

Champs d'application industrielle pour la décarbonation via pyrogazéification versus électrification

Raphaël Barnier, Erhel Cayzac, Christiane Hebey,
Maceo Timmerman-Gabet

Pyrogazéification

Pyro-gazéification : procédé thermochimique qui décompose des **matières solides carbonées** (biomasse ou déchets) par chaleur en absence ou en défaut d'oxygène.

Ce processus comprend quatre étapes :

1. **Séchage** de la matière
2. **Pyrolyse** (production de coke et de gaz)
3. **Oxydation** (génération de chaleur)
4. **Réduction** pour produire du **syngaz** et du charbon dit **biochar** (utilisé pour dépolluer les sols)

Syngaz (gaz de synthèse) : mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène, pouvant **remplacer les énergies fossiles** (gaz naturel) dans l'industrie, en particulier dans les fours industriels, sans avoir à changer l'installation industrielle. Permet également une **valorisation des déchets organiques**.

Électrification

Électrification industrielle : remplace les procédés de combustion directe par des technologies électriques (fours à arc, induction, pompes à chaleur), alimentées par une électricité décarbonée. L'électrification est un levier direct de décarbonation.

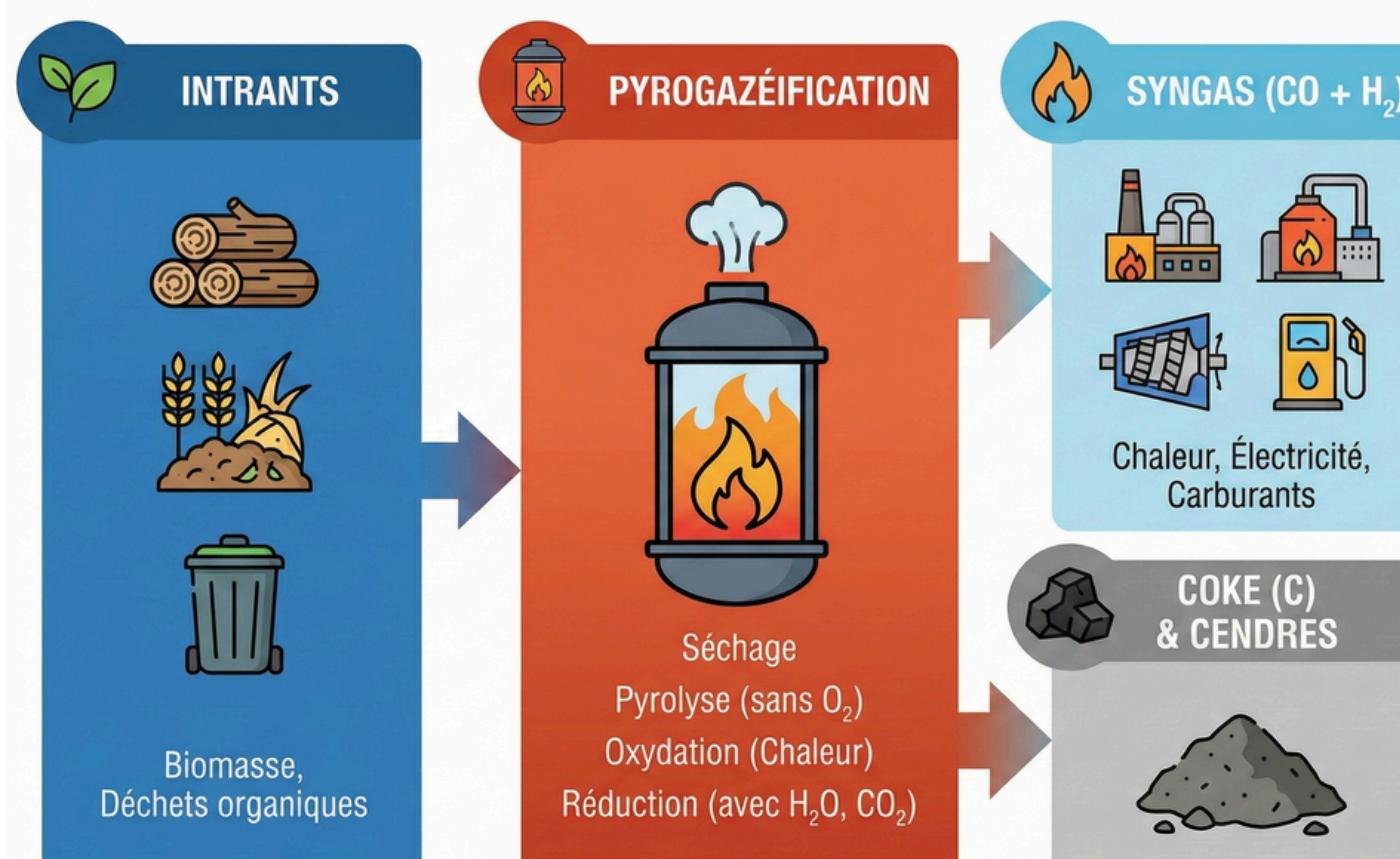


Tableau comparatif

Gazéification	Electrification
