

# Le comptage de l'énergie

Tout le catalogue sur  
[www.dunod.com](http://www.dunod.com)



ADEME

# Le comptage de l'énergie

Amélioration de la performance  
énergétique dans l'industrie



DUNOD

Photographie de couverture :  
© federicofoto-istockphoto.com

Le pictogramme qui figure ci-contre mérite une explication. Son objet est d'alerter le lecteur sur la menace que représente pour l'avenir de l'écrit, particulièrement dans le domaine de l'édition technique et universitaire, le développement massif du photocopillage.

Le Code de la propriété intellectuelle du 1<sup>er</sup> juillet 1992 interdit en effet expressément la photocopie à usage collectif sans autorisation des ayants droit. Or, cette pratique s'est généralisée dans les établissements

d'enseignement supérieur, provoquant une baisse brutale des achats de livres et de revues, au point que la possibilité même pour

les auteurs de créer des œuvres nouvelles et de les faire éditer correctement est aujourd'hui menacée.

Nous rappelons donc que toute reproduction, partielle ou totale, de la présente publication est interdite sans autorisation de l'auteur, de son éditeur ou du

Centre français d'exploitation du droit de copie (CFC, 20, rue des Grands-Augustins, 75006 Paris).



© Dunod, 2014

5 rue Laromiguière, 75005 Paris

[www.dunod.com](http://www.dunod.com)

ISBN 978-2-10-058237-2

Le Code de la propriété intellectuelle n'autorisant, aux termes de l'article L. 122-5, 2<sup>o</sup> et 3<sup>o</sup> a), d'une part, que les « copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective » et, d'autre part, que les analyses et les courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration, « toute représentation ou reproduction intégrale ou partielle faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause est illicite » (art. L. 122-4).

Cette représentation ou reproduction, par quelque procédé que ce soit, constituerait donc une contrefaçon sanctionnée par les articles L. 335-2 et suivants du Code de la propriété intellectuelle.

# Remerciements

L'ADEME remercie toutes les personnes qui ont contribué à l'élaboration de cet ouvrage.

## Coordination technique et rédaction

Frédéric Streiff – ADEME

## Rédaction

Christiane Chabanel – D'idées en créations

## Appui à la rédaction et à la relecture

Cyrielle Borde – ADEME (chapitre 3 de la partie A)

Sylvain Bordebeure – ADEME (chapitre 6 de la partie D)

Marina Boucher – ADEME (chapitre 6 de la partie D)

Hélène Bouillon-Duparc

Romain Casaliggi – CETIAT

Guillaume Daill – ADEME (chapitre 3 de la partie A et chapitre 3 de la partie D)

Sandrine Lacombe – ADEME

Claire Raffray – ADEME

Hélène Rivière – ADEME (chapitre 5 de la partie D)

## Comité de relecture

Abdessalim Arras – EDF (chapitre 4 de la partie D)

Arnaud Aubigny – CTP

Bénédicte Ballot-Miguet – EDF (chapitre 5 de la partie D)

Marc Berthou – EDF

Xavier Blaison – FCBA

Bernard Blanchet – Spirax Sarco (Partie C et chapitre 3 de la partie D)

Pierre Claudel – Collège Français de Métrologie et CETIAT (chapitre 1 de la partie C)

Pascal Dumoulin – AC Energie (chapitre 4 de la partie D)

Alain Gevaudan – CETIAT

Jacques Guilpart – MF Conseil (chapitre 5 de la partie D)

Laurent Lantoine – GDF SUEZ CRIGEN (partie B)

Pascal Lebois – GRTgaz (en particulier le chapitre 3 de la partie D)

François Lucas – Tecaliman

Bruno Millet – CEREN (chiffres sur l'industrie)

Patrick Mure – GDF-SUEZ CRIGEN (parties C et D)

Jean-Marc Piatek – CTIF

Dominique Portail – IUT de Rouen – Département Génie Thermique et Énergie

François Racape – EDF (chapitre 3 de la partie D)

Robert Rivas – DGCIS, bureau de la métrologie (chapitre 1 de la partie C)

Experts du GIMELEC (chapitre 7 de la partie D)

# Préface

Socle de la transition énergétique, le défi de l'efficacité énergétique reste plus que jamais d'actualité, notamment pour l'industrie :

- les hausses tendanciennes du coût de l'énergie et la concurrence internationale exacerbent la nécessité d'améliorer la performance énergétique de nos entreprises industrielles pour gagner en compétitivité. Quelles que soient leur taille et leur maturité énergétique, les entreprises sont concernées par les économies d'énergie. L'ADEME travaille en étroite collaboration avec des industries, des fédérations et syndicats professionnels, des centres techniques et constate quotidiennement que l'énergie constitue un sujet à part entière et que des axes de progrès existent encore. Dans ses travaux sur les visions énergétiques à l'horizon 2030, l'ADEME confirme ainsi que des gains de 20 % en efficacité énergétique restent possibles dans l'industrie ;
- l'article 8 de la Directive européenne impose aux grandes entreprises de réaliser un audit énergétique avant le 5 décembre 2015. Les audits suivants doivent être réalisés tous les 4 ans ;
- la récente norme internationale NF EN ISO 50 001 sur le management de l'énergie est appelée à se développer et devenir un standard pour les entreprises au même titre que la norme ISO 9 001 sur le management de la qualité.

Avec plus de 20 % de la consommation énergétique de notre pays, l'industrie continue d'être un acteur important de la transition énergétique. Certes, nous observons une industrie française en pleine mutation mais nous constatons aussi qu'elle se mobilise et innove pour construire son futur, dont celui que l'ADEME soutient : sobriété, efficacité, et énergies renouvelables.

Cependant, si les entreprises n'ont pas une vision claire de leurs consommations énergétiques, alors il leur est impossible de mener une véritable politique de maîtrise énergétique. Il n'est en effet pas envisageable de mener des actions d'économies d'énergie sans mesure et connaissance des consommations et de leurs usages.

Dans ce contexte, il a semblé indispensable à l'ADEME de créer un outil privilégié sur le comptage de l'énergie à destination de l'industrie. Le sujet se veut riche car il doit notamment intégrer les trois aspects suivants :

- la prise en compte des spécificités du secteur industriel : de par les différents procédés, les produits fabriqués en type et en nombre, les énergies consommées, les réglementations, mais aussi les marchés, chaque entreprise est unique ;
- le besoin de connaître différents domaines techniques et scientifiques comme ceux de la métrologie et des capteurs ;
- la nécessité d'aller au-delà d'un document purement technologique afin de mobiliser tous les acteurs de l'entreprise. Ce guide ambitionne ainsi de justifier et faire accepter la mise en place de plans de comptage qui demandent de la méthodologie et une implication soutenue pour rester pérennes et aboutir à des actions d'économies d'énergie efficaces.

L'ADEME a choisi d'aborder tous les thèmes de manière pragmatique mais précise pour en faire un guide abordable pour toutes les entreprises. Il ne se veut pas pour autant exhaustif sur chaque point, y compris celui de la performance énergétique dans l'industrie où un ouvrage seul

ne suffirait pas. De nombreuses références indiquées au fur et à mesure du guide permettent au lecteur de trouver facilement de l'information complémentaire.

De plus, pour envisager une démarche de comptage de l'énergie au sein de l'entreprise, rien de tel que de s'enrichir des expériences vécues, avec souvent les mêmes questions de départ : est-ce possible ? Est-ce rentable ? Est-ce obligatoire ? Comment faire ?

Les retours d'expériences qui constituent une part importante de l'ouvrage permettent de recueillir les résultats obtenus, les recommandations et les leçons à en tirer ; ainsi les exemples exposés montrent des gains de consommations compris entre 15 et 25 %.

L'ADEME souhaite que le plus grand nombre d'entreprises puissent se lancer, chacune à leur mesure, dans une stratégie de comptage de l'énergie pour bâtir leur propre politique énergétique. Gagner en compétitivité tout en préservant l'environnement : une double ambition, forcément stimulante.

Rémi Chabrillat  
Directeur Productions et Énergies Durables  
ADEME



# Structure et utilisation du guide

Ce guide est construit en 4 volets :

1. Premier volet (partie A) : **Présentation** sur l'énergie dans l'industrie et motivations du comptage de l'énergie en entreprise.
2. Deuxième volet (partie B) : **Méthodologie** du plan de comptage de l'énergie.
3. Troisième volet (parties C et D) : **Aspects techniques** :
  - métrologie et technologies des capteurs ;
  - application sur les différents vecteurs énergétiques.
4. Quatrième volet (partie E) : **Retours d'expérience** à l'appui de fiches exemples en entreprise.

