

CHARBON 2014

La teneur moyenne de l'écorce terrestre en carbone est de 0,2 %. Il est présent :

- A l'état natif sous forme de [graphite](#) et [diamant](#).
- Plus ou moins combiné à l'[hydrogène](#) et l'[oxygène](#) dans les charbons.
- A l'état combiné dans les hydrocarbures ([pétrole](#), [gaz naturel](#)), les carbonates ([calcaire](#), [dolomie](#)), le [dioxyde de carbone](#) (dans l'[eau](#), l'[atmosphère](#)), voir les chapitres consacrés à ces différents produits, ainsi que dans la matière vivante.
- 1 t de houille = 0,619 tep, 1 t de lignite = 0,405 tep.

C'est une roche renfermant suffisamment de carbone pour être utilisable comme combustible.

ÉTAT NATUREL : les charbons proprement dits se sont formés par fossilisation de végétaux, à l'abri de l'air, à l'ère carbonifère, entre 360 et 290 millions d'années, dans des bassins sédimentaires. Les lignites, sont plus jeunes. Les charbons et lignites sont constitués de carbone, de matières volatiles (dihydrogène, hydrocarbures) qui s'enflamment et d'impuretés minérales (schistes...) qui donnent, après combustion, les cendres.

La teneur en carbone des charbons est d'autant plus élevée qu'ils sont plus anciens. On distingue les charbons par leur teneur en carbone, leur pouvoir calorifique (quantité de chaleur en millithermie dégagée par 1 kg de charbon) ou en fonction de leurs propriétés et utilisations, par exemple :

- Gras, charbons à coke ou charbons métallurgiques qui sont utilisés pour produire le coke métallurgique.
- Flambants ou charbons-vapeur qui sont utilisés pour produire de l'[énergie](#) dans les chaudières industrielles. Ce sont les charbons les plus abondants.

Classification d'après la teneur en carbone :

- La tourbe ou lignite brun est de formation récente, au quaternaire. Elle renferme de 25 à 35 % de carbone, 30 % de dioxygène, 6 % de dihydrogène et est extraite des marais.
- Le charbon sub-bitumineux ou lignite noir s'est formé au tertiaire. Il renferme de 35 à 45 % de carbone, 25 % de dioxygène, 5 % de dihydrogène.
- Le charbon bitumineux s'est formé à l'ère primaire (carbonifère, 250 à 300 millions d'années). Il renferme de 45 à 86 % de carbone.
- L'antracite contient plus de 86 % de carbone. Il est très recherché, mais les réserves mondiales sont peu abondantes. Il est principalement utilisé pour le chauffage domestique individuel.

Exploitations minières :

A ciel ouvert ou découvertes : le charbon est exploité ainsi lorsque la couche de stérile ne dépasse pas de 200 à 400 m d'épaisseur.

Elles présentent l'avantage, par rapport aux exploitations souterraines, d'une productivité nettement supérieure (les dernières mines mises en exploitation extraient de 10 à plus de 30 millions de t par an), d'une mise en exploitation plus rapide (2 à 5 ans, au lieu de 10 ans), de coûts d'exploitation plus réduits, de taux de récupération qui peuvent atteindre plus de 90 % et de conditions de travail moins

dangereuses. L'activité minière est dans ce cas une activité de type travaux publics. Par exemple, en France, pour l'exploitation de la "Grande Découverte" de Carmaux, 82 millions de t de stériles ont été déplacées pour extraire, en 10 ans, 1,2 million de t de charbon.

La plus grande exploitation, à ciel ouvert, dans le monde, est celle de [Cerrejón](#), dans la péninsule de Guajira, au Nord-Est de la Colombie. Le gisement s'étend sur 69 000 hectares et le complexe minier, comprenant, la mine, la voie ferrée et le port, est propriété à parts égales d'[Anglo American](#), [BHP Billiton](#) et [Glencore](#). L'exploitation minière utilise 240 camions de 320, 240 et 190 t de capacité. La production de 33,3 millions de t, en 2015, est acheminée par voie ferrée, sur 150 km, par des convois pouvant atteindre 130 wagons, jusqu'à Puerto Bolivar sur la mer des Caraïbes. Le charbon est destiné exclusivement à l'exportation, avec, en 2014, 34,2 millions de t exportées. Les réserves prouvées et probables sont de 4,8 milliards de t.

Dans le monde, les exploitations minières sont de plus en plus à ciel ouvert. [La moyenne mondiale est de 40 %, en 2006, alors qu'elle était de 22 % en 1970.](#) Les exploitations australiennes sont à 80 % à ciel ouvert, celles des États-Unis à 66 %.

Souterraines : les mines sont exploitées selon deux méthodes.

- La méthode des chambres et piliers laisse subsister des piliers maintenant la voûte, ces piliers pouvant renfermer 40 % du charbon présent initialement. Les piliers peuvent être parfois, ensuite, abattus,
- celle de longue taille exploite un front de taille sur 3 à 4 km de long et 250 à 400 m de large, en maintenant temporairement la voûte par des vérins hydrauliques puis en la laissant s'effondrer derrière l'exploitation, c'est le foudroyage qui permet de récupérer environ 75 % du charbon contenu.

Une unité d'exploitation comporte au moins 2 puits reliés entre eux par un ensemble de galeries pour assurer la circulation d'air (aéragé) afin de diluer le grisou (CH₄) et abaisser la température. Du [diazote](#) sous pression est utilisé comme gaz d'inertage, à titre préventif et curatif, pour traiter les zones déjà exploitées dans lesquelles le charbon restant a tendance à s'échauffer par oxydation à l'air.

L'eau est évacuée (exhaure) par une cascade de pompes vers la surface (les débits moyens sont de 20 à 30 m³/min/unité).

Exemple du bassin de Lorraine exploité par les Houillères du Bassin de Lorraine (groupe Charbonnages de France), [les dernières unités de production ayant fermé en 2004.](#)

Le gisement lorrain est le prolongement, en France, du gisement exploité depuis le XVI^{ème} siècle en Sarre où il affleure. L'exploitation a débuté, en 1856, à Petite-Rosselle. La structure géologique du gisement est complexe. L'inclinaison des veines de charbon varie de l'horizontale ("plateures" entre 0 et 30° d'inclinaison) à la verticale ("dressants" pour une inclinaison > 65°), en passant par les "semi-dressants". Avant la fin de l'exploitation, 3 unités exploitaient des "plateures" : La Houve à Creutzwald (profondeur : 1 000 m), Reumaux à Freyming-Merlebach (profondeur : 1 250 m) et Forbach. Une unité (Vouters à Freyming-Merlebach) exploitait les "dressants".

Concentration : après extraction, le charbon brut est dirigé vers des lavoirs. Il est immergé dans un liquide dense composé d'[eau](#) et de particules de magnétite en suspension afin d'augmenter la densité du milieu. Ainsi, le charbon plus léger, flotte à la surface et est récupéré par raclage et les schistes, plus denses, coulent au fond du bac.

PRODUCTIONS : en millions de tonnes de tous types de charbons, en 2014. Monde : 8 165, Union européenne : 538.

Chine	3 874	Indonésie	458
États-Unis	907	Russie	358
Inde	644	Afrique du Sud	260
Australie	491	Allemagne	186

Source : BP Statistical Review of World Energy

En 2014, en Chine, on compte près de 12 000 mines, après la fermeture de 628 mines en 2012, 770 mines en 2013, 1 725 mines en 2014. La production chinoise est située dans le nord du pays, en particulier dans la province de Shanxi, avec, en 2014, 977 millions de t, de Mongolie Intérieure, avec 908 millions de t et de Shaanxi, avec 511 millions de t alors que les régions consommatrices sont situées à l'est. Le charbon représente actuellement 40 % du fret transporté par les chemins de fer chinois, le charbon extrait en Chine étant transporté à 60 % par rail. La production est assurée, en 2014, à 62 % par des compagnies d'état.

En 2014, aux États-Unis, les principales mines en activité sont les suivantes, en millions de t :

North Antelope Rochelle (Peabody)	107,0	Spring Creek (dans le Montana)	15,7
Black Thunder (Arch Coal)	91,6	Belle Ayr	14,3
Cordero	31,6	Rawhide (Peabody)	14,0
Antelope Coal	30,5	Buckskin	13,9
Eagle Butte	18,8	Freedom (dans le Dakota du Nord)	13,1

Source : EIA

Ces mines sont toutes à ciel ouvert et situées dans le Wyoming, sauf Spring Creek et Freedom. La première mine souterraine, Bailey, en Pennsylvanie, est située au 11^{ème} rang avec, en 2014, une production de 11,5 millions de t. Au total, aux États-Unis, il y a, en 2014, 985 mines en activité.

En Australie, la production provient du Queensland avec 224 millions de t, principalement de charbon métallurgique et de Nouvelle Galles du Sud avec 198 millions de t, principalement de charbon-vapeur. La production de lignite provient principalement de la province de Victoria.

Production de charbon-vapeur, en millions de t, en 2014. Monde : 6 147.

Chine	3 180	Australie	246
États-Unis	769	Russie	189
Inde	570	Kazakhstan	93
Indonésie	468	Colombie	83
Afrique du Sud	251	Pologne	61

Source : IEA

Production de charbon-métallurgique, en millions de t, en 2014. Monde : 1 065.

Chine	568	Canada	31
Australie	185	Kazakhstan	15
Russie	75	Ukraine	13
États-Unis	75	Pologne	12
Inde	51	Mongolie	10

Source : IEA

Production de lignite, en millions de t, en 2014. Monde : 810.

Allemagne	178	Australie	61
États-Unis	72	Grèce	48
Russie	70	Inde	47
Pologne	64	République tchèque	38
Turquie	61	Bulgarie	31

Source : IEA

En 2014, le lignite représente 10 % de la production mondiale et 74 % de celle de l'Union européenne avec 96 % de la production allemande, 44 % de celle de la Pologne, 20 % de celle de la Russie, 12 % de celle de l'Australie, 8 % de celle des États-Unis et 7 % de celle d'Inde.

La production chinoise de lignite, non prise en compte par l'IEA, serait de 272 millions de t.

Productions de l'Union européenne : en 2014, en millions de t de houille et () de lignite. Total : 106 (401).

