ont été levés par une politique de soutien au déploiement des technologies et un environnement réglementaire rigoureux mais attentif à accompagner la démonstration industrielle.

Le GT PyroGaz propose un certain nombre de recommandations pour permettre de soutenir le développement de cette filière industrielle d'avenir :

- Création d'une nouvelle rubrique ICPE relative à la production d'énergie à partir de déchets triés ou préparés incluant les procédés de pyrolyse et gazéification, prenant notamment en compte la problématique de la valorisation en moteur à combustion interne ;
- Non soumission à la TGAP des installations de pyrolyse/gazéification répondant aux critères de valorisation énergétique ;
- Non comptabilisation des flux de ces unités dans les tonnages d'incinération ;
- Transposition de l'article 42 de la directive IED permettant de sortir la valorisation de gaz de synthèse purifié du statut de l'incinération ;
- Mise en place de procédures d'autorisation administrative simplifiées et rapides pour des installations pilotes ou de petite taille ;
- Intégration de ces procédés dans le dispositif d'expérimentation de l'autorisation unique en France ou dans les régions déjà concernées.



Sommaire

1.	Qu'est-ce que la pyrolyse et la gazéification ?	8
1.1	Les principes des procédés de pyrolyse et gazéification	8
1.2	Les avantages d'une conversion en composés énergétiques	9
2	Un intérêt croissant pour la pyrogazéification partout dans le monde.....	11
2.1	Procédés de première génération et de deuxième génération.....	11
2.2	Un nouveau paradigme qui change la donne.....	12
2.3	La pyrogazéification à l'international et en France	13
3	Un enjeu majeur pour la transition énergétique.....	14
3.1	La pyrogazéification, un enjeu chiffré par GrDF à plus de 35% du gaz consommé en France en 2050.....	14
3.2	Une énergie renouvelable, non intermittente et locale	14
4	Un enjeu pour les territoires et l'emploi dans le cadre d'une économie circulaire.....	15
4.1	Une clé pour le développement durable des territoires	15
4.2	Une nécessité pour une meilleure valorisation locale des déchets	15
5	Bénéfices environnementaux d'un développement de la filière de pyrolyse/gazéification.....	16
5.1	Participation significative à la réduction des gaz à effet de serre.....	17
5.2	Une meilleure maîtrise des rejets atmosphériques	17
5.3	Une meilleure insertion au sein des territoires	18
6	Bénéfices économiques du développement de la filière de pyrolyse/gazéification.....	19
6.1	Des procédés compétitifs à court/moyen terme.....	19
6.2	Impact sur la balance commerciale française	20
6.3	Contribution à la compétitivité des entreprises françaises	20
6.4	Evaluation des investissements nécessaires	20
6.5	Création d'emplois non délocalisables.....	21
7	Les freins actuels pour le développement de la filière.....	22
8	Recommandations.....	24
8.1	Recommandations sur les évolutions réglementaires.....	24
8.1.1	Principe des évolutions réglementaires demandées.....	24
8.1.2	Rubriques ICPE relatives aux installations de pyrogazéification.....	25
8.1.3	Installations pilote et ou de test de petite taille.....	27
8.1.4	Autorisation unique : Simplification des procédures administratives dans le cadre d'un nouveau projet	28
8.1.5	Comptabilisation des flux de déchets	28
8.2	Recommandations sur les évolutions fiscales	29
8.3	Mise en place de mesures financières incitatives	29
	Conclusion :.....	29
	ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES DIFFERENTS PROCEDES DE PYROLYSE/GAZEIFICATION	30



ANNEXE 2 : LA PYROLYSE/GAZEIFICATION EN FRANCE ET A L'INTERNATIONAL	35
9.....	35
ANNEXE 3 : UNE INDUSTRIE FRANCAISE AVEC UNE FORTE VITALITE	44
ANNEXE 4 : COUTS DE SUIVI INSTALLATIONS D'INCINERATION, CO-INCINERATION ..	46

1. Qu'est-ce que la pyrolyse et la gazéification ?

1.1 Les principes des procédés de pyrolyse et gazéification

Les procédés de pyrolyse et de gazéification transforment la matière carbonée (biomasse ou déchets relativement secs ou ligno-cellulosiques) en une autre forme de composés énergétiques (gaz, huile et/ou charbon), plus facilement valorisables, comme la méthanisation transforme la matière carbonée humide et non ligno-cellulosique en biogaz. Cette transformation chimique se fait par le biais de la chaleur pour la pyrogazéification plutôt que par une action bactériologique pour la méthanisation.

La **pyrolyse** est ainsi le procédé de décomposition thermique de la matière carbonée relativement sèche, à haute température (entre 400 et 1500 degrés Celsius), en absence d'oxygène permettant d'obtenir trois phases : une phase solide (charbon, char ou coke), une phase liquide (huile de pyrolyse) et une phase gazeuse combustible dite gaz de synthèse ou syngaz¹. Cette opération nécessite une faible quantité d'énergie. La proportion entre ces trois phases dépend essentiellement des principaux paramètres opératoires, notamment de la température, du temps de séjour et de la vitesse de chauffage. A relativement faible température, long temps de séjour, et faible vitesse de chauffage, la phase charbon sera majoritaire : c'est le processus naturel à l'origine de la formation des énergies fossiles. A plus haute température, faible temps de séjour et haute vitesse de chauffage, la phase liquide ou gazeuse sera prédominante.

La **gazéification** est le procédé de transformation de la partie carbonée solide et de la phase liquide produite par la pyrolyse, en gaz de synthèse (syngaz) par ajout d'une petite quantité d'un agent oxydant (air, oxygène, eau, gaz carbonique).

La **pyrogazéification** est une étape de pyrolyse suivie d'une étape de gazéification. Les procédés dits de « gazéification » sont souvent en pratique des procédés de pyrogazéification, sauf s'ils traitent directement du charbon².

Il existe ainsi de très nombreux procédés en fonction des paramètres choisis (cf. annexe 1, description des différents procédés) qui permettent de transformer les déchets ou la biomasse, en syngaz substituable par exemple au gaz naturel, biocarburants, biochar³ ou autres molécules spécifiques.

¹ La composition du syngaz est fonction de la nature de la ressource entrante et des conditions opératoires. Il est en général composé essentiellement de monoxyde de carbone et d'hydrogène, et d'un peu de méthane. Ce gaz peut venir se substituer à du gaz naturel au sein de procédés industriels (chaudière, moteur à combustion interne, ...) moyennant quelques adaptations, après avoir été purifié le cas échéant, ou convertis en combustible liquide ou en méthane via des procédés en aval (synthèse Fisher-Tropsch, méthanation,...).

² Les procédés de gazéification de charbon, développés dans certains pays comme la Chine, ne sont pas étudiés dans le cadre de cette note.

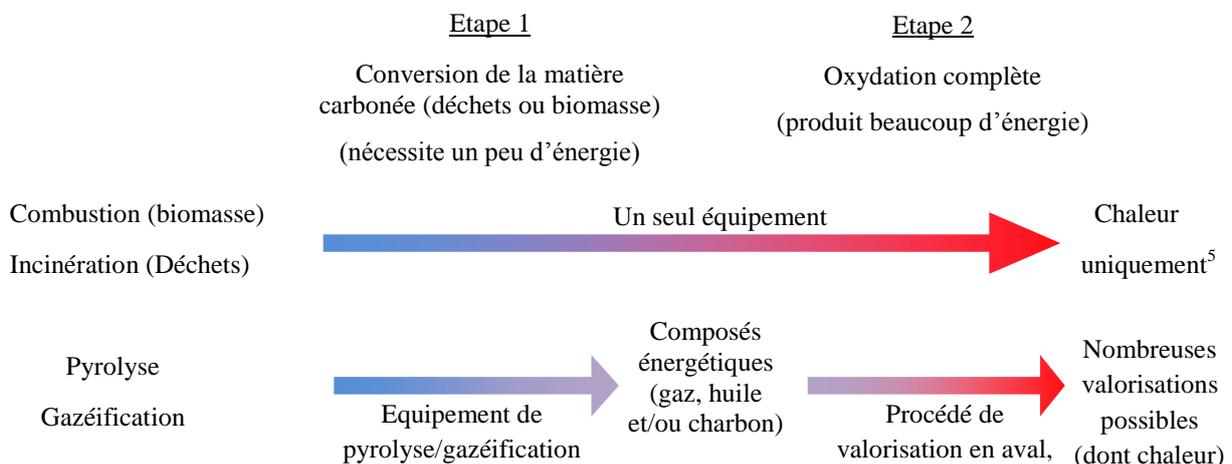
³ Le biochar est un charbon de biomasse issu de pyrolyse pouvant lui conférer des propriétés très particulières de composition et de porosité, et lui permettre d'agir comme un élément structurant du sol (aération, rétention d'eau, amélioration de l'activité microbiologique du sol). Ces propriétés restent cependant à valider, notamment dans les climats tempérés.

1.2 Les avantages d'une conversion en composés énergétiques

La pyrolyse et la gazéification sont souvent assimilées à l'incinération pour les déchets ou à la combustion pour la biomasse, car il s'agit dans tous les cas d'un traitement thermique. Le processus d'incinération/combustion commence d'ailleurs par une première étape de pyrolyse/gazéification. Cette première étape demande un peu d'énergie d'où la nécessité de lancer le procédé de combustion par une allumette par exemple pour amorcer les transformations thermo-chimiques.

La différence, et elle est substantielle dans ses conséquences, est que la pyrolyse et la gazéification fonctionnent en défaut d'oxygène alors que la combustion/incinération se fait en présence d'un excès d'oxygène (air le plus souvent). Ainsi, dans le cas de l'incinération/combustion, les composés énergétiques produits par la première étape de pyrolyse/gazéification sont immédiatement oxydés par l'oxygène présent, ce qui génère l'énergie sous forme de chaleur, et permet alors au procédé de s'auto-entretenir.

En défaut d'oxygène, les unités de pyrolyse/gazéification transforment la ressource entrante en « composés énergétiques » (solide, liquide et/ou gazeux), mais ceux-ci ne sont pas oxydés immédiatement, gardant ainsi leur potentiel énergétique pour une utilisation ultérieure⁴ : il s'agit finalement d'une conversion plutôt qu'une valorisation énergétique immédiate, un prétraitement de la ressource, en une autre forme plus facilement exploitable. La valorisation n'est réalisée que dans une seconde étape en aval de l'unité de pyrolyse ou gazéification, parfois sur un autre site, offrant une grande flexibilité de valorisation. **Cette valorisation peut être énergétique, thermique, électrique ou mécanique, ou sous forme de matière.** Ces unités en aval peuvent ainsi avoir pour objet la production de molécules spécifiques comme du méthane envoyé dans le réseau gaz naturel (comme par exemple le projet Gaya de GDF Suez) ou d'autres molécules (hydrogène, biocarburants,...).



⁴ Seuls les procédés de deuxième génération (dits non intégrés) sont étudiés dans le cadre de cette note, c'est-à-dire les procédés qui fonctionnent en deux étapes séparées (conversion et valorisation non intégrés dans le même procédé), que celles-ci se fassent sur le même site ou non. Cf. 2.1 pour la distinction entre procédés de première et de deuxième génération.

⁵ La chaleur est une forme dégradée d'énergie et difficile à transporter, notamment par rapport à l'énergie chimique contenue dans des composés énergétiques. A titre illustratif, il est possible de produire de l'électricité à partir de chaleur, avec par exemple les turbines à vapeur utilisées en incinération. Les rendements seront toutefois substantiellement inférieurs à ceux obtenus à partir de combustibles utilisés dans des moteurs à combustion interne (cf. ci-après).

