

## ACIERS 2012

### MATIÈRES PREMIÈRES :

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

#### **Minerai :**

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. Les teneurs en fer sont comprises entre 37 et 52 %.

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 2012, en millions de t de minerai contenant 65 % de fer. Monde : 2 334, Union européenne (2011) : 29.

Chine	634	Russie	100	Canada	40
Australie	525	Ukraine	81	Iran	28
Brésil	375	Afrique du Sud	61	Suède	25
Inde	245	Etats-Unis	53	Kazakhstan	25

Source : USGS

Les teneurs des minerais variant en moyenne de 30 % pour la Chine à 66 % pour le Brésil, les productions ont été ramenées à des teneurs moyennes de 65 %.

Les minerais exploités au Brésil et en Australie ont des teneurs de 65 à 66 % en fer sans ou après concentration. Par contre les minerais chinois ont une teneur moyenne de 30 % en fer. En 2011, l'exploitation de minerais a porté, en Chine, sur 1 330 millions de t contenant 412 millions de t de fer alors que pour le Brésil la production a été de 372 millions de t de minerai contenant 248 millions de t de fer et pour l'Australie, la production a été de 488 millions de t contenant 277 millions de t de fer.

#### **Producteurs :**

En 2012, en millions de t de minerai.

<a href="#">Vale</a> (Brésil)	320	<a href="#">Anglo American</a> (Afrique du Sud)	43
<a href="#">Rio Tinto</a> (Australie)	199	<a href="#">Metalloinvest</a> (Russie)	40
<a href="#">BHP-Billiton</a> (Australie)	159,5	<a href="#">Metinvest</a> (Ukraine)	36
<a href="#">FMG</a> (Australie)	57	<a href="#">LKAB</a> (Suède)	26
<a href="#">ArcelorMittal</a>	56	<a href="#">US Steel</a> (Etats-Unis)	24

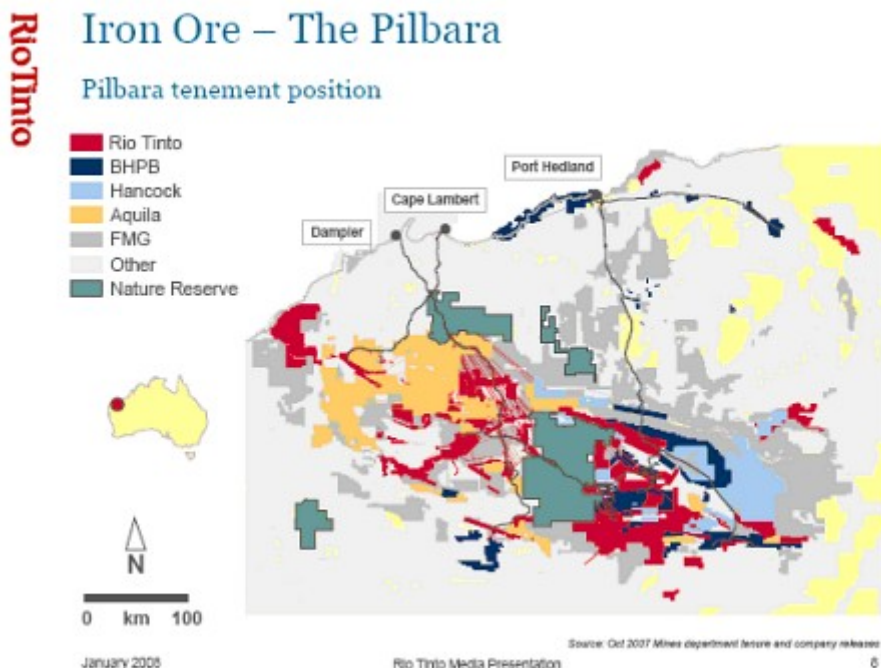
- Au Brésil, [Vale](#), exploite du minerai de fer dans 4 ensembles (Nord, dans l'état de Pará, Sud-Est et Sud dans l'état de Minas Gerais et Centre-Ouest, dans l'état du Mato Grosso du Sud et partage moitié-moitié, avec BHP-Billiton, les mines de [Samarco](#) dans l'état de Minas Gerais. Les réserves prouvées et probables de Vale sont de 19 milliards de t contenant, en moyenne, 53,1 % de fer. La production de l'ensemble Nord, à Carajás, avec 4 mines, a été, en 2012, de 106,8 millions de t de minerai contenant 66,7 % de fer sous forme d'hématite. Les mines de Carajas ont été découvertes en 1967 et leur production a débuté en 1986. Les réserves sont de 7,3 milliards de tonnes de minerai contenant 66,7 % de fer. La mine produit également du minerai de [cuivre](#), de [manganèse](#), d'[or](#). La mine, exploitée à ciel ouvert, à 500 m de profondeur, est située, en Amazonie, au sud de l'état de Pará. 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 2012, 115,6 millions de t avec des réserves de 3,3 milliards de t contenant, en moyenne, 49,1 % de fer. Le minerai d'itabirite, contient de 35 à 60 % de fer, il doit être concentré. L'ensemble Sud, sur 3 sites et 11 mines, a produit, en 2012, 80,3 millions de t avec des réserves de 5,4 milliards de t contenant, en moyenne, 44,8 % de fer.

L'ensemble Centre-Ouest, avec 2 mines, a produit, en 2012, 6,4 millions de t, avec des réserves de 34 millions de t contenant 62,2 % de fer. Les mines de Samarco, ont produit, en 2012, 10,9 millions de t destinées à Vale avec des réserves de 3 milliards de t à 39,7 % de fer.

En 2012, la production de Vale a été destinée à 66,2 % à l'Asie dont 49 % à la Chine, 17,1 % à l'Europe, 11,7 % au 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 2012, la production de Rio Tinto a été réalisée à 95,8 % en Australie, sur le gisement de Pilbara, avec 14 mines en activité, 3 ports d'exportation du minerai et 1 500 km de voies ferrées. En Australie, Rio Tinto exploite le gisement de Pilbara à travers 2 sociétés. Hamersley Iron possède 11 mines dont 3 en joint venture (Channar et Eastern Range avec des sociétés chinoises et Hope Downs 50-50 avec [Hancock Prospecting](#)) et exporte le minerai via le port de Dampier. Robe River Iron Associates détenue à 53 % par Rio Tinto, associé à des sociétés japonnaises (Mitsui, Nippon Steel et Sumitomo) possède 3 mines et exporte son minerai via le port de Cap Lambert. La capacité de production de Rio Tinto, en Australie, de 237 millions de t/an doit être portée, en 2015, à 360 millions de t/an.

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 555 millions de t de réserves contenant 65 % de fer. En 2012, la production a été de 8,3 millions de t acheminées par 418 km de voies ferrées jusqu'au port de Sept-Îles, au Québec.

Le total des réserves prouvées et probables de Rio Tinto représente 2,6 milliards de t de minerai. Rio Tinto a le projet d'exploiter, en association avec [Chinalco](#) et l'état guinéen, le gisement de [Simandou](#), en Guinée. Les réserves sont de 1,8 milliard de t contenant 65,5 % de fer. La capacité de production prévue est de 95 millions de t/an devant être acheminées par 650 km de voies ferrées jusqu'à un port d'exportation situé au sud de Conakry.

La production de [BHP-Billiton](#) a été, en 2012, réalisée, à 93 % sur le gisement de Pilbara, en Australie avec 7 mines détenues à 85 %, 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, a débuté en 1968 et s'étend sur une surface de 5x1,5 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.

Par ailleurs, BHP-Billiton détient moitié-moitié avec Vale, la société [Samarco](#) qui exploite des gisements au Brésil, avec, en 2012, une production revenant à BHP-Billiton de 11,4 millions de t. Les réserves prouvées et probables de BHP-Billiton sont de 5,5 milliards de t dont 2 milliards de t au Brésil.

- En Russie, les principales mines exploitent l'Anomalie Magnétique de Koursk (KMA), située en Russie centrale. Le gisement actuellement exploité, à ciel ouvert, à 220-270 m de profondeur, est constitué de quartzites ferrugineuses contenant environ 36 % de fer. Ce gisement constitue la plus grande ressource de fer, dans le monde.

### **Commerce international :**

Au total, il a porté, en 2011, sur 1 142 millions de t de minerai dont 158 millions de t importées par l'Union européenne.

- Principaux pays importateurs, en millions de t : Chine : 687, Japon : 128, Corée du Sud : 65, Allemagne : 42, Pays-Bas : 33, France : 13,5.

- Principaux pays exportateurs, en millions de t : Australie : 466, Brésil : 331, Afrique du Sud : 53, Inde : 39, Canada : 33, Russie (2008) : 25, Ukraine (2008) : 23, Suède : 21, Kazakhstan (2008) : 15, Mauritanie : 11.

- En 2012, Vale a réalisé 23,8 % du commerce effectué par voie maritime.

### **Réserves :**

En 2012, en millions de t de fer contenu. Monde : 80 000.

Australie	17 000	Venezuela	2 400
Brésil	16 000	Ukraine	2 300
Russie	14 000	Canada	2 300
Chine	7 200	Suède	2 200
Inde	4 500	Etats-Unis	2 100

Source : USGS

Le groupe Vale (Brésil) possède 19 milliards de t de réserves de minerai devant le groupe russe Metalloinvest avec 14,9 milliards de t et BHP Billiton (Australie) avec 5,5 milliards de t.

### Situation française :

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, en 1980, dans 23 puits. Depuis août 1993, la sidérurgie française s'approvisionne exclusivement en minerai importé.

- 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 Rougé (44) avec une douzaine de personnes qui extrayait quelques dizaines de milliers de t/an a fermé en 2003 et celle de Batère (66) avec 3 à 4 personnes et 6 000 t/an qui a fermé en 2001.

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

- Importations, en 2011 : 13 983 000 t de minerai provenant du Brésil à 50,7 %, du Canada à 23,0 %, de Mauritanie à 11,5 %, du Venezuela à 5,8 %.

## ACIERS - SIDÉRURGIE

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

L'acier est constitué principalement de fer, avec des teneurs en carbone < 1 % (formellement < 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 galvanisé](#), le [fer chromé](#) et le [fer blanc](#), sont traités dans la partie matériaux.

**FABRICATION DE L'ACIER** : soit à partir de minerai (70 % de la production mondiale) soit à partir de ferrailles (30 % de la production mondiale).

**A partir de minerai** : voir le schéma sur le site [steeluniversity](http://steeluniversity)

### 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. L'élaboration de la fonte est suivie par son affinage, par oxydation 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 à l'oxygène).

- 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.

- 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 96 % de l'acier produit en France. Elle remplace 3 opérations par une : 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 5x110 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 d'oxygène 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

## **RECYCLAGE À PARTIR DES 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).

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) 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 des chutes neuves de fabrication. Au total, la sidérurgie mondiale recycle, en moyenne, 500 millions de t/an d'acier. En 2007, les taux de recyclage sont de 85 % pour l'acier utilisé dans les constructions, avec une durée de vie de 40 à 70 ans, 85 % 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.

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 sont de 95 % pour les automobiles, 75 % dans le bâtiment et l'électroménager, 62 % dans l'emballage.

- Pour chaque tonne d'acier recyclé sont économisés 1,4 t de minerai de fer, 740 kg de charbon et 120 kg de calcaire.

### **Récupération des ferrailles :**

En France, en 2011, en millions de t.

- Collecte nationale de ferrailles : 7,7.

- Consommation par la sidérurgie : 8,7.

- Les ferrailles proviennent à 17 % des chutes de la sidérurgie, 17 % des chutes des industries de transformation de l'acier et 66 % de la récupération d'acier usagé.

- Producteurs : n° 1 : [Derichebourg](#) qui a traité, en 2012, 4,2 millions de t/an de ferrailles avec 38 broyeurs-déchetteurs.

Consommations de ferrailles, en 2011, en millions de t : monde : 570, Union Européenne (2012) : 94.

Chine	91	Italie (2008)	24
Etats-Unis	56	Turquie	31
CEI (2008)	51	Allemagne (2008)	21
Japon (2008)	45	Espagne (2008)	16
Corée du Sud (2008)	28	Mexique (2008)	15

Source : IISI, Steel Statistical Yearbook

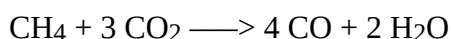


Commerce international : les importations ont porté, en 2012, sur 104 millions de t dont 31,4 millions de t pour l'Union européenne. Les exportations : 102 millions de t dont 46,8 millions de t pour l'Union européenne.

- Principaux pays exportateurs : