

## ACIERS 2019

### Matières premières

Avec une teneur, en masse, de 5 %, le fer est, après l'[aluminium](#), le 2<sup>ème</sup> élément métallique le plus répandu dans l'écorce terrestre.

#### Minerais :

Le fer est présent sous forme oxydée, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (hématite) ou parfois Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub> (magnétite), avec des teneurs en fer comprises entre 30 %, pour les minerais pauvres, et 66 %, pour les minerais riches.

La teneur en fer d'un minerai constitué d'hématite pure serait de 69,94 %.

Une partie de la production brésilienne est sous forme d'itabirite qui est un minerai de fer (hématite, magnétite), métamorphisé, en présence de quantités importantes de [quartz](#), avec des teneurs en fer comprises entre 37 et 52 %.

#### Principaux complexes miniers : en 2019.

en millions de t					
Complexe minier	Exploitant	Production	Complexe minier	Exploitant	Production
Hamersley, Australie	Rio Tinto	209	Yandi, Australie	BHP Billiton	65
Carajás-Serra Norte, Brésil	Vale	115	Jimblebar, Australie	BHP Billiton	58
Chichester Hub, Australie	FMG	95	Area C, Australie	BHP Billiton	47
Solomon Hub, Australie	FMG	75	Itabira, Brésil	Vale	36
Newman, Australie	BHP Billiton	67	Minas Centrais, Brésil	Vale	26

Sources : rapports des sociétés

Environ 98 % de la production minière de fer est destinée à l'élaboration de l'acier.

#### Ferrailles :

Leur part dans la production d'acier est importante. Voir plus loin.

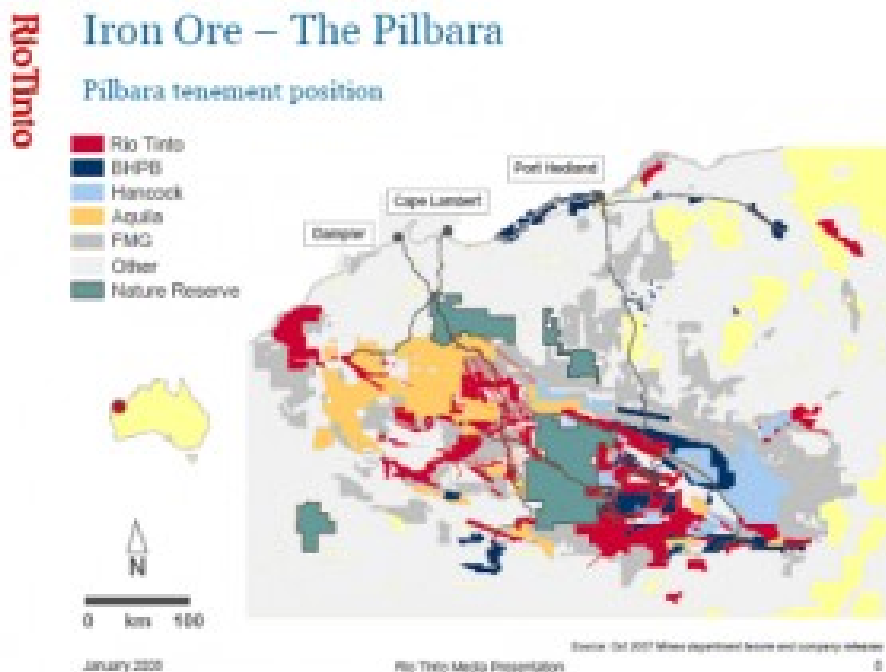
#### Productions minières : en 2019. Monde : 1 500 millions de t de fer contenu.

en millions de t de fer contenu					
Australie	580	Russie	59	États-Unis	31
Brésil	260	Afrique du Sud	49	Iran	25
Chine	220	Ukraine	39	Suède	23
Inde	130	Canada	33	Mexique	14

Source : USGS

Les teneurs des minerais varient en moyenne de 30 % pour la Chine à 66 % pour le Brésil.

Les principaux gisements australiens, à ciel ouvert, sont situés dans la région de Pilbara au nord-ouest de l'Australie occidentale. Ils sont exploités, en particulier, par [Rio Tinto](#), [BHP-Billiton](#) et [FMG](#).



En Russie, les principales mines exploitent l'Anomalie Magnétique de Kursk (KMA), située en Russie centrale. Le gisement actuellement exploité, à ciel ouvert, à 220-270 m de profondeur, est constitué de quartzites ferrugineuses contenant de 34 à 39 % de fer. Ce gisement constitue la deuxième plus grande ressource de fer, dans le monde.

**Principaux producteurs** : en 2019.

	en millions de t de minerai	
<a href="#">Vale</a> (Brésil)	302	<a href="#">ArcelorMittal</a> (Luxembourg) 57
<a href="#">Rio Tinto</a> (Australie)	281	<a href="#">Metalloinvest</a> (Russie) 40
<a href="#">BHP-Billiton</a> (Australie)	238	<a href="#">Metinvest</a> (Ukraine) 29
<a href="#">FMG</a> (Australie)	177	<a href="#">LKAB</a> (Suède) 27
<a href="#">Anglo American</a> (Afrique du Sud)	65	<a href="#">US Steel</a> (États-Unis) 21

Sources : rapports des sociétés

- Au Brésil, [Vale](#), exploite du minerai de fer, à ciel ouvert, dans principalement 3 ensembles (Nord, dans l'État de Pará, Sud-Est et Sud dans l'État de Minas Gerais) et partage moitié-moitié, avec BHP-Billiton, les mines de [Samarco](#) dans l'État de Minas Gerais. Les réserves prouvées et probables de Vale sont, fin 2019, de 16,1 milliards de t contenant, en moyenne, 55,9 % de fer.
  - La production de l'ensemble Nord, à Carajás, avec 3 mines, a été, en 2019, de 188,7 millions de t de minerai contenant 66,7 % de fer sous forme d'hématite. Les mines de Carajás ont été découvertes en 1967 et leur production a débuté en 1986. Les réserves prouvées et probables sont de 7,3 milliards de tonnes de minerai contenant 65,9 % de fer. La mine produit également du minerai de [cuivre](#), de [manganèse](#), d'[or](#). Le minerai, qui ne nécessite pas d'enrichissement, est acheminé, en 30 heures, par

voie ferrée (16 convois/jour de 330 wagons), sur 892 km, jusqu'au port de São-Luis. La construction de la voie ferrée a compté pour 56 % des investissements, l'infrastructure minière pour 20 %, l'ensemble portuaire pour 14 %. Au total, de la mine au port, 4 000 personnes sont employées.

- L'ensemble Sud-Est, sur 3 sites et 8 mines, a produit, en 2019, 73,1 millions de t avec des réserves de 4,7 milliards de t contenant, en moyenne, 47,2 % de fer. Le minerai d'itabirite, contient de 35 à 60 % de fer, il doit être concentré.
- L'ensemble Sud, sur 3 sites et 9 mines, a produit, en 2019, 37,8 millions de t avec des réserves de 4,1 milliards de t contenant, en moyenne, 47,9 % de fer. Par ailleurs, 2 mines dans le Centre-Ouest, ont produit, en 2019, 2,4 millions de t.
- Les mines de Samarco, ont arrêté toute production après la rupture d'une digue de retenue d'un bassin de rétention de résidus miniers, le 5 novembre 2015, qui a entraîné la mort de 19 personnes dans le village de Mariana. En 2015, la part de Vale dans la production des mines de Samarco avait été de 12,7 millions de t.

En 2019, la production de Vale a été destinée à 75 % à l'Asie dont 61 % à la Chine, 12 % à l'Europe, 8 % au Brésil.

- En 2019, la production de [Rio Tinto](#) a été réalisée à 96 % en Australie et 4 % au Canada. Le total des réserves prouvées et probables de Rio Tinto représente 2,645 milliards de t de minerai.
  - La production australienne a été réalisée sur le gisement de Pilbara, avec 16 mines en activité, 4 ports d'exportation du minerai et 1 700 km de voies ferrées. Cette exploitation est effectuée à travers plusieurs sociétés : Hamersley Iron possédée en propre, Channar et Eastern Range en joint venture avec des sociétés chinoises, Hope Down en association 50-50 avec [Hancock Prospecting](#), Robe River Iron Associates détenue à 53 % par Rio Tinto, associé à des sociétés japonaises (Mitsui, Nippon Steel et Sumitomo). Les réserves australiennes prouvées et probables de Rio Tinto sont de 1,9 milliard de t de minerai renfermant 60,9 % de fer.
  - Par ailleurs, Rio Tinto détient 58,7 % de la société [Iron Ore Company of Canada](#) qui exploite à ciel ouvert un gisement au Canada, à Labrador City. L'exploitation minière canadienne possède 528 millions de t de réserves prouvées et probables contenant 65 % de fer. En 2019, la production a été de 10,536 millions de t acheminées par 418 km de voies ferrées jusqu'au port de Sept-îles, au Québec.
- La production de [BHP-Billiton](#) a été, en 2018-19, réalisée totalement sur le gisement de Pilbara, en Australie, par la société Western Australia Iron Ore (WAIO) avec 5 joint ventures détenues à 85 % (Mt Newman, Area C, Yandi, Wheelarra et Jumblebar) avec les groupes japonais Mitsui et Itochu, le minerai étant acheminé par 1 000 km de voies ferrées vers 2 ports situés à Port Hedland. L'exploitation la plus importante, Mt Whaleback, détenue par la joint venture Mt Newman, a débuté en 1968 et s'étend sur une surface de 5×1,5 km, avec un minerai titrant 68 % de fer. C'est la plus importante mine de fer au monde, à ciel ouvert, d'un seul tenant.

Les réserves prouvées et probables de BHP-Billiton sont, en Australie, de 4,73 milliards de t à 61,1 % de Fe.

  - Par ailleurs, BHP-Billiton détient moitié-moitié avec Vale, la société [Samarco](#) qui exploite des gisements au Brésil, avec, en 2014-15, une production revenant à BHP-

Billiton de 14,5 millions de t. Les mines de Samarco, ont arrêté toute production après la rupture d'une digue de retenue d'un bassin de rétention de résidus miniers, le 5 novembre 2015, qui a entraîné la mort de 19 personnes dans le village de Mariana.

- [Fortescue Metals Group](#) (FMG), exploite 2 complexes miniers dans la région de Pilbara au nord-ouest de l'Australie occidentale, Chichester avec les mines de Cloudbreak et Christmas Creek et Solomon avec les mines de King Valley et Firetail. Le minerai est acheminé par 620 km de voies ferrées jusqu'au port de Herb Helliot. Les réserves sont de 2,288 milliards de t de minerai d'hématite renfermant 57,5 % de Fe et de 716 millions de t de minerai de magnétite renfermant 67,0 % de Fe.
- [Anglo American](#) exploite à ciel ouvert des mines de fer :
  - En Afrique du Sud avec 69,7 % de la société Kumba Iron Ore qui a produit, en 2019, 42,4 millions de t de minerai en exploitant les mines de Kolomela avec des réserves prouvées et probables de 163 millions de t renfermant 64,3 % de fer et Sishen avec des réserves prouvées et probables de 388 millions de t renfermant 63,9 % de fer.
  - Au Brésil avec le complexe de Minas-Rio qui exploite la mine de Serra do Sapo, avec, en 2019, une production de 23,1 millions de t et des réserves prouvées et probables de 1,401 milliard de t renfermant 67,5 % de fer.
- [ArcelorMittal](#) exploite des mines de fer dans divers pays qui fournissent près de la moitié des besoins du groupe :
  - Au Canada, avec les mines à ciel ouvert de Fire Lake et de Mont Wright, au Nord-Ouest du Québec, exploitées à 85 % par la filiale AMEN. Le minerai est acheminé, par la filiale AMIC, par une voie ferrée privée de 420 km jusqu'à Port Cartier sur de Saint-Laurent. En 2019, la production a été de 23,8 millions de t et les réserves prouvées et probables sont de 2,405 milliards de t renfermant 29,5 % de fer. En 2017, a débuté l'exploitation commerciale, par la société [Baffinland](#) avec une participation de 44,54 % d'ArcelorMittal, du gisement de Mary River, en Terre de Baffin, province du Nunavut. En 2019, la production est de 5,7 millions de t et la capacité de production doit être augmentée pour atteindre 12 millions de t/an. Les réserves sont de 374 millions de t renfermant 65,8 % de fer.
  - En Ukraine, avec la mine de Kryviy exploitée à ciel ouvert qui a produit, en 2019, 10,7 millions de t avec des réserves prouvées et probables de 609 millions de t renfermant 34,4 % de fer et souterrainement avec une production de 0,9 million de t et des réserves prouvées et probables de 27 millions de t renfermant 54,4 % de fer.
  - Aux États-Unis, dans le Minnesota, avec 2 mines à ciel ouvert, Minorca qui a produit, en 2019, 2,8 millions de t avec des réserves prouvées et probables de 131 millions de t renfermant 19,8 % de fer et Hibbing possédée à 62,3 % qui a produit 4,7 millions de t avec des réserves prouvées et probables de 130 millions de t renfermant 23,7 % de fer.
  - Au Brésil, avec 2 mines à ciel ouvert qui ont produit, en 2019, 2,8 millions de t avec des réserves prouvées et probables de 93 millions de t renfermant 52,8 % de fer.
  - Au Mexique, avec la mine à ciel ouvert de Las Truchas qui a produit, en 2019, 1,4 million de t et la mine Volcan, à ciel ouvert, qui a produit 0,8 million de t avec des réserves prouvées et probables de 116 millions de t renfermant 31,2 % de fer et 50 % de la mine à ciel ouvert de Peña Colorada qui a produit 1,9 million de t avec des réserves prouvées et probables de 201 millions de t renfermant 21,5 % de fer.

- Au Kazakhstan, 3 mines à ciel ouvert ont produit, en 2019, 1,9 million de t et possèdent des réserves prouvées et probables de 122 millions de t renfermant 39,3 % de fer et une mine souterraine a produit 0,9 million de t avec des réserves prouvées et probables de 22 millions de t renfermant 45,2 % de fer.
- Au Liberia, avec la mine à ciel ouvert de Yekepa détenue à 85 %, qui a produit, en 2019, 4,6 millions de t avec des réserves prouvées et probables de 480 millions de t renfermant 47,9 % de fer. Le minerai est acheminé à l'aide d'une voie ferrée de 260 km jusqu'au port de Buchanan.
- En Bosnie, avec la mine d'Omarska, à ciel ouvert, détenue à 51 %, qui a produit, en 2019, 1,5 million de t avec des réserves prouvées et probables de 12 millions de t renfermant 47,9 % de fer.
- [Metalloinvest](#) est le principal producteur russe avec, en 2016, 39 % de la production russe. Exploite deux mines, Lebedinsky et Mikhailovsky sur l'Anomalie Magnétique de Kursk (KMA), située en Russie centrale. Les réserves prouvées et probables sont de 14,1 milliards de t de minerai.

### Commerce international : en 2019.

Principaux pays exportateurs sur un total mondial de 1 582 millions de t de minerais et concentrés.

en millions de t de minerai			
Australie	841	Inde	29
Brésil	341	Malaisie	27
Afrique du Sud	67	Russie	22
Canada	52	Suède	22
Ukraine	36	Pays Bas	21

Source : International Trade Center

En 2017, les gisements de l'Australie de l'Ouest représentent 94 % des exportations australiennes et 57 % du commerce maritime mondial de minerai de fer. Ces exportations sont destinées, en 2019, à 84 % à la Chine, 7 % au Japon, 6 % à la Corée du Sud. Par ailleurs les gisements de la région de Pilbara représentent 68 % des importations de la Chine. Les exportations depuis Port Hedland ont été de 472 millions de t, celles depuis Cape Lambert de 177 millions de t, celles depuis Dampier de 127 millions de t.

Le Brésil exporte 87 % de sa production et ses exportations représentent, en 2017, 24 % du commerce maritime mondial de minerai de fer.

Principaux pays importateurs sur un total mondial de 1 555 millions de t de minerai et concentrés.

en millions de t de minerai			
Chine	1 071	Pays Bas	30
Japon	120	Taipei chinois	23
Corée du Sud	75	France	14
Allemagne	39	Oman	12
Malaisie	31	Turquie	10

Source : International Trade Center

Les importations chinoises proviennent à 62 % d'Australie, 21 % du Brésil, 4 % d'Afrique du Sud.

**Réserves** : en 2019. Monde : 81 000 millions de t de fer contenu.

en millions de t de fer contenu

Australie	23 000	Ukraine	2 300
Brésil	15 000	Canada	2 300
Russie	14 000	Iran	1 500
Chine	6 900	États-Unis	1 000
Inde	3 400	Kazakhstan	770

Source : USGS

En 2019, le groupe Vale (Brésil) possède 16,1 milliards de t de réserves de minerai devant le groupe russe [Metalloinvest](#) avec 14,1 milliards de t et BHP Billiton (Australie) avec 4,73 milliards de t.

**Situation française** : en 2019.

Le minerai exploité jusqu'en 1997 était pauvre et phosphoreux (la minette de Lorraine). Il contient de 30 à 34 % de fer et 0,7 % de phosphore. La production, située en Lorraine, était effectuée souterrainement, par exemple, en 1980, à l'aide de 23 puits. Depuis août 1993, la sidérurgie française s'approvisionne exclusivement en minerai importé, le minerai produit ensuite, de 1993 à 1997, étant exporté au Luxembourg.

Évolution de la production française : le maximum a été atteint en 1960 avec 67 millions de t de minerai (c'était le 3<sup>ème</sup> producteur mondial après l'URSS et les États-Unis), en 1974 la production était de 54 millions de t et, en 1991, de 7,5 millions de t. En plus de 200 ans, 3 milliards de t de minette ont été extraites.

Après la fin de l'extraction lorraine, deux petites exploitations minières ont fonctionné pour alimenter des clients tels que les cimenteries. La mine de Batère (66) avec 3 à 4 personnes et 6 000 t/an qui a fermé en 2001 et celle de Rougé (44) avec une douzaine de personnes qui extrayait quelques dizaines de milliers de t/an a fermé en 2003.

Les réserves sont estimées à 800 millions de t de fer contenu.

Commerce extérieur :

Les exportations étaient de 28 502 t de minerai avec comme principaux marchés à :

- 54 % l'Allemagne,
- 21 % l'Espagne.

Les importations s'élevaient à 13 899 462 t de minerai en provenance principalement à :

- 36 % du Canada,
- 34 % du Brésil,
- 10 % du Liberia,
- 7 % de Mauritanie.

## Sidérurgie

L'acier, après le bois et le [béton](#) est le matériau le plus utilisé dans le monde devant les [matières plastiques](#).

L'acier est constitué principalement de fer, avec des teneurs en carbone inférieures à 1 % (formellement inférieures à 2 %, des teneurs supérieures donnent la fonte) et contient des ajouts, en quantités variables, de divers éléments. Sa composition, mais aussi les traitements thermiques subis,

son revêtement de surface... font de l'acier un matériau comprenant de très nombreuses nuances (plus de 3 500) chacune adaptée à un emploi particulier. De plus, c'est un matériau en perpétuelle évolution.

Remarque : les [aciers inoxydables](#), l'[acier zingué](#), le [fer chromé](#) et le [fer blanc](#), sont traités dans des chapitres particuliers.

### **Fabrication de l'acier à partir de minerai**

La fabrication de l'acier est réalisée soit à partir de minerai pour 72 % de la production mondiale soit à partir de ferrailles pour 28 % de la production mondiale, voir la partie recyclage.

#### **Principe**

La réduction de l'oxyde de fer contenu dans le minerai est réalisée par le monoxyde de carbone formé à partir de [coke](#) dans un haut fourneau qui donne de la fonte. La température de fonctionnement du haut-fourneau permet d'obtenir de la fonte liquide surmontée d'un laitier également liquide renfermant une grande partie des impuretés. L'élaboration de la fonte est suivie par son affinage, par oxydation partielle du carbone, dans un convertisseur qui donne de l'acier, puis par un laminage à chaud et/ou à froid qui donne des produits longs (rails...) ou plats (tôles...).

#### **Évolutions**

**Hauts fourneaux** : développement de l'injection de [charbon](#) aux tuyères (de 130 à 200 kg/t de fonte) et de l'automatisation du fonctionnement (5 800 capteurs pour le haut fourneau n°4 de Dunkerque). L'injection de charbon permet de réduire la consommation de [coke](#) qui est ainsi d'environ 300 kg/t de fonte.

La durée de vie d'un haut fourneau est de l'ordre de 25 ans, la durée de fonctionnement en continu, entre deux réparations, de 12 ans, en moyenne.

**Convertisseurs** : un ajout de ferrailles peut être effectué à ce niveau.

- par lance : LD (Linz-Donawitz), OLP (Oxygène-Lance-Poudre), LD-AC (LD-Arbed-CRM).
- par le fond : LWS (Loire-Wendel-Sidelor).
- par soufflage mixte (fond et lance) : par exemple, LBE (Lance-Brassage-Equilibre) : insufflation de gaz neutre par le fond d'un convertisseur à lance verticale.

Le développement de ces procédés a été lié à celui de la production massive de [O<sub>2</sub>](#) transporté par oxyducs (voir le chapitre consacré au [dioxygène](#)).

En France, il n'y a plus de convertisseurs Bessemer-Thomas depuis 1980 et de fours Siemens-Martin depuis 1982. En France, fonctionnent 2 aciéries de conversion avec 2 LD à Dunkerque et Fos-sur-Mer.

**Métallurgie en poche** effectuée entre le convertisseur et la coulée. Elle permet les ajouts nécessaires à la qualité requise de l'acier, son homogénéisation, la désoxydation ou le dégazage (par le vide), la mise en température.

**La coulée continue** : actuellement concerne près de 97 % de l'acier produit en France. Elle remplace 3 opérations par une seule : coulée en lingots, réchauffage, laminage en demi-produit. L'acier est coulé dans un moule sans fond et donne directement un demi-produit.



**Exemple d'une usine intégrée : Fos sur Mer : 4,5 millions de t/an**

**Réception des matières premières :**

- Minerai et [charbon](#) : 640 m de quai pour des bateaux de 230 000 t.
- [Chaux](#) : le [calcaire](#) est extrait d'une carrière située à 25 km : 1 million de t/an, pour alimenter l'usine à chaux.

**Préparation des minerais, cokéfaction et agglomération :**

- Concassage du minerai : 2 lignes de 300 t/h chacune comportant 3 concasseurs en série.
- Cokerie : traite 2,3 millions de t/an de charbon pour produire 1,73 million de t/an de [coke](#) (1,48 pour les hauts-fourneaux, 0,25 pour l'agglomération du minerai), dans 108 fours. La cuisson dure 17,5 h, le coke est éteint par arrosage à l'eau.
- L'agglomération du minerai est réalisée sur une chaîne de 5×110 m. La couche de minerai atteint au maximum 50 cm.

**Hauts fourneaux** : 2 de 2,5 millions de t/an chacun, soit 7 000 t/jour. Pour chaque haut-fourneau :

- Caractéristiques : volume total : 3 049 m<sup>3</sup>, diamètre du ventre : 12,89 m, diamètre du creuset : 11,8 m, hauteur totale : 31,43 m, 28 tuyères. Le refroidissement des parois est assuré par de l'eau circulant en circuit fermé entre des plaques. Les hauts fourneaux ont été rénovés en 2007 et 2011.
- Consommations (en kg/t de fonte) : minerai aggloméré : 1 500, minerai calibré : 200, coke : 315, charbon d'injection : 170.
- Chauffage du vent : 3 cowpers avec pour chacun 58 000 m<sup>2</sup> de surface de chauffe. Ils permettent d'atteindre des températures de 1250-1300°C.
- Coulée : dans des poches-tonneaux de 450 t dans lesquelles un premier traitement de désulfuration par du carbure de calcium ou de la chaux est pratiqué.

**Aciérie** : 2 convertisseurs de 335 t.

- Soufflage de [dioxygène](#) par lance et par le fond et soufflage de gaz neutres par le fond pour diminuer la teneur en [carbone](#), [manganèse](#) et phosphore et éliminer le [silicium](#) de la fonte enfournée. Cette opération permet également d'assurer un brassage du liquide et la remontée des impuretés vers le laitier. Addition de [chaux](#) pour neutraliser le laitier et de [dolomie](#) pour protéger le revêtement réfractaire du convertisseur. Enfournement de ferrailles pour assurer l'équilibre thermique du bain.
- Métallurgie en poche : passage du métal dans des installations de désulfuration puis d'affinage et de mise en température. Lors de la coulée en poches la composition est ajustée par ajout de ferro-alliages.

**Coulée continue** : 2 installations. Caractéristiques de l'installation la plus récente :

- Capacité de production : 2,43 millions de t/an, vitesse de coulée : 1,8 m/min, largeur : 1,05 à 2,2 m, épaisseur : 0,22 m.

**Laminage** : par un train à bande de 4,5 millions de t/an de capacité. Caractéristiques :

- 1 cage verticale, 5 cages horizontales dégrossisseuses et 7 cages finisseuses.
- Épaisseurs visées : 1,2 à 20 mm, vitesse maximale de laminage atteinte : 97 km/h.

**Bilan énergétique** : pour produire 1 t de bobines laminées à chaud.



en millions de joules

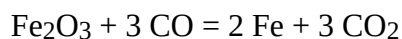
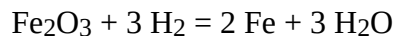
Haut fourneau	12 828	Cokerie	2 109
Laminage à chaud	3 106	Coulée continue	232
Agglomération	2 876	Convertisseurs	176

### Minerais pré-réduits

Dénommés DRI : Direct Reduced Iron ou HBI : Hot Briquetted Iron.

### Élaboration :

Les fours électriques d'élaboration de l'acier utilisent principalement de la ferraille. Toutefois, pour des pays producteurs de [gaz naturel](#), il peut être intéressant de réduire du minerai, à l'aide de gaz de synthèse obtenu à partir de gaz naturel ayant subi un reformage, et d'utiliser ce minerai pré-réduit pour alimenter des fours électriques. Le gaz de synthèse peut aussi être produit à l'aide de charbon, c'est le cas pour les 2/3 de la production indienne. Le [procédé Midrex](#), utilisé, en 2018, pour 63,5 % de la production de minerais pré-réduits consiste à traiter, dans un four à cuve, à une température inférieure à 1100°C, le minerai par du gaz naturel reformé qui donne du monoxyde de carbone et du dihydrogène (voir le chapitre [dihydrogène](#)). Les réactions mises en jeu sont les suivantes :



La température atteinte ne permet pas la fusion du fer, on obtient une « éponge » de fer. La teneur en fer atteint 92 à 93 % avec 1,4 à 2 % de carbone. Les capacités de production, par installation, peuvent atteindre 1 million de t/an.

D'autres procédés sont employés : four rotatif à l'aide de charbon, HyL, le plus ancien (1957), Fior, en lit fluidisé...

**Production** : la production mondiale est, en 2019, de 107,6 millions de t dont 0,7 million de t dans l'Union européenne (Allemagne).

en millions de t

Inde	36,9	Égypte	4,4
Iran	28,5	Émirats Arabes Unis	3,7
Russie	8,0	États-Unis	3,5
Mexique	6,0	Qatar	2,4
Arabie Saoudite	4,7	Oman	1,6

Source : World steel in figures

### Recyclage à partir de ferrailles

Les ferrailles sont principalement utilisées dans des fours électriques à arc. Elles peuvent également être ajoutées, jusqu'à 30 %, à la fonte liquide dans les convertisseurs à oxygène (voir plus haut). Depuis les origines de la fabrication de l'acier, le recyclage a porté, dans le monde, sur 25 milliards de t.