Cette transformation en composé énergétique génère de nombreux avantages sur le plan de l'environnement et de l'efficacité énergétique :

- Il est possible de purifier le produit obtenu (syngaz par exemple) avant sa valorisation, permettant de valoriser ultérieurement un gaz propre et ainsi de réduire les émissions polluantes (dioxines, poussières atmosphériques, métaux lourds et autres polluants,...) ;
- En cas de valorisation thermique de syngaz dans une chaudière en aval (étape 2) en substitution d'un combustible fossile, la combustion de ce composé énergétique est beaucoup plus aisée (réaction homogène gaz-air) que pour des ressources solides en combustion/incinération (réaction hétérogène solide-air), ce qui réduit l'excès d'air nécessaire, et permet une installation beaucoup plus compacte, une très forte réduction des volumes de fumées, et donc un meilleur rendement énergétique (moins de pertes thermiques dans les fumées) ; de plus, ce syngaz peut aller directement au cœur de procédés industriels (verriers, briquetiers,...) ;
- En cas de valorisation électrique (étape 2), le gaz purifié peut être envoyé dans un moteur à combustion interne avec un meilleur rendement énergétique (environ 40%) que celui des turbines à vapeur utilisées classiquement en incinération (en général inférieur à 25%).
- Les composés énergétiques obtenus peuvent plus facilement se stocker (sous forme de gaz en injection dans le réseau après une étape de méthanation, d'huile de pyrolyse, ou de char) pour une utilisation ajustée à la demande.

Pour illustrer cet intérêt majeur d'un fonctionnement en deux étapes, la pyrolyse/gazéification peut être comparée à la méthanisation. En effet, la méthanisation consiste également à transformer la matière organique en un composé énergétique, le biogaz, mais par le biais de bactéries. Le biogaz est tout d'abord purifié, et peut ainsi être valorisé plus facilement dans une étape ultérieure, comme dans un moteur de cogénération, ou envoyé dans le réseau de gaz naturel. La pyrolyse/gazéification est complémentaire de la méthanisation en termes de ressources. En effet, la méthanisation est destinée à traiter des matières fermentescibles souvent humides, qui sont peu ou pas adaptées aux procédés de pyrolyse et gazéification. La méthanisation ne permet par contre pas ou difficilement de transformer les biomasses (ou déchets) ligno-cellulosiques, ainsi que de nombreux déchets secs ou encore refus de tri, qui sont précisément les ressources adaptées à la pyrogazéification.

De même que pour la méthanisation (digestats) ou l'incinération (mâchefers), un certain nombre de résidus sont produits par les procédés de pyrolyse/gazéification. Pour les procédés de pyrolyse, ces résidus peuvent dans certains cas être valorisables sous forme de matière si leur composition respecte les critères requis (biochar par exemple). Pour les procédés de gazéification, les cendres contiennent essentiellement la matière minérale qui ne peut par définition être transformée en énergie. Selon leur composition, ces cendres pourront être valorisées, vitrifiées, ou évacuées en installation de stockage. Les métaux seront également plus facilement valorisables car sous forme non oxydée.

Il est à noter que réglementation applicable à la méthanisation prend en compte ce fonctionnement technique en deux étapes, une étape de conversion de la matière organique et une étape de valorisation du biogaz. Ce n'est pas le cas aujourd'hui pour la pyrolyse/gazéification de déchets/biomasses, ce qui

pose de nombreuses difficultés réglementaires (cf. partie 7 sur les freins au développement de la filière).

2 Un intérêt croissant pour la pyrogazéification partout dans le monde

2.1 Procédés de première génération et de deuxième génération

Les technologies de pyrolyse et de gazéification sont anciennes (cf. Annexe 1 sur les différents procédés). Au-delà de la production séculaire de charbon de bois par pyrolyse, elles ont été par exemple développées au 19^{ème} siècle pour la production de gaz de ville, ou encore pendant la seconde guerre mondiale pour produire du carburant, avec les contraintes énergétiques et environnementales de l'époque. Ces procédés utilisent comme ressources le plus souvent directement du charbon (gazéification) ou du bois sur de petites unités (gazogènes de voiture). Toutefois, à partir de 1945, les énergies fossiles supplantent toutes les autres sources d'énergies, car elles sont denses énergétiquement, relativement faciles à exploiter, et donc peu onéreuses. Avec les chocs pétroliers, de nouveaux projets de pyrolyse/gazéification à partir de biomasse ou déchets refont surface... mais les contre-chocs pétroliers ne leur laissent pas le temps nécessaire pour se développer techniquement. Dans les zones géographiques où les ressources biomasse ou charbon sont importantes (Amérique latine, Chine,...), ces procédés ont continué de se développer industriellement.

Pour les ressources de type déchets, une première génération de procédés s'est vraiment développée à partir des années 1975/1980. Il s'agissait avant tout de traiter les déchets en alternative à l'incinération, la valorisation énergétique n'étant pas devenue encore une préoccupation majeure. L'approche est donc en général de traiter des déchets en mélange comme les ordures ménagères, avec de grandes capacités. Ces procédés présentent des avantages certains par rapport aux technologies classiques d'incinération comme l'inertage des résidus solides par vitrification ou le volume réduit de fumées (réduction des pertes thermiques et compacité des installations de traitement des fumées). Sur le plan technique, ces procédés sont dans leur très grande majorité des procédés « intégrés », dans le sens où la valorisation des composés énergétiques produits est immédiate, sans purification préalable. L'étape 1 de transformation de la ressource en composés énergétiques et l'étape 2 de valorisation⁶ sont alors indissociables. Ces procédés se sont développés avec plus ou moins de succès. Certains d'entre eux sont devenus des technologies matures au même titre que d'autres technologies d'incinération.

Depuis une dizaine d'années, des procédés innovants de seconde génération pour les traitements des déchets ont commencé à apparaître. Ces procédés sont « non intégrés », i.e. l'étape de transformation de la ressource (étape 1) est techniquement séparée de l'étape valorisation (étape 2). Ces procédés produisent donc en premier lieu des composés énergétiques gazeux (syngaz), liquides (hydrocarbures) et solides (char ou coke).

A l'opposé des procédés de première génération sur les déchets, ces procédés de seconde génération se définissent notamment par une approche suivant quatre axes :

⁶ Valorisation uniquement sous forme de chaleur comme dans les technologies d'incinération classique, même si cette chaleur peut être par la suite utilisée pour produire de l'électricité dans une turbine à vapeur par exemple. Dans ce cas, il n'est pas possible de maximiser la production électrique avec par exemple un moteur à combustion interne (cf. 1.2).

- Des entrants triés : ces technologies visent à traiter de la biomasse résiduelle ligno-cellulosique, des déchets non recyclables triés à la source ou préparés par exemple à partir de refus de tri (CSR, refus de tri plastique,...), mais pas des déchets bruts en mélange.
- Des tailles plus réduites à l'échelle de l'économie circulaire : en cohérence avec cette recherche d'entrants triés, les installations sont souvent de capacité plus réduite que les incinérateurs avec des tonnages de quelques centaines de kg à 10 tonnes par heure.
- Valorisation et non traitement de déchets : l'objectif recherché est non plus de traiter un déchet, mais de le valoriser au mieux, sous forme matière (récupération de métaux non oxydés,...), énergétique (électrique ou chaleur), ou chimique (en vue de la préparation de molécules à haute valeur ajoutée).
- Optimisation de l'efficacité énergétique : la séparation en deux étapes permet de purifier les composés énergétiques avant leur valorisation, offrant ainsi un spectre d'utilisation en aval beaucoup plus large, notamment l'utilisation de moteur à combustion interne avec un meilleur rendement énergétique.

Cette note s'intéresse plus particulièrement à ces technologies émergentes de seconde génération.

2.2 Un nouveau paradigme qui change la donne

Plusieurs évolutions récentes modifient considérablement l'environnement global et expliquent le très fort intérêt pour le développement de ces procédés :

- Le coût du traitement des déchets a fortement augmenté ces dix dernières années, notamment en raison de mesures fiscales (TGAP). Ces augmentations concernent à la fois le coût de mise en enfouissement (prix moyen en France de 79 EUR/t pour les déchets non dangereux en 2012 selon l'ADEME) et l'incinération (prix moyen de 94 EUR/t en 2010 selon l'ADEME). Par ailleurs, les objectifs de réduction de mise en enfouissement de 50% à l'horizon 2025, inscrits dans le projet de loi sur la transition énergétique et le projet de plan de réduction et de valorisation des déchets 2014-2020, ainsi que la volonté de limiter l'incinération rendent plus difficiles le traitement de certains déchets. Ainsi, cette réduction de l'enfouissement devrait entraîner la production annuelle de 2,5 millions de tonnes de CSR préparés à partir des refus de tri. Les cimentiers pourront en utiliser au maximum 1 million de tonnes. Reste donc 1,5 million de tonnes par an de nouvelle capacité de valorisation énergétique à créer⁷. Les acteurs de la collecte de déchets sont donc à la recherche de nouvelles solutions.
- Le coût et la volatilité des prix de l'énergie : les prix des énergies fossiles connaissent ces dernières années de très fortes instabilités, entre 40 USD et 140 USD depuis 2008. Cette très forte volatilité résulte de nombreux facteurs comme la situation économique mondiale, mais aussi les tensions géopolitiques, contexte dans lequel l'Europe subit les bonnes et les mauvaises nouvelles. Le prix des énergies fossiles reste en tout état de cause à des niveaux élevés : depuis 2005, le prix du baril a ainsi toujours été supérieur à 45 USD en moyenne annuelle alors qu'il était inférieur à 30 USD/baril avant 2003. Au-delà des prix, la sécurité d'approvisionnement devient un enjeu majeur comme l'a illustré récemment la situation ukrainienne sur le gaz. De nombreux pays non producteurs recherchent donc une meilleure visibilité à moyen/long terme et surtout une indépendance énergétique pour maîtriser leur

⁷ Cf. note stratégique sur les CSR rédigée par le CSF Eco-Industries, GT CSR, juin 2014

avenir. Dans ce cadre, les industriels énergétiquement intensifs en particulier ont besoin et recherchent des solutions compétitives et stables sur le long terme ;

- Les impacts du changement climatique : même si le prix des quotas CO2 est à un niveau particulièrement bas aujourd'hui, les acteurs économiques et les collectivités locales sont de plus en plus sensibilisés à la réduction des gaz à effet de serre. De nombreux pays, comme la France, ont ainsi pris des engagements forts sur la réduction des gaz à effet de serre.

Les procédés de pyrolyse/gazéification se placent donc au cœur de trois grandes problématiques auxquelles le monde doit faire face : (1) conserver une énergie plus sûre sur le plan géopolitique à un prix abordable et stable, (2) lutter contre les pollutions et mieux gérer les déchets résiduels, et (3) réduire les gaz à effet de serre. Ces trois facteurs combinés, ont entraîné un fort regain d'intérêt pour ces procédés à travers le monde depuis quelques années, et plus récemment en France.

2.3 La pyrogazéification à l'international et en France

Des procédés de pyrolyse/gazéification de première génération sont largement développés dans certains pays comme le Japon où une partie très significative des déchets sont traités par ce type de technologies, en raison à la fois de leur compacité et de leur efficacité environnementale. Des pays comme la Finlande ont réalisés de très grandes installations, notamment sur de la biomasse. Sur les déchets, de nombreux projets de seconde génération se développent ces dernières années comme au Canada, aux USA, mais aussi en Europe (Belgique, Pologne, Grande-Bretagne, Espagne,...) (cf. annexe 2).

Cet intérêt est également très fort en France. A titre d'illustration, moins d'une dizaine d'acteurs en France regardaient le sujet il y a quelques années. Lors d'une réunion en avril 2014 organisée par l'ADEME sur les freins et les leviers pour le développement de la filière, plus d'une centaine de personnes étaient présentes, dont les grands groupes de gestion des déchets et de l'énergie, plus d'une quarantaine de fabricants de procédés (avec des sociétés établies et de nombreuses start-up innovantes), des consommateurs d'énergie (comme des briquetiers, verriers, cimentiers...), des bureaux d'études, des laboratoires de recherche et des universités françaises. Enfin, la filière est en train de se structurer autour d'une association professionnelle, le Club Pyrogazéification, qui regroupe d'ores et déjà près d'une cinquantaine de sociétés acteurs de la filière (cf. annexe 3).

Ainsi, un nombre croissant d'acteurs français ont développé des prototypes, des pilotes préindustriels et quelques premières unités industrielles, sur différentes ressources biomasse ou déchet, pour faire de la chaleur ou de l'électricité. La majorité de ces unités fonctionnent de façon satisfaisante. Ces procédés doivent cependant encore faire leur preuve pour passer au stade d'un large déploiement industriel... pour autant qu'on leur permette (cf. ci-après freins au développement de la filière).

Quoiqu'il en soit, cette offre croissante est appelée à se développer, parce qu'elle répond à une très forte demande du marché... sans beaucoup d'autres alternatives. En effet, beaucoup d'acteurs, français et internationaux, en arrivent à la conclusion que ce type de procédés doit être plus amplement soutenu au vu des différents enjeux actuels, pour répondre aux objectifs de la transition énergétique et du développement d'une économie circulaire.

La filière française a la vitalité et l'ambition pour prendre une position de référence sur ce secteur d'avenir où les places restent à prendre. Elle a toutefois besoin pour cela d'une base nationale solide qui la soutienne dans son développement avec un encadrement réglementaire plus adapté et un soutien public pour accompagner le lancement de la filière.

3 Un enjeu majeur pour la transition énergétique

3.1 La pyrogazéification, un enjeu chiffré par GrDF à plus de 35% du gaz consommé en France en 2050

Dans son scénario central sur l'évolution de la consommation et de la production de gaz, GrDF estime qu'en 2020, 9% de la consommation de gaz viendra de la méthanisation, et 7% de la pyrogazéification... Ceci est déjà un potentiel très important. Mais la tendance de fond est encore plus forte. En effet, GrDF estime que 73% du gaz sera d'origine verte à l'horizon 2050, dont presque la moitié viendra de la pyrogazéification, soit environ 35% du gaz consommé en France. De plus ce gaz sera produit en France⁸. La pyrogazéification est donc bien au cœur des enjeux de la transition énergétique.

Pour déterminer ces chiffres, GrDF a étudié dans les détails le potentiel du gisement de biomasse/déchets susceptibles de faire l'objet d'une pyrogazéification⁹. Afin d'être dans un cadre durable, cette étude tient compte des usages actuels, des prévisions concernant ces usages et des conditions technico-économiques de collecte de la biomasse/déchets. En voici la conclusion :

« Le potentiel technique de production de biométhane 2G [de gazéification], pour 2020 et 2050 varie de 100 à un maximum de 250 TWh/an selon le scénario envisagé [...]. Ce potentiel est à comparer aux 400 TWh consommés en 2011 en gaz naturel sur le territoire français et confirme l'intérêt de la filière au regard des objectifs du Grenelle de l'Environnement. L'étude montre également que ce potentiel significatif a pu être atteint en raison de la flexibilité des technologies et du rendement élevé dont bénéficie la filière. ».

Les gisements disponibles sont en effet très importants, tant sur les déchets que sur les résidus de biomasse. Une étude de l'ADEME (Bran Blending, 2014) a par exemple montré que la combustion de nombreuses ressources biomasses (sarments de vigne, paille de colza,...) n'est pas forcément aisée dans des chaudières classiques. Là-aussi la pyrogazéification peut apporter des solutions sans entrer en concurrence avec les usages actuels ou des cultures alimentaires.

3.2 Une énergie renouvelable, non intermittente et locale

Dans le cas de valorisation à partir de ressources renouvelables, ces unités produisent de l'énergie renouvelable, non intermittente et le cas échéant mobilisable en pointe à la demande, à la différence par exemple des installations solaires ou éoliennes. Ces caractéristiques recherchées, combinées à une très bonne efficacité énergétique, en font également un atout essentiel dans le cadre de la transition énergétique. Les biomasses ligno-cellulosiques sont difficilement méthanisables mais se prêtent parfaitement bien à la pyrolyse/gazéification pour la production par exemple de biocarburants de 2nde génération. Enfin, les ressources utilisées étant locales, ces unités favorisent l'indépendance énergétique du pays tout en contribuant au développement national (cf. partie 4).

⁸ Le gaz consommé en France est en quasi-totalité importé, principalement de Norvège (40%), Russie (20%), Pays-Bas (16%) et Algérie (12%) (chiffres 2013).

⁹ « Biométhane de gazéification – Etude du potentiel de production en France aux horizons 2020 et 2050 – Février 2013 – GrDF »

4 Un enjeu pour les territoires et l'emploi dans le cadre d'une économie circulaire

4.1 Une clé pour le développement durable des territoires

Les unités de pyrolyse/gazéification se distinguent par une très grande flexibilité et variété, tant au niveau des procédés utilisés que des ressources (biomasse, déchets,...), du type de valorisation (thermique, électrique, biocarburant, production de molécules spécifiques,...), ou de capacité (de quelques kW à plusieurs dizaines de MW, représentant entre quelques dizaines de tonnes à plusieurs centaines de milliers de tonnes annuellement). Cette variété rend parfois cette filière plus difficile à appréhender dans sa globalité tant les situations possibles sont multiples, notamment au niveau réglementaire. Mais cette diversité est avant tout une chance car elle offre une grande flexibilité pour s'adapter aux spécificités des différents contextes locaux.

Ces procédés se prêtent ainsi plus facilement à des installations de petites et moyennes capacités (quelques milliers ou dizaines de milliers de tonne par an, soit quelques MW), donc à proximité des gisements de déchets ou de biomasse (souvent peu denses en terme d'énergie par m³, et donc plus chers à transporter), leur permettant d'être en meilleure synergie avec les besoins des industriels à l'échelle locale dans le cadre du développement d'une économie circulaire :

- La taille des installations est en adéquation avec les besoins énergétiques locaux ;
- Le gaz produit peut par exemple venir en substitution d'énergie fossile utilisée par les industriels permettant une valorisation toute l'année¹⁰;
- Cette substitution limite la production de gaz à effet de serre (en proportion de la part renouvelable contenue dans la ressource) ;
- Elle favorise l'indépendance énergétique de la France par rapport aux énergies fossiles, favorise la compétitivité des industriels locaux, notamment les industriels énergétiquement intensifs, permettant de développer et de pérenniser des emplois locaux ;
- La production d'électricité (ou cogénération) à partir de déchets et/ou biomasse à partir de telles installations, notamment dans des contextes insulaires, est également très prometteuse.

Cette capacité d'adaptation avec de petites et moyennes unités flexibles est une condition sine qua non pour le développement de l'économie circulaire, dans un contexte global où beaucoup de choses peuvent évoluer rapidement, y compris au niveau local.

4.2 Une nécessité pour une meilleure valorisation locale des déchets

La valorisation matière doit rester prioritaire par rapport à la valorisation énergétique. Pour autant, la valorisation énergétique est un complément indispensable à la volonté de réduction des tonnages enfouis et le développement souhaité de la valorisation matière à grande échelle. En effet,

¹⁰ Lorsque la valorisation du syngaz se fait sous forme thermique dans un process industriel, il est important de noter que dans de nombreux cas, ceci ne pourrait pas être réalisé par l'envoi de la simple chaleur résiduelle d'un incinérateur. Au contraire, l'utilisation d'un gaz au cœur même du procédé industriel permet de répondre à des cahiers des charges beaucoup plus contraignants que l'envoi de simple chaleur (beaucoup de procédés industriels comme le secteur briquetier et verrier exigent des températures supérieures à 1 000 °C). Une valorisation dans un réseau de chaleur peut être intéressante mais ne permet pas une valorisation toute l'année sauf si la capacité est définie en fonction du besoin minimal permanent.

l'augmentation du tri va inéluctablement induire la production en quantités croissantes de refus de tri, production constituée de bois, papiers, plastiques et matériaux composites. Les objectifs poursuivis ne pourront être atteints que si ces refus de tri, qui ont un pouvoir calorifique élevé, peuvent être valorisés énergétiquement. Par ailleurs, le projet de loi sur la transition énergétique impose de réduire les tonnages enfouis de 50% à l'horizon 2025, soit environ 10 millions de tonnes par an en conformité avec les orientations européennes. Même avec des hypothèses de recyclage très ambitieuses techniquement, il apparaît clairement que l'objectif ne pourra être atteint sans valorisation énergétique.

Cette approche répond parfaitement aux objectifs du projet de Plan de réduction et de valorisation des déchets pour 2014-2020, et particulièrement à l'objectif n°3, présentée par la ministre de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Madame Ségolène Royal, lors de la réunion du conseil national des déchets le 7 novembre 2014 : « *Il convient de créer un cadre qui oriente les refus de tri au pouvoir calorifique suffisant vers une valorisation énergétique, plutôt que vers la mise en décharge.* ». Par ailleurs, pour respecter la directive de « *ne pas augmenter [...] les capacités d'incinération nationales à l'horizon 2025* », ces déchets devront bien être valorisés par de nouvelles installations innovantes.

La pyrogazéification ne s'oppose pas aux autres modes de valorisation, elle est complémentaire :

- La pyrolyse/gazéification est complémentaire par rapport à la méthanisation qui transforme des déchets humides fermentescibles en méthane par la voie biologique.
- De nombreux déchets ne sont pas incinérables directement dans les installations existantes, car elles ne sont généralement pas prévues pour traiter des déchets comme les combustibles solides de récupération (CSR) au pouvoir calorifique significativement plus élevé que celui des ordures ménagères ;
- Les cimentiers sont également intéressés par ces procédés en raison des moindres contraintes dans la préparation des déchets, et d'une plus grande facilité de brûler du gaz qu'un solide (réaction homogène, cf. 1.2) pour atteindre les températures élevées nécessaires.

En d'autres termes, les techniques actuelles largement déployées, nécessaires pour traiter de nombreux déchets, ne suffisent pas pour traiter de nombreux autres déchets et atteindre les objectifs ambitieux de valorisation matière et de recyclage des déchets. Les procédés de pyrolyse/gazéification, et particulièrement de seconde génération, ont un rôle majeur à jouer pour répondre à ces objectifs.

Il est enfin important de noter que de nombreux procédés de pyrolyse/gazéification répondent aux préoccupations mentionnées dans le projet de Plan de réduction et de valorisation des déchets :

- une « *taille maîtrisée* », qui leur permet également d'être « *adossées à des demandes d'énergie thermique en entreprise ou dans des réseaux de chaleur* » (objectif n°3, page 4) ;
- « *affirmer et appliquer le principe de proximité* » (Axe 9, page 17).

Ces différents points sont par ailleurs repris dans le projet de loi de transition énergétique.

5 Bénéfices environnementaux d'un développement de la filière de pyrolyse/gazéification

Le développement de la filière de la pyrogazéification peut apporter de nombreux bénéfices environnementaux.

5.1 Participation significative à la réduction des gaz à effet de serre

Le premier bénéfice environnemental majeur est la participation à la réduction des gaz à effet de serre.

Cet impact est multiforme :

- Energie renouvelable : substitution des énergies fossiles émetteurs de gaz à effet de serre par du syngaz, huile ou charbon de pyrolyse à partir de ressources totalement ou partiellement renouvelables ;
- Proximité : réduction des transports grâce à une gestion plus locale des ressources ;
- Efficacité : une plus grande efficacité énergétique, qui réduit encore les besoins en énergie fossile ;
- Adéquation offre-demande : un fonctionnement en continu tout au long de l'année, non dépendant du soleil ou du vent, mobilisable le cas échéant en pointe, réduisant par exemple dans les zones insulaires les appels aux groupes diesel, et en métropole les besoins de garantie de capacité pour faire face à l'intermittence.

D'après les études menées par GrDF en 2013 dans le cadre de son scénario Facteur 4, la gazéification devrait produire 29 TWh de gaz d'origine renouvelable en 2030 et 133 TWh en 2050.

Par rapport aux objectifs fixés dans le projet de loi sur la transition énergétique, les technologies de pyrolyse et de gazéification représentent donc **un enjeu d'environ 3,1% de l'effort national de réduction des gaz à effet de serre pour 2030, et 7,6% pour 2050**, comme illustré dans le tableau ci-après.

	Production de syngaz*	Réduction tonnage CO2 équivalent**	Objectifs réduction GES*** Projet de Loi sur la transition énergétique	Part potentielle du syngaz dans l'effort global de réduction des GES
2030	29 TWh	7 Mt eq. CO2	-40%	3,1%
2050	133 TWh	32 Mt eq. CO2	-75%	7,6%

* Source : Scénario Facteur 4 GrDF

** Source : Base ACV VeGaz (66g/MJ)

*** Base 1990 : 563,9 Mt eq. CO2

5.2 Une meilleure maîtrise des rejets atmosphériques

Au-delà de la réduction des gaz à effet de serre, le fonctionnement en deux étapes des procédés de pyrolyse et de gazéification apporte également un fort intérêt pour favoriser une meilleure maîtrise des rejets atmosphériques. En effet, les composés énergétiques (syngaz par exemple) peuvent être purifiés avant d'être utilisés comme combustibles, réduisant ainsi les émissions polluantes ou les éléments favorisant ce type d'émissions.

Réduction des quantités de fumées :

Comme expliqué plus haut, la combustion et l'incinération de biomasse/déchets solides nécessite un excès d'air important pour ne pas laisser d'imbrûlés, d'où un volume conséquent de fumées.

A l'inverse, la transformation de ces ressources solides en syngaz permet une combustion de celui-ci beaucoup plus aisée dans la seconde étape de valorisation énergétique, et donc un faible excès d'air (réaction gaz-gaz). Le volume des fumées est donc fortement réduit d'un facteur 2 à 4 par rapport à une combustion/incinération classique. Moins de fumées signifie également moins de pertes thermiques, et donc une meilleure efficacité énergétique globale.

Réduction des poussières atmosphériques

Dans le cas d'une combustion directe de biomasse, des particules fines peuvent être emportées avec les fumées. Afin de réduire celles-ci, des systèmes de filtration importants sont nécessaires en aval de la chaudière, systèmes souvent non existants actuellement et très onéreux. Pour les procédés de pyrolyse/gazéification, le volume réduit de fumées limite déjà le taux de poussières emportées par les gaz. Le syngaz pourra ensuite être nettoyé préalablement à sa combustion dans des équipements compacts. Les dernières traces éventuelles de poussières résiduelles seront ensuite brûlées dans l'étape en aval de valorisation (chaudière, moteur,...). Enfin, il serait encore possible, mais très rarement nécessaire, de mettre un système de traitement des fumées en aval de la valorisation. Trois niveaux de protection sont donc possibles au lieu d'un seul. Les mesures effectuées sur les installations de pyrogazéification montrent en effet un taux de poussière très bas par rapport aux seuils autorisés.

Réduction des dioxines et des furanes :

La pyrogazéification est une opération en milieu réducteur et non oxydant. De ce fait, la formation des dioxines et des furanes restent très faibles au cours de la première étape de conversion de la matière carbonée en produits énergétiques. Pour la valorisation ultérieure, le fonctionnement en deux étapes permet également de nettoyer les produits énergétiques avant leur valorisation, notamment pour extraire tous les composés comme le chlore qui pourrait favoriser la création des éléments indésirables. Enfin, la combustion des composés énergétiques produits est beaucoup plus facile à contrôler. Là-aussi, les mesures effectuées montrent des taux très faibles de dioxines et de furanes.

5.3 Une meilleure insertion au sein des territoires

La compacité des procédés par rapport aux incinérateurs ou chaudières classiques pour des gisements équivalents, mais aussi leur flexibilité pour traiter des petites ou moyennes capacités leur permettent de mieux s'insérer localement. Par exemple, ces procédés peuvent être installés au sein même des usines existantes utilisatrices d'énergie, facilitant leur insertion paysagère. Cette compacité permet également pour certains procédés de faciliter si besoin leur mobilité (certains procédés sont conteneurisables). Ainsi, ces installations sont moins dépendantes d'un site spécifique sur le long terme, comme préconisé par le projet de Plan de réduction et de valorisation des déchets.

Par ailleurs, comme évoqué plus haut, ces technologies participent à la réduction des mises en enfouissement ou en incinération, exutoires souvent mal acceptés par les populations. Au contraire, elles permettent une utilisation locale d'un large panel de ressources dans le cadre d'une économie circulaire, limitant les transports sur de longues distances.

6 Bénéfices économiques du développement de la filière de pyrolyse/gazéification

6.1 Des procédés compétitifs à court/moyen terme

Comme indiqué ci-dessus, le développement de la filière de la pyrolyse/gazéification contribuera à la très forte volonté de réduire l'enfouissement des déchets et de développer les énergies alternatives non intermittentes, avec une part renouvelable.

L'économie des unités valorisant énergétiquement des déchets repose sur deux ressources financières existantes : les coûts évités liés au traitement des déchets et la valorisation énergétique par substitution à des énergies fossiles. Avec des effets d'échelle suffisant et des scénarios de prix du baril de pétrole au-dessus de 70/80 USD/baril, ces procédés peuvent être compétitifs sur le marché à court/moyen terme (5 à 10 ans), voire certains peuvent l'être déjà, sans subventions alors même que ces unités apportent de nombreux avantages environnementaux, pour une meilleure gestion des déchets et/ou la production d'énergies renouvelables. Si ces avantages environnementaux étaient monétisés (aides à l'investissement, certificat vert, tarifs de rachat bonifiés,...) comme le sont ou pourraient l'être d'autres types de production d'énergie renouvelable ou de valorisation énergétique de déchets (unités de valorisation de CSR,...), de nombreux projets pourraient voir rapidement le jour.

A court terme, la filière a surtout besoin de mesures incitatives pour lui permettre de créer un écosystème favorable à son développement. L'augmentation du nombre d'installations, le retour d'expérience, permettront alors de bénéficier de gains conséquents en matière de coûts d'investissement et d'exploitation, mais aussi de conditions de financement plus favorables, de nature à créer un cercle vertueux par la création d'une filière innovante et compétitive sur le marché.

Ces mesures incitatives peuvent prendre plusieurs formes comme des aides à l'investissement, la non application de la TGAP, ou la monétisation de la tonne des gaz à effet de serre évités (prime par rapport aux prix de marché électrique par exemple). Le groupe de travail PyroGaz a déterminé que ces besoins d'aide peuvent être estimés à des montants inférieurs à 30% du coût de l'investissement dans un premier temps (jusqu'en 2020 environ), puis pourraient être progressivement réduits au cours des 5 années suivantes. Ces subventions ne sont pas destinées à durer mais à créer les incitations de marché nécessaires au lancement de la filière.

De nombreux pays européens ont pris conscience du très fort potentiel de développement de cette filière pour répondre aux enjeux actuels et ont mis en place des mesures incitatives. Ainsi la Grande-Bretagne, via ses mécanismes de soutien aux énergies renouvelables (Renewable Obligation Certificates, Renewable Heat Incentives ou CfD's), supporte la filière de pyrogazéification en lui attribuant des tarifs d'électricité deux fois plus élevés qu'en combustion. Aux Pays-Bas, des projets de gazéification viennent d'être autorisés avec un soutien public favorable et des aides directes à l'investissement, dont des subventions pouvant aller jusqu'à 27% du montant global.

D'autres mesures, relativement faciles à mettre en œuvre et sans impact budgétaire, pourraient permettre à la filière de devenir plus compétitive rapidement. En effet, les contraintes administratives et réglementaires ont été construites pour des installations d'incinération et ne tiennent pas compte des spécificités des technologies de pyrogazéification. Tout en conservant des exigences environnementales et des contrôles performants, la simplification administrative et la recherche de mesures plus adaptées aux caractéristiques de ces installations, en particulier de seconde génération, améliorerait déjà immédiatement la compétitivité de nombreux projets.



Dans ce cadre, ces procédés peuvent proposer des solutions optimisées répondant aux enjeux actuels et à moindre coût pour la société.

6.2 Impact sur la balance commerciale française

Le gaz naturel est importé par la France à hauteur de 98%. La facture énergétique sur ces importations s'est élevée en 2012 à 14,3 milliards d'euros.

Sur la base de l'étude GrDF et des prix du gaz de 2012, l'enjeu sur la balance commerciale peut donc être estimé à environ 1 milliard d'euros en 2030 et 5 milliards en 2050.

6.3 Contribution à la compétitivité des entreprises françaises

L'objectif est de développer une économie de proximité dans une logique cohérente d'industrialisation (utilisation locale de résidus de biomasse et/ou de déchets non recyclables, pour répondre aux besoins énergétiques locaux). Cette symbiose territoriale est particulièrement importante pour les unités industrielles de moyenne taille¹¹, déployées dans les différentes régions françaises (exemple des tuileries et des briqueteries).

La pyrogazéification à l'échelle locale permettrait de relocaliser notre économie en dynamisant l'industrie et l'emploi en France à plusieurs titres :

- en amont, en améliorant l'équilibre économique des filières de collecte des résidus de biomasse et de tri/recyclage de déchets, fortement génératrices d'emplois locaux, et en contribuant ainsi au développement de ces filières industrielles ;
- en produisant un combustible alternatif et compétitif par rapport aux combustibles fossiles pour protéger et pérenniser les filières industrielles françaises à forte intensité énergétique (cimenteries, papeteries, industries chimiques, industries des tuiles et des briques, ...);
- en soutenant le développement d'une forte filière française de pyrogazéification, tant en terme de construction d'équipements que d'exploitation, savoir-faire qui peut être valorisé à l'export en raison de la très forte demande de solutions dans de nombreux pays du monde.

6.4 Evaluation des investissements nécessaires

D'après l'étude GrDF, et sur la base d'un fonctionnement continu, la capacité potentielle des installations de pyrogazéification est estimée à environ 3,8 GW thermiques en 2030 et à 17,7 GW thermiques pour 2050.

Le GT PyroGaz estime que le coût d'investissement pour une unité technique de taille intermédiaire est sensiblement similaire à celui d'une unité d'incinération, soit environ 1 MEUR/MW thermique entrant¹².

¹¹ Unités consommant entre 1 et 20 MW thermique

¹² Le GT PyroGaz travaille dans le cadre du CSF Eco-Industries VID sur la collecte de données financières sur la pyrogazéification. Les chiffres collectés montrent une certaine dispersion autour de ce chiffre en fonction de la nature des entrants, de la taille des installations et des procédés utilisés. Les travaux en cours permettront de mieux affiner ces éléments dans les prochains mois.

Sur la base de l'étude GrDF, et des hypothèses ci-après, le GT PyroGaz arrive aux évaluations suivantes :

Période	2015 – 2020	2021 -2025	2026 - 2030	2031 - 2050
Hypothèses				
Installations par période (MW)	500	1200	2100	13900
Coût CAPEX moyen (MEUR/MWth entrant)	1,1	1	0,9	0,85
% moyen Aides investissement	25%	13%	0%	0%
Estimation des montants des investissements et aides publiques nécessaires				
Capacité cumulée (MW)	500	1700	3800	17700
Montant investissements sur période (MEUR)	550	1 200	1 890	11 815
Montant cumulé investissements (MEUR)	550	1 750	3 640	15 455
Montant aides publiques investissement par période (MEUR)	137,5	150	0	0
Montant cumulé des aides publiques investissements (MEUR)	138	288	288	288

Hypothèses : GT PyroGaz, * Etude GrDF

Ainsi, les investissements nécessaires à réaliser pour 2030 sont de l'ordre de 3,6 MdeEUR et pour 2050 d'environ 15 MdeEUR.

Pour permettre ce déploiement, le coût des aides publiques¹³ peut être estimé à environ 300 MEUR.

6.5 Création d'emplois non délocalisables

Les impacts du développement de la filière de pyrolyse/gazéification en matière d'emplois non délocalisables sont nombreux :

- En amont, les filières de tri (valorisation matière) ne peuvent se développer que pour autant que tous les produits, y compris les refus de tri, puissent être valorisés dans de bonnes conditions, notamment par valorisation énergétique ; le développement de la filière participera ainsi au développement des centres de tri, générant plus d'emplois que l'enfouissement.
- Sur les installations de pyrolyse/gazéification, des besoins d'emploi seront créés pour la construction par des industriels français (cf. annexe 3/4) à la fois pour les besoins nationaux mais aussi à l'export.
- Les installations nécessiteront de nombreux emplois directs et indirects pour leur exploitation : les estimations sont de 1 emploi direct et 0,5 emploi indirect par MW thermique équivalent de capacité entrante¹⁴

¹³ Les aides publiques pouvant être sous différentes formes, subventions, certificats verts, tarifs d'achats bonifiés, ou avances remboursables (comptabilisées dans ce dernier cas sous forme de coût net actualisé).

¹⁴ Sur la base des installations existantes et en projet de CHO Power

- En aval, la filière permettra de renforcer la compétitivité des entreprises, en favorisant le maintien des emplois locaux. A titre d'illustration, la filière énergétiquement intensive de la fabrication de tuiles et de briques emploie directement 5000 personnes en France, emplois qui seraient pérennisés au niveau local.