Possibilité de stockage du gaz	Pas de stockage possible, dépendance à la production irrégulière d'électricité
Entre 0,054 et 0,13€/kWh (pour le biogaz)	Entre 0,12 et 0,2 €/kWh
Précision thermique de ±5°C pour un four	Précision thermique de ±2°C pour un four
Maintenance importante en général	Maintenance modérée en général
Procédés sont non-électrifiables (ex : flamme à haute température)	Puissance maximale limitée, haute température plus difficile à atteindre

Secteurs ciblés

Secteurs ciblés par la pyrogazéification :

- Industries utilisant massivement le gaz naturel comme source d'énergie thermique (utilisation dans des brûleurs existants par exemple)
- **Objectif** : remplacer progressivement le gaz fossile par un gaz de synthèse renouvelable à moindre coût, ou pratiquer la cogénération (chaleur + électricité)
- Intégration d'un module de pyrogazéification sans remettre en cause les procédés existants.

Secteurs clés

Industries du verre et de la céramique :

- Forte consommation de chaleur.
- Structurées en pôles industriels majeurs.

Sidérurgie :

- Grand secteur énergivore.

Chimie et pétrochimie :

- Dépendance au gaz naturel comme combustible et matière première.

Industrie papetière :

- 62 % de l'énergie déjà renouvelable.
- Potentiel de décarbonation complémentaire.

