

**SYNTHESE COMPARATIVE
BILAN CARBONE DES ENERGIES
POUR LA PRODUCTION D'ELECTRICITE
ET DE CHALEUR**

Basée sur les Analyses de Cycles de Vie - ADEME



SEINE-MARITIME
- LE DÉPARTEMENT -



INTRODUCTION

Le présent rapport a pour objet de **synthétiser et comparer le bilan carbone des différents systèmes d'énergie renouvelable** tant pour la **production d'électricité** (éolien, solaire PV, hydraulique, ...) que pour la **production de chaleur** (réseaux de chaleur, géothermie, pompes à chaleur, solaire thermique, ...). Il se base sur les Analyses de Cycles de Vie réalisées ou suivies par l'ADEME.

À titre indicatif, les systèmes énergétiques non renouvelables sont également mis en comparaison (charbon, fioul, gaz, nucléaire).

Les avantages et les limites de chacune des solutions sont également explicités.

Ce document permet de vulgariser les données détaillées dans les ACV pour les rendre accessibles et compréhensives. Le présent document n'a pas pour vocation de dresser une liste parfaitement exhaustive sur le bilan carbone des énergies ou leurs avantages/inconvénients, mais de dresser une comparaison entre ces énergies voulue la plus objective possible.

Ce guide s'insère dans les actions du Plan Climat 76.



Il contribue à la réalisation de l'action n°54 consistant à former, sensibiliser les agents, encadrants et élus aux enjeux de la transition énergétique et écologique et plus précisément à sensibiliser les élus et directions quant à une production d'électricité et de chaleur bas-carbone adéquate sur le territoire.

Une réflexion est également menée, en partenariat avec le SDE76, pour le déploiement des énergies renouvelables sur le territoire départementale. L'étude qui sera menée contribuera à l'action n°35 du Plan Climat 76 consistant à définir une politique globale sur les énergies renouvelables et bas-carbone sur le territoire départemental.

1

LA PRODUCTION D'ÉLECTRICITÉ



1.1. Bilan carbone des énergies pour la production d'électricité

L'ADEME publie dans ses outils de calcul de bilan carbone une synthèse comparative de l'impact sur le dérèglement climatique des différentes sources d'énergies électriques (en CO₂eq. par kWh produit).

RAPPEL : Les énergies renouvelables (EnR) sont alimentées par le soleil, le vent, la chaleur de la terre, les chutes d'eau, les marées... Elles permettent de produire de l'électricité, de la chaleur, du froid, du gaz, du carburant, du combustible. Ces sources d'énergie, considérées comme inépuisables à l'échelle du temps humain, n'engendrent pas ou peu de déchets ou d'émissions polluantes.

Pour les énergies renouvelables :

	 Eolien	 Eolien en mer	 Photovoltaïque	 Hydraulique	 Géothermie
Émissions de CO ₂ amont	14,1 g	15,6 g	43 g	6 g	45 g
Émissions de CO ₂ combustion	0 g	0 g	0 g	0 g	0 g
TOTAL	14,1 g	15,6 g	43 g	6 g	45 g

Pour l'énergie nucléaire et les énergies fossiles :

	 Nucléaire	 Charbon	 Fioul	 Gaz
Émissions de CO ₂ amont	6 g	89 g	102 g	67 g
Émissions de CO ₂ combustion	0 g	969 g	628 g	351 g
TOTAL	6 g	1060 g	730 g	418 g