Il n'existe pas aujourd'hui d'estimations de l'impact global en termes d'emplois du développement de la filière de pyrogazéification. En effet, la flexibilité de ce type de procédés, tant en termes d'entrants, de sortants que de capacités rendent ces estimations particulièrement complexes. Nous pouvons toutefois d'ores et déjà avoir une première estimation de l'impact en termes d'emplois à partir des emplois créés sur les installations industrielles existantes. Des études plus complètes devront être menées pour mieux définir l'ampleur des impacts de la filière en termes d'emplois.

Estimation du potentiel d'emplois directs et indirects du développement de la filière de pyrogazéification liée à l'exploitation des sites, hors emplois en amont, hors construction

	2 020	2 025	2 030	2 050
Potentiel capacité installée (1)	500	1 700	3 800	17 700
Potentiel d'emplois directs (2)	500	1 700	3 800	17 700
Potentiel d'emplois indirects (3)	250	850	1 900	8 850
TOTAL potentiel d'emplois	750	2 550	5 700	26 550

Sources :

(1) Etude GrDF, GT PyroGaz

(2) d'après installations existantes CHO Power : 1 emploi direct par MWth entrant

(3) d'après installations existantes CHO Power, 0,5 emploi indirect par MWth entrant

7 Les freins actuels pour le développement de la filière

Les technologies de pyrolyse/gazéification peuvent donc apporter une contribution majeure pour une meilleure gestion globale des déchets et des résidus de biomasse et pour la transition énergétique. La filière est toutefois en cours de structuration et de développement, et même si de nombreux projets, notamment à l'étranger, ont déjà montré la pertinence de cette technologie, les acteurs sont conscients qu'ils doivent aussi apporter des preuves concrètes de cette pertinence en France. Mais force est de constater que de nombreux freins existent, notamment réglementaires, et rendent le parcours vers le déploiement industriel particulièrement difficile. Ces freins sont de plusieurs natures.

Un déficit de connaissance des particularités des procédés de pyrolyse/gazéification, en particulier de seconde génération

Il est souvent reproché à la filière ses échecs passés et son manque de retour d'expérience. Il y a eu certes des échecs par le passé sur des procédés de première génération, mais de nombreux autres projets de première génération ont également réussi leur développement, comme au Japon. Ces échecs relevaient surtout d'approches très différentes de celles des procédés de seconde génération. Ces derniers sont développés dans le cadre de projets beaucoup plus pragmatiques : des entrants issus de tri et non pas des ordures ménagères en mélange, des procédés fonctionnant en deux étapes produisant des composés énergétiques, des capacités en adéquation avec les besoins énergétiques locaux et non de

très grosses installations. De nombreuses innovations sont en cours de développement, en collaboration avec de grands centres de recherche français (CEA, IFP EN, CIRAD, universités d'Albi, de Nantes, de Pau,...). La vitalité de la filière en France et chez nos voisins européens est forte (cf. Annexe 2 et 3). Des développements en France mais aussi à l'étranger donnent des résultats très prometteurs. Les acteurs français ont le potentiel pour devenir des acteurs majeurs sur cette nouvelle filière.

Par ailleurs, sur le plan de l'acceptabilité sociétale pour la valorisation des déchets, l'assimilation de la pyrogazéification à l'incinération ne permet pas de donner à la filière les bases favorables, alors que de nombreux éléments distinguent ces technologies (cf. plus haut).

Des contraintes réglementaires inadaptées pour la valorisation de déchets :

Pour le secteur des déchets, les contraintes réglementaires mises en place ont été définies pour des installations en pratique de fortes capacités traitant des déchets de type ordures ménagères. L'assimilation réglementaire de la pyrolyse/gazéification à l'incinération, justifiée pour certains procédés de première génération, est en revanche dans la plupart des cas inadaptée pour les procédés de seconde génération produisant des composés énergétiques valorisés dans une autre installation, traitant des déchets triés à la source ou étant passés par une chaîne de tri. L'objectif de ces procédés est fondamentalement de valoriser les déchets et non une simple élimination.

Cette assimilation à l'incinération a ainsi pour conséquences pratiques :

- Des délais très longs d'instruction pour les autorisations, délais souvent non adaptés pour des installations de tailles intermédiaires (quelques milliers de tonnes par an de déchets homogènes dans un contexte industriel versus plusieurs dizaines ou centaines de milliers de tonnes par an de déchets mélangés pour l'incinération dans le cadre d'un projet d'utilité publique) et freinant l'acceptation sociale de cette nouvelle filière. L'ensemble de ces contraintes sont aussi applicables pour la réalisation d'installations pilotes préindustriels ou de tests de petite taille, souvent développées par des sociétés start-up, et qui vont à l'encontre de l'affirmation d'une volonté de favoriser l'innovation ;
- Non prise en compte des spécificités techniques d'un fonctionnement en deux étapes. A titre illustratif, une installation produisant du syngaz envoyé après purification vers un moteur à combustion interne sera traitée dans sa globalité comme une seule et unique installation d'incinération, ne prenant pas en compte les spécificités techniques d'un moteur à combustion interne versus une installation d'incinération. Par exemple, la valeur limite d'émission (VLE) en CO pour un moteur à combustion interne fonctionnant au gaz naturel est de 416 mg/Nm³¹⁵. L'application des contraintes incinération au moteur à combustion interne fonctionnant avec du syngaz purifié, mais issu de déchets, impose une VLE sur le CO de 50 mg/Nm³¹⁶... Il ne s'agit pas ici de donner un droit à polluer supérieur à celui du gaz naturel, mais simplement de ne pas être plus exigeant que pour le gaz naturel.
- Les prescriptions d'exploitation ont été dimensionnées sur la base de projets traitant des déchets mélangés et de plusieurs dizaines voire centaines de millions d'euros. Ainsi, une installation traitant moins de 10 000 t/an de déchets triés produisant un syngaz propre et épuré

¹⁵ Corrigé à 11% d'oxygène

¹⁶ Corrigé à 11% d'oxygène

pour une application industrielle, est soumis aux mêmes contraintes administratives et opérationnelles qu'une installation d'incinération traitant plus de 200 000 tonnes de déchets bruts en mélange par an. Sans remettre en question ces prescriptions sur le fond, leurs modalités pratiques entraînent des coûts élevés qui ne sont pas cohérents avec le développement de projets d'économie circulaire sur des tailles ajustées aux besoins de proximité (cf annexe 4).

- Un flou juridique entraînant des applications très différentes d'une DREAL à l'autre ;

Ces contraintes, leurs coûts et les délais d'autorisations, rendent ainsi le passage à l'échelle industrielle particulièrement difficile.

Des mesures financières et fiscales non incitatives :

- Manque d'aides à l'investissement ou de mesures incitatives pour lancer la filière,
- De fortes incertitudes sur les taux de TGAP à appliquer
- Pas de tarifs d'achat aidé de l'électricité (sous forme d'obligation d'achat ou d'appel d'offres) pour des cogénérations de taille inférieure à 5 MWe.

8 Recommandations

Pour répondre aux défis de la transition énergétique et de l'économie circulaire, les acteurs de la pyrolyse/gazéification proposent la mise en place d'un contexte plus favorable à un développement progressif de ces procédés.

Par conséquent, tout en gardant la priorité au recyclage matière pour ce qui concerne les déchets, le GT PyroGaz propose les évolutions suivantes :

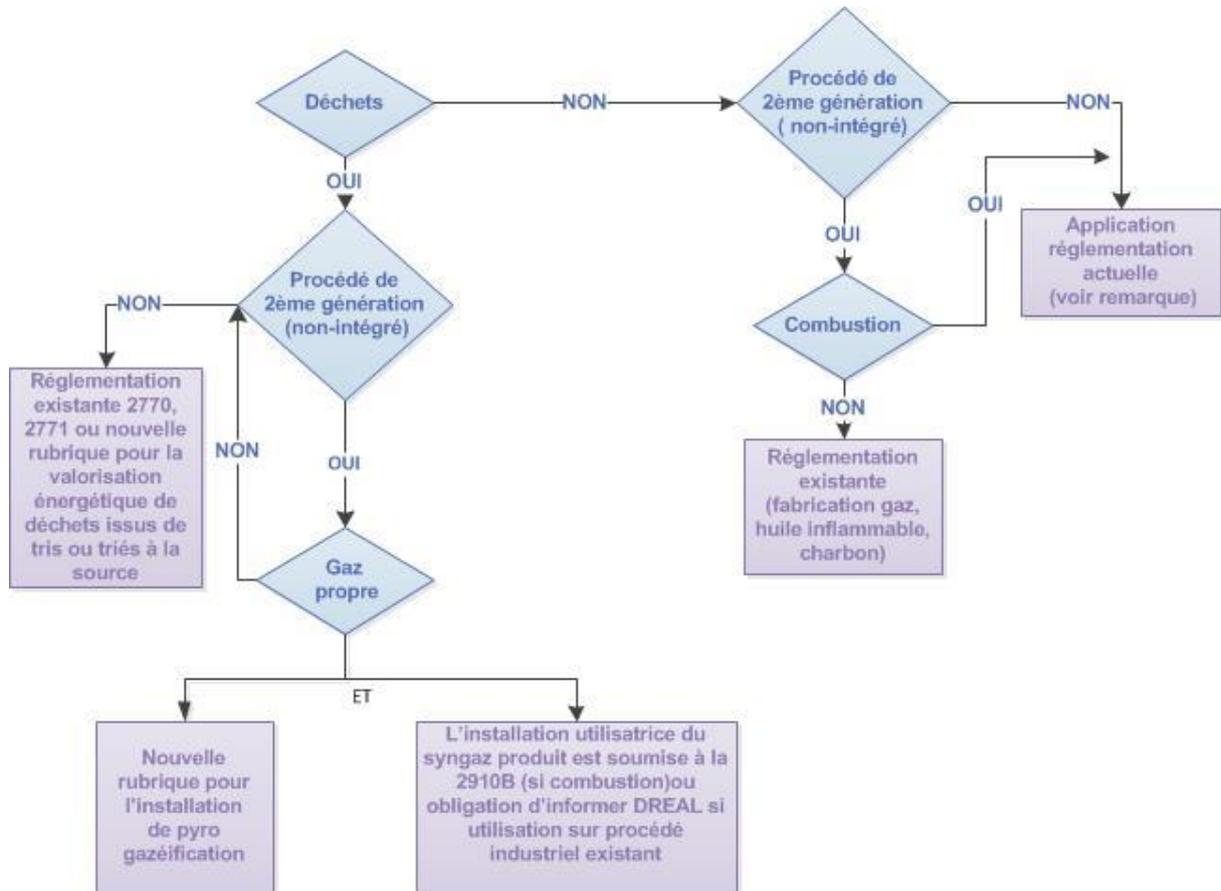
8.1 Recommandations sur les évolutions réglementaires

8.1.1 Principe des évolutions réglementaires demandées

Les évolutions proposées distinguent les différents cas de figure rencontrés :

- Le combustible primaire est-il un produit ou un déchet au sens réglementaire ?
- L'installation de pyrogazéification est-elle intégrée ou non intégrée ? Dans une installation « intégrée » (type 1^{ère} génération), la combustion des composés énergétiques est réalisée dans la même installation que l'installation de pyrogazéification ; dans une installation « non intégrée » (type 2^{nde} génération), la valorisation du/des composé(s) énergétique(s) produit(s) dans l'installation de pyrogazéification est réalisée dans une installation distincte (brûleur chaudière, process industriel, moteur à gaz,...).

Le logigramme ci-dessous résume les évolutions réglementaires souhaitées pour le développement de la filière de pyrogazéification :



Remarque: il est proposé de rajouter dans la définition de la 2910A le principe suivant : « combustion de biomasse ou de produit résultant de la gazéification de la biomasse (syngaz, biochar, huile) »

La nouvelle rubrique ICPE spécifique aux installations de pyrogazéification utilisant un gaz propre serait similaire, dans son approche à la rubrique 2781 concernant les installations de biométhanisation. Le découpage tel que présenté ci-dessus présente l'avantage de découpler l'unité de pyrogazéification, de l'unité de combustion des composés énergétiques générés par la première. Il est également en phase avec ce qui a été réalisé pour la biométhanisation qui prévoit la combustion de biométhane au travers de la rubrique 2910C.

8.1.2 Rubriques ICPE relatives aux installations de pyrogazéification

8.1.2.1 Unité de pyrogazéification utilisant un produit (c'est-à-dire pas un déchet) comme source d'énergie primaire et dont le syngaz est utilisé en combustion

Les propositions du GT PyroGaz sont les suivantes :

- Lorsque les matières premières utilisées dans l'installation de pyrogazéification correspondent à celles décrites dans les rubriques 2910A, alors le procédé de pyrogazéification et l'unité de combustion du syngaz sont classés dans la seule rubrique 2910A.
- Lorsque les matières premières utilisées dans l'installation de pyrogazéification correspondent à celles décrites dans les rubriques 2910B, alors le procédé de pyrogazéification et l'unité de combustion du syngaz sont classés dans la seule rubrique 2910B.

Comme indiqué ci-dessus, nous proposons de préciser dans ces rubriques : « combustion de biomasses [...] ou (syngaz, biochar, huile) de produit résultant de la gazéification de ces biomasses », ou le cas échéant dans une circulaire concernant ces rubriques.

NOTA : pour les procédés de 1^{ère} génération (intégrés), la législation actuelle s'applique et ne nécessite pas de modification.

8.1.2.2 Unité de pyrogazéification non intégrée utilisant un déchet comme source d'énergie primaire

Lorsque les installations de pyrogazéification non intégrées utilisent des déchets non dangereux et/ou dangereux et produisent un syngaz répondant aux principes de l'art. 42 de la Directive 2010-75 (voir le point 8.1.2.3 ci-dessous), il est proposé de mettre en place une nouvelle rubrique similaire à celle créée pour la biométhanisation (2781) pour les dites installations.

Les seuils fixés seraient pour les déchets non-dangereux :

Autorisation	Consommation de déchets <u>supérieure à 3 tonnes de matière brute à l'heure.</u>
Enregistrement	Consommation de déchets comprise <u>entre 0,5 et 3 tonnes de matière brute à l'heure</u>
Déclaration	Consommation de déchets <u>inférieure à 0,5 tonne de matière brute à l'heure</u>

Toutes les installations utilisant des déchets dangereux seraient soumises à autorisation quel que soit le tonnage de matière première traitée.

Sauf dans le cas où le syngaz est utilisé dans une unité de combustion disposant d'une rubrique ICPE liée à un procédé industriel spécifique (verrier, briquetier,...), l'installation de combustion du syngaz serait classée dans les rubriques ICPE type 2910B2a.

Lorsque l'article 42 n'est pas respecté, les installations restent sous les rubriques existantes, 2770 et 2771 ou la nouvelle rubrique concernant la production d'énergie à partir de déchets issus de tri ou triés à la source (CSR).

8.1.2.3 Transposition de l'article 42 de la Directive 2010 75

Une partie de l'article 42 de la Directive européenne IED 2010-75 concernant les installations de pyrolyse et gazéification n'est actuellement pas transposé en droit français. Le passage concerné est repris ci-après :

« Le présent chapitre ne s'applique pas aux installations de gazéification ou de pyrolyse, si les gaz issus de ce traitement thermique des déchets sont purifiés au point de n'être plus des déchets avant leur incinération et s'ils ne peuvent donner lieu à des émissions supérieures à celles résultant de l'utilisation de gaz naturel. »

Le « présent chapitre » fait référence aux exigences applicables aux unités d'incinération, en termes de Valeurs Limites d'Emission.

La transposition de l'article 42 en droit français devrait donc permettre aux installations respectant les critères fixés de sortir des rubriques ICPE 2770 et 2771, ainsi que de la nouvelle rubrique 2971 sur la valorisation énergétique de *déchets préparés (CSR)* en cours de création (prévue pour l'automne 2015).

L'analyse de l'article 42 suscite les remarques suivantes :

- Sortie du statut de déchet du syngaz produit :

Au niveau de la réglementation européenne sur les déchets, les gaz ne sont pas considérés au sens juridique comme des déchets. Or l'article 42 considère implicitement le syngaz comme un déchet lorsqu'il est produit à partir de déchets.

- L'utilisation du terme « incinération » est ambiguë. Il aurait été préférable d'utiliser le terme « combustion » en l'espèce, puisque le syngaz est épuré.

Pour répondre aux exigences de l'article 42, il est proposé de :

a) Démontrer au cas par cas que le syngaz généré par l'installation de pyrogazéification correspond bien aux exigences suivantes :

- Le syngaz est utilisé en substitution d'un combustible fossile sur son site de production,
- Le syngaz remplit les exigences techniques liées au procédé de combustion envisagé,

b) Fixer des Valeurs Limites d'Emission (VLE) pour la combustion du syngaz de la manière suivante :

- L'ensemble des VLE spécifiées pour le gaz naturel dans des conditions de combustion similaires (moteur, four d'un process industriel, chaudière gaz naturel), notamment pour le CO ;
- Pour les autres paramètres qui ne seraient pas pris en compte pour la combustion de gaz naturel, les VLE de la co-incinération seraient applicables, les procédés de pyrogazéification entrant en effet dans la définition européenne des installations de « co-incinération ».

8.1.2.4 Modalités du suivi des installations et des contrôles réglementaires

Il est important que la fréquence des mesures des paramètres fixés (polluants notamment) soit adaptée en fonction de la taille des installations afin de permettre l'émergence d'installations de taille restreinte dans la logique du principe de proximité.

En effet, les montants des frais d'investissement et des coûts opératoires présentés en annexe 4, s'appliquent en France à partir de 50 tonnes/an et montrent qu'il sera très difficile de développer des installations de petites ou moyennes tailles rentables du simple fait de la lourdeur et du coût des suivis, malgré les avantages environnementaux indéniables de ces installations (proximité des gisements, notamment non mélangés, valorisation énergétique en adéquation avec les besoins locaux).

Il est pourtant tout à fait envisageable de mettre en place des modalités de contrôles performantes donnant toutes les garanties environnementales et adaptées aux spécificités des technologies de pyrogazéification.

8.1.3 Installations pilote et ou de test de petite taille

Autorisation de longue durée pour des installations pilote ou de test de petite taille

Même pour les installations pilote ou de test de petite taille, la réglementation française est en pratique très contraignante et freine l'innovation. La réglementation européenne prévoit pourtant explicitement ce type d'installations. En effet, la directive IED « ne s'applique pas aux activités de recherche et développement ou à l'expérimentation de nouveaux produits et procédés » (article 2) et son chapitre 4 en particulier ne s'applique pas aux « installations expérimentales de recherche, de développement et

d'essais visant à améliorer le processus d'incinération et traitant moins de 50 tonnes de déchets par an » (article 42, point 2 b).

En France, toute installation de traitement thermique traitant des déchets est soumise à autorisation (rubrique ICPE 2770 et 2771), quel que soit le tonnage, même inférieur à 50 tonnes/an. Le régime des autorisations temporaires, certes plus simple même si non satisfaisant (cf. ci-après), ne peut répondre à l'ensemble des cas de figure, notamment pour des prototypes ou pilotes destinés à tester au fil du temps différents types de ressources de façon ponctuelle.

Il est donc proposé de mettre en place des procédures administrative simplifiées et rapides pour des installations pilotes ou de petite taille, avec un tonnage maximal de 50 tonnes par an.

Autorisations temporaires

L'autre possibilité pour les installations pilote est d'avoir recours à des autorisations temporaires. Ces mesures d'autorisation temporaire (2 fois 6 mois actuellement) ne tiennent toutefois pas compte des contraintes propres aux installations pilote avec des durées de mise au point longues et finalement un fonctionnement effectif sur des durées faibles.

Les installations pilote ou de test de petite taille devraient disposer d'une autorisation temporaire de deux fois 18 mois (au lieu de deux fois 6 mois) afin d'avoir le temps nécessaire au développement et à la mise au point des installations. Il est important de noter que cette demande n'est pas spécifique au secteur, mais rejoint les besoins d'autres secteurs technologiques en développement.

Une autre approche serait d'autoriser la dite installation non pour une durée, mais pour un tonnage / volume spécifique.

Une alternative serait d'adapter la réglementation actuelle en remplaçant la durée calendaire de deux fois six mois par une durée effective de fonctionnement de l'installation.

La circulaire sur les modifications non substantielles (14 mai 2012) pourrait être adaptée dans la même logique.

8.1.4 Autorisation unique : Simplification des procédures administratives dans le cadre d'un nouveau projet

Dans le cadre de la modernisation du droit de l'environnement et des chantiers de simplification (à l'initiative du ministère de l'environnement) et pour favoriser ces projets innovants, les unités de pyrogazéification pourraient intégrer le dispositif d'expérimentation de l'autorisation unique et/ou du certificat de projet en France ou dans les régions déjà concernées par le dispositif des ordonnances n° 2014-356 du 20 mars 2014 et Ordonnance n° 2014-355 du 20 mars 2014). Ceux-ci permettent en effet de réduire fortement les durées d'instruction des projets puisque le dossier DDAE et permis de construire seraient instruits en même temps (délai estimé à 10 mois pour une procédure complète).

8.1.5 Comptabilisation des flux de déchets

De nombreux plans départementaux ont inscrit dans leur plan de gestion départemental la volonté de ne pas augmenter le tonnage allant en incinération. Il est proposé que les flux des installations de pyrogazéification répondant à des critères de valorisation énergétique à définir (comme ceux qui seront définis pour la nouvelle rubrique ICPE en cours de création pour la valorisation énergétique de déchets issus de tri ou triés à la source) ne soient pas comptabilisés dans les tonnages d'incinération.

8.2 Recommandations sur les évolutions fiscales

Les unités de pyrogazéification qui peuvent être considérées comme des unités de valorisation énergétique de déchets, sous-produits ou matières ne doivent pas être soumises à l'application de la TGAP. Cette exonération serait cohérente avec celle applicable aux installations de biométhanisation et avec celle de la valorisation des CSR dans les cimenteries.

8.3 Mise en place de mesures financières incitatives

Des aides publiques seront nécessaires pour le lancement de la filière. Ces mesures peuvent prendre différentes formes :

- Favoriser les programmes d'aides à l'investissement pour les procédés de pyrogazéification sur les différentes phases de développement des procédés ; en effet, il existe plusieurs phases entre l'idée et une technologie considérée comme mature : prototype, pilote pré-industriel, première version industrielle, premières séries,... Par exemple, certains procédés de pyrogazéification ayant déjà une ou deux installations industrielles ont été exclus de certains appels à projets car pas assez matures, et d'autres appels à projets destinés à la seule première installation industrielle.
- Favoriser le développement de projets énergétiquement efficaces à l'échelle locale avec par exemple la mise en place d'un tarif d'obligation d'achat pour la production d'électricité à base de déchets et/ou de biomasse par pyrogazéification pour des tailles inférieures à 1 MWe et inclusion de ces installations dans les appels d'offres au-dessus de 1 MWe.
- Favoriser le développement de l'innovation en mettant en œuvre par exemple la proposition 8 du rapport Gallois (« Pacte pour la Compétitivité de l'Industrie Française », novembre 2012) : « Créer un mécanisme d'orientation de la commande publique vers des innovations et des prototypes élaborés par des PME : objectif de 2% des achats courants de l'Etat. ». C'est ce que font les Etats-Unis et la Grande Bretagne avec des budgets de l'ordre de 2,5% des achats courants de l'Etat...

Conclusion :

Conscients des contraintes budgétaires actuelles, mais aussi des forts enjeux climatiques et énergétiques qui nous attendent, les acteurs de la pyrogazéification souhaitent pouvoir démontrer que leurs procédés peuvent apporter des réponses efficaces, compétitives et favorables à un développement durable et prospère de l'industrie française. La filière s'est structurée afin de permettre aux différents acteurs de travailler ensemble et de proposer un cadre pertinent favorable au développement de ces technologies innovantes et respectueuses de l'environnement. La filière française de la pyrogazéification fait preuve d'un très grand dynamisme et est prête aujourd'hui à avancer pour devenir une référence sur le plan mondial sur ce secteur d'avenir.

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES DIFFERENTS PROCEDES DE PYROLYSE/GAZEIFICATION

Deux grandes familles de procédés (ou d'installations) existent :

Procédés	Description
Procédés de 1 ^{ère} génération (procédés intégrés)	La combustion des vecteurs énergétiques est réalisée dans la même installation que l'installation de pyrogazéification.
Procédés de 2 ^e génération (procédés non intégrés)	La valorisation du/des composés énergétique(s) produit(s) dans l'installation de pyrogazéification est réalisée dans une installation distincte (brûleur chaudière, process industriel, moteur à gaz,...).

