



Mars
2018

INTÉGRATION DES ÉNERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION DANS L'INDUSTRIE

À chaque secteur ses solutions

SYNTHESE

ADEME



Agence de l'Environnement
et de la Maîtrise de l'Énergie



REMERCIEMENTS

Luc PEZRON, Jean DELOMIER, Françoise MUNCH (L'Oréal)
Jean-Christophe CAVET (Directeur Fromagerie Cavet-Picodons)
Christian WROTECKI (Directeur technique GIE OSIRIS), Dominique DEBOEUF (Directeur Suez Roussillon), Jean DUDOUIT (Directeur TREDI Salaise)
Ludovic LOUCHEZ, Benoit VAN HEMS (Tereos)
Victor BULANT (TRYBA Energy)
Mathieu GUILHAS (Toray CFE)
Edouard DEROUAULT (Papeteries PALM)
Yves STRUB (Directeur général Everbal)
Christophe AUBRY (Ker Noé), Nicolas GOUBET (Directeur technique ENOGIA)
Christian REDL (Bertsch Energy)
Astrid CARDONA-MAESTRO, Nadine BERTHOMIEU, Tristan CARRERE, Robert BELLINI, Manon GERBAUD, Raphaël GERSON (ADEME - Service Réseaux et Energies Renouvelables)
Guillaume BASTIDE (ADEME - Service Mobilisation et Valorisation des Déchets)
Marie APRIL, Simon COUSIN (ADEME - Service Forêt, Alimentation et Bioéconomie)
Marina BOUCHER, Frédéric STREIFF, Thomas GOURDON, Sylvie PADILLA (ADEME - Service Entreprises et Dynamiques Industrielles)
David MARCHAL (ADEME - Directeur adjoint Direction Productions et Energies Durables)
Marie Laure GUILLERMINET (ADEME - Service Economie et Prospective)

CITATION DE CE RAPPORT

ADEME, Marina BOUCHER, Manon GERBAUD, ENEA Consulting, David BARDINA, Suzan HMOUD, Céline HUITRIC, KERDOS Energy, Mehdi GUELLIL, Etienne MARTIN. 2018. Intégration des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie : à chaque secteur ses solutions. Synthèse. 17 pages.

Cet ouvrage est disponible en ligne www.ademe.fr/mediatheque

Toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite selon le Code de la propriété intellectuelle (art. L 122-4) et constitue une contrefaçon réprimée par le Code pénal. Seules sont autorisées (art. 122-5) les copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé de copiste et non destinées à une utilisation collective, ainsi que les analyses et courtes citations justifiées par le caractère critique, pédagogique ou d'information de l'œuvre à laquelle elles sont incorporées, sous réserve, toutefois, du respect des dispositions des articles L 122-10 à L 122-12 du même Code, relatives à la reproduction par reprographie.

Ce document est diffusé par l'ADEME

20, avenue du Grésillé
BP 90406|49004 Angers Cedex 01

Numéro de contrat : 17MAR000418

Étude réalisée pour le compte de l'ADEME par : ENEA Consulting

Coordination technique - ADEME : BOUCHER Marina
Direction/Service : Direction Productions et Energies Durables / Service
Entreprises et Dynamiques Industrielles

Résumé

Depuis les années 80, dans un contexte marqué par l'accroissement de la volatilité des coûts des énergies et par une attention grandissante portée au problème du réchauffement climatique, l'industrie s'est progressivement mobilisée afin de mieux maîtriser sa compétitivité énergétique et de réduire son empreinte environnementale. Pourtant, même s'il existe quelques belles réussites, le déploiement des Energies Renouvelables et des technologies de Récupération (EnR&R) est encore trop peu avancé dans ce secteur.

Ainsi, l'ADEME a décidé de réaliser une étude, produite par le cabinet ENEA Consulting, afin d'informer les industriels sur les possibilités offertes par ces technologies. Après un travail de cartographie des technologies disponibles pouvant être mises au service des différents besoins des industriels, l'étude s'est attachée à décrire leurs forces et leurs faiblesses au regard de critères prédéfinis. L'objectif de l'étude était d'identifier les freins à surmonter et les leviers à activer pour faciliter leur développement, tout en étayant les enseignements au moyen de retours d'expériences issus de cas réels.

Ainsi, à la lecture du rapport, le lecteur pourra se rendre compte qu'il existe de nombreuses technologies EnR&R, relativement matures, permettant de produire et d'auto-consommer de l'énergie sur un site industriel, que ce soit de la chaleur ou de l'électricité. Avec l'aide des mécanismes de soutien (CEE, Fonds Chaleur, Appels d'Offre CRE ou autres dispositifs fiscaux), investir sur des EnR&R peut s'avérer rentable sur le long terme dans de très nombreux cas, ces projets permettant par ailleurs de réduire les émissions de CO2 et de développer une image d'entreprise responsable.

Le lecteur pourra aussi découvrir que, même si les technologies EnR&R ne sont pas forcément faciles à intégrer, ou à exploiter, l'ensemble de ces difficultés (techniques, contractuelles, économiques) peuvent être surmontées. C'est ce que les études de cas ont pu clairement révéler, surtout quand on associe les technologies EnR&R avec les solutions conventionnelles. En effet, alors qu'elles apparaissent implicitement dans une situation de concurrence les unes par rapport aux autres, ces technologies doivent surtout être considérées comme complémentaires les unes des autres, les forces des unes contrebalançant les faiblesses des autres.

Abstract

Since the 1980s, in a context of increasing volatility in energy costs and growing attention to the problem of global warming, industry has gradually mobilized to better control its energy competitiveness and reduce its environmental footprint. However, even if there are some good successes, the deployment of Renewable Energies and Heat Recovery Technologies is still too little advanced in this sector.

Thus, ADEME decided to carry out a study, produced by ENEA Consulting, in order to inform industrial companies about the possibilities offered by these technologies. After mapping available technologies that could be used to meet different needs, the study focused on describing their strengths and weaknesses against predefined criteria. The objective of the study was to identify the obstacles to be overcome and the levers to be activated to facilitate their development, while at the same time supporting the lessons learned through feedback from real-life experiences.

Thus, when reading the report, readers will be able to see that there are many relatively mature technologies available to produce and consume energy on an industrial site, whether heat or electricity. With the help of support mechanisms ("CEE", "Fonds Chaleur", CRE Calls for Proposals or other fiscal mechanisms), investing in this kind of technology can prove to be profitable in the long term, since these projects can also reduce CO2 emissions and develop a responsible corporate image.