Les ferrailles sont récupérées, broyées (par des broyeurs à marteaux) puis triées magnétiquement.

Le broyeur le plus puissant exploité par la société [SIMS Metal Management](#) (Australie, n°1 mondial du recyclage des métaux avec, en 2018, le recyclage de 7,7 millions de t de ferrailles) fonctionnant à Newport (Royaume-Uni) traite à l'heure, 450 véhicules pour donner 350 t de métal.

### Origine des ferrailles

Elles proviennent des véhicules hors d'usage, des biens de consommation en fin de vie (électroménager, emballages...), de la démolition de bâtiments... mais aussi, pour 1/3, des chutes neuves de fabrication. Au total, la sidérurgie mondiale recycle, en moyenne, 600 millions de t/an d'acier. En 2017, les taux de recyclage sont de 85 % pour l'acier utilisé dans les constructions, avec une durée de vie de 40 à 70 ans, 90 % pour l'acier utilisé dans les automobiles avec une durée de vie de 7 à 15 ans, 90 % pour l'acier utilisé dans la construction de machines, avec une durée de vie de 10 à 20 ans, 50 % pour l'acier utilisé dans les équipements électriques et les appareils ménagers, avec une durée de vie de 4 à 10 ans. En moyenne, en 2013, le taux de recyclage est de 83 %. On estime que dans le monde, sont utilisés 200 milliards d'emballages en acier, recyclés à 68 %, soit 7,2 millions de t/an d'acier.

- En France, les taux de recyclage de l'acier sont de 95 % pour les automobiles, 75 % dans le bâtiment et l'électroménager, 62 % pour les emballages.
- Pour chaque tonne d'acier recyclé sont économisés 1,1 t de minerai de fer, 630 kg de charbon, 55 kg de calcaire, 642 kWh et 287 litres de pétrole.

### Récupération des ferrailles

**En France**, en 2014, en millions de t.

- Collecte nationale de ferrailles : 12,9, dont chutes neuves : 2,3, démolition : 1,4, véhicules hors d'usage : 1,2.
- Les ferrailles proviennent à 33,1 % des chutes de la sidérurgie et des industries de transformation de l'acier et 66,9 % de la récupération d'acier usagé.
- Producteurs : n° 1 : [Derichebourg](#) qui a traité, en 2017, 3,7 millions de t de ferrailles avec 29 broyeurs-déchiqueteurs.

**Commerce international** : en 2019.

Principaux pays exportateurs sur un total de 98,3 millions de t, dont 21,8 millions de t par l'Union européenne.

en millions de t			
États-Unis	16,6	Pays Bas	6,3
Allemagne	8,5	Canada	4,4
Royaume Uni	8,1	Russie	4,1
Japon	7,7	Belgique	3,8
France	6,6	Australie	2,3

Source : International Trade Center

Les exportations des États-Unis sont destinées à 24 % à la Turquie, 11 % à Taipei chinois, 8 % au Mexique.

Principaux pays importateurs sur un total de 100,0 millions de t, dont 2,9 millions de t dans l'Union européenne.

en millions de t

Turquie	18,9	Belgique	4,5
Inde	7,0	États-Unis	4,3
Corée du Sud	6,5	Allemagne	4,1
Italie	5,4	Espagne	4,0
Vietnam	4,9	Bangladesh	3,8

Source : International Trade Center

Les importations turques proviennent à 20 % des États-Unis, 14 % des Pays Bas, 12 % du Royaume Uni, 10 % de Russie.

**Consommations de ferrailles**, en 2019. Monde : 630 millions de t, Union européenne, en 2018 : 87,5 millions de t.

en millions de t

Chine	215,9	Turquie	27,9
États-Unis	60,7	Italie, en 2017	21,6
Japon	33,7	Allemagne, en 2017	19,0
Russie	30,3	Espagne, en 2017	11,1
Corée du Sud	28,5	France, en 2017	7,2

Source : BIR

### Fours électriques à arc

Ils utilisent directement de la ferraille ou des minerais pré-réduits, ces derniers représentant 15 % de la production mondiale d'aciers au four électrique.

Les fours à arc comportent 1 ou 3 électrodes. Les capacités vont de 10 à 220 t. Chaque coulée est effectuée, en moyenne, toutes les 50 à 60 minutes. Les fours les plus performants permettent 30 coulées/jour, le record étant de 7 850 coulées/an. La puissance des fours atteint 0,9 MVA/t, avec une consommation électrique de 320 kWh/t. La consommation de [dioxygène](#) est de 30 m<sup>3</sup>/t.

Les fours électriques à arc à courant continu, plus économiques que ceux à courant alternatif, sont de plus en plus employés.

### Consommations, coproduits et émissions de la sidérurgie

**Consommations moyennes selon la voie utilisée** : en 2018, pour une tonne d'acier brut.

	Voie haut fourneau – convertisseur	Voie four électrique
Minerai de fer	1 370 kg	586 kg
Charbon	780 kg	150 kg
Calcaire	270 kg	88 kg
Acier recyclé	125 kg	710 kg
Énergie	19,8 à 31,2 GJ	9,1 à 12,5 GJ

Source : World Steel Association

- Énergie : la consommation moyenne est, en 2013, de 20,0 GJ/t d'acier brut. En France, en 2013, la consommation d'énergie est de 5,245 millions tep, à partir de charbon et coke métallurgique à 65,2 %, d'[électricité](#) à 15,0 %, de [gaz naturel](#) à 9,9 %, de charbon et coke énergétique à 9,8 %, de fioul à 0,1 %.

- [Eau](#) : 2,5 m<sup>3</sup>/t d'acier à Sollac Dunkerque.
- Produits réfractaires : 13 kg/t d'acier brut.

### Principaux coproduits de la sidérurgie :

- Les laitiers de hauts fourneaux (300 kg/t d'acier) et les scories d'aciéries sont utilisés dans la construction routière, les [cimenteries](#), la fabrication de laine de roche, la fertilisation. Ce sont des coproduits à forte valeur ajoutée. En 2018, la production de l'union européenne est de 42,2 millions de t et la consommation de 34,1 millions de t dont 22,6 millions de t provenant des hauts-fourneaux et 11,8 millions de t des aciéries.  
Les laitiers des hauts fourneaux sont destinés à 80,3 % à l'industrie cimetièrre, 18,1 % à la construction de routes. Ceux provenant des aciéries sont destinés à 70,6 % à la construction de routes, 13,1 % à la métallurgie, 5,4 % aux cimenteries, 4,5 % à l'industrie des engrais.
- Les sous-produits des [cokeries](#) (sulfate d'ammonium...) sont utilisés en chimie.