Au sein de chacune de ces deux familles, il existe un très grand nombre de technologies de pyrolyse/gazéification.

Les technologies les plus répandues sont les suivantes¹⁷ :

- Lit fixe à co-courant ou à contre-courant
- Lits fluidisés
- Lit à Flux entraîné

Le « lit » représente la charge de déchets ou de biomasse. Cette charge peut être immobile (lit fixe), descendante, ascendante, fluidisée (cas de petites particules mélangée à un fluidisant de type sable) ou entraîné par le flux de gaz. Le flux de gaz peut aller dans le même sens que la charge de déchets ou bien en sens inverse. Le flux de gaz peut aussi être perpendiculaire par rapport au déchet. Au-delà de ces grandes catégories, il existe au sein de chacune de catégories un grand nombre de procédés de gazéification avec ses caractéristiques propres.

Lit fixe à contre courant (up-draft)

Dans ce type de réacteur, la biomasse et/ou le déchet est introduit par le haut et les gaz réactifs chauds sont injectés par le bas, circulant vers le haut, à contre courant de la matière. La température du gaz se refroidit au fur et à mesure de son ascension, créant des zones de températures :

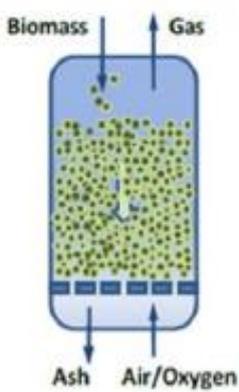
- Dans la partie basse du réacteur, qui est la plus chaude, se déroule la majorité des réactions de combustion
- Plus haut, on retrouve la zone de gazéification et la présence des gaz réactifs.

¹⁷Cette note est une synthèse de divers travaux de thèses et autres sur les différents procédés: Pari Tech, AMU, CIRAD, Cho Power

- Enfin dans la partie la plus haute du réacteur (la zone de basse température 500°C), les particules sont séchées et pyrolysées

Le syngaz sort par la partie supérieure et les cendres sont évacués en partie inférieure.

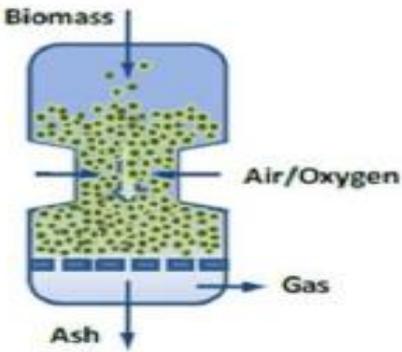
La technologie du lit fixe à contre-courant produit un syngaz fortement chargé en goudrons donc difficile à utiliser pour alimenter les moteurs à combustion interne et des turbines à gaz pour la production d'électricité. Cependant, le réacteur est robuste, son rendement est élevé, le gaz produit est généralement brûlé en chaudière ou dans un moteur à combustion externe pour la cogénération.

 <p style="text-align: center;">Lit fixe à contre courant</p> <p><i>PRME-HARBORE-LURGI</i> <i>NEXTERRA-VOLUND-BIONNEER-SASOL-</i> <i>SHANXI-DCG</i></p>	<p>Technologie relativement simple et robuste Simplicité de construction Technologie mature Efficacité thermique élevée Petite puissance (3-30) MWth Temps de séjour de l'intrant : plusieurs heures Flexibilité vis-à-vis de la granulométrie et du taux d'humidité pour la biomasse (30%) Le combustible solide est converti en gaz et goudrons (forte teneur en goudrons) Demande un traitement du gaz des goudrons. Influence importante de la granulométrie Mauvais contrôle de la température (points chauds) et mauvaise efficacité des transferts de chaleur et de masse Condensation des gaz en sortie</p>
--	---

Lit fixe co-courant (down-draft)

Les réacteurs à co-courant ou downdraft sont classiquement constitués d'un réacteur vertical, dans lequel la biomasse et/ou les déchets sont introduits dans le haut du réacteur. L'agent comburant est classiquement injecté au milieu du réacteur. La pyrolyse se déroule dans la partie supérieure du réacteur, et génère un charbon (char) et des matières volatiles contenant principalement les goudrons. Celles-ci sont oxydées ou craquées dans la zone de combustion située au niveau de l'injection de l'agent comburant. L'étape de combustion produit des gaz de combustion qui vont réagir avec le charbon pour produire la réaction de gazéification proprement dite. Le principe du réacteur à co-courant est ancien, et dispose de l'avantage de produire un gaz à la sortie du réacteur avec une faible teneur en goudron. Différentes évolutions ont été mises en œuvre sur ce type de réacteur en mettant en place différents points d'injection de l'agent comburant et en séparant physiquement les différentes

zones de réaction afin d'optimiser le processus et de pouvoir traiter des déchets à haute teneur en matière minérale.

 <p>Lit fixe à co-courant</p> <p><i>XYLOWATT-FLUIDYNE-DTU-TKE- DELACOTTE-BIOMASS ENGINEERING- NIPPON STEEL</i></p>	<p>Technologie simple et robuste, Puissance limitée à 4 MWth entrant ou 1 MWe par module, Technologie mature Temps de séjour de l'intrant : plusieurs heures Faible teneur en goudron permettant la production d'électricité par cogénération, Conversion du carbone inférieure à la technologie updraft, Risque de fusion des cendres (sauf pour réacteur multi-étagé), Les combustibles doivent avoir une teneur en humidité < 20% et une granulométrie grossière (éviter les fines).</p>
--	--

Lits fluidisés

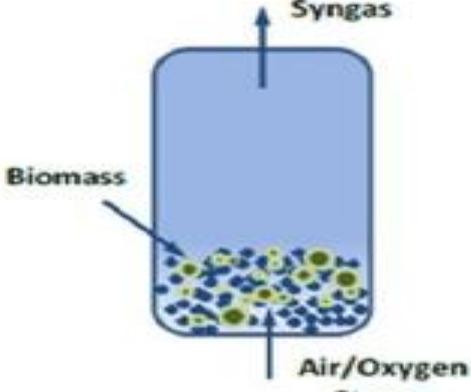
Dans ce procédé, les déchets et/ou biomasse (intrants) sont dans un lit de matériaux inertes (sable, olivine....) où le gaz arrive suffisamment vite pour fluidiser les particules. Les matériaux du lit jouent un rôle important car ils améliorent le transfert thermique entre le gaz et l'intrant.

Le processus est relativement rapide, le temps de séjour du gaz est de l'ordre de quelques secondes.

On trouve principalement deux types de réacteurs à lit fluidisés :

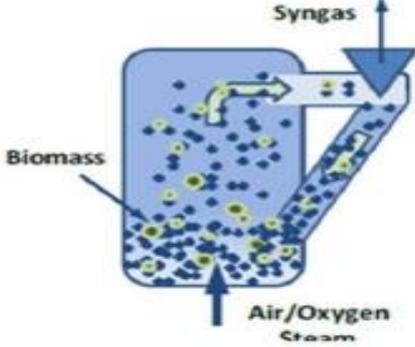
Lit fluidisé simple (généralement bouillonnant)

Dans ce type de gazéifieur, le réactif gazeux est introduit par le bas et le syngaz sort par la partie haute, traversant un (ou plusieurs) cyclones afin de dépoussiérer le gaz. La vitesse de fluidisation est en général de 1 et 3 m/s.

 <p>Lit fluidisé bouillonnant</p> <p><i>CARBONA-EPI-HTW-BIOSYN-ASCAB-EQTEC</i></p>	<p>Puissance 5 à 150 MWth Teneur en goudrons moins élevée que lit fixe up-draft Température uniforme et bien maîtrisée mais ne peut dépasser les 950°C pour éviter la fusion des cendres qui peut entraîner l'agglomération du lit Pas de points chauds Renouvellement du lit régulier pour éliminer les cendres Temps de séjour du gaz : quelques secondes et quelques minutes pour le char Maîtrise délicate de la hauteur du lit Coût de construction élevé Présence de particules dans le gaz (cendres,</p>
--	---

Lit fluidisé circulant

Dans ce cas, les particules sont récupérées dans le cyclone et sont réintroduites. La vitesse de fluidisation est plus grande, typiquement entre 4 et 8 m/s.

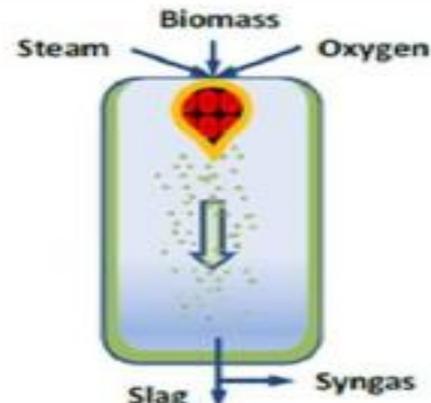
 <p>Lit fluidisé circulant LURGI CFB-FOSTER WHEELER- REPOTEC (FICFB)-TPS TEMISKA</p>	<ul style="list-style-type: none"> Puissance élevée 30 -600 MWth Très bonne efficacité de transferts de chaleur et de masse Bonne maîtrise de la température Faible teneur en goudrons Bonne conversion du carbone Humidité de l'intrant < 20% Risque de fusion des cendres Présence de particules dans les gaz Coût de construction élevé
--	--

Lit à Flux entraîné

Le déchet et/ou la biomasse nécessitent un prétraitement spécifique. Pour le cas de la biomasse, elle doit être torréfiée et broyée finement ou transformée en huile de pyrolyse.

L'intrant est introduit par le haut, très rapidement et à forte vitesse dans le mélange gazeux réactif à travers la zone réactionnelle très chaude (1300° à 2000°C) qui se matérialise par une flamme.

Ce processus favorise la formation de CO, H₂ et le vaporeformage¹⁸ du CH₄ et la destruction des goudrons.

 <p>Flux entraîné</p>	<ul style="list-style-type: none"> Température et pression élevées Puissance >300 MWth Conversion du carbone très élevée > 99% Equilibre thermodynamique atteint : Pas de CH₄, pas de goudrons Vitrification des cendres Nécessite de la biomasse pulvérisée Nécessité d'injection d'oxygène Forte demande énergétique Contrainte au niveau des matériaux du aux températures élevées
---	---

¹⁸² vaporeformage : dissociation des molécules carbonées principalement du méthane en présence de vapeur d'eau qui produit un syngaz riche en H₂. $CH_4 + H_2O \rightarrow CO + 3H_2$

Autres procédés

D'autres procédés de pyrolyse et/ou gazéification sont également développés comme les fours tournants, les fours à plateaux, les gazéificateurs avec torche à plasma, les lits avec média caloporteur, les réacteurs à vis horizontale,...