Pologne	72,5 (63,7)	Roumanie	1,5 (22,0)
Royaume Uni	11,5	Grèce	(50,6)
République tchèque	8,7 (38,2)	Hongrie	(9,5)
Allemagne	7,6 (178,2)	Slovénie	(3,7)
Espagne	3,9	Slovaquie	(2,2)
Bulgarie	2,3 (32,6)		

Source : Euracoal

Dans l'Union européenne, en 2013, la production minière de charbon emploie 329 600 personnes.

En Allemagne, en 2013, il reste 3 mines souterraines de production de houille en activité, Prosper-Haniel et Auguste Viktoria dans la Ruhr et Ibbenbüren. La dernière mine de Sarre a fermé en juin 2012.

La production de lignite, à ciel ouvert, est réalisée dans quatre régions :

- Rhineland, dans la région de Cologne, Aachen et Mönchengladbach, avec 101,7 millions de t, en 2012, dans 3 mines.
- Lusatian, au Sud-Est du Brandenburg et au Nord-Est de la Saxe, avec 62,4 millions de t, dans 5 mines.
- Centre, au sud de Leipzig, avec 19,7 millions de t, dans 3 mines.
- Helmstedt, en Basse Saxe, avec 20,7 millions de t.

Les réserves sont de 2,5 milliards de t de houille et 40,4 milliards de t de lignite.

Commerce international :

Les exportations ont porté, en 2014, sur 1 054 millions de t de charbon-vapeur et 322 millions de t de charbon à coke. Elles ont été effectués par voie maritime pour 945 millions de t charbon-vapeur et 283 millions de t de charbon à coke.

- Principaux pays exportateurs, en 2014, en millions de t, sur un total de 1 384 :

Indonésie	411	Afrique du Sud	76
Australie	375	Pays Bas	39
Russie	155	Canada	34
Etats-Unis	88	Kazakhstan	29
Colombie	80	Mongolie	19

Source : IEA

Les exportations de l'Indonésie sont destinées, en 2014, à l'Inde pour 29 %, la Chine pour 25 %, le Japon et la Corée du Sud pour 9 % chaque pays.

Les exportations de l'Australie sont destinées, en 2014, au Japon pour 31 %, à la Chine pour 24 %, à la Corée du Sud pour 14 %, à l'Inde pour 12 %, à Taïwan pour 8 %, à l'Union européenne pour 5 %.

Les exportations de la Russie sont destinées, en 2014, à l'Union européenne pour 38 %, à la Chine pour 18 %, à la Corée du Sud pour 12 %, au Japon pour 10 %.

Les exportations des Etats-Unis sont destinées, en 2014, à l'Union européenne pour 45 %, à la Corée du Sud pour 8 %, au Brésil pour 8 %, au Canada pour 7 %.

Les exportations de Colombie sont destinées, en 2014, à l'Union européenne pour 51 %, aux Etats-Unis pour 7 %, à Israël pour 7 %, au Brésil pour 6 %.

- Principaux pays importateurs, en 2014, en millions de t, sur un total de 1 424, dont 205 pour l'Union européenne :

Chine	292	Allemagne	57
Inde	239	Pays Bas	55
Japon	188	Royaume Uni	41
Corée du Sud	131	Turquie	30
Taïwan	67	Russie	25

Source : IEA

En 2014, les importations de l'Union européenne proviennent de Russie à 29,2 %, des États-Unis à 20,8 %, de Colombie à 20,2 %, d'Afrique du Sud à 10,7 %, d'Australie à 9,4 %, d'Indonésie à 3,2 %.

Principaux producteurs de charbon : en millions de t, en 2014.

Coal India (Inde)	494	China Coal Energy (Chine)	114
Shenhua Energy (Chine)	307	Anglo American (Afrique du Sud)	100
Peabody Energy (États-Unis)	208	SUEK (Russie)	99
Glencore (Suisse)	146	BHP Billiton (Australie)	84
Shaanxi Coal & Chemical Industry (Chine)	140	Bumi Resources (Indonésie)	84
Arch Coal (États-Unis)	120	Cloud Peak Energy (Etats-Unis)	79

Sources : rapports annuels des sociétés

- [Coal India](#) exploite, en Inde, 430 mines, avec une production, en 2014-15, de 35 millions de t dans des mines souterraines et 459,2 millions de t dans des mines à ciel ouvert. La production a été de 50,6 millions de t de charbon métallurgique et 443,7 millions de t de charbon vapeur. Le groupe est contrôlé à 80 % par l'état indien.
- En 2014, les ventes totales de [Shenhua Energy](#) ont porté sur 451 millions de t avec des réserves de 16 milliards de t. La production a été de 202 millions de t en Mongolie intérieure et de 98 millions de t dans la province de Shanxi. Par ailleurs, Shenhua a produit par gazéification du charbon, en 2014, 265 500 t de polyéthylène et 268 100 t de polypropylène.
- [Peabody Energy](#) exploite 26 mines, principalement aux États-Unis (Wyoming, Colorado, Arizona, Nouveau Mexique, Illinois et Indiana), mais aussi en Australie (10 mines dans le Queensland et en Nouvelle Galles du Sud avec 35 millions de t, en 2014). Ses réserves prouvées et probables sont de 6,89 milliards de t dont 5,99 milliards de t aux États-Unis. La mine de charbon la plus importante de la société, à ciel ouvert, est celle de North Antelope Rochelle (Wyoming) avec 107,14 millions de t, en 2014, et un total de plus de 1 milliard de t depuis l'ouverture de la mine. Elle exploite également l'une des plus importantes mines souterraines d'Amérique du Nord, celle de Twentymile (Colorado) avec 6,44 millions de t en 2014.
- [Glencore](#) exploite 33 mines, en Australie avec une production, en 2014, de 69,5 millions de t, en Afrique du Sud avec une production de 46,1 millions de t et en Colombie (avec les mines de Calenturitas et La Jagua ainsi que 33,3 % de la mine colombienne de Cerrejón) avec 30,7 millions de t. Les réserves sont de 4,1 milliards de t.
- [Arch Coal](#) exploite 16 mines aux États-Unis, la plus importante, Black Thunder, dans le Wyoming, a produit, en 2014, 91,8 millions de t. Les réserves prouvées et probables sont de 4,6 milliards de t.
- [China Coal Energy](#) a vendu, en 2014, 156,9 millions de t de charbon. Les réserves sont de 19 milliards de t. A partir du charbon, la production a été de 1 million de t d'urée, 577 000 t de méthanol, 97 000 t de polyéthylène, 77 000 t de polypropylène, 1,944 million de t de coke.
- [BHP Billiton](#) a produit, en 2014/15, 41 millions de t de charbon-vapeur et 42,6 millions de t de charbon métallurgique. Les exploitations minières sont situées en Australie, dans les provinces du Queensland et en Nouvelle Galles du Sud, aux États-Unis, dans l'État du Nouveau-Mexique et en Colombie avec 33,33 % de la mine de Cerrejón. Les réserves prouvées et probables sont de 5,1 milliards de t. En Australie, dans le Queensland, la production est réalisée d'une part en association 50/50 avec Mitsubishi pour 7 mines et d'autre part en association 80/20 avec Mitsui pour 2 mines.
- [Anglo American](#) a produit, en 2014, en Afrique du Sud avec 9 mines, 55,8 millions de t de charbon-vapeur, en Colombie avec 33,3 % de la mine colombienne de Cerrejón, 11,2 millions de t de charbon-vapeur, en Australie avec 6 mines, 12,3 millions de t de charbon-vapeur et 33,2 millions de t de charbon-métallurgique et une mine au Canada avec 1,5 million de t. Les réserves prouvées et probables sont de 1,9 milliard de t.
- [SUEK](#) (Siberian Coal Energy) exploite, en Russie, 12 mines souterraines et 14 mines à ciel ouvert, dans les régions de Kemerovo, Khakasia, Krasnoyarsk, Buryatia, Zabaikalye, Khabarovsk et Primorye. Les ventes à l'export ont été, en 2014, de 45,6 millions de t. Les réserves sont de 5,5 milliards de t.
- [Bumi Resources](#) exploite du charbon en Indonésie, au travers de 4 filiales, KPC, à 51 %, Arutmin à 70 % et FBS à 50 % à l'est de Kalimantan et PEB à 84,5 % au sud de Sumatra. KPC exploite, les

mines de Sangatta avec, en 2014, une production de 43,9 millions de t et Bengalan avec 8,4 millions de t. Arutmin exploite 6 mines avec, en 2014, une production de 31,8 millions de t. Les réserves sont de 3,25 milliards de t. Les exportations ont été de 46,5 millions de t vers l'Inde à 43,9 %, la Chine à 20,6 %, le Japon à 19,2 %.

- [Cloud Peak Energy](#) exploite 3 mines aux Etats-Unis, Antelope et Cordero Rojo dans le Wyoming et Spring Creek dans le Montana. Les réserves prouvées et probables sont de 1 milliard de t.

- [Rio Tinto](#) produit du charbon essentiellement en Australie, avec, en 2014, 31,77 millions de t sur un total de 32,57 millions de t. La participation de Rio Tinto dans la mine de Benga, au Mozambique a été vendue le 7 octobre 2014.

- Le groupe français [Total](#) produit du charbon en Afrique du Sud, près de la ville de Bethal, dans le Mpumalango, dans 5 mines (les 2 mines de Forzando, celle de Tumelo et possède 75 % des deux mines de Dorstfontein). La production est de 3,3 millions de t, en 2014, avec une commercialisation de 8,5 millions de t. Cette activité a été vendue au groupe [Exxaro](#), le 20 août 2015.

Réserves mondiales : en milliards de tonnes, fin 2014, pour l'anhracite et les bitumineux et () pour les sub-bitumineux et lignite. Monde : 403,2 (488,3), Union européenne (Allemagne, Pologne, Grèce) : 4,9 (51,2).

États-Unis	108,5 (128,8)	Inde	56,1 (4,5)
Russie	49,1 (107,9)	Ukraine	15,4 (18,5)
Chine	62,2 (52,3)	Kazakhstan	21,5 (12,1)
Australie	37,1 (39,3)	Afrique du Sud	30,2 (-)

Source : BP Statistical Review of World Energy

Les réserves de sub-bitumineux et de lignite de l'Allemagne sont de 40,5 milliards de t. Le plus important gisement mondial est situé à Shenmu (Chine, province du Shanxi).

SITUATION FRANCAISE : en 2014

- Production : l'État français s'est progressivement désengagé de l'exploitation charbonnière. La signature du Pacte charbonnier en 1994 a entraîné la fermeture des derniers sites français de production. Ainsi la mine d'Ales dans le Gard a fermé en 2001, suivie par les mines de Forbach et Merlebach (en Moselle), la mine de La Mure (en Isère), la mine de Gardanne (Provence) fermée le 1^{er} février 2003 et enfin le 23 avril 2004 la dernière mine, celle de la Houve à Creutzwald (Lorraine), cesse son activité. Suite à l'arrêt des exploitations, la société des Charbonnages de France a été liquidée le 31 décembre 2007.

- Le maximum de production avait été atteint en 1958 avec 58,9 millions de t avec un maximum de personnel, en 1947, de 358 241 personnes.

- Une production résiduelle, estimée, en 2013, à 300 000 t/an, provenait du traitement des terrils du Pas de Calais et du Gard et des schlamms de Lorraine et était utilisée dans les centrales thermiques d'[E.ON](#) avant la fermeture de celles-ci en 2014 et 2015.

- Les ressources sont estimées à 425 millions de t de houille et 300 millions de t de lignite.

Commerce extérieur :

Anthracite :

- Exportations : 115 986 t à 96 % vers la Belgique.
- Importations : 1 072 519 t à 60 % de Russie, 22 % d'Australie, 5 % de Belgique.

Houille métallurgique :

- Exportations : 145 638 t à 99 % vers la Belgique.
- Importations : 5 999 033 t à 49 % d'Australie, 26 % des Etats-Unis, 16 % de Russie, 4 % de Colombie.

Charbon-vapeur :

- Exportations : 15 532 t à 65 % vers la Belgique, 22 % vers l'Espagne.
- Importations : 7 171 240 t à 40 % d'Afrique du Sud, 23 % de Colombie, 18 % de Russie, 12 % des Etats-Unis.

Lignite :

- Exportations : 18 t à 50 % vers la Belgique, 50 % vers la Suisse.
- Importations : 238 348 t à 89 % d'Allemagne, 9 % des Pays Bas.

Tourbe :

- Exportations : 22 478 t à 74 % vers la Suisse, 11 % vers la Belgique, 9 % vers l'Espagne.
- Importations : 592 392 t à 30 % d'Allemagne, 25 % de Belgique, 15 % des Pays Bas, 13 % d'Estonie.

Consommation : 14,2 millions de t dont 6,3 millions de t par la sidérurgie et 3,5 millions de t destinées aux centrales thermiques.

UTILISATIONS :

Consommations : en 2014, en millions de tep (avec approximativement 1 tep = 1,5 t d'anthracite = 3 t de lignite). Monde : 3 882, Union européenne : 270.

Chine	1 962	Russie	85
États-Unis	453	Corée du Sud	85
Inde	360	Allemagne	77
Japon	126	Indonésie	61
Afrique du Sud	89	Pologne	53

Source : BP Statistical Review of World Energy

Secteurs d'utilisation : en 2014.

	États-Unis	Union européenne, en 2013	France
Electricité	92,9 %	72,1 %	24,6 %
Autres industries	4,7 %	6,4 %	13,4 %
Sidérurgie	2,2 %	18,0 %	44,4 %
Résidentiel	-	3,5 %	2,1 %

Source : statistiques de l'AIE.

Les 2/3 du charbon utilisé dans le monde sert à la production d'énergie, cette part est de 90 % pour le lignite.

Énergie : dans le monde, en 2013, le charbon fournissait 28,9 % de l'énergie primaire, 3,4 %, en 2014, en France. Son utilisation dans les centrales thermiques produisant de l'électricité est très importante.

Part du charbon dans la production d'électricité de quelques pays : en 2013. Monde : 41 %, Union européenne, en 2014 : 24 %.

Afrique du Sud	94 %	Corée du Sud	43 %
Inde	89 %	États-Unis	42 %
Chine	80 %	Japon	34 %
Australie	69 %	Russie	17 %

Source : AEI

Dans l'Union européenne, en 2014, nombre de centrales thermiques au charbon et () % de l'électricité consommée issue du charbon. Total : 280 (24 %) :

Allemagne	70 (45 %)	Royaume Uni	11 (29 %)
Pologne	46 (80 %)	Finlande	10 (13 %)
République tchèque	39 (62 %)	Danemark	8 (31 %)
Espagne	15 (16 %)	Pays Bas	8 (24 %)
Roumanie	14 (29 %)	Grèce	7 (44 %)
Bulgarie	12 (53 %)	France	7 (2 %)
Italie	11 (12 %)	Slovaquie	5 (11 %)

Source : Greenpeace UK

Centrales thermiques au charbon : l'utilisation de la technologie du lit fluidisé circulant permet de brûler, avec un haut rendement, des combustibles pauvres (lignite, schlamm...) et grâce à l'ajout de [CaCO₃](#) dans le foyer de la chaudière et au traitement des gaz de combustion d'atteindre un taux de [désulfuration](#) de 90 %. Par exemple, en 2014, la centrale EDF de Cordemais a produit ainsi 27 000 t de [gypse](#). Dans un lit fluidisé circulant, le combustible brûle en suspension dans un courant d'air et circule jusqu'à combustion complète. Celle-ci a lieu à 900°C au lieu de 1300°C dans une chaudière classique ce qui réduit la formation d'oxydes d'azote. Le charbon est injecté dans la chaudière sous forme d'une pulpe eau-charbon à 60-70 % de charbon.