Pour que le lecteur puisse trouver l'information recherchée le plus rapidement possible nous avons construit chaque partie de l'ouvrage de façon la plus autonome possible. De ce fait, certains points peuvent être répétés dans plusieurs parties. Des renvois entre parties du guide sont indiqués à chaque fois qu'un complément d'information est susceptible d'intéresser le lecteur.

De plus, nous avons prévu des indications « En savoir plus » avec les références conseillées pour des besoins plus pointus.

## Écriture et vocabulaire

Nous avons pris le parti de simplifier l'écriture et le vocabulaire pour en faciliter la lecture et rendre ce guide abordable à un plus grand nombre. Par exemple, bien que nous ayons expliqué la différence entre mesure et mesurage dans la partie consacrée aux notions de métrologie, nous utilisons plus généralement le terme de « mesure ».

De même, nous avons opté pour le terme « plan de comptage » plutôt que « plan de mesurage ». Nous parlons également de « capteur » au lieu de « transducteur », car c'est le terme le plus couramment utilisé en entreprise.

Nous considérons cet ouvrage comme une « porte d'entrée » vers le comptage de l'énergie, préalable à toute démarche d'efficacité énergétique. Selon les besoins et objectifs, l'entreprise activera ou développera ses compétences en interne ou bien prendra appui sur des compétences externes, fournisseurs d'énergie, constructeurs et bureaux d'études spécialisés.



# Table des matières

<b>A. Énergie et industrie : l'importance du comptage</b> .....	13
<b>1</b> La performance énergétique : un atout pour la compétitivité des entreprises.....	15
<b>2</b> La situation de l'énergie dans l'industrie.....	18
<b>3</b> L'efficacité énergétique de plus en plus encadrée.....	29
<b>4</b> L'intérêt du comptage de l'énergie en entreprise.....	42
<b>B. Mettre en place un plan de comptage</b> .....	49
Introduction.....	50
<b>1</b> Étape N° 1 : l'analyse préalable à partir d'un état des lieux.....	53
<b>2</b> Étape N° 2 : la mise en œuvre des mesures.....	65
<b>3</b> Étape N° 3 : la collecte et l'exploitation des données.....	69
<b>4</b> Étape N° 4 : le suivi et l'amélioration en continu du plan de comptage.....	74
<b>C. Savoir mesurer</b> .....	77
<b>1</b> De la mesure au comptage : notions de métrologie.....	78
<b>2</b> Mesurer la température, la pression, le débit.....	87
<b>D. Mesurer les consommations d'énergie</b> .....	105
<b>1</b> Mesure des consommations de gaz naturel.....	107
<b>2</b> Mesure des consommations de fioul.....	111
<b>3</b> Comptage d'énergie pour la vapeur.....	113
<b>4</b> Comptage d'énergie pour l'air comprimé.....	127
<b>5</b> Comptage d'énergie pour le froid.....	137
<b>6</b> Mesure des consommations de combustibles solides.....	152
<b>7</b> Mesure des consommations d'électricité.....	158
<b>E. Retours d'expérience</b> .....	173
<b>1</b> Site parachimique certifié ISO 50 001.....	175
<b>2</b> Site agroalimentaire.....	181
<b>3</b> Site logistique certifié ISO 14 001.....	187
<b>4</b> Site de l'industrie mécanique certifié ISO 50 001.....	193

<b>5</b>	Fonderie certifiée ISO 14 001 .....	200
<b>6</b>	Site du secteur de la plasturgie .....	206
<b>7</b>	Recueil ADEME « Exemples de bonnes pratiques énergétiques en entreprise » .....	212
<b>8</b>	Opération collective ComptIAA : déploiement de plans de comptage de l'énergie dans 20 PME de l'agroalimentaire .....	214
<b>Annexe</b>	.....	217
	Schémas types pour analyser les flux énergétiques.....	218
<b>Index</b>	.....	222

# | A |

# Énergie et industrie : l'importance du comptage

1. **La performance énergétique :  
un atout pour la compétitivité des entreprises** ..... 15
2. **La situation de l'énergie dans l'industrie** ..... 18
  - Positionnement de l'industrie française parmi les différents secteurs consommateurs d'énergie
  - Part de la consommation énergétique dans les différentes branches d'activités industrielles
  - Évolution de la consommation de l'énergie dans l'industrie
  - Les différentes formes d'énergie utilisées dans l'industrie
  - Les différents usages de l'énergie
  - Transformation des énergies et autoproduction
  - Les voies d'amélioration
3. **L'efficacité énergétique de plus en plus encadrée** ..... 29
  - Dispositions obligatoires
  - Dispositions normatives
  - Dispositions incitatives
4. **L'intérêt du comptage de l'énergie en entreprise** ..... 42
  - 4 bonnes raisons pour mettre en place un plan de comptage
  - Pourquoi le plan de comptage ne peut plus être négligé ?
  - Les arguments d'autrefois ne se justifient plus

L'augmentation des besoins énergétiques liée à la croissance démographique et au développement économique, en particulier des pays émergents, a intensifié les enjeux de la ressource énergétique : enjeux en termes de sécurité d'approvisionnement, de prix et d'environnement. Aujourd'hui, plus que jamais, la connaissance de la dépense énergétique et de son efficacité est essentielle pour toute entreprise en recherche de meilleures performances.

# 1

## La performance énergétique : un atout pour la compétitivité des entreprises

Rappelons tout d'abord que les enjeux énergétiques sont différents selon les secteurs d'activité et les entreprises [figure 1]. Historiquement certains secteurs sont particulièrement attentifs à leur facture énergétique et œuvrent depuis longtemps pour réduire leur consommation. Dans l'industrie manufacturière notamment, il est nécessaire de faire cette distinction entre secteurs [tableau 1]. Il serait cependant faux de conclure que les entreprises « peu énergivores » ne doivent pas s'intéresser à leurs consommations énergétiques. On constate en effet que de plus en plus d'entreprises, qui, par le passé se préoccupaient peu des questions énergétiques, se mobilisent maintenant sur le sujet.

Les entreprises doivent faire face à « l'effet ciseaux » entre leurs charges, qui augmentent et leurs ventes qui diminuent, avec pour conséquence une réduction de leurs marges :

- **concernant les charges** : les coûts des matières premières et de l'énergie augmentent. Or l'entreprise ne peut pas agir sur ces hausses. Par ailleurs, pour un volume d'activité donné, il existe peu de marge de manœuvre pour réduire la masse salariale. Des gains de productivité existent mais ils sont plus compliqués à atteindre.
- **concernant les ventes** : dans un contexte économique difficile et de compétition les volumes de vente diminuent ou stagnent. Il est de plus quasiment impossible, et cela est d'autant plus vrai pour les PMI, d'obtenir une augmentation des prix de leurs produits auprès de leurs clients.

La réduction des consommations énergétiques, et plus largement l'amélioration de la performance énergétique<sup>1</sup>, constitue donc une voie pertinente pour gagner en compétitivité et maintenir, voire augmenter, ses marges.

La figure 1 distingue deux types d'entreprises :

- celles dont la production d'énergie constitue leur activité principale ;
- les autres. Parmi ces dernières, le coût énergétique peut représenter une part majeure (souvent supérieure à celle de la masse salariale) dans la valeur ajoutée. Ce sont généralement les industries de production de biens intermédiaires (papier, acier...).

1. C'est-à-dire, pour une production donnée, une baisse de la consommation énergétique.

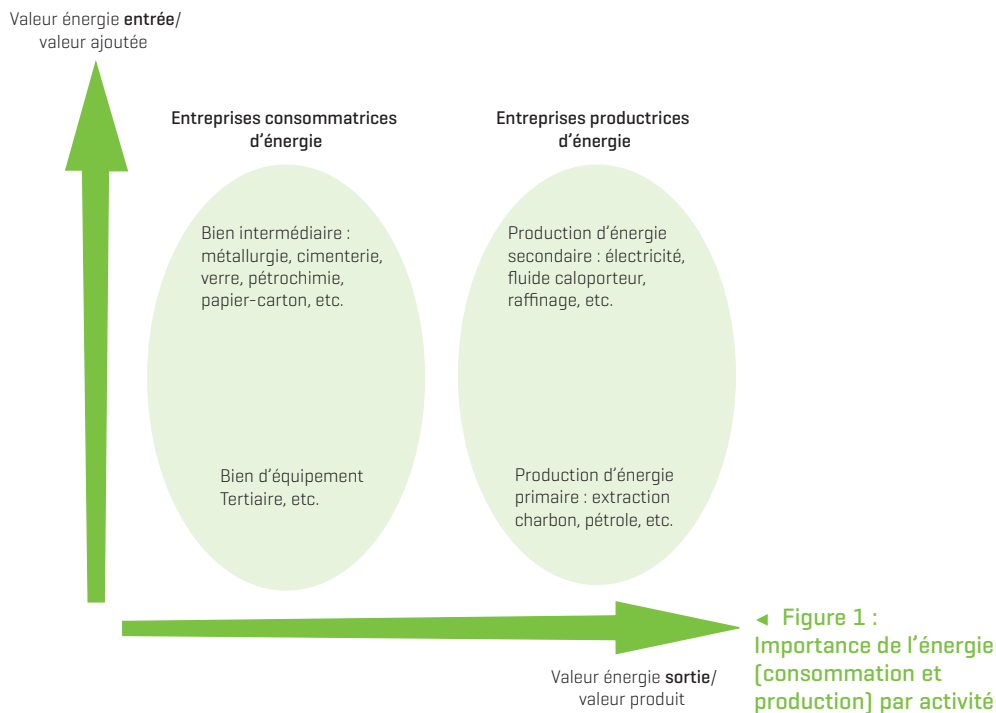


Tableau 1 : Par secteur industriel, importance des achats énergétiques par rapport à la valeur ajoutée  
 [Source : CEREN 2014, d'après INSEE et Comptes nationaux annuels]

	Ratio Achats énergétiques / Valeur ajoutée	
	1980	2011
<b>Industrie chimique</b>	56,1 %	58,5 %
<b>Industries du bois, papier et imprimerie</b>	10,9 %	15,3 %
<b>Caoutchouc et plastique, et autres produits minéraux non métalliques</b>	10,4 %	14,5 %
<b>Industries extractives</b>	19,2 %	13,8 %
<b>Denrées alimentaires</b>	7,3 %	12,9 %
<b>Métallurgie et produits métalliques (sauf machines et équipements)</b>	15,1 %	9,3 %
<b>Matériels de transport</b>	7,1 %	6,8 %
<b>Produits informatiques, électroniques et optiques</b>	3,8 %	6,0 %
<b>Industries textile, habillement, cuir et chaussure</b>	5,7 %	6,0 %
<b>Équipements électriques</b>	4,0 %	5,4 %
<b>Industrie pharmaceutique</b>	3,3 %	4,8 %
<b>Machines et équipements</b>	6,3 %	4,3 %
<b>Autres</b>	3,0 %	2,4 %





## Évaluer l'importance de l'énergie

Rapporter le coût énergétique au chiffre d'affaires ou aux coûts de production pour évaluer l'importance de l'énergie dans une entreprise n'est pas toujours parlant. Il est plus intéressant de le rapporter à l'EBE [Excédent Brut d'Exploitation].

L'EBE [généralement consultable sur Internet pour chaque entreprise] constitue un élément clé de l'analyse du compte de résultat. Il indique la rentabilité d'une entreprise ; il s'exprime en pourcentage du chiffre d'affaires [CA] et est variable selon les secteurs. Il se calcule de la façon suivante :

$$\text{EBE} = \text{CA} - \text{achats biens et services} - \text{salaires} - \text{impôt}$$

Il ne contient donc pas l'impact de l'investissement [amortissement] et le coût de l'endettement [intérêts]. L'EBE traduit l'impact opérationnel direct [vendre, acheter, embaucher...].

**Exemple :** cas d'une entreprise avec :

- un CA de 40 M€
- un EBE de 3 M€ soit 7,5 % du CA
- une facture énergétique [gaz + électricité] de 0,8 M€.

Sa facture énergétique ne représente que 2 % du CA, mais 27 % de l'EBE.

De plus, un diagnostic énergétique a montré qu'une économie potentielle totale de 45 k€, soit 6 % de la facture énergétique était possible avec des temps de retour sur investissement variant de 0 à 3 ans. Ainsi **l'EBE peut gagner facilement 1,5 point** [45 k€/3 M€]. Personne ne peut être insensible à ces chiffres d'augmentation d'EBE dans une entreprise...

# 2

## La situation de l'énergie dans l'industrie

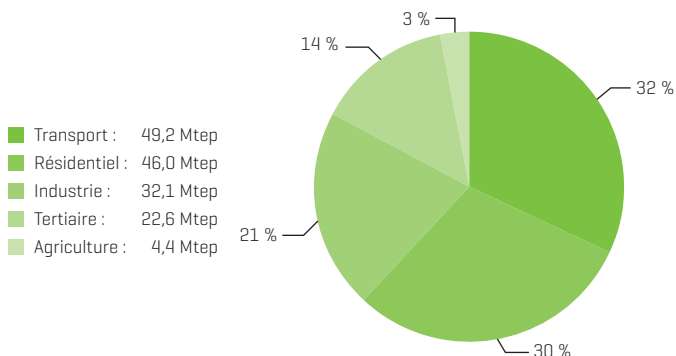
Ce chapitre présente quelques chiffres et courbes qui permettent de mieux connaître :

- les différentes énergies consommées et leurs usages dans l'industrie,
- l'évolution des consommations (par type ou par secteur d'activité) sur les deux dernières décennies.

### Positionnement de l'industrie française parmi les différents secteurs consommateurs d'énergie

On entend par industrie le secteur de l'industrie manufacturière (y compris la production de biens intermédiaires). Il ne comprend pas le secteur de l'énergie (centrales électriques, raffinerie...).

L'industrie représente plus de 20 % de la consommation d'énergie de la France sur un total de 154,4 Mtep<sup>1</sup> en 2012 (hors usage en matière première qui représente 12,0 Mtep)<sup>2</sup> et constitue donc un secteur majeur.



► Figure 2 : Poids énergétique de chaque secteur – Source « Bilan énergétique de la France pour 2012 » [Source : MEDDE / SOeS, 2013]

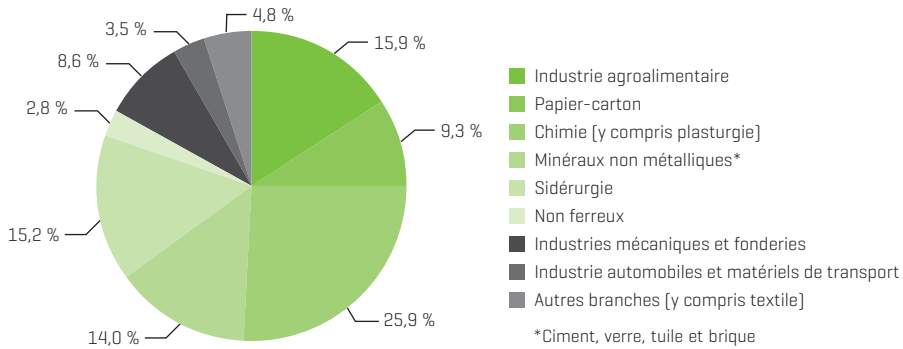
### Part de la consommation énergétique dans les différentes branches d'activités industrielles

En 2011, la consommation totale d'énergie du secteur industriel (hors usages en matière première qui représente un peu de moins de 10 %) a été de 33,9 Mtep, répartie dans différents secteurs tels que représentés sur la figure 3.

Les secteurs les plus consommateurs sont la chimie, l'industrie agroalimentaire, la sidérurgie et les minéraux non métalliques.

1. Mtep : Million de tonnes équivalent pétrole.

2. Usage non énergétique : par exemple gaz naturel pour la fabrication d'engrais, bitumes pour les routes.



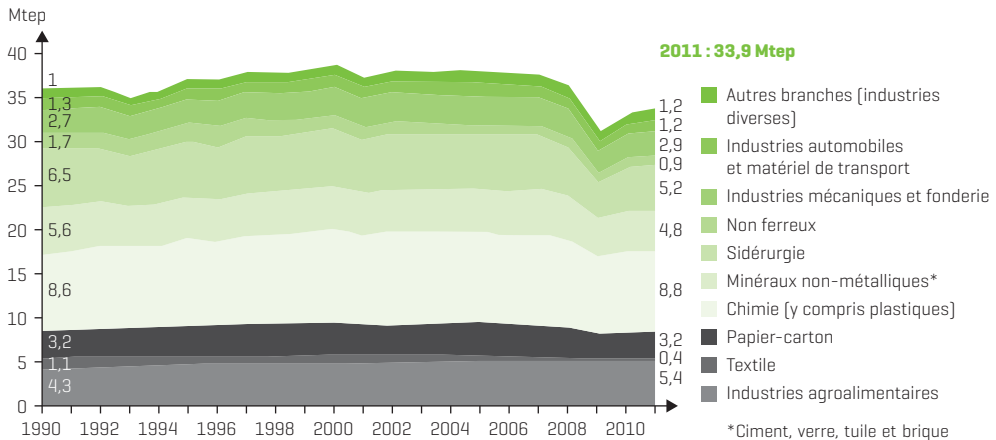
▲ Figure 3 : Poids énergétique de chaque secteur industriel en 2011  
[Source CEREN, 2013]

## Évolution de la consommation de l'énergie dans l'industrie

La production représente le principal facteur de variation de la consommation énergétique de l'industrie, devant le climat (contrairement au secteur résidentiel dont la part du chauffage est importante en termes de consommation). La consommation énergétique correspond ainsi à la situation réelle de l'activité.

Par exemple (figure 4) :

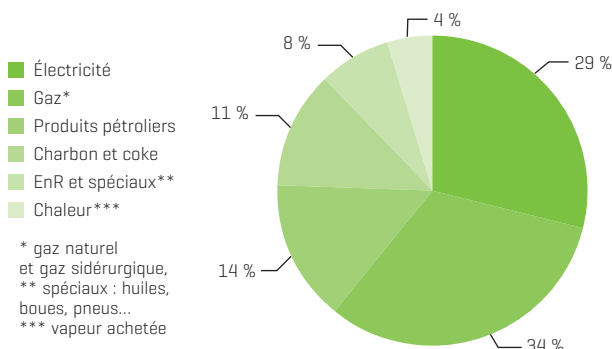
- la stabilisation de la consommation énergétique entre 2000 et 2008 reflète celle de la production dans un contexte international de délocalisation. En particulier pour le secteur du textile qui a vu sa consommation d'énergie divisée par 3 en 20 ans ;
- la forte chute de la consommation énergétique s'explique par la crise économique de fin 2008.



▲ Figure 4 : Variation de la consommation énergétique par secteur  
[Source : ADEME et CEREN, 2013]

## Les différentes formes d'énergie utilisées dans l'industrie

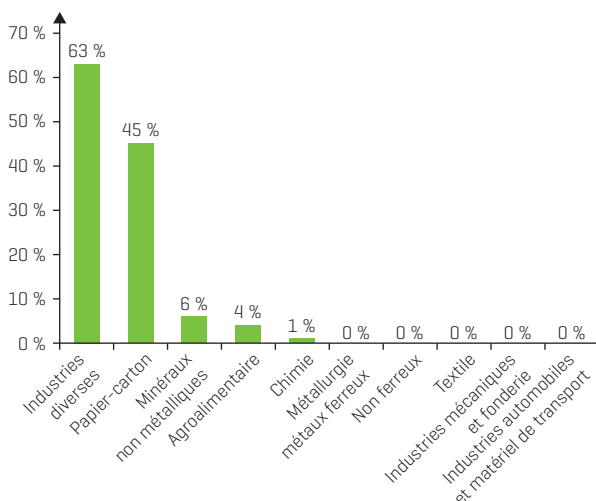
Les sources d'énergie, dont la figure 5 donne les pourcentages, sont variées.



◀ Figure 5 : Forme d'énergie consommée dans l'industrie en 2011 [Source : CEREN, 2013]

On retrouve ainsi :

- l'électricité (environ 1/3 de l'énergie de l'industrie) ;
- le gaz et les produits pétroliers (fioul lourd ou léger, GPL...) qui représentent les 2/3 des combustibles consommés ;
- les charbons et coke (différents mais regroupés ici pour des raisons de présentation) utilisés majoritairement par la sidérurgie, la chimie mais aussi les industries agroalimentaires et les cimenteries ;
- la chaleur sous forme de vapeur, achetée à des entreprises hors secteur industrie (cela concerne surtout le secteur de la chimie) ;
- des combustibles dits spéciaux : boues, huiles, pneus, déchets... Les cimenteries consomment plus de 85 % de ces combustibles ;
- des énergies renouvelables (EnR) principalement sous forme de biomasse, de liqueur noire<sup>1</sup>, biogaz... Ce sont les secteurs travaillant avec la filière bois qui utilisent le plus d'EnR (papier carton, plaquage, et sciage). La figure 6 donne le pourcentage d'EnR utilisée par rapport à l'usage de combustibles. En 2011, la consommation d'EnR représente 8 % de la consommation globale de combustibles et reste donc pour l'instant modeste.



◀ Figure 6 : Part des EnR dans la consommation de combustibles en 2011 [Source : ADEME et CEREN, 2013]

1. La liqueur noire est un sous-produit de la pâte à papier. Elle est formée à partir de la pulpe de bois lors de la séparation chimique des fibres de cellulose.