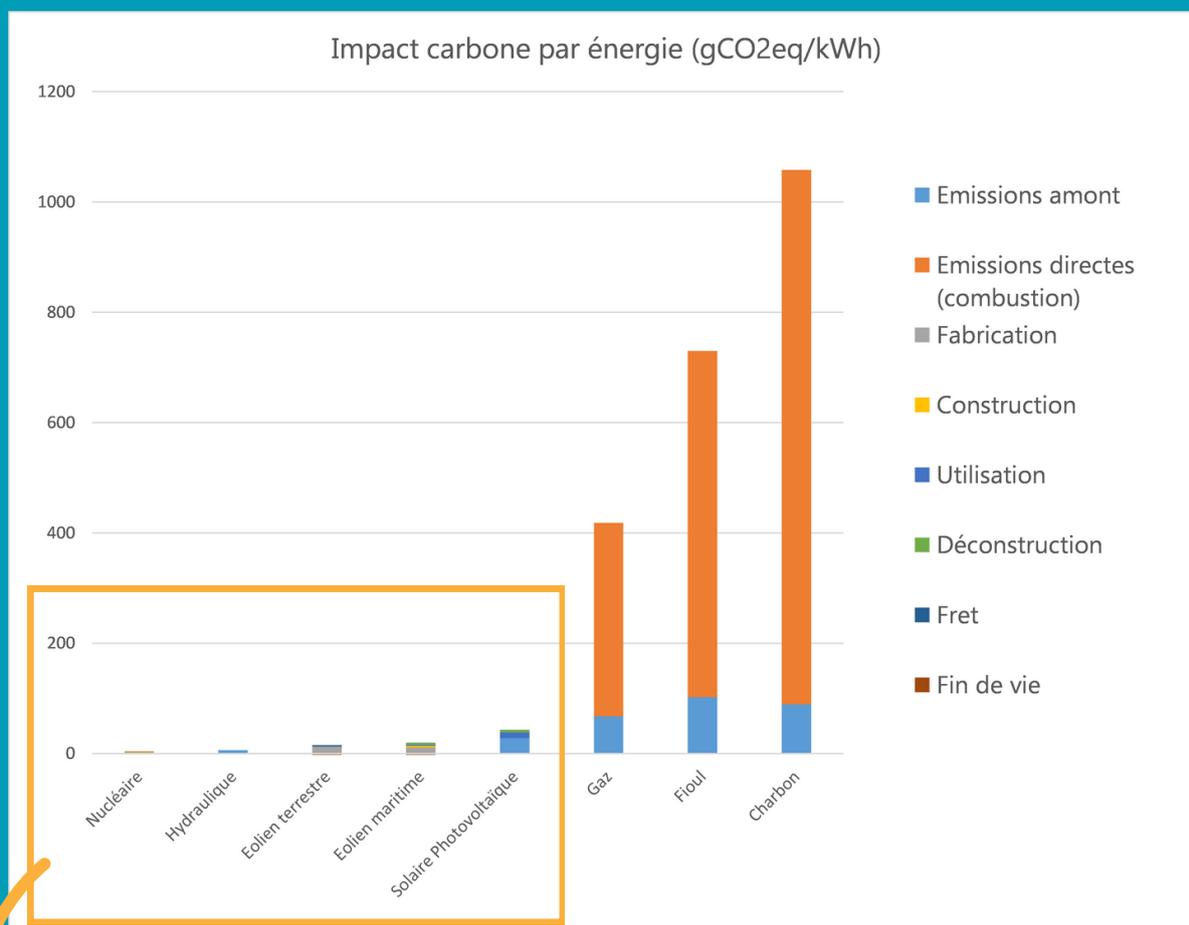
A Retenir :

- **L'énergie nucléaire et les énergies renouvelables ont un impact moindre sur le climat**
- Cependant, **certaines énergies renouvelables ne sont pas pilotables** par nature (éolien et photovoltaïque) et ne permettent pas toujours d'équilibrer l'offre à la demande.
- Par conséquent, celles-ci sont **fréquemment couplées avec d'autres sources pilotables**, à plus-ou-moins fort impact carbone (exemple de parcs PV et éoliens couplés avec des centrales à gaz aux Etats-Unis augmentant ainsi leur impact climatique, exemple du parc nucléaire français).

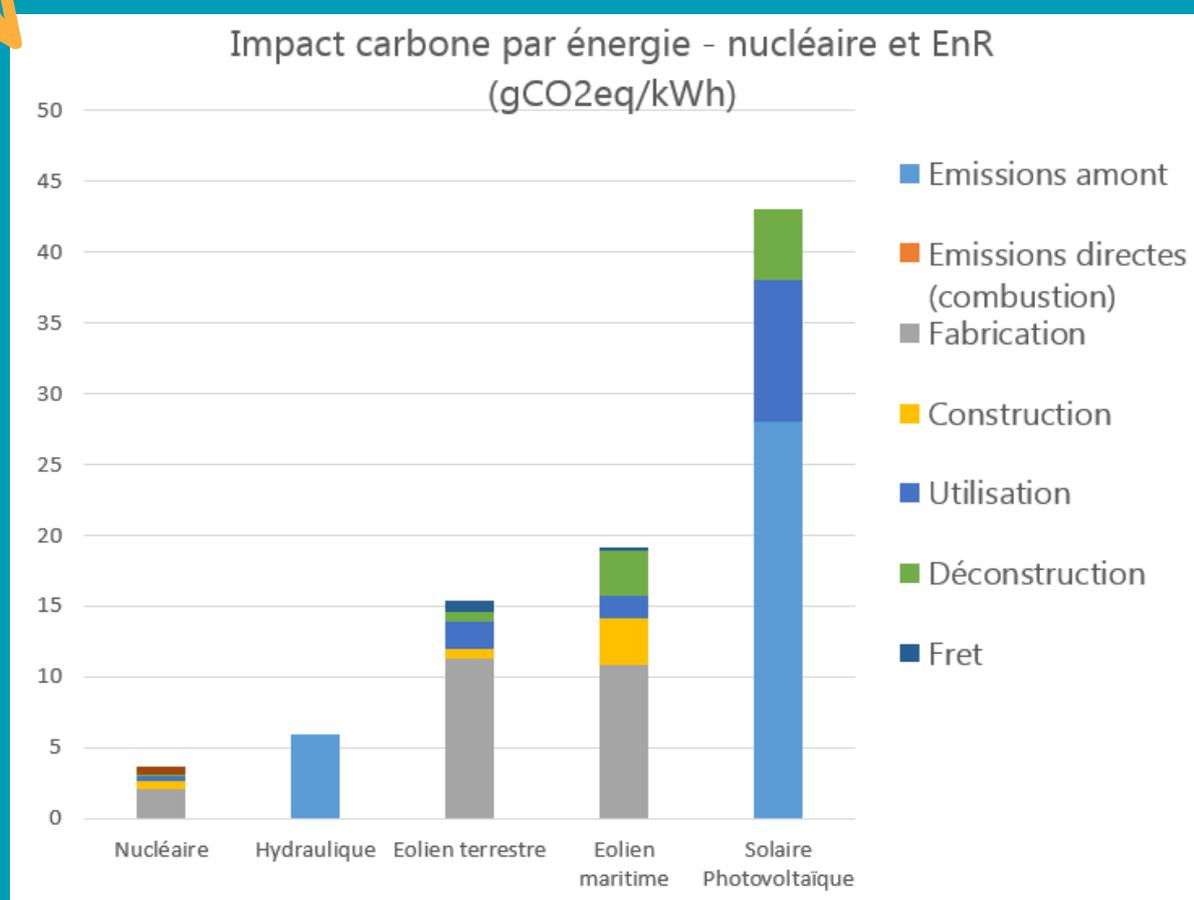


Il est donc important de réfléchir selon un mix énergétique global, à faibles émissions carbone, et pouvant répondre à la variation de la demande en énergie sur le réseau.

Quel impact carbone des énergies utilisées pour la production de chaleur ?



Zoom sur les EnR



Les émissions de GES (Gaz à Effet de Serre) liées aux énergies renouvelables et au nucléaire sont principalement dues, à plus de 50%, à la construction même des ouvrages (extractions des matériaux, fabrication, construction).

CAR, aucune combustion n'ayant lieu, les ouvrages n'émettent pas de carbone en fonctionnement (vapeur d'eau en sortie des centrales nucléaires, non considérée comme un GES sur le moyen et long terme).

ENFIN, la question de la fin de vie des ouvrages et de leur recyclage éventuel ne cesse de progresser. Les filières de recyclage deviennent de plus en plus performantes et permettent aujourd'hui de réduire l'impact carbone des EnR.

D'autres énergies renouvelables ?

Les milieux côtiers peuvent bénéficier des **mouvements de la marée, une énergie renouvelable relativement stable dans le temps**. Ces systèmes sont pour la plupart encore en phase expérimentale, mais pourraient être intéressants à terme sur les littoraux, sous réserve d'études d'impact sur la faune et la flore.



Bien que le gaz utilisé aujourd'hui soit généralement d'origine fossile (stock fini présent dans le sol), il est également possible de le produire par **maturation de déchets organiques dans des unités de méthanisation**.

Ce gaz, appelé aussi **biogaz** peut ensuite être brûlé pour une utilisation directe (transport) ou indirecte (convertit en électricité). Cependant, la combustion opérée émet toujours d'importants gaz à effet de serre contribuant ainsi au dérèglement climatique.



L'hydrogène ne constitue pas une source d'énergie, mais un **moyen de stockage**. Telle une batterie avec une charge électrique, l'hydrogène doit d'abord être produit pour ensuite être utilisé. Celui-ci peut néanmoins permettre de lisser l'offre par rapport à la demande pour des EnR à caractère intermittent. La production d'hydrogène en aval d'énergie éolienne sur une période de vents forts est souvent montrée comme un bon exemple ; l'hydrogène peut ensuite être réinjecté sur un réseau automobile ou pour une production ultérieure d'électricité.

Par ailleurs, l'hydrogène produit de façon renouvelable est une solution intéressante pour décarboner l'industrie, dont les process nécessitent aujourd'hui de produire de l'hydrogène par combustion d'énergies fossiles.



1.2. Avantages, limites et points de vigilance sur les solutions de production d'électricité

Le tableau suivant est proposé en synthèse (non exhaustive) des avantages et inconvénients pour chacune des énergies pour la production d'électricité :



Nucléaire	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Pilotable à moyen terme ✗ Réactivité non suffisante pour satisfaire la demande en période de pointe ✗ Risque nucléaire ✗ Gestion des déchets nucléaires (dangerosité, pollution, gestion à très long terme) ✗ Stock d'uranium fini (mais encore relativement élevé)
Hydraulique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Pilotable avec une réactivité élevée ✓ Énergie renouvelable (mais soumis aux réservoirs et cycle de eau) ✗ Impact sur le milieu naturel et le lieu d'implantation
Éolien	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Énergie renouvelable ✗ Non pilotable, doit être couplée avec une autre source d'énergie pilotable et/ou avec du stockage ✗ Impact sur la faune (axe de migration, fonds marins, ...)
Solaire Photovoltaïque	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Énergie renouvelable ✗ Faibles rendements (<20%, surfaces à déployer parfois importantes) ✗ Non pilotable, doit être couplée avec une autre source d'énergie pilotable et/ou avec du stockage
Fossiles (gaz, fioul, charbon)	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergies pilotables ✓ Énergies à hauts rendements ✗ Énergies participant fortement au dérèglement climatique ✗ Stock de ressources fini et relativement faible (hors biogaz)

2

LA PRODUCTION DE CHALEUR



2.1. Bilan carbone des énergies pour la production de chaleur

Différents types de production de chaleur :

Energies fossiles	<p>COMMENT ? Production de chaleur par combustion. QUEL IMPACT ? L'impact carbone est lié à la combustion.</p>
Bois - biomasse	<p>COMMENT ? Production de chaleur par combustion. QUEL IMPACT ? L'impact carbone du bois-énergie est sujet à débat :</p> <ul style="list-style-type: none"> ◦ Une énergie considérée renouvelable par l'ADEME ◦ Cependant, son bilan carbone dépend fortement du modèle de sylviculture pratiqué. Dès lors qu'une déforestation non contrôlée serait réalisée, une destruction du puit de carbone initial par combustion impliquerait un fort impact carbone sur le climat, de par le relargage du CO₂ absorbé par les forêts brûlées et étant déjà présentes sur le territoire.
Chauffage électrique	<p>COMMENT ? L'électricité est directement utilisée comme moyen de chauffage (radiateurs électriques). QUEL IMPACT ? L'impact carbone est lié à la production d'électricité en amont.</p>
Pompes à chaleur	<p>COMMENT ? L'électricité n'est pas directement utilisée ici mais permet simplement à la pompe à chaleur d'opérer. Celle-ci va ensuite prélever la chaleur disponible dans l'air ou dans l'eau via un circuit thermodynamique. QUEL IMPACT ? L'impact carbone est lié à la production et au transport de l'énergie électrique. Il varie selon le mix énergétique pour la production d'électricité en amont.</p> <p><u>Rappel</u> : la pompe à chaleur produit jusqu'à 4 fois plus d'énergie thermique que d'énergie électrique initialement prélevée, mais son efficacité peut être réduite lorsque les températures extérieures diminuent.</p>
Géothermie	<p>COMMENT ? Captation de la chaleur du sol ou du sous-sol. QUEL IMPACT ? Les impacts diffèrent selon l'usage (particulier, industriel) et le type d'installation (géothermie à basse ou haute température), mais aucune donnée n'a pu être trouvée pour estimer l'impact carbone de cette énergie. Cependant, étant considérée comme une énergie renouvelable, il est admis que l'impact carbone principal provient de la construction du système géothermique.</p>

Panneaux solaires thermiques

COMMENT ? Consiste en la récupération de la chaleur des rayons solaires par leur concentration sur des tubes où circule un fluide caloporteur, ce dernier chauffe et permet d'alimenter les usagers en eau chaude sanitaire ou chauffage.

QUEL IMPACT ? Son caractère renouvelable permet de cibler l'impact carbone principal sur la fabrication du système, notamment sur des usages à grande échelle. L'impact carbone de cette solution reste néanmoins très faible.

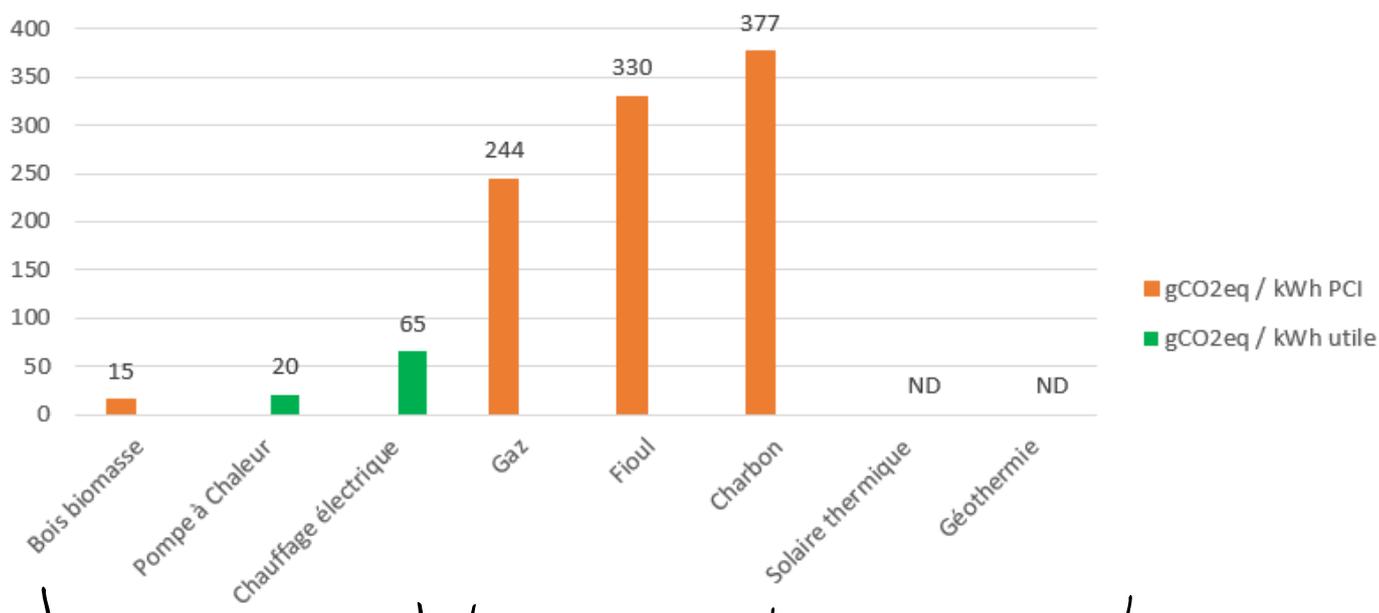
Récupération de chaleur fatale

COMMENT ? Consiste en la récupération de la chaleur « perdue » dans les process de l'industrie, des unités d'incinération, des Station d'Épuration, ou encore des Data Center.

QUEL IMPACT ? N'émet pas de CO₂, par conséquent, le bilan carbone de cette solution est donc très faible et principalement lié à la fabrication et au déploiement du réseau associé à la récupération de chaleur fatale.

Quel impact carbone des énergies utilisées pour la production de chaleur ?