Dans les centrales thermiques à cycle combiné à gazéification intégrée (IGCC, en anglais), le charbon est dans un premier temps gazéifié sous forme de gaz de synthèse, qui est refroidi, purifié puis brûlé dans une turbine à gaz pour produire de l'électricité. La chaleur générée par la gazéification du charbon ainsi que celle issue de la turbine à gaz est récupérée pour produire de la vapeur d'eau utilisée à son tour pour produire de l'électricité. Lorsqu'une séquestration du dioxyde de carbone produit est prévue, le gaz de synthèse est converti afin de d'augmenter sa teneur en dihydrogène et de transformer le monoxyde de carbone présent en dioxyde de carbone qu'il est possible de séparer avant la combustion du gaz de synthèse dans la turbine à gaz (voir le chapitre [dihydrogène](#)).

[EDF](#) exploite, en France, 2 centrales thermiques au charbon. Celle du [Havre](#) (76) de 600 MW et celle de [Cordemais](#) (44) avec deux tranches de 600 MW chacune.

La société [E.ON](#) exploitait, en France, 3 sites avec la centrale Émile Huchet à Saint-Avold (80) et 3 tranches d'une puissance totale de 1 045 MW, la centrale Lucy à Montceau les Mines (71) d'une puissance de 245 MW et la centrale de Provence à Meyreuil (13) avec 2 tranches d'une puissance de 1 425 MW. Les deux premières centrales ont été fermées en 2014 et 2015. La centrale de Provence devrait être convertie pour un fonctionnement à partir de biomasse.

Chauffage : par exemple, la production de chaleur en Île de France est assurée par des installations thermiques gérées par la [CPCU](#), Compagnie Parisienne de Chauffage Urbain, qui utilise différentes sources d'énergie pour produire la chaleur. En 2014, 49 % de la vapeur livrée est produite à partir des ordures ménagères, 28 % à partir du charbon, 17 % à partir du gaz naturel et 6 % à partir de fioul lourd. La chaufferie de Saint Ouen II de la CPCU a consommé, en 2014, 286 228 t de charbon pour produire 2,13 millions de t de vapeur et 14 939 MWh d'électricité.

Sidérurgie : en 2012, la consommation mondiale de la sidérurgie a représenté 13 % de la consommation de charbon. En 2014, la consommation de la sidérurgie française a été de 6,3 millions de t. Le charbon est principalement utilisé après transformation en coke mais aussi en injection directe dans les hauts fourneaux.

En France, le charbon est cokéfié dans les 3 cokeries intégrées aux complexes sidérurgiques d'ArcelorMittal à Fos (13), Dunkerque (59) et Sérémaigne (57).

La production mondiale de coke, avec, en 2014, 682 millions de t est dominée par la Chine avec une production de 477 millions de t. En 2014, la production de l'Union européenne a été de 41 millions de t, celle de l'Amérique du Nord, de 19 millions de t. En 2014, la production française a été de 3,231 millions de t (voir en fin de chapitre la partie consacrée au [Coke](#)).

En 2013, l'injection directe de charbon pulvérisé dans les hauts fourneaux a été, dans le monde, de 48,2 millions de t dont 14,9 millions de t au Japon, 9,1 millions de t en Corée du Sud, 4,4 millions de t en Allemagne, 3,8 millions de t en Russie, 3 millions de t en Inde, 2,6 millions de t en France, 1,5 million de t aux Etats-Unis.

Emissions de dioxyde de carbone : voir également des chapitres [dioxyde de carbone](#) et [effet de serre](#).

Dans des centrales électriques thermiques, les émissions de dioxyde de carbone sont :

- pour le lignite de 1 015 g/kWh,
- pour la houille de 855 g/kWh,
- pour le gaz naturel de 400 g/kWh.

Dans l'Union européenne, en 2014, émissions de dioxyde de carbone par les centrales thermiques au charbon, en millions t. Total : 762.

Allemagne	256	Grèce	34
Pologne	129	Bulgarie	26
Royaume Uni	87	Pays Bas	20
Espagne	43	Roumanie	19
République tchèque	42	France	11
Italie	39	Danemark	10

Source : Greenpeace UK

Les émissions mondiales de dioxyde de carbone générées par la combustion du charbon ont été, en 2013, de 14,8 milliards de t.

CARBOCHIMIE :

L'obtention du coke donne divers sous-produits qui sont valorisés. Une tonne de houille donne en moyenne 750 kg de coke, 30 à 40 kg de goudrons, 7 à 12 kg de benzol (80 % benzène, 15 % toluène, 5 % xylène), 5 à 10 kg de sulfate d'ammonium et 300 à 350 m³ de gaz (60 % H₂ - 25 % CH₄). Les BTX ([benzène](#), [toluène](#), [xylènes](#), voir ce chapitre) proviennent de la cokéfaction pour 5 % de la production en Europe de l'Ouest (2 % aux États-Unis). Le naphthalène provient à 60-70 % du charbon aux États-Unis et à 100 % au Japon.

Le [gaz de cokerie](#) est souvent brûlé, avec récupération de l'[énergie](#), mais aussi utilisé pour produire du méthanol. Ainsi, en 2014, il donne 19 % de la production chinoise de méthanol.

Par ailleurs, divers procédés peuvent donner des hydrocarbures à partir du charbon. Par exemple, la liquéfaction indirecte selon le procédé Fischer-Tropsch avait été employé, à grande échelle, par l'Allemagne nazie, dépourvue de ressources pétrolières, pendant la deuxième guerre mondiale avec, en 1944, une production, dans 25 usines, de 6,5 millions de t de carburants. Depuis, la production d'hydrocarbures selon ce procédé a été abandonnée du fait de la concurrence du pétrole avec son faible prix. Seule l'Afrique du Sud, riche en charbon, a développé, à partir de 1955, une production commerciale en raison des sanctions économiques de l'époque de l'apartheid et d'un embargo sur les produits pétroliers de la part de la communauté internationale.

Dans ce pays, le charbon a été utilisé massivement comme matière première chimique par la société [Sasol](#) pour produire du gaz de synthèse, du [dihydrogène](#), de l'[ammoniac](#), de l'essence synthétique selon le procédé Fischer-Tropsch et divers dérivés pétrochimiques. La société Sasol a extrait, en 2014-15, 39,2 millions de t de charbon qui sont, dans l'usine de production de Secunda, dans la province de Mpumalanga, en grande partie transformés en gaz de synthèse puis, dans 9 réacteurs travaillant sous pression à 350°C, en présence d'un catalyseur à base de fer, en carburants et divers produits tels que le pentène, l'hexène, l'octène, des alcools, de l'acide acétique, de l'acétone, du propylène, de l'éthylène ... La production est ainsi, en 2014-15, de 7,6 millions de t de carburant représentant 35 % de la consommation sud-africaine.

De son côté, la Chine, riche en réserves de charbon, développe depuis peu de temps, la production d'oléfines (éthylène et propylène) à partir de charbon, par l'intermédiaire de la production de méthanol.

Production du gaz de synthèse : toutes ces productions d'hydrocarbures commencent par la production de gaz de synthèse par vaporeformage du charbon (voir le chapitre [dihydrogène](#)). Cette production qui avait été supplantée par le développement de l'utilisation du gaz naturel et ne subsistait principalement qu'en Afrique du Sud effectue un retour en force avec son emploi en Chine, riche en ressources de charbon et relativement pauvre en hydrocarbures.

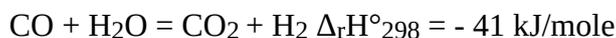
Principe : la formation du gaz à l'eau, syngas ou gaz de synthèse, a lieu à 1000°C selon la réaction suivante :



La réaction, endothermique, nécessite un soufflage de [dioxygène](#) pour maintenir la température par combustion du carbone. Le gaz obtenu contient de 30 à 50 % de [dihydrogène](#) et 60 à 40 % de monoxyde de carbone, avec du diazote, du dioxyde de carbone. Ce gaz de synthèse peut ainsi être

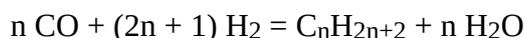
employé comme source de dihydrogène et de monoxyde de carbone pour produire du méthanol puis des oléfines (éthylène, propylène) et des polyoléfines (polyéthylène et polypropylène).

La production de H₂ peut être améliorée par conversion de CO pour produire de l'ammoniac puis des engrais azotés. Le monoxyde de carbone du gaz de synthèse est alors transformé en [dioxyde de carbone](#) avec production complémentaire de dihydrogène, en 2 étapes. On obtient ainsi un gaz contenant 70 % de H₂.



Production de carburants liquides :

Après formation du gaz de synthèse, le mélange de monoxyde de carbone et de [dihydrogène](#), est transformé par le procédé Fischer-Tropsch en hydrocarbures selon la réaction, avec n compris entre 10 et 20 :



En fonction des hydrocarbures à obtenir, la réaction est réalisée à 150-300°C avec un catalyseur au [cobalt](#) ou à plus haute température, 300-350°C et 20 à 30 bar, avec un catalyseur au [fer](#). Un catalyseur au ruthénium est également employé.

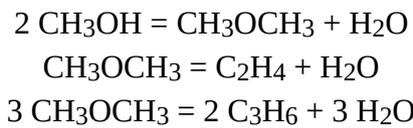
Production de méthanol :

Le gaz de synthèse peut être converti en [méthanol](#) ou en diméthyl éther, eux-même employés comme carburants en remplacement ou association avec l'essence ou le diesel (voir le chapitre [méthanol](#)) et à la base de la fabrication de nombreux produits (formaldéhyde, oléfines, acide acétique, méthacrylate de méthyle...). Depuis 1983, la gazéification du charbon est utilisée aux États-Unis, par [Eastman](#) qui produit ainsi du méthanol, à Kingsport, dans le Tennessee avec une capacité de production de 165 000 t/an. Cette utilisation du charbon est en cours de développement important en Chine où, en 2014, 63 % de la production de méthanol est réalisée à partir de charbon.

Production d'oléfines (éthylène et propylène) :

Le méthanol peut être transformé en [éthylène](#) et [propylène](#), à des température comprises entre 350 et 450°C, sous une pression de 0,1 à 0,3 MPa, en présence comme catalyseur de zéolithe. Dès 1975, Mobil avait découvert que le méthanol pouvait être converti en essence puis en 1977, en oléfines, en utilisant une zéolithe, ZSM-5, la sélectivité étant d'environ 60 %. La mise au point par Union Carbide d'une nouvelle zéolithe synthétique, SAPO-34, a permis d'atteindre une sélectivité de 75 à 80 % et de rendre le procédé compétitif. Dénommé UOP/Hydro, est il actuellement développé par Honeywell qui de plus, en association avec Total, a complété le procédé UOP par une opération de craquage dénommé OCP (Olefin-Cracking-Process) permettant d'atteindre une sélectivité de 90 % en oléfines. Cette amélioration a été réalisée par Total sur son site de Feluy, en Belgique, avec un réacteur de démonstration qui a validé le procédé donnant des oléfines destinées à la polymérisation en polyéthylène et polypropylène.

Le procédé UOP/OCP peut utiliser du méthanol brut de fabrication qui est vaporisé dans le réacteur UOP dans lequel le catalyseur, SAPO-34, est maintenu en lit fluidisé. Lors des réactions de transformation du méthanol, le catalyseur est rapidement recouvert de coke qui réduit ses capacités. En conséquence, il circule dans le réacteur en étant de façon continue réactivé, à l'extérieur du réacteur, par brûlage du coke avec de l'air. Les réactions, complexes, font intervenir le diméthyléther (DME) selon les équations simplifiées suivantes :



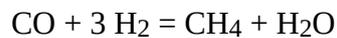
La zéolithe synthétique SAPO-34 est un silicoaluminate phosphaté possédant des sites acides de Brønsted, de structure de type chabazite, qui possède des micropores de 0,38 nm. Le rapport entre le propylène et l'éthylène est compris entre 0,75 et 1,25. A côté de ces derniers, il y a formation de composés en C4 à C8 qui peuvent, dans le réacteur additionnel OCP, être craqués pour donner à leur tour de l'éthylène et du propylène, augmentant ainsi la sélectivité. Par ailleurs le réacteur OCP produit plus de propylène que d'éthylène ce qui donne au total pour le procédé UOP/OCP un rapport propylène sur éthylène compris entre 1,3 et 1,8.

A côté du procédé UOP/OCP, d'autres procédés sont développés, avec des technologies chinoises pour les procédés D-MTO et S-MTO et par Lurgi qui a développé un procédé MTP (Méthanol-To-Propylène). Diverses usines de production sont construites ou en cours de construction en Chine. La production peut être réalisée directement à partir du charbon dans des usines de production intégrées de la mine aux oléfines puis aux polyoléfines et dans ce cas elle est appelée (CTO : Coal-To-Olefins). Si elle est réalisée seulement à partir du méthanol elle est appelée (MTO : Methanol-To-Olefins).

La consommation d'eau de ces procédés est importante, de 20 à 40 t par t d'oléfine pour le procédé MTO et près de 90 t/t pour les procédés CTO. En Chine, les mines de charbon sont situées dans des régions arides ce qui pose des problèmes d'approvisionnement en eau.

Production de gaz naturel synthétique :

Le gaz de synthèse peut aussi être converti en méthane, c'est-à-dire en gaz naturel de synthèse. la réaction de méthanation mise en jeu est la suivante, en présence de catalyseur au [nickel](#) :



La société [Dakota Gasification Company](#), exploite une unité de production à Beulah, dans le Dakota du Nord. Par jour, la gazéification de 18 000 t de lignite donne du gaz de synthèse transformé par méthanation en 4,8 millions de m³ de gaz naturel synthétique. 8 000 t par jour de dioxyde de carbone, soit la moitié de la production, est exporté par 330 km de pipeline, au Canada, pour être utilisé pour assister la récupération de pétrole des gisements de Weyburn et Midale, dans le Saskatchewan. Ainsi, fin 2014, un total de 29 millions de t de dioxyde de carbone a été séquestré.

Gazéification in situ :

Divers projets sont en cours et plusieurs installations de démonstration sont en fonctionnement afin de gazéifier le charbon "in situ". Le procédé consiste à forer 2 puits jusqu'à une veine de charbon, de relier ces 2 puits par un forage horizontal. Par l'un des puits, de l'air ou du dioxygène est injecté qui brûle le charbon permettant d'atteindre une température d'environ 1200°C puis l'apport de vapeur d'eau permet de réaliser un vaporeformage produisant du gaz de synthèse qui est récupéré par le deuxième puits. La société [Linc Energy](#), en Australie, à Chinchilla, dans le Queensland, exploite une installation de démonstration et possède 91,6 % de la société [Yerostigaz](#) qui exploite, à Angren, en Ouzbékistan, depuis 1961, une unité de gazéification "in situ" commerciale donnant 1 million de m³ de gaz de synthèse par jour destiné à produire de l'électricité par combustion.