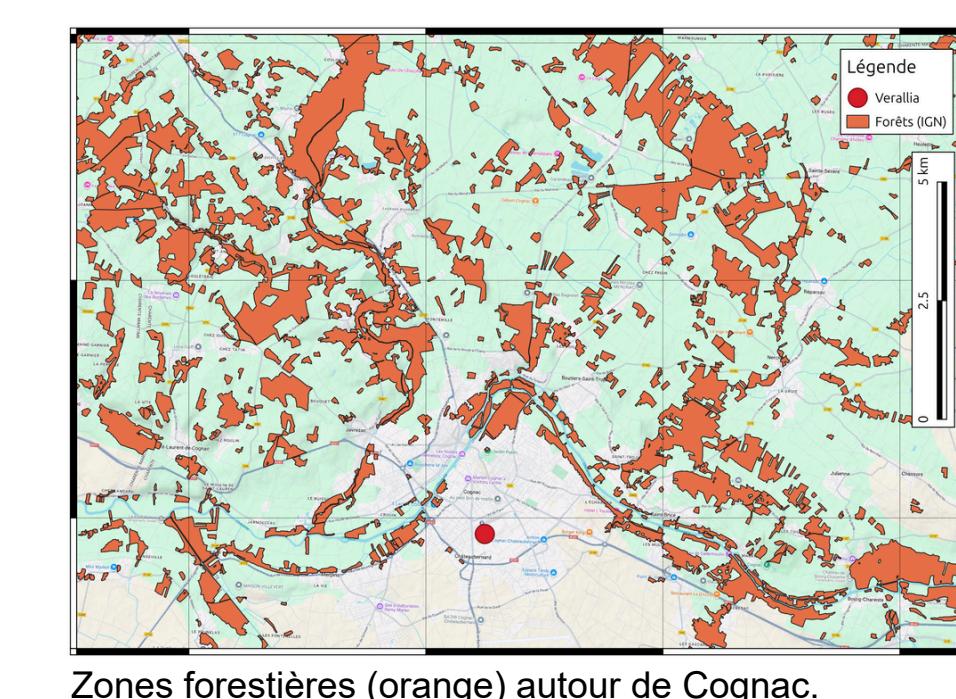
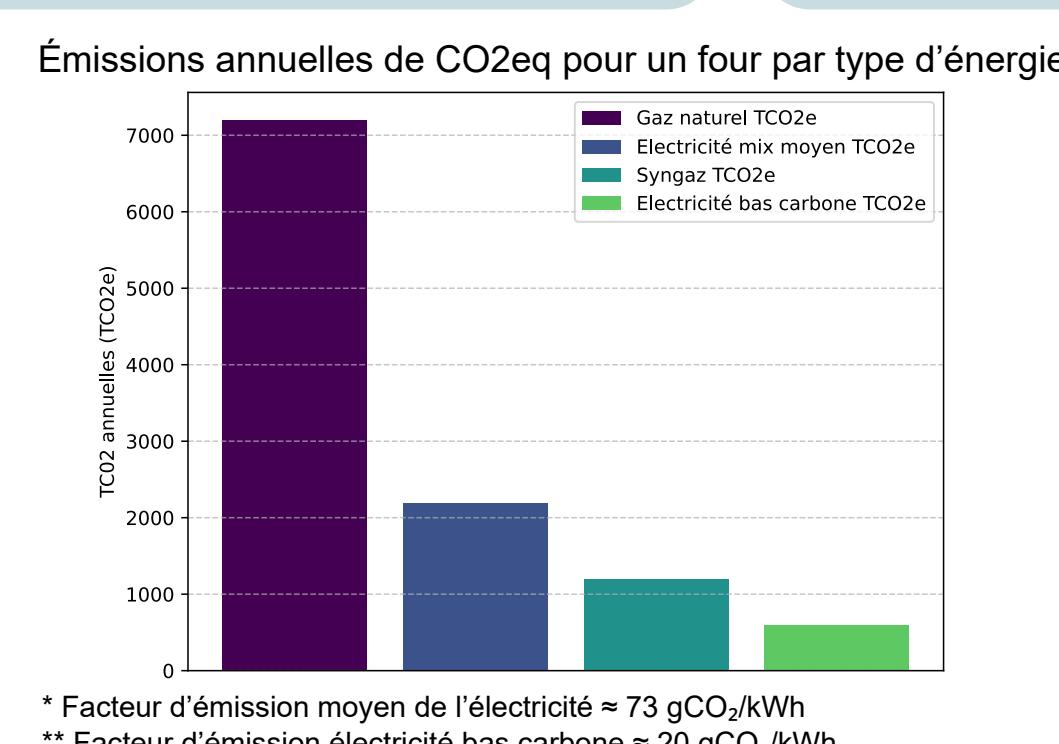
Secteur du ciment :

- Secteur à haute émission de CO₂.
- Dépendance aux hautes températures, potentiel pour la substitution énergétique via pyrogazéification.