Impact carbone par énergie (production de chaleur)



Energies renouvelables et bas carbone

Energies fossiles Impact carbone conséquent

Absence de données

2.2. Avantages, limites et points de vigilance sur les solutions de production de chaleur

Le tableau suivant est proposé en synthèse (non exhaustive) des avantages et inconvénients pour chacune des énergies pour la production d'électricité :

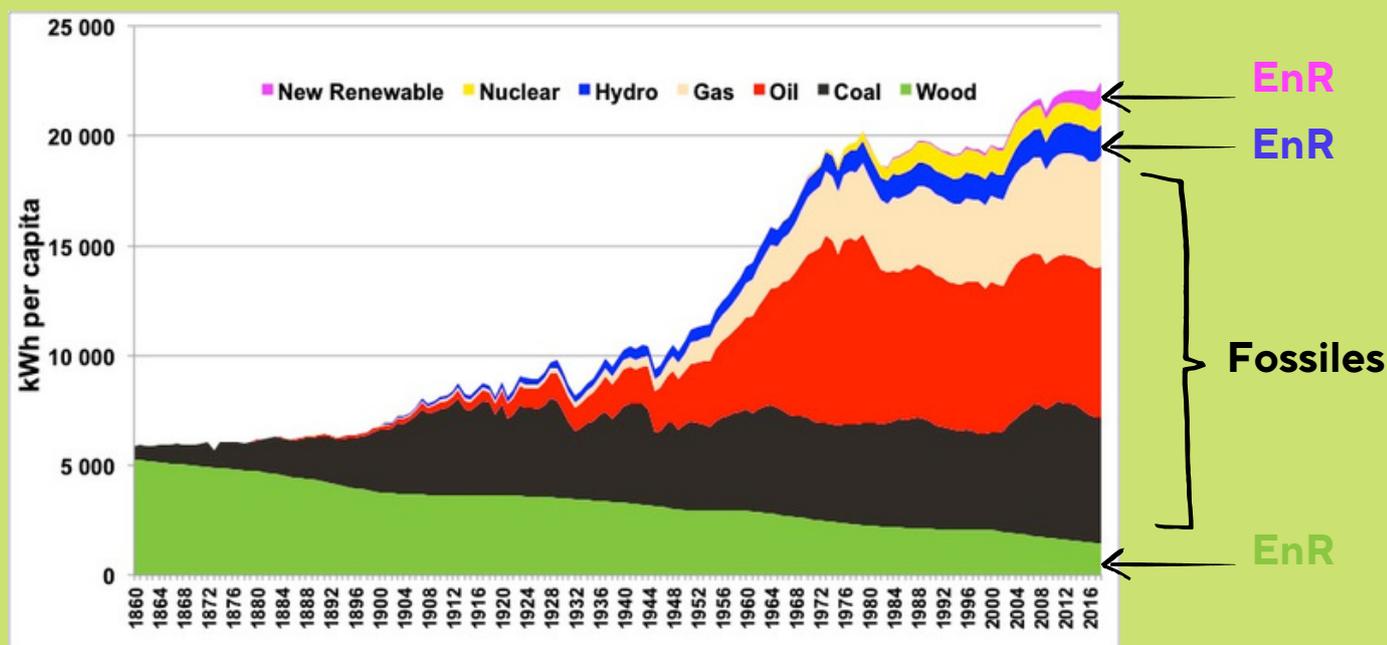
	Récupération de la chaleur fatale	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✗ Dépendante de l'offre
	Solaire thermique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Énergie renouvelable
	Géothermie	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Énergie renouvelable ✗ Risque d'induction de séismes (pour la géothermie profonde uniquement, étude d'impact importante)
	Pompe à chaleur	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES (selon mix énergétique amont) ✗ Bilan de GES dépendant du mix électrique amont ✗ Pas toujours adaptée selon les territoires (COP fortement réduit en période de froid)
	Chauffage électrique	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES (selon mix énergétique amont) ✗ Bilan de GES dépendant du mix électrique amont
	Bois-biomasse	<ul style="list-style-type: none"> ✓ Énergie à faibles émissions GES ✓ Énergie renouvelable selon pratique de sylviculture ✗ Impact sur la qualité de l'air si généralisée chez les particuliers (gestion par filtre possible à plus grande échelle)
	Fossiles (charbon, fioul, gaz)	<ul style="list-style-type: none"> ✗ Impact sur la qualité de l'air (notamment charbon et fioul) ✗ Énergies participant fortement au dérèglement climatique ✗ Stock de ressources fini et relativement faible (hors biogaz)

OUVERTURE

Le présent rapport permet d'obtenir une vision d'ensemble sur les solutions de production d'électricité et de chaleur et de l'impact carbone de chacune.