**Émissions** : par t d'acier, dans des installations modernes : 2 kg de poussières, 2,45 kg de [SO<sub>2</sub>](#). Les émissions de [CO<sub>2</sub>](#) sont, en 2017, de 1,83 t/t d'acier, elles représentent 7 à 9 % du total des émissions mondiales par les énergies fossiles.

Par ailleurs, les hauts fourneaux sont susceptibles de détruire, par incinération, des déchets de matières plastiques non recyclables. Par exemple, en Allemagne, ces déchets sont introduits, en remplacement de pétrole, dans des hauts-fourneaux.

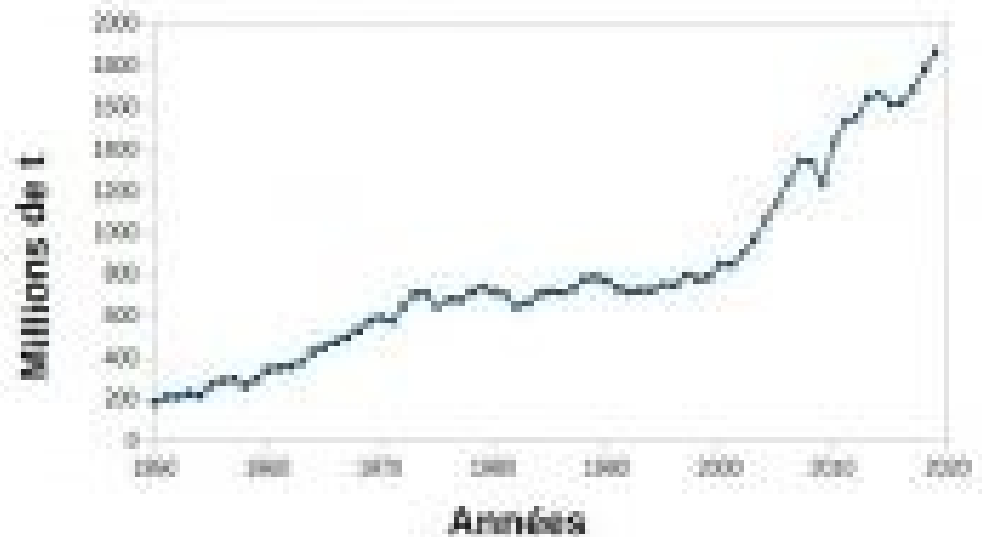
### Productions d'acier brut

En 2019. Monde : 1 869 millions de t, Union européenne : 158,8 millions de t.

		en millions de t	
Chine	996,3	Brésil	32,2
Inde	111,2	Iran	25,6
Japon	99,3	Italie	23,2
États-Unis	87,8	Taipei chinois	22,0
Russie	71,9	Ukraine	20,8
Corée du Sud	71,4	Vietnam	20,1
Allemagne	39,7	Mexique	18,5
Turquie	33,7	France	14,4

Source : Worldsteel

### Évolution de la production mondiale d'acier



## Commerce international

**Principaux pays exportateurs** : en 2019, sur un total de 436 millions de t, dont 27,8 millions de t pour l'Union européenne.

en millions de t

Chine	63,8	Turquie	19,7
Japon	33,1	Italie	17,9
Corée du Sud	29,9	Belgique	17,2
Russie	29,5	Ukraine	15,6
Allemagne	24,1	France	13,6

Source : Worldsteel in figures

**Principaux pays importateurs** : en 2019, sur un total de 436 millions de t, dont 40,2 millions de t pour l'Union européenne.

en millions de t

États-Unis	27,1	Chine	15,5
Allemagne	23,1	Vietnam	15,4
Italie	20,1	France	14,5
Thaïlande	16,7	Indochine	13,4
Corée du Sud	16,4	Mexique	13,0

Source : Worldsteel in figures

## La sidérurgie mondiale

### Évolution de la répartition de la production mondiale :

	Europe de l'Ouest	Amérique du Nord	ex URSS	Japon	Chine	Autres pays
1930	44,9 %	43,8 %	6,1 %	2,4 %		2,8 %
1950	31,2 %	46,7 %	14,0 %	2,5 %		5,6 %
1970	33,9 %	21,9 %	19,5 %	15,7 %		9,0 %
1980	31,1 %	16,4 %	20,6 %	15,5 %		20,2 %
1990	21,8 %	13,1 %	20,0 %	14,3 %	9 %	21,8 %
1995	22,8 %	14,4 %	10,5 %	13,6 %	12,7 %	26,0 %
2010	9,7 %	6,7 %	8,0 %	7,1 %	46,4 %	22,0 %
2015	8,8 %	5,6 %	6,2 %	6,5 %	49,6 %	23,3 %

Source : IISI, Steel Statistical Yearbook

**Importance de la Chine** : devenue n°1 mondial, la progression importante de la production mondiale de ces dernières années est principalement due à la Chine et dans une moindre mesure à l'Inde. Importatrice d'acier jusqu'en 2004, en 2005, la Chine a équilibré importations et exportations (27,3 millions de t d'acier importées pour 27,4 millions de t exportées). En 2019 elle est exportatrice nette avec 48,3 millions de t. Ses besoins en matières premières (minerai de fer, nickel...) sont considérables et font de la Chine un acteur important sur les marchés de matières premières.

**Importance du Japon** : 2<sup>ème</sup> producteur mondial jusqu'en 2016, doublé depuis par l'Inde. Le développement de la sidérurgie japonaise est récent : après la 2<sup>ème</sup> guerre mondiale. La production a été multipliée par 12 de 1955 à 1973. Le Japon n'a ni charbon ni minerai de fer. Cette situation est caractéristique de la modification de l'implantation géographique de la sidérurgie. En France, déclin de la Lorraine au profit du littoral : Dunkerque en 1962, Fos en 1975. La sidérurgie de la Corée du Sud a suivi la même voie que celle du Japon. En 2019, les exportations nettes du Japon sont de 26,7 millions de t.

**La sidérurgie américaine** est moins performante que la sidérurgie européenne : les produits japonais mais aussi européens sont compétitifs sur le marché américain. Les États-Unis sont importateurs nets avec 19,8 millions de t.

**Le commerce international de l'acier est important** : 436 millions de t en 2019. Bien que les pays en voie de développement construisent des sidérurgies nationales (c'est un critère de développement) ils restent globalement importateurs.

**Union européenne** : en 2019, les exportations de l'Union Européenne ont porté sur 13,822 millions de t de produits plats et 6,682 millions de t de produits longs et les importations sur 19,681 millions de t de produits plats et 5,697 millions de t de produits longs.

Les exportations de produits plats sont destinés à 24 % à la Turquie, 12 % aux États-Unis, 6,5 % au Mexique, 6 % à la Suisse, 5 % à la Chine, celles de produits longs, à 15 % à l'Algérie, 13,5 % aux États-Unis, 13 % à la Suisse, 7 % à la Turquie, 7 % au Canada.

Les importations de produits plats proviennent à 22 % de Turquie, 14 % de Corée du Sud, 11 % de Russie, 11 % d'Inde, 10 % de Chine, celles de produits longs à 26,5 % de Turquie, 15 % de Russie, 11 % de Biélorussie, 9 % d'Ukraine, 7,5 % de Chine.

Les principales sociétés sidérurgiques européennes sont regroupées dans [Eurofer](#).

Évolution de la sidérurgie européenne entre 1978 et 1998 : nombre de hauts fourneaux : de 281 à 89, nombre de convertisseurs à oxygène : de 193 à 95, nombre de fours électriques : de 539 à 195. Nombre d'employés dans l'Union européenne, en 2019 : 330 523 dont 86 000 en Allemagne.

Carte de la sidérurgie de l'Union européenne, en 2018 (document d'Eurofer) :



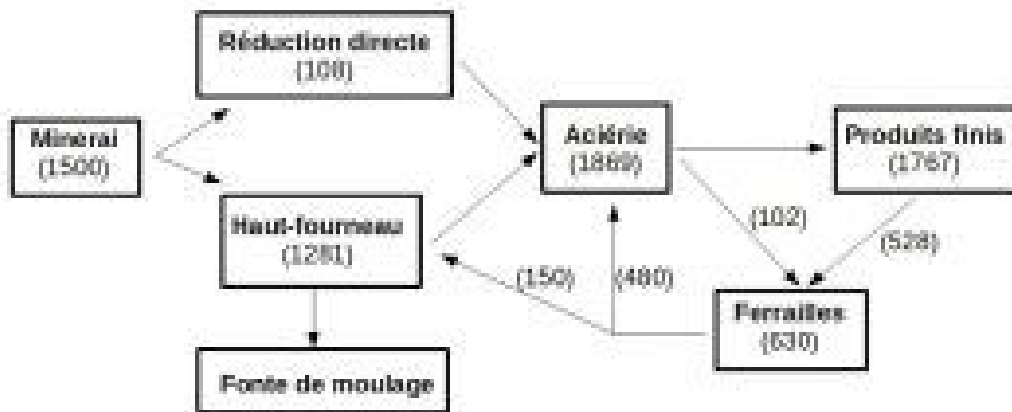
**Utilisation mondiale des procédés de production** : en 2019, en % de la production.

Pays	Coulée continue	Oxygène	Électrique	Martin
Monde	96,6	71,9	27,7	0,3
Union européenne	97,0	59,1	40,9	0
France	97,2	69,6	30,4	0
Allemagne	97,1	70,0	30,0	0
Italie	94,7	18,1	81,9	0
Japon	98,4	75,5	24,5	0
États-Unis	99,7	30,3	69,7	0
Russie	82,2	64,1	33,6	2,3
Chine	98,5	89,6	10,4	0

Source : Worldsteel, World steel in figures

**Schéma simplifié de l'approvisionnement de la sidérurgie mondiale en millions de t de fer contenu, en 2019.**





**Principaux producteurs** : en productions de 2019.

en millions de tonnes d'acier

<a href="#">ArcelorMittal</a> (Luxembourg)	97,3	<a href="#">Shougang Group</a> (Chine)	29,3
<a href="#">China Baowu</a> (Chine)	95,5	<a href="#">Shandong Steel Group</a> (Chine)	27,6
<a href="#">Nippon Steel</a> (Japon)	51,7	<a href="#">JFE Steel Corporation</a> (Japon)	27,3
<a href="#">HBIS</a> (Chine)	46,6	<a href="#">Valin</a> (Chine)	24,3
<a href="#">Posco</a> (Corée du Sud)	43,1	<a href="#">Nucor Corporation</a> (États-Unis)	23,1
<a href="#">Shagang Group</a> (Chine)	41,1	<a href="#">Hyundai Steel</a> (Corée du Sud)	21,6
<a href="#">Ansteel Group</a> (Chine)	39,2	<a href="#">IMIDRO</a> (Iran)	16,8
<a href="#">Jianlong Group</a> (Chine)	31,2	<a href="#">JSW</a> (Inde)	16,3
<a href="#">Tata Group</a> (Inde)	30,1	<a href="#">Sail</a> (Inde)	16,2

Source : Worldsteel in figures

- Depuis 2006, après l'acquisition d'Arcelor par Mittal Steel, [ArcelorMittal](#) est n°1 mondial. Mittal avait dans un premier temps regroupé les activités des sociétés néerlandaises Ispat International et LNM Holding puis acquis ISG (International Steel Group). Arcelor était né en février 2002 de la fusion d'Usinor (France), Aceralia (Espagne) et Arbed (Luxembourg). Au préalable, Usinor avait repris, en 1998, le groupe belge Cockerill. En 2005, Arcelor avait absorbé le brésilien CST.
- JFE (Japan Fe Engineering) est né, en 2002, de la fusion de NKK et de Kawasaki Steel.
- Depuis octobre 2012, la fusion des groupes japonais Nippon Steel et Sumitomo est effective.
- [China Baowu](#) est issu de la fusion, en décembre 2016, des groupes chinois [Baosteel](#) et [Wuhan Steel Group](#).

- En septembre 2017, [Tata Steel](#) et [ThyssenKrupp](#) ont annoncé la fusion de leurs activités dans l'acier en Europe.

## Situation française

En 2019, en milliers de t d'acier.

**Production** : 14 448 d'acier brut (19 200 en 2007, 12 800 en 2008).

- Filière fonte, en 2018 : 10 530,
- Filière électrique, en 2018 : 4 861.

**Consommation apparente** : 13 800.

**Commerce extérieur** : en 2019, en milliers de t d'acier, hors aciers inoxydables, ferrailles et ferroalliages.

Exportations : 12 122 avec la répartition suivante :

Allemagne	20,2 %	Turquie	6,6 %
Espagne	17,7 %	Luxembourg	3,8 %
Belgique	15,0 %	Royaume Uni	3,7 %
Italie	14,0 %	Pologne	2,4 %

*Source : ITC*

Importations : 12 182 avec la répartition suivante :

Allemagne	24,4 %	Royaume Uni	5,0 %
Belgique	21,9 %	Pays Bas	4,9 %
Italie	12,5 %	Luxembourg	2,7 %
Espagne	12,4 %	Russie	2,2 %

*Source : ITC*

Effectifs : 21 900 personnes (150 000 en 1978).

### Hauts fourneaux :

Destinés à élaborer de l'acier :

- 3 hauts fourneaux à Dunkerque (59), exploités par ArcelorMittal.
- 2 hauts fourneaux à Fos-sur-Mer (13), exploités par ArcelorMittal.

Destiné à élaborer de la fonte ductile :

- 1 haut fourneau à Pont-à-Mousson (54), exploité par [Saint-Gobain PAM](#). L'introduction d'une faible quantité de [magnésium](#) dans la fonte grise permet de cristalliser le carbone sous forme de sphères de graphite au lieu de lamelles. Ce graphite sphéroïdal confère à la fonte une haute limite élastique et une grande résistance aux chocs. Elle est utilisée dans les canalisations, les regards de chaussée pour la voirie...