Exigences sur le combustible

	Co-courant	Contre –courant	Lit fluidisé	Lit entraîné
Granulométrie mm	20-100	5-100	1-10	< 1
Humidité (%wb)	<15-20	<50	<40	<15
Cendres (%db)	<5	<15	<20	<20
Point de fusions des cendres (°C)	>1250	>1000	>1000	>1250
Densité (kg/m ³)	>200	>200	>100	>400
Puissance MWth	<4	3-30	50-600	>300

Applications

	Goudrons mg/Nm ³	Particules mg/Nm ³	Alcalins mg/Nm ³	Ammoniaques mg/Nm ³	Chlorures mg/Nm ³	Sulfures mg/Nm ³
Moteurs gaz	<50	< 50	<1	<50	<10	<100
Turbine gaz	<5	<30	Ppmv		Ppmv	
Synthèse FT/Méthanol	<1	<0.02	Ppmv		Ppmv	
PAC	<1	Ppmv				

Sources Cirad

ANNEXE 2 : LA PYROLYSE/GAZEIFICATION EN FRANCE ET A L'INTERNATIONAL



Nom du procédé	CHO POWER
Société le commercialisant	CHO POWER SAS
Type de procédé	Gazéifieur à lit fixe contre-courant, réacteur plasma de craquage thermique des goudrons et ligne de filtrage et de conditionnement du gaz de synthèse
Types d'intrants	RDF/ biomasse/ CSR
Types de sortants	Electricité /chaleur/ Gaz de synthèse
Plages de capacités	4 à 12 t/h 8 à 12 MWe
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	Unité industrielle CHO Morcenx- mise en service 2012- 11 MWe- Morcenx (Landes) Unité industrielle CHO Tiper- en cours d'autorisation--10.5 MWe-Deux-Sèvres 5 projets en cours en France

Nom du procédé	Plasma Gasification Vitrification Reactor : PGVR	
Société le commercialisant	ALTER NRG	
Type de procédé	<i>Lit fixe contre courant alimenté par des torches à plasma</i>	
Types d'intrants	Déchets ménagers, biomasse, RDF, charbon, déchets dangereux	
Types de sortants	<i>Syngaz, électricité, éthanol, vapeur</i>	
Plages de capacités	3 types de gazéificateurs - G65 : 1000 tonnes par jour - W15 : 290 tpj - P5 : 100 tpj	
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	<u>Unité de démonstration</u> : Westinghouse Plasma Center USA <u>Unités commerciales en opération</u> : Mihama-Mikata Japon- 2002 EcoValley-Utashinai Japon- 2003 MEPL, Pune Inde-2009 Wuhan, Hubei Chine - 2012 Shanghai Chine - 2013 <u>Projets en développement</u> : Tees Valley UK - 2014 Bijie Chine Thaïlande	



Nom du procédé	Gazéification
Société le commercialisant	JFE Engineering, Japon
Type de procédé	Gazéification
Types d'intrants	OMR, CSR, Boues de STEP, Déchets médicaux (DASRI), DIB, Résidus automobiles
Types de sortants	Electricité, chaleur, vapeur
Plages de capacités	De 8000t/a a 100.000t/a (par ligne)
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	10 installations en fonctionnement au Japon depuis 2003 Deux projets en construction : un au Japon, un en Italie

	
Nom du procédé	Cymic - CFB gasifier
Société le commercialisant	VALMET
Type de procédé	<i>Cymic : lit fluidisé circulant</i>
Types d'intrants	Biomasse, résidus forestiers, boues, bois recyclé, charbon, écorce, sciure, RDF, tourbe.....
Types de sortants	<i>Chaleur, électricité...</i>
Plages de capacités	Hybex : 10 à 400 MW Cymic: 50 to 600 MW
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	Lahti Finlande – 2012, plus grande usine de gazéification au monde, utilise un CFB gasifier (25 m de haut et 5 m de diamètre) production de 50 MWe et de 90 MWth à partir de combustibles solides de récupération

XYLOWATT S.A.



Nom du procédé	NOTAR®(agent comburant Air et/ou oxygène pure)
Société le commercialisant	XYLOWATT
Type de procédé	Gazéifieur co-courant à lit fixe et multi-étagé permettant de séparer physiquement les différentes réactions de la gazéification (pyrolyse, combustion et réduction) et de produire un syngaz avec des teneurs en goudron inférieure à 50 mg/NM ³ à la sortie du réacteur de gazéification.
Types d'intrants	Bois naturel, bois B, bois C, CSR, boue de station d'épuration
Types de sortants	Gaz de synthèse (syngaz) soit pour des applications industrielles (en substitution d'énergie fossile), soit pour des applications de production d'électricité (moteur à combustion interne, TGV, cycle combiné)
Plages de capacités	0.3 à 1 T/heure Puissance syngaz entre 1 et 4 MW par module de gazéification
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	<ul style="list-style-type: none"> • Centrale de cogénération de Tournai de 300 kWe – mise en service en 2009 – Tournai Belgique • Unité de production de syngaz de Saint-Gobain Emballage de 1 MW – mise en service en 2014 – Epernay France (1^{er} application industrielle à l'oxygène) • Centrale de cogénération des Cliniques Mont Godinne de 700 kWe – mise en service en 2016 (en cour de construction) – Mont Godinne Belgique

Nom du procédé	EGT (Eqtec gasifier technology)
Société le commercialisant	EQTEC
Type de procédé	<i>Lit fluidisé bouillonnant</i>
Types d'intrants	Biomasse, copeaux de bois, RDF, déchets, noyaux d'olive, boues, sciure...
Types de sortants	<i>Syngaz, électricité</i>
Plages de capacités	0.5 à 6 MWe
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	<p><u>Unités commerciales</u> Municipalité de Stroevo - Bulgarie.- 5MWe- mise en service 2015 Municipalité de Castiglione d'Orcia (Tuscany) – 1 MWe –Italie - mise en service 2014 Campo de Criptana- (Ciudad Real, Espagne) – 6.9 MWe- en opération depuis 2011 Theni (Tamil Nadu - Inde). 0.7 MWe- en opération depuis 2011 Ville d'Osnabrück - 0.5 MWe- en cours – Allemagne</p> <p><u>Plateforme de recherche et de développement</u> Université de Portalegre (Portugal) – en opération depuis 2007 Université de Badajoz – Espagne - mise en service 2014 Université d'Epinal, Lorraine –France- en cours</p>



Nom du procédé	BIOGREEN
Société le commercialisant	ETIA
Type de procédé	<i>Procédé continu de pyrolyse à vis chauffante électrique Existe en installations fixes ou containerisées</i>
Types d'intrants	Biomasses végétales, CSR, Boues de STEP, lisiers, digestats, plastiques, pneus usagés, ...
Types de sortants	<i>Syngaz, huiles pyrolytiques, charbon, biochar, RCB</i>
Plages de capacités	Jusqu'à 3 tonnes/h en entrée
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	Depuis 2003, une vingtaine d'installations en fonctionnement ou en cours de fabrication. Tailles pilotes jusqu'à 2 tonnes/heure Installations : France, Indonésie, USA, Israël, Pologne, ...

	
Nom du procédé	GASCLEAN
Société le commercialisant	COGEBIO
Type de procédé	<i>Lit fixe co-courant</i>
Types d'intrants	Biomasse, CSR
Types de sortants	<i>Chaleur, électricité</i>
Plages de capacités	100 à 500 kg/h
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	Guyenne Papier, Thiviers, 2 MW Mise en service en décembre 2014 2 projets en France



Nom du procédé	Holz Craft (Joos Gasification Process)
Société le commercialisant	SPANNER RE2
Type de procédé	<i>Lit fixe petite puissance</i>
Types d'intrants	<p>Pour des copeaux de bois conventionnels:</p> <ul style="list-style-type: none"> - taille de G30-G40 - humidité max. 15% (teneur en eau ~ 13%) - < 30% particules fines (< 3-4mm) - consommation : 1 kg de copeaux de bois par kWh d'énergie électrique
Types de sortants	<i>Co génération chaleur / électricité (moteur). Souvent vendu à des exploitations agricoles qui valorisent la chaleur (chauffage, séchage de fourrages....)</i>
Plages de capacités	<p>Petits systèmes décentralisés</p> <ul style="list-style-type: none"> - 30-45 kW électriques, - 70-105 kW thermiques
Nombre d'installations vendues (dates de mises en service), projets, localisations	<p>Plusieurs centaines d'unités vendues dans le monde. >1 Million d'heures de fonctionnement cumulées chez les clients. Une production en série industrielle.</p>

ANNEXE 3 : UNE INDUSTRIE FRANCAISE AVEC UNE FORTE VITALITE

La filière de la pyrogazéification s'est organisée autour du Club Pyrogazéification en 2014, suite à une réunion en avril 2014 organisée par l'ADEME sur les « freins et leviers pour le développement des technologies de pyrogazéification » et ayant réuni plus d'une centaine de fabricants. Ce club comprend à la fois des fabricants de procédés, des fournisseurs de ressources, des utilisateurs potentiels, des bureaux d'études, des centres de recherche et des associations professionnelles. Le nombre et la variété des membres de ce club illustre l'intérêt et la vitalité de cette filière en France.

Cette vitalité s'est aussi traduite au travers le GT PyroGaz, animé par l'ADEME. Ce GT s'est réuni sur 12 journées et demie en l'espace de 10 mois. Le groupe de travail s'est divisé pour être plus efficace en 4 sous-groupes de travail sur les thématiques suivantes : (1) Note stratégique, (2) Réglementation, (3) Etat de l'art en France et à l'international, (4) Modèles économiques et financements.

Chaque réunion de sous-groupe a réuni entre 10 et 25 personnes tout au long des séances.

La liste des personnes ayant participé à ce GT PyroGaz et/ou membres du Club figure ci-après.

Sociétés/entités ayant participé au GT PyroGaz et/ou membres du Club Pyrogazéification

Société	Nation.	Construct./ Intégrateur procédé	Bureau d'études / Consultant	Centres de recherches	Fournisseurs ressources/ Utilisateurs énergie	Autres	Membre Club PyroGaz.
Air liquide	FR				x		
AJI Europe	FR		x				x
Alfyma	FR	x					
Alpha recyclage	FR	x					x
Alterneo	FR		x				x
American exchange AET	FR		x				x
Atanor	FR	x	x				x
Bee and Co	FR	x	x				
Biomass Syngaz Energy	FR	x					
Bts biogaz	IT	x					x
Campus ecole des mines d'Albi	FR			x			x
Campus ecole des mines de Nantes	FR			x			x
Cea	FR			x			x
Ceft	FR		x				x
Cho power	FR	x					x
Cirad	FR			x			x
Cnim	FR	x					x
Cogebio	FR	x					x
Cogexyl Energy	FR	x					x
CGAAER	FR					x	

Société	Nation.	Construct./	Bureau	Centres de	Fournisseurs	Autres	Membre
---------	---------	-------------	--------	------------	--------------	--------	--------

		Intégrateur procédé	d'études / Consultant	recherches	ressources/ Utilisateurs énergie		Club PyroGaz.
Coved	FR				x		x
DGPR (MEDDE)	FR					x	
DNC Environnement	FR		x				x
Edda energie	FR	x					x
Eneria	FR						x
Enerxyl	FR	x					x
ETIA Biogreen	FR	x					x
Ets baudelet environnement	FR				x		x
Federec	FR					x	x
Gérard Antonini	FR		x				x
Groupe Pena	FR				x		x
Henri-Jean Caupin	FR	x					
IDEX	FR	x			x		x
Imerys	FR				x		
Inova Constructions							x
Jfe engineering europe	JAP	x					x
JG-Refractories	ALL				x		x
Lafarge	FR				x		X
Leroux & Lotz	FR	x					x
Maguin	FR	x					x
Mini Green Power	FR	x					x
ML consultant	FR		x				x
Neoeco	FR		x				x
NRGY	FR	x	x				x
Op systemes	FR	x					x
Paprec					x		x
Pizzorno Environnement	FR				x		x
S3d	FR	x	x				x
Sarp Industries	FR				x		
SAS IHOL	FR	x					x
Séché Environnement	FR				x		x
Semardel	FR				x		x
Setec Environnement	FR		x				x
Suez Environnement	FR				x		x
Terreal	FR				x		
Université de Pau	FR			x			x
Urban Biomass	FR		x				
Valoneo	FR	x					x
Xylowatt	BE	x					x

ANNEXE 4 : COUTS DE SUIVI INSTALLATIONS D'INCINERATION, CO-INCINERATION

Les chiffres des coûts des opex/capex des analyses liées à la 2771 sur l'usine de gazéification plasma de CHO Power à Morcenx sont présentés ci-dessous.

	OPEX / AN COUT ANALYSE MAINTENANCE EXCLUE	MAINTENANCE SPECIFIQUE AUX APPAREILS DE SUIVI (PAR AN)	CAPEX
Bruit	2 000,00 €	Pas de coûts directs ; liés surtout à la maintenance du site.	Les CAPEX sont fonction de l'implantation (choix du terrain, bâtiment fermé ou ouvert, étude initiale...)
Cheminée	25 000,00 €	50 000€	300 000,00 €
Plan de Surveillance dans l'environnement	25 000,00 €	0	- €
Mâchefers	10 000,00 €	Pas de coûts directs ; liés surtout à la maintenance du site.	- €
Dioxine	15 000,00 €	15 000€	75 000,00 €
Eau	14 000,00 €	50 000 € y compris curage annuel bassin	150 000,00 €
Suies	2 000,00 €	Pas de coûts directs liés surtout à la maintenance du site.	- €
Piezo	2 000,00 €	2 000€	10 000 €
Syngaz (coûts liés à l'activité)	20 000,00 €	30 000€	Les CAPEX seront variables suivant les paramètres à analyser cependant on peut prévoir 80 000 €
TOTAL	115 000,00€ / an	147 000,00€	615 000€