Un constat : Les EnR n'ont pas permis jusqu'alors une réduction de la consommation énergétique mondiale. En outre, le mix énergétique mondial reste encore majoritairement d'origine fossile.

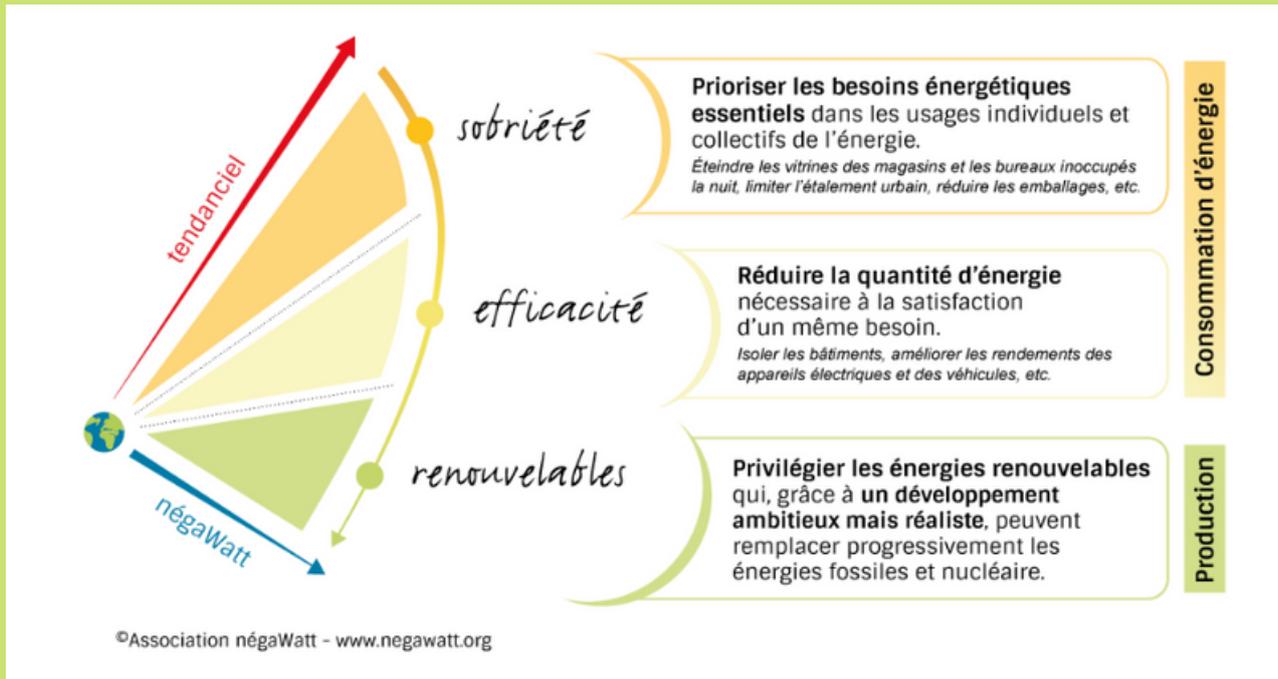


Au regard de ce constat, il semble **indispensable de rechercher la meilleure utilisation possible de l'énergie**, plutôt que de continuer à en consommer toujours plus.



Les énergies renouvelables ne sont qu'un pilier de la transition énergétique.

La **sobriété**, l'**efficacité** et les **énergies renouvelables** constituent les trois piliers de la transition énergétique.



L'efficacité énergétique permet d'utiliser moins d'énergie pour satisfaire un besoin.

La **sobriété** est le premier étage de la démarche Négawatt, avant les actions d'efficacité énergétique et le déploiement des ENR. Elle consiste à interroger les conditions d'utilisations et le dimensionnement de nos consommations d'énergie par rapport à leur utilité.

Sobriété et efficacité sont les deux piliers d'une action forte sur la **réduction de nos consommations** (que, seules, les énergies renouvelables ne permettent pas pour l'instant).

Après avoir réduit drastiquement les gaspillages et ajusté nos besoins en énergie, on peut alors s'intéresser à la production de l'énergie nécessaire à la satisfaction des besoins restants. Une production qui pourrait être couverte en totalité par des **sources renouvelables**.