The reader can also discover that, even if these technologies are not necessarily easy to integrate or operate, all these difficulties (technical, contractual, economic) can be overcome. This was clearly demonstrated by the case studies, especially when combining these technologies with conventional solutions. Indeed, while they appear implicitly in a situation of competition with each other, these technologies must above all be seen as complementary to each other, with the strengths of one counterbalancing each other's weaknesses.

Contexte et objectif de l'étude

Avec 19 % de l'énergie finale consommée (selon les données de 2014), le secteur de l'industrie est le troisième plus gros consommateur d'énergie français, après les transports et le secteur résidentiel.

Depuis les années 80, dans un contexte marqué par l'accroissement de la volatilité des coûts des énergies et par une attention grandissante portée au problème du réchauffement climatique, l'industrie s'est progressivement mobilisée afin de mieux maîtriser sa compétitivité énergétique et de réduire son empreinte environnementale. A cette fin, dans un contexte réglementaire à la fois incitatif et contraignant, les industriels ont œuvré, et continuent à œuvrer, en agissant sur trois leviers complémentaires :

- **L'amélioration de leur efficacité énergétique :**

Elle permet à un industriel de réduire les besoins en énergie de ses procédés, puis de réduire ses consommations réelles au juste nécessaire, en cherchant à réduire les divers gaspillages. Cela passe en particulier par la mise en œuvre de technologies économes (meilleures techniques disponibles), par un travail sur l'efficacité des méthodes d'exploitation (conduite des installations, ordonnancement, ...), par des actions de sensibilisation et de formation des ressources humaines, par des dispositifs de monitoring de l'usage de l'énergie, et par le déploiement de systèmes de management de l'énergie.

- **La récupération de chaleur fatale :**

Sur un site industriel, certains processus industriels génèrent des pertes de chaleur, alors que d'autres processus consomment de la chaleur. L'intégration thermique consiste à mettre en regard ces sources de chaleur, en particulier les sources de chaleur fatale, avec les différents besoins du site, voire avec les besoins des sites voisins, afin d'en améliorer l'efficacité énergétique. L'investissement dans de telles solutions transforme une perte d'énergie (de chaleur) en un gain énergétique et environnemental. D'une certaine manière, la récupération de chaleur fatale permet d'intégrer un actif de production à empreinte CO₂ nulle.

- **L'intégration d'Énergies Renouvelables (EnR) :**

Il s'agit d'intégrer des actifs de production d'énergie renouvelable en autoconsommation (solaire thermique et/ou photovoltaïque, production de chaleur à partir de biomasse ou de biogaz, géothermie, ...), pour permettre aux industriels de réduire leur empreinte carbone, de diversifier leur mix énergétique et de réduire leur dépendance par rapport aux énergies fossiles, ce qui doit permettre une meilleure maîtrise des budgets liés à l'énergie sur le long terme.

Même si beaucoup a déjà été fait, il n'en reste pas moins vrai que l'industrie française dispose encore d'une marge de progrès significative sur ces trois leviers :

- Le potentiel d'amélioration de l'efficacité énergétique, atteignable d'ici 2035, est évalué à 20 %, par la seule application de bonnes pratiques humaines (comportements, méthode d'exploitation des outils industriels, organisation) et des meilleures techniques disponibles¹.
- De plus, selon une autre estimation de l'ADEME, 109,5 TWh de chaleur fatale supérieure à 30°C sont rejetés chaque année dans le secteur industriel, ce qui correspond à 36 % de la consommation en combustibles de l'industrie. La moitié de ce gisement de chaleur, 52,9 TWh, est composé de rejets à haute température, soit à plus de 100°C.

¹ ADEME, Actualisation du scénario énergétique ADEME 2035-2050, septembre 2017.

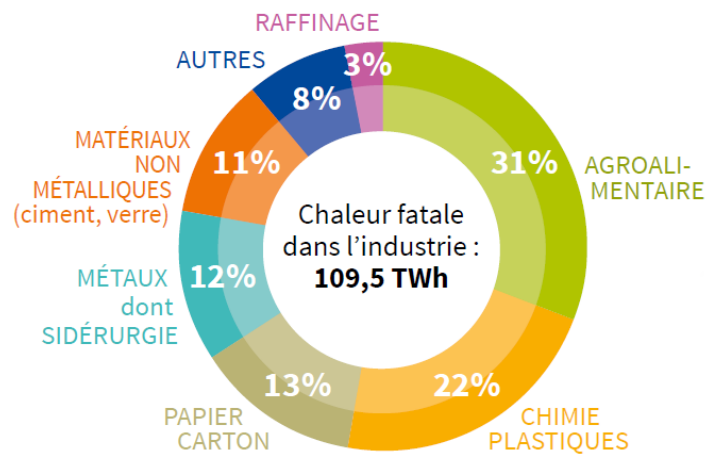


Figure 1 - Gisement de chaleur fatale dans l'industrie ²

- L'empreinte carbone de l'industrie française reste élevée. Elle résulte d'un mix énergétique composé approximativement de 32 % de gaz naturel, 29 % de charbon et de produits pétroliers et 29 % d'électricité, les énergies renouvelables ne pesant que 6 % du total (selon les chiffres clés ADEME 2016).

Consommation énergétique de l'industrie en France en 2014

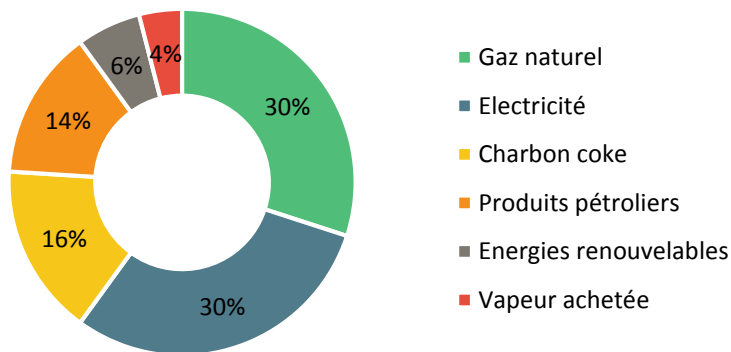


Figure 2 - Répartition de la consommation énergétique dans l'industrie française selon le type de ressource énergétique, 2014³

Dans ce cadre, c'est probablement sur le premier levier, celui de l'efficacité énergétique, que l'industrie est la plus avancée, en particulier parce qu'il a été pris en compte dès le premier choc pétrolier, au milieu des années 70. Entre 1990 et 2014, ce secteur a diminué ses consommations énergétiques de 11 % et ses émissions de gaz à effet de serre de 40 %. Aujourd'hui, une grande majorité des sites disposent d'une revue énergétique et d'un plan de progrès (dans la foulée des audits énergétiques obligatoires), mais il reste encore beaucoup à faire au niveau de l'implémentation des recommandations, l'investissement sur ce type de projet étant rarement une priorité⁴.

C'est en tout cas le levier à activer en priorité : l'énergie non dépensée ne coûte rien et ne pollue pas.

En revanche, même s'il existe quelques belles réussites ou des secteurs plus spécifiquement attractifs, **le déploiement des énergies renouvelables et des technologies de récupération est encore trop peu avancé dans**

² ADEME, «La chaleur fatale, édition 2017»

³ IEA-RETD, «Fostering renewable energy integration in the industry» IEA RE Technology Deployment Collaboration Programme (IEA RETD TCP), Utrecht, 2017.

⁴ Etude ENEA Consulting pour le compte de l'ADEME, Axens, GRDF et GRTgaz « Financement de projets industriels productifs sobres énergétiquement », novembre 2016.

l'industrie. Il existe de nombreux freins à surmonter : des coûts d'investissement importants, la concurrence actuelle avec les combustibles fossiles et l'électricité bon marché, la crainte des risques opérationnels associés à ces technologies innovantes, le manque de connaissances techniques ou de capacités opérationnelles, etc.

Néanmoins, de nombreuses expériences positives peuvent être observées, et peuvent être considérées comme des exemples à suivre. Aussi, **cette étude vise à apporter aux industriels un éclairage sur les possibilités offertes à court terme par les technologies de récupération et les EnR**, en se focalisant sur 12 grands secteurs industriels et 10 technologies élémentaires (4 technologies de récupération et 6 EnR) en autoconsommation.

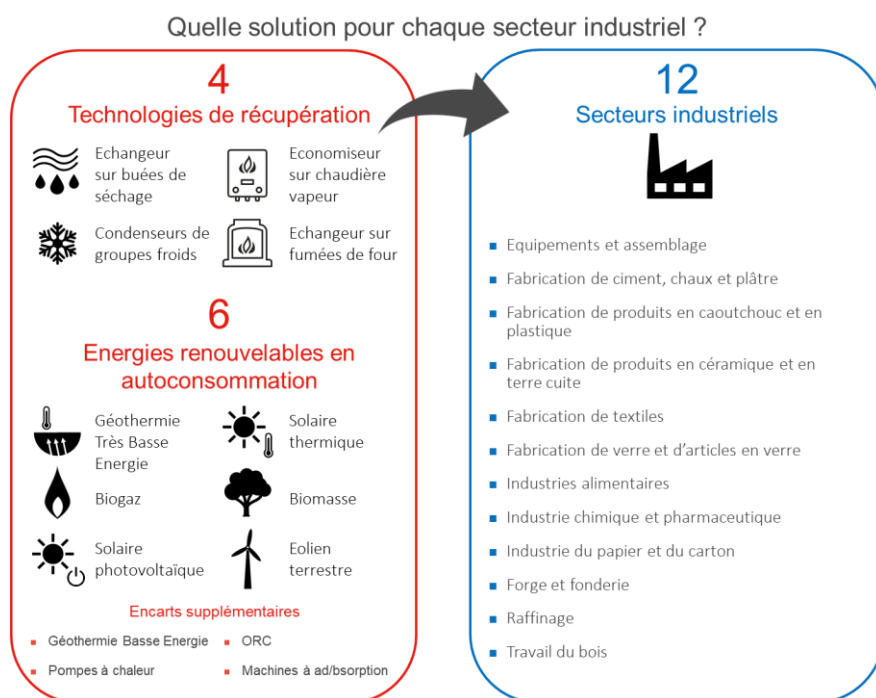


Figure 3 – Périmètre de l'étude

Remarque : 12 secteurs industriels à forte intensité énergétique ont été pris en compte. Par ailleurs, les 4 technologies de récupération de chaleur qui ont été étudiées représentent 87 % du gisement potentiel de chaleur fatale dans l'industrie. Enfin, les EnR étudiées sont des technologies matures et applicables a priori par le plus grand nombre. C'est le cas notamment de la Géothermie Très Basse Énergie⁵, qui est disponible sur 90 % du territoire. Certains compléments d'information ont été apportés concernant quelques technologies additionnelles (ORC, pompes à chaleur, Machine à ad/absorption) ainsi que sur la filière géothermie Basse énergie (présentant un potentiel géologique limité)⁵, sans qu'elles aient fait l'objet d'une analyse exhaustive.

L'étude analyse **les freins et leviers actuels** pour faciliter le développement des EnR&R dans l'industrie française. Elle ne prend pas en compte les mutations plus profondes qui pourraient advenir à un horizon plus prospectif ou à des conditions de développement à l'étranger (notamment le rôle de l'hydrogène⁶).

⁵ Pour la géothermie, il existe 4 types de gisements :

- Géothermie très basse énergie (TBE) : entre 10 et 200m, T°<30°C.
- Géothermie basse énergie (BE) : de 200 à 600m, 30°C<T°<90°C (région parisienne, bassin aquitain et Grand Est).
- Géothermie moyenne énergie (ME) : de 600m à 2000m, 90°C<T°<150°C (région parisienne, bassin aquitain et Grand Est).
- Géothermie haute énergie (HE), en zones d'anomalie thermiques : T°>150°C.

⁶ Le lecteur pourra se reporter à l'étude de l'AIE : <http://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/renewable-energy-for-industry.html>.

Cette étude repose sur **trois piliers complémentaires** :

- Une cartographie des technologies de récupération et des énergies renouvelables (EnR&R) adaptées aux besoins des industriels, susceptibles d'être utilisées en autoconsommation par l'industrie pour répondre à ses différents besoins. Cette cartographie est basée sur une analyse fine d'un grand nombre de procédés élémentaires, de leurs besoins énergétiques, et de l'applicabilité des technologies EnR&R pour fournir ces mêmes besoins.
- Une description de ces technologies EnR&R en identifiant leurs forces et faiblesses au regard de critères prédéfinis : coûts des énergies produites (LCOE & LCOH)⁷, niveau de maturité et de diffusion, facilité d'intégration sur site, contraintes d'opération et de maintenance, empreinte carbone. L'objectif est de caractériser ces technologies afin d'identifier les avantages qu'elles apportent, mais aussi les freins et les difficultés à surmonter pour les déployer.
- Une illustration au moyen de retours d'expériences issus de cas réels. Même si de nombreux cas ont été identifiés et caractérisés, 10 cas, le plus représentatifs possibles, ont été étudiés en profondeur, grâce à des interviews avec les industriels concernés. Ils ont permis d'étayer et d'illustrer les forces et les faiblesses des différentes technologies EnR&R.

L'ORÉAL		Géothermie, récupération sur fumées chaudières, compresseurs et groupes frigorifiques
MAISON Cavet <i>Appareils</i>		Solaire thermique, récupération sur groupes frigorifiques
TORAY Toray Carbon Fibers Europe		Récupération sur incinérateur, groupe frigorifique à absorption
Ker Noé		Biogaz en cogénération, ORC sur fumées de moteur
 <i>Palm</i>		Biogaz, récupération sur buées séchage
Osiris GIE Roussillon		Biomasse, CSR, récupération sur incinérateur
TRYBA		Solaire PV en autoconsommation
 Siat Braun		Biomasse (coproduits)
 EVERBAL		Biomasse (plaquettes forestières)
 Tereos		Biogaz

Figure 4 – 10 études de cas dans l'industrie

⁷ LCOE : Levelized Cost of Electricity ou coût actualisé de l'électricité, LCOH : Levelized Cost of Heat ou coût actualisé de la chaleur.

Etat des lieux : un panel de technologies matures et adaptées aux besoins des industries

Tout d'abord, à côté des solutions conventionnelles (énergies fossiles et électricité du réseau) **il existe de nombreuses technologies EnR&R, relativement matures, permettant de produire et d'auto-consommer de l'énergie sur un site industriel, que ce soit de la chaleur (à des niveaux de température compatibles avec la plupart des usages) ou de l'électricité.** Et, en vis-à-vis de chaque besoin unitaire, il existe même plusieurs solutions alternatives.

Dans une première approche, ces technologies peuvent être classées en trois catégories complémentaires :

- Des technologies fournissant de la **chaleur dite basse température** (< 150°C), telles que la géothermie TBE (Très Basse Energie), la récupération sur buées de séchage ou le solaire thermique, qui sont adaptées à des usages comme la production d'eau chaude sanitaire, le chauffage de locaux, ou des procédés industriels à basse température, comme la pasteurisation dans l'agroalimentaire.

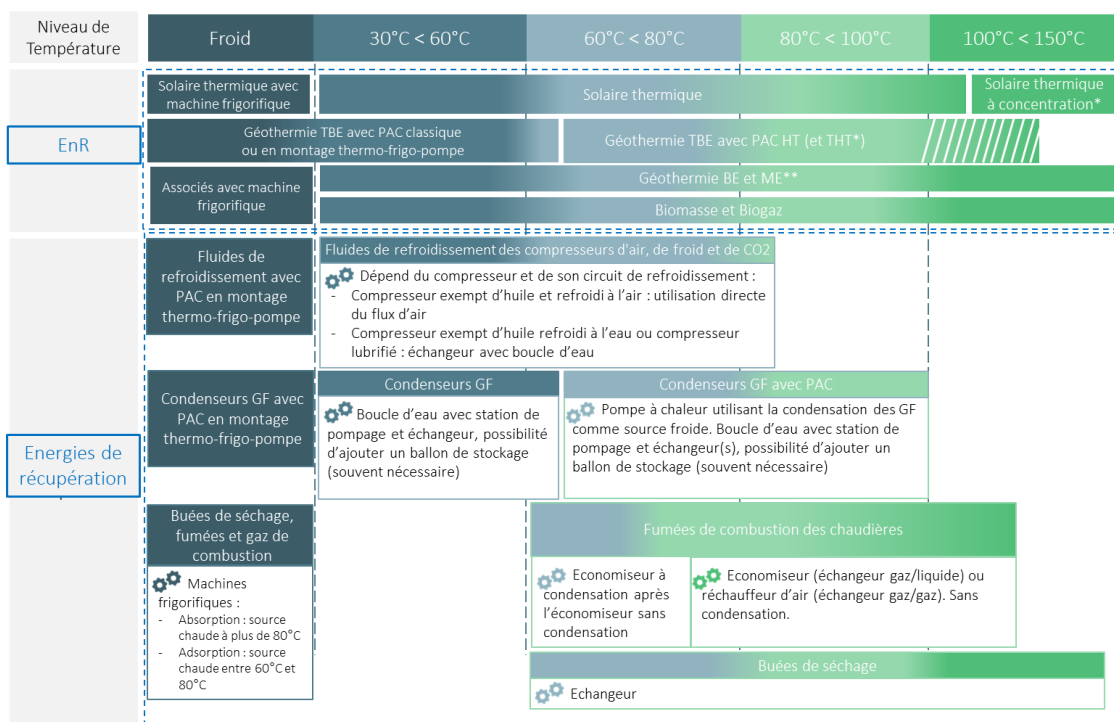


Figure 5 - Zoom sur les basses températures de la cartographie EnR&R

Pour rappel, le solaire thermique à concentration*, la géothermie avec PAC Très Haute Température* (partie hachurée), ainsi que la géothermie Basse et Moyenne Energie** sont présentées dans la cartographie mais ne sont pas approfondies dans cette étude.

- Des technologies fournissant de la **chaleur dite haute température** (> 150°C), comme la biomasse, le biogaz ou la récupération sur fumées de certains fours, qui permettent de répondre à des besoins très nombreux, en particulier ceux que l'on peut trouver dans les secteurs de la métallurgie, du verre ou de la chimie.

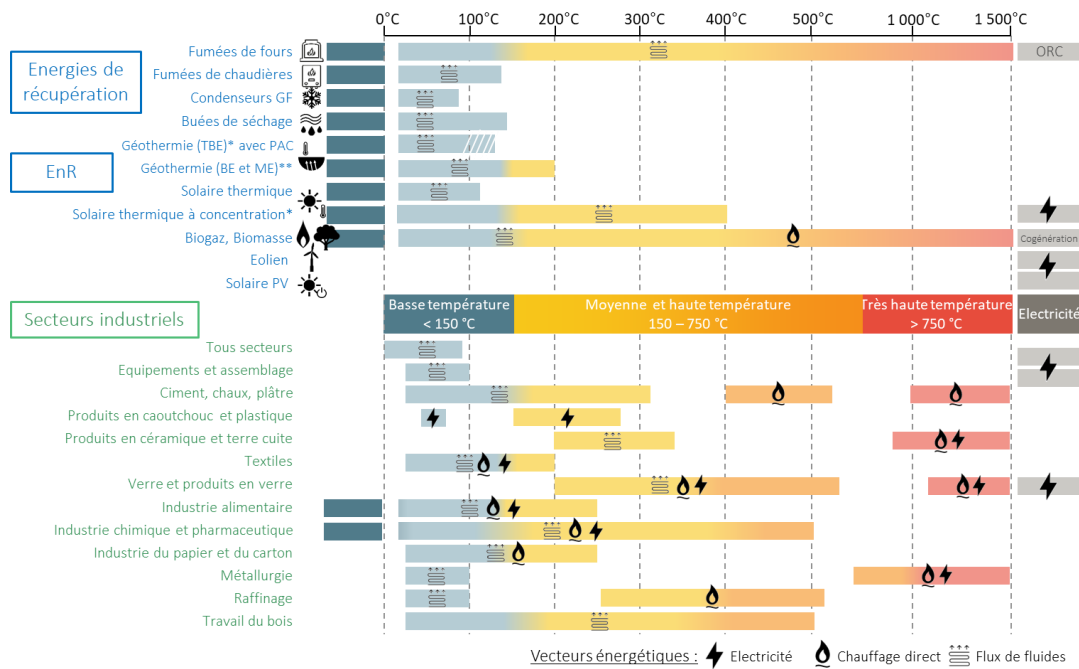


Figure 6 - Cartographie des EnR&R et des secteurs industriels en fonction de leurs niveaux de température et vecteurs énergétiques

- Des technologies permettant de produire de **l'électricité**, utile pour tous les procédés étudiés. Ceux-ci peuvent être couverts par exemple avec du solaire photovoltaïque, de l'énergie éolienne ou une unité de cogénération de biomasse ou de biogaz.

L'étude, et notamment l'enquête réalisée auprès des industriels eux-mêmes, a montré que **ces technologies sont déjà déployées sur le terrain, souvent avec succès**, malgré les difficultés rencontrées (dans un contexte d'autoconsommation, **les technologies permettant de produire de la chaleur sont plus déployées que leurs homologues électriques**).

Le niveau de déploiement de ces technologies est assez inégal, notamment du fait du niveau historique de leur compétitivité respective face aux énergies conventionnelles, et cela, malgré la visibilité sur les coûts de production qu'apporte une solution EnR&R (indépendants de la fluctuation du prix des énergies fossiles).

Certaines technologies de récupération (condensation de groupe froid, fumées de chaudières vapeur, par exemple) **ont pu bénéficier globalement d'une bonne dynamique sous l'impulsion d'un écosystème favorable**. En effet, ces sujets ont été soutenus par les politiques publiques, notamment grâce au dispositif des CEE, et de nombreux acteurs économiques les ont pris en compte dans leur offre commerciale, notamment les fournisseurs de technologies. Ils ont aussi été traités largement dans le cadre des audits réglementaires. D'autres technologies de récupération ou EnR, en revanche, n'ont connu un développement significatif que dans un nombre limité de secteurs industriels (la biomasse dans l'industrie du papier par exemple).

Enjeux liés à l'intégration des technologies EnR&R : empreinte carbone, compétitivité, conditions d'intégration et d'exploitation

Les industriels interrogés évoquent une première famille d'enjeux : la réduction des émissions de CO₂, le développement d'une image d'entreprise responsable, ce qui peut conférer un avantage marketing, le tout en cohérence avec leurs engagements environnementaux et sociétaux.

Dans ce cadre, **l'impact environnemental du déploiement des technologies EnR&R de production de chaleur** (en particulier les solutions de récupération de chaleur, considérées comme une source d'énergie à contenu CO₂ nul) **est plus important que celui de leurs homologues électriques**, le tout en raison du mix énergétique du système de production d'électricité français, basé en grande partie sur l'énergie nucléaire, particulièrement décarbonée. Ainsi, les industriels qui cherchent à réduire concrètement leur empreinte carbone commencent souvent par s'attaquer aux enjeux thermiques, avant de s'adresser aux enjeux électriques.

Toutefois, même si les industriels interrogés évoquent des enjeux environnementaux et d'image de marque, ils s'accordent à dire que **les enjeux de compétitivité sont du premier ordre** : autrement dit, le déploiement de technologies EnR&R se fait uniquement s'il contribue à leur compétitivité.

Les EnR&R sur la voie de la compétitivité

Dans ce cadre, plusieurs points ont pu être identifiés :

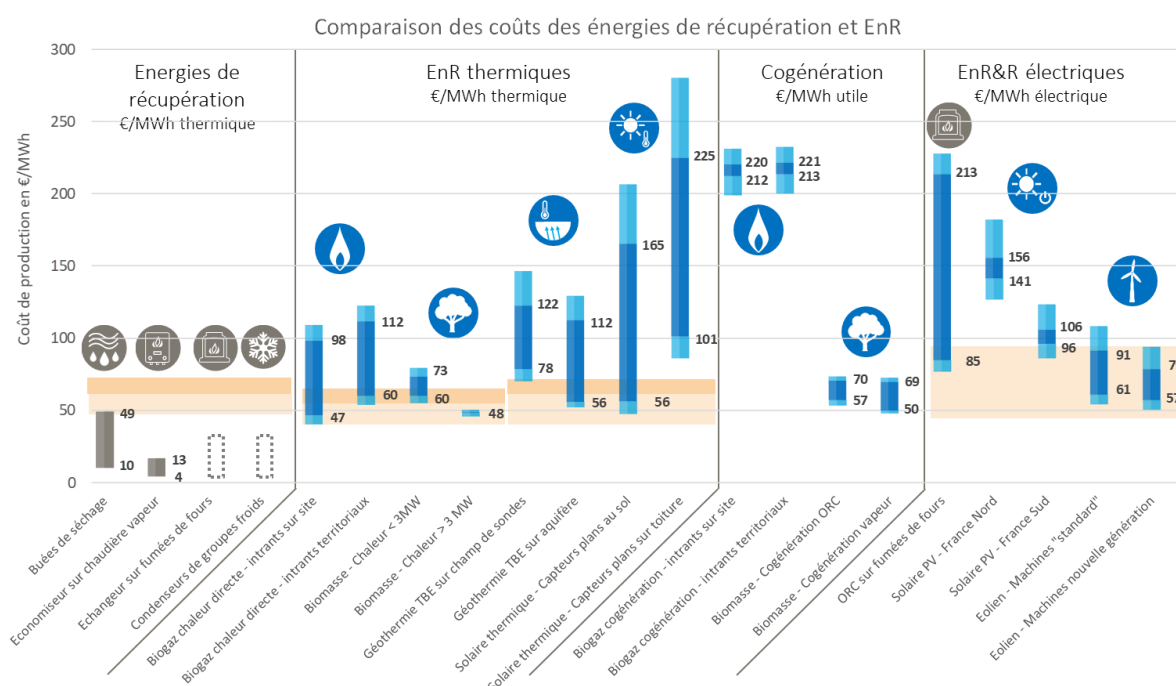
- **Les technologies de récupération étudiées dans cette étude** (valorisation pour 4 types de rejets, qui constituent le plus gros potentiel à l'échelle nationale) **sont intrinsèquement les plus compétitives** car elles permettent un double bénéfice en étant à la fois des actifs de production considérés « renouvelables », à contenu CO₂ nul, et un moyen d'améliorer l'efficacité énergétique du site.

En effet, elles permettent non seulement de valoriser la chaleur fatale, mais aussi d'éliminer les procédés énergivores (parfois) nécessaires pour évacuer dans l'environnement cette chaleur jusqu'ici inutilisée, et qui représentent un coût (ce qui est le cas par exemple avec l'installation de tours aéro-réfrigérantes). Par ailleurs, ces technologies sont soutenues par les mécanismes de soutien existants, en particulier des Certificats d'Economie d'Energie et le Fonds Chaleur, qui rendent ces investissements compétitifs. Au-delà de l'incitation financière, ces dispositifs facilitent aussi le passage à l'action, face au risque pris par l'industriel (par les différents acteurs, le cas échéant).

- Pour les énergies renouvelables, les conclusions sont plus nuancées, comme le montrent les résultats de l'analyse des coûts de production de cette étude : **hors subventions, dans les conditions de marché actuelles, avec un prix du gaz très faible, et en dehors de quelques cas particuliers, elles sont globalement moins compétitives que les solutions traditionnelles de référence (électricité et gaz du réseau).**

On peut noter que ces énergies conventionnelles sont souvent accessibles à plus faible coût pour les gros consommateurs, bénéficiant de meilleurs contrats d'approvisionnement. Dans ce cadre les politiques publiques, et les mécanismes de soutien qui y sont associés, jouent un grand rôle. Sous l'impulsion **de subventions, de nombreuses technologies apportent de la compétitivité aux industriels.**

Par ailleurs, une tendance à la baisse des coûts de production est nettement observée sur les dernières années⁸ avec notamment des filières comme **le bois énergie et le solaire photovoltaïque en autoconsommation⁹ qui s'approchent du niveau de coût des filières conventionnelles de référence.**



Dernières données disponibles en 2017

Figure 7 – Comparaison des coûts de production des énergies renouvelables et de récupération dans l'industrie en France, hors subvention

Remarque :

- Il s'agit des coûts complets d'un actif de production d'énergie renouvelable ou de récupération d'énergie fatale, incluant les coûts d'installation, d'opération, de maintenance et d'approvisionnement en combustible. Ils sont élaborés à partir de retours d'expérience de projets réalisés (sources : ADEME, Industriels, Experts, ...). Ils sont donc représentatifs d'un passé, certes relativement récent, mais pas d'une situation à date, encore moins d'une vision prospective. Les coûts totaux de production présentés ci-dessus ont pour but de donner un élément d'information valable pour tous les industriels. Par conséquent, ce sont des coûts moyens qui ne prennent pas en compte les coûts d'adaptation exceptionnels à la production industrielle (écart-type plus larges en réalité, surtout pour la récupération de chaleur fatale). La partie plus foncée des plages de variation présente les coûts de production pour les taux d'actualisation les plus probables. Les parties plus claires présentent les coûts pour lesquels les conditions de financement sont les plus et les moins favorables.
- Pour la chaleur, la bande orangée claire correspond, à titre d'illustration, au coût de production d'une filière conventionnelle de référence. La bande orangée foncée permet de prendre en compte l'impact de la CCE (Contribution Climat Energie)¹⁰ fixée par la loi de transition énergétique à 86,2 €/tCO₂ en 2022. Pour l'électricité, la bande orangée claire présente les coûts complets d'achat d'électricité, intégrant le coût de la fourniture, du transport et de la fiscalité.

⁸ Etude ADEME « Coûts des énergies renouvelables en France », 2016

⁹ L'autoconsommation PV est dès aujourd'hui rentable sur grande toiture avec les nouveaux dispositifs de soutien : Avis de l'ADEME « L'Autoconsommation d'origine photovoltaïque », 2018

¹⁰ La loi de transition énergétique fixe le tarif de la CCE à 100 €/tCO₂ en 2030, avec une trajectoire redéfinie dans la loi de finances pour 2018 : 44,6 € en 2018, 65,4 en 2020, 86,2 en 2022. Le surcoût induit sur le MWh entre 2017 et 2022 est de 13,9€/MWh.

Par ailleurs, investir dans un actif énergétique est un choix de long terme, avec un amortissement sur une longue période. Un choix aujourd'hui va avoir des conséquences sur les 5, 10, 15 prochaines années, voire plus. Ainsi, **le choix d'investir dans un ou plusieurs actifs EnR&R aujourd'hui peut être un choix payant sur le long terme, car il permet de diversifier le mix énergétique et de diminuer la dépendance vis-à-vis des énergies traditionnelles, dont les prix peuvent subir des évolutions particulièrement erratiques.** Par ailleurs, une telle stratégie permet aussi de s'affranchir, du moins en partie, de l'augmentation du prix du CO₂ (évolution à court et moyen terme de la Contribution Climat Energie, et dans une moindre mesure du marché des quotas de CO₂ européen).

Ainsi, avec l'aide des mécanismes de soutien (CEE, Fonds Chaleur, Appels d'Offre CRE ou autres dispositifs fiscaux), et en prenant en compte la baisse prévisible des coûts des technologies, investir sur des EnR&R peut s'avérer rentable sur le long terme dans de très nombreux cas.

Intégrer avec soin les EnR&R dans l'écosystème d'un site industriel

L'intégration des technologies EnR&R doit faire partie d'une réflexion globale sur les besoins et possibilités d'un site. Intégrer sur un site industriel une installation solaire, une éolienne, une chaufferie biomasse, ou une installation de méthanisation, demande de la place et des infrastructures adaptées. De plus, les actifs de récupération de chaleur fatale ne peuvent être installés qu'à l'endroit même où cette chaleur fatale est disponible, ce qui peut être assez éloigné des besoins à fournir.

L'intégration d'actifs EnR&R thermiques, peut également requérir une refonte significative des réseaux de distribution qui y sont associés. Selon la topologie du site concerné, des contraintes d'intégration, de la localisation des besoins, les modifications peuvent ne pas être marginales. Dans un certain nombre de cas, il peut même être nécessaire de déployer de nouveaux **réseaux** (par exemple un réseau supplémentaire d'eau chaude alors qu'existait uniquement un réseau de vapeur) ou d'installer des **capacités de stockage** (en raison du décalage temporel entre le moment où la récupération de la chaleur peut être réalisée et le moment où l'énergie récupérée peut être utilisée, ou en raison de la variabilité de certaines EnR).

De plus, dans un certain nombre de cas, **intégrer des technologies EnR&R peut requérir un changement au sein même du process** (chauffage d'un pasteurisateur avec de l'eau chaude, issue de récupération de chaleur fatale, en remplacement d'une alimentation vapeur).

Ainsi, dans de nombreux cas, intégrer des actifs EnR&R sur un site, va demander une modification du système de distribution de l'énergie, incluant des stocks tampons adaptés, voire des modifications de process. **Mais ce n'est pas insurmontable, et peut même se révéler être une opportunité économique : une bonne stratégie peut consister à profiter des modifications programmées du process et/ou du remplacement des équipements de production d'énergie vétustes pour remettre à plat sa stratégie énergétique et introduire des solutions EnR&R.**

Il faut noter aussi que certains choix technologiques, comme la biomasse par exemple, requièrent une **gestion contractuelle solide** ainsi qu'un **système logistique approprié** (gestion quotidienne des arrivages de biomasse sur site et gestion de l'évacuation des cendres).

Prendre en compte les enjeux de flexibilité

De manière générale, du fait de leur relatif manque de flexibilité, les technologies EnR&R demandent un savoir-faire opérationnel plus spécifique pour un industriel que leurs concurrentes traditionnelles (électricité du réseau, chaleur produite à partir du gaz naturel).

En effet, les technologies de référence ont l'avantage d'être toujours disponibles, réactives et flexibles. Elles s'adaptent facilement aux fluctuations, mêmes rapides, des activités industrielles, et sont donc capables de

fournir des courbes de charges avec beaucoup de réactivité. Ce n'est pas le cas de la majorité des technologies EnR&R.

En effet, les technologies de récupération ne produisent que lorsque les systèmes sur lesquels elles sont greffées fonctionnent. Les technologies solaires et éoliennes, quant à elles, sont typiquement variables, ne produisant électricité et/ou chaleur qu'en présence de soleil et/ou de vent. Il en est de même du processus global de production et de combustion de biogaz ou de biomasse, qui peut être soumis à la disponibilité de ressources locales (effluents liquides ou déchets divers). Dans ce panorama, il faut noter l'atout de la géothermie, qui est une solution disponible 24h/24 et 365 jours/an.

Par ailleurs, la plupart de ces actifs EnR&R offrent un potentiel de flexibilité limité. Une chaudière biomasse a une certaine inertie qui ne lui permet pas de toujours répondre, selon le profil de consommation, à la totalité des besoins du site (elles sont souvent utilisées en base avec une solution d'appoint et sont performantes dans ce cadre). Les technologies solaires, éoliennes et de récupération de chaleur, produisent une quantité d'énergie qui dépend principalement de la disponibilité de leur ressource et de leur dimensionnement intrinsèque. De plus, pour que le biogaz apporte un certain niveau de flexibilité, il faut qu'il soit disponible au moment où le site en a besoin, ce qui peut demander de grands volumes de stockage.

Pour autant, il est possible de surmonter ces difficultés en combinant intelligemment des énergies conventionnelles avec des technologies de récupération de chaleur et des énergies renouvelables, pour fournir les différents usages du site. Par exemple l'association de réseaux de chaleur avec des solutions de stockage adaptés est à envisager pour faire face à la variabilité de production de certains actifs EnR, ou à la production asynchrone des solutions de récupération de chaleur.

Il est possible d'augmenter la part des EnR&R sur de très nombreux sites industriels

L'association de technologies conventionnelles et technologies EnR&R permet de faciliter l'intégration et l'exploitation de ces dernières. Les études de cas ont pu clairement révéler que des solutions pouvaient être trouvées pour limiter les difficultés rencontrées (techniques, contractuelles, économiques)

En effet, alors que toutes ces technologies apparaissent implicitement dans une situation de concurrence les unes par rapport aux autres, chacune se situant plus ou moins favorablement dans le « **Merit Order** » économique et opérationnel, **ces technologies doivent surtout être considérées comme complémentaires les unes des autres, tout comme elles peuvent être complémentaires avec les sources conventionnelles** (électricité et gaz du réseau en particulier).

A l'échelle d'une entreprise, avec comme volonté d'augmenter le taux de pénétration des technologies EnR&R dans son mix énergétique, **tout le challenge réside dans la construction d'un système énergétique dans lequel les actifs se complètent pour que les forces des uns contrebalancent les faiblesses des autres** (chaque technologie amène son lot de bénéfices et d'inconvénients, qui nécessitent d'être évalués et pris en compte, au cas par cas, sur chaque site industriel), pour permettre le déploiement de solutions énergétiques efficaces d'un point de vue opérationnel et économique. Et à chaque site industriel correspond une solution spécifique ...