Étude de cas : Verallia

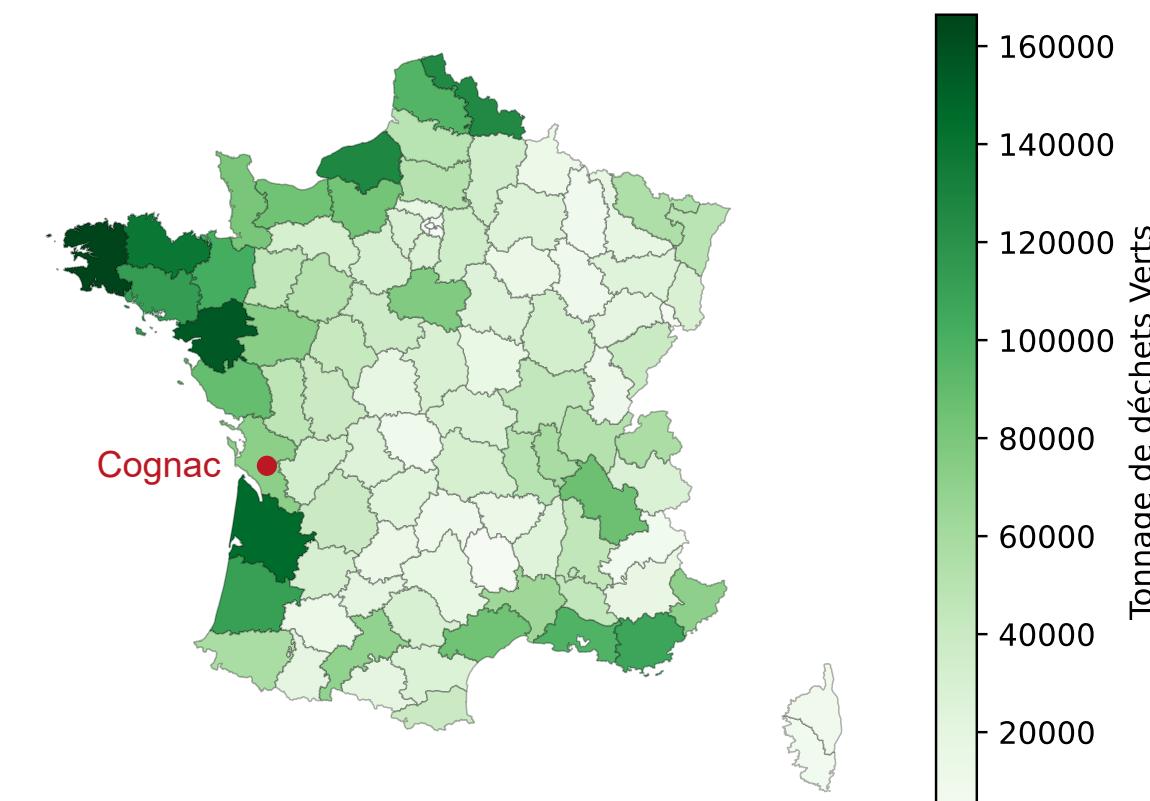
Verallia : entreprise française spécialisée dans l'emballage des boissons et produits alimentaires.

- Trois fours pour le verre à cognac
- 2024 : rend un four électrique
- **Objectif** : - 46 % de GES d'ici 2030
- Association à **Charwood** entreprise française proposant des solutions énergétiques décarbonées de valorisation de la biomasse
- Un four va être équipé d'un **apport en syngaz**, qui remplacera **20 % de la consommation** en gaz du four. La centrale qui sera installée produira ≈ 30 GWh/an de syngaz et nécessitera **8 000 t de biomasse locale**, dans un rayon de 100 km.



La présence de **zones forestières** à proximité immédiate du site garantit un **approvisionnement local** et régulier en biomasse, tout en **limitant les coûts** et **l'impact environnemental** liés au transport. De plus, cette entreprise se situe sur la côte Ouest, disposant ainsi de **grandes quantités de déchets verts** (cf. Répartition des déchets verts).

Déchets verts en France métropolitaine - 2021



Répartition des déchets verts

La représentation cartographique des **tonnages de déchets verts** en France permet d'apprecier le potentiel réel de la pyrogazéification à l'échelle du territoire.

Visualisation de la ressource en biomasse : mise en évidence les zones où les gisements sont les plus abondants, souvent en lien avec la densité de population, l'activité agricole ou l'entretien des espaces verts.

Elle permet ainsi **d'identifier** les régions où l'implantation d'unités de pyrogazéification serait techniquement et économiquement **pertinente**, en **limitant les distances de transport** des déchets. Ici, il apparaît nettement que la côte Ouest propose de fortes ressources de biomasse valorisable.

Conclusion

La **pyrogazéification** est donc une solution **pertinente** pour la **décarbonation industrielle**, en particulier pour les secteurs dépendants du **gaz naturel**. Le syngaz, obtenu par valorisation de biomasses et de déchets locaux, offre une alternative renouvelable aux combustibles fossiles. Il existe cependant des difficultés, notamment **l'impossibilité d'intégrer le syngaz au réseau de gaz naturel**. C'est pourquoi il est très intéressant de **coupler la pyrogazéification à de l'électrification industrielle**. Ces procédés sont **complémentaires**, et offrent une **stratégie de transition énergétique robuste**.