**Acieries électriques** : en France fonctionnent 20 acieries électriques.

## Utilisations

### Consommations apparentes finales d'acier

En 2019. Monde : 1 767,5 millions de t et 229,3 kg/habitant/an, Union européenne : 158,7 millions de t et 309,6 kg/habitant/an.

en millions de t et ( ) en kg/habitant/an			
Chine	907 (633)	Russie	43 (298)
Inde	101 (74)	Allemagne	35 (418)
États-Unis	98 (297)	Turquie	26 (313)
Japon	63 (498)	Italie	25 (420)
Corée du Sud	53 (1 039)	Mexique	24 (190)

Source : Worldsteel, World steel in figures

La consommation par habitant la plus importante, en 2017, est celle de la Corée du Sud, suivie des Émirats Arabes Unis avec 917 kg/habitant/an, de Taipei chinois avec 897 kg/habitant/an, des Émirats Arabes Unis avec 855 kg/habitant/an, du Qatar avec 621 kg/habitant/an, de Singapour avec 610 kg/habitant/an. Celle de la République Démocratique du Congo est de 1,4 kg/habitant/an.

### Secteurs d'utilisation de l'acier

	Union européenne en 2019	Monde en 2019		Union européenne en 2019	Monde en 2019
Construction de bâtiments	35 %	52 %	Autres transports	2 %	5 %
Construction de machines et appareils mécaniques	15 %	16 %	Équipements électriques	–	3 %
Fabrication d'objets métalliques	14 %	10 %	Appareils ménagers	2 %	2 %
Automobiles	19 %	12 %	Tubes	10 %	–

Sources : Worldsteel et Eurofer

Le bâtiment et les travaux publics utilisent principalement des produits longs (poutrelles, ronds à béton...), l'automobile, par contre, utilise plutôt des produits plats (tôles...).

### Les aciers spéciaux

Parmi les très nombreuses variétés d'aciers, on peut citer :

- Les aciers inoxydables : contenant par exemple 18 % de [Cr](#) et 10 % de [Ni](#) pour les aciers austénitiques. En 2018, production de 50,729 millions de t dans le monde dont 293 000 t, en France, en 2017. Pour plus de détails sur les [aciers inoxydables](#) voir ce chapitre.
- Les aciers à roulements : contenant 1 % de C, 1,5 % de Cr.
- Les aciers à outils : contenant jusqu'à 18 % de [W](#), 1,5 % de C.
- D'autres aciers alliés spéciaux : tôles pour transformateurs (3 % de [Si](#)), aciers à ressort (Mn-Si ou Cr-Mo-Si), aciers pour cryogénie (6 à 9 % de Ni), aciers pour chaudières (Mn-Mo ou Cr-Mo), aciers résistant à l'abrasion (13 % de [Mn](#)), aciers à dilatation nulle (Invar, 36 % de [Ni](#)), aciers magnétiques (Fe-Al-Ni), aciers réfractaires (25 % de Cr, 12 % de Ni).

## Utilisations particulières

**Les tôles sandwich** : elles sont constituées par 2 tôles minces (0,3 à 0,7 mm) séparées par un film polymère de 45 micromètres. La résine est appliquée sur l'une des tôles puis l'ensemble est colaminé. Plus légères et résistantes que l'acier d'épaisseur équivalente, elles sont utilisées pour leurs propriétés d'insonorisation : les vibrations sont absorbées par le polymère (choisi pour que la température d'utilisation soit dans son domaine viscoélastique), par frottement des chaînes polymères, qui dissipe cette énergie sous forme de chaleur. Ces tôles, mises au point initialement au Japon, commencent à être utilisées dans les tabliers (pièce séparant le moteur de l'habitacle) des automobiles (gain de poids : 20 %), les tambours de sèche linge... Le dallage du sol de la Très Grande Bibliothèque a été réalisé en sandwich d'acier inoxydable.

**Bâtiment, travaux publics** : en France, la consommation dans ce secteur est de 4 millions de t/an dont 44 % de ronds à béton. Les constructions métalliques utilisent 700 000 t/an, dont 40 000 t/an pour les ponts métalliques. La construction du viaduc de Millau a consommé 62 550 t d'aciers. Le pont le plus long au monde (4 km), celui de Akashi-Kaikyo, au Japon, a utilisé 193 000 t d'acier. Dans ce secteur, les consommations annuelles par habitant sont de 268 kg au Japon, 151 kg en Italie, 118 kg en Allemagne, 108 kg aux États-Unis, 108 kg en Espagne, 83 kg en France. Les normes antisismiques conduisent à employer plus d'acier dans les constructions, au Japon et en Italie (de 46 à 48 % des utilisation de l'acier dans ces pays). On assiste au développement de la construction de maisons individuelles à ossature en acier.

**Automobiles** : elles renferment, en moyenne, 960 kg d'acier contenu à 34 % dans la structure du véhicule, 23 % dans le moteur, 12 % dans les suspensions. De nouvelles nuances d'aciers, à hautes limites élastiques (la limite d'élasticité est passée de 200 à 1000 et jusqu'à 1400 MPa), AHSS (Advanced High Strength Steel ou dual phase), UHSS (Ultra High Strength Steel ou martensitique) sont de plus en plus utilisées.

**Tubes** : le producteur français [Vallourec](#) est le n°1 mondial des tubes sans soudure, laminés à chaud ou à froid. Ses capacités de production sont de 3 millions de t/an avec une aciérie électrique à Saint-Saulve (59), une autre aux États-Unis et un haut-fourneau au Brésil.

**Rails** : 400 km de ligne de TGV à 2 voies nécessitent 100 000 t de rail (60 kg/m). En France, une seule usine de production de rails à partir d'acier importé du Royaume-Uni, à Hayange (57). En avril 2016, l'usine exploitée par [Tata Steel](#) a été vendue au fond d'investissement Greybull Capital qui contrôle la société [British Steel](#) qui été à son tour vendue, en mars 2020, au groupe chinois [Jingye](#), le sort de l'usine d'Hayange restant en attente. Les rails produits d'une longueur de 80 m (en 2017, les rails atteignent jusqu'à 150 m) étaient, pour la construction de la ligne TGV Est, soudés par la SNCF pour atteindre 400 m. La première phase de la construction de cette ligne, qui a débuté en 2002, a consommé 86 000 t de rails. Actuellement les rails produits ont une longueur de 108 m et, en 2015, la production a été de 343 000 t. Dans le monde, la longueur du réseau ferré est de 1,052 millions de km.

**Signalisation routière** : 200 000 t d'acier/an en Europe de l'Ouest.

**Boules de pétanque** : la société française [Obut](#), à Saint-Bonnet-le-Château (42), en produit 300 t/mois, soit les 2/3 du marché mondial. Les boules sont fabriquées à partir de barres cylindriques cisailées, forgées à plus de 1000°C pour donner des flans qui sont emboutis en coquilles soudées 2 à 2 qui subissent diverses finitions et traitements thermiques.