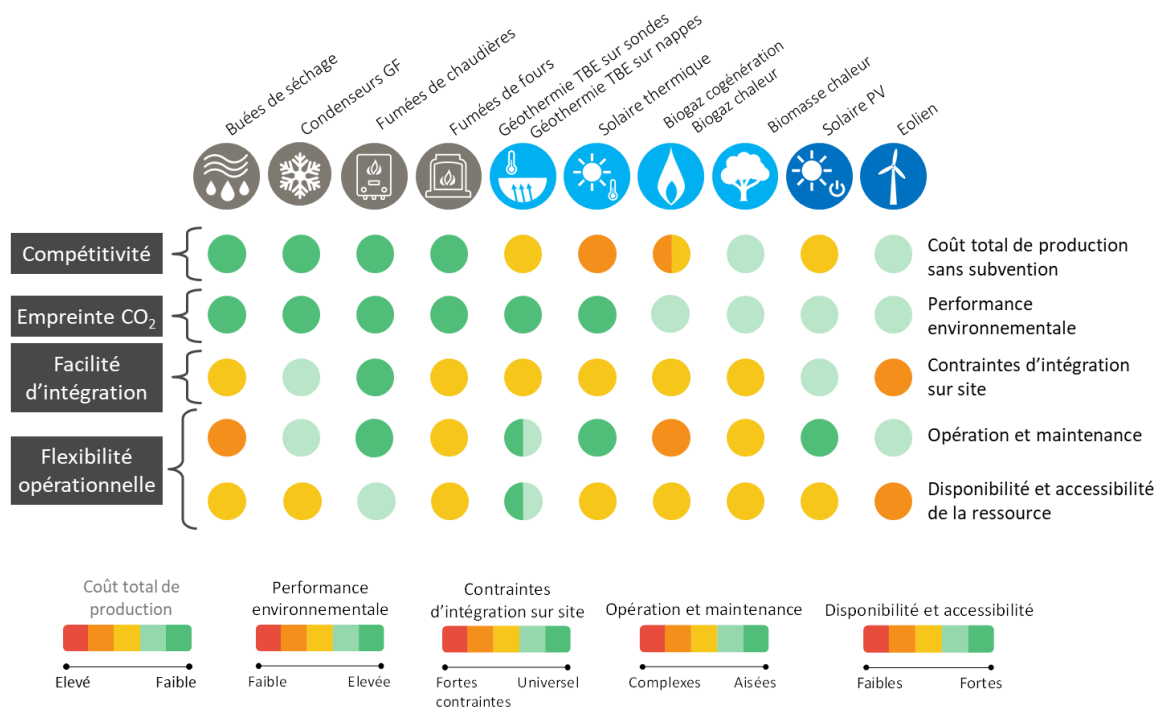


Figure 8 - Quatre facteurs clés ressortent de l'étude des forces et faiblesses des EnR&R

Remarque : l'indicateur « disponibilité et accessibilité de la ressource » doit être pris de manière relative par rapport aux énergies conventionnelles de référence (gaz et électricité du réseau).


L'étude a permis de montrer que chaque procédé industriel peut être alimenté par au moins une technologie EnR&R et que chaque cas est à étudier afin de déterminer les technologies qui seront les mieux adaptées aux besoins de l'industriel. Et, même s'il est difficile de se passer de la flexibilité des solutions conventionnelles (électricité et gaz du réseau), certains sites en Europe et dans le monde ont atteint des objectifs très ambitieux, celui de couvrir l'intégralité de leurs besoins au moyen de technologies EnR&R¹¹. De tels projets sont assez complexes à mettre en œuvre, mais ils peuvent apporter des niveaux de performance élevés, tant d'un point de vue économique qu'environnemental.

Pour faciliter l'intégration des EnR&R, les industriels devront pouvoir compter sur la contribution de tout l'écosystème : les fournisseurs de technologies, les opérateurs de service, les acteurs du financement au travers de modèles économiques innovants, afin de partager les risques et de lever les difficultés évoquées.

Vous avez un projet ?

Consulter la brochure « Industriels, investissez dans la performance énergétique » : <http://www.ademe.fr/industriels-investissez-performance-energetique>

Et contacter votre direction régionale de l'ADEME : www.ademe.fr/regions



¹¹ L'étude de l'Agence Internationale de l'Energie sur l'intégration des EnR en industrie (« Fostering renewable energy integration in the industry », 2017) a montré que certains sites industriels atteignaient un approvisionnement 100% EnR, comme par exemple EnFa à Neuenstadt en Allemagne (installation PV couplée à des batteries, à des PAC et à une cogénération biogaz).

L'ADEME EN BREF

L'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie (ADEME) participe à la mise en œuvre des politiques publiques dans les domaines de l'environnement, de l'énergie et du développement durable. Elle met ses capacités d'expertise et de conseil à disposition des entreprises, des collectivités locales, des pouvoirs publics et du grand public, afin de leur permettre de progresser dans leur démarche environnementale. L'Agence aide en outre au financement de projets, de la recherche à la mise en œuvre et ce, dans les domaines suivants : la gestion des déchets, la préservation des sols, l'efficacité énergétique et les énergies renouvelables, les économies de matières premières, la qualité de l'air, la lutte contre le bruit, la transition vers l'économie circulaire et la lutte contre le gaspillage alimentaire.

L'ADEME est un établissement public sous la tutelle conjointe du ministère de la Transition Écologique et Solidaire et du ministère de l'Enseignement Supérieur, de la Recherche et de l'Innovation.

LES COLLECTIONS DE L'ADEME



ILS L'ONT FAIT

L'ADEME catalyseur : Les acteurs témoignent de leurs expériences et partagent leur savoir-faire.



EXPERTISES

L'ADEME expert : Elle rend compte des résultats de recherches, études et réalisations collectives menées sous son regard.



FAITS ET CHIFFRES

L'ADEME référent : Elle fournit des analyses objectives à partir d'indicateurs chiffrés régulièrement mis à jour.



CLÉS POUR AGIR

L'ADEME facilitateur : Elle élabore des guides pratiques pour aider les acteurs à mettre en œuvre leurs projets de façon méthodique et/ou en conformité avec la réglementation.



HORIZONS

L'ADEME tournée vers l'avenir : Elle propose une vision prospective et réaliste des enjeux de la transition énergétique et écologique, pour un futur désirable à construire ensemble.



INTEGRATION DES ENERGIES RENOUVELABLES ET DE RECUPERATION DANS L'INDUSTRIE

A chaque secteur ses solutions

De nombreuses technologies d'Énergies Renouvelables et de Récupération (EnR&R), relativement matures existent, permettant de produire et d'auto-consommer de l'énergie sur un site industriel, que ce soit de la chaleur ou de l'électricité. Avec l'aide des mécanismes de soutien (CEE, Fonds Chaleur, Appels d'Offre CRE ou autres dispositifs fiscaux), investir sur des EnR&R peut s'avérer rentable sur le long terme dans de très nombreux cas, ces projets permettant par ailleurs de réduire les émissions de CO₂ et de développer une image d'entreprise responsable.

Même si les technologies EnR&R ne sont pas forcément faciles à intégrer, ou à exploiter, l'ensemble de ces difficultés (techniques, contractuelles, économiques) peuvent être surmontées. C'est ce que les études de cas ont pu clairement révéler, surtout quand on associe les technologies EnR&R avec les solutions conventionnelles. En effet, alors qu'elles apparaissent implicitement dans une situation de concurrence les unes par rapport aux autres, ces technologies doivent surtout être considérées comme complémentaires les unes des autres, les forces des unes contrebalançant les faiblesses des autres.

Cette étude présente l'ensemble des possibilités offertes aux industriels par les technologies d'énergies renouvelables et de récupération (EnR&R).

En fonction des besoins unitaires détaillés par secteur industriel, et notamment identifiés en termes de niveau de température et de flexibilité, plusieurs solutions sont parfois possibles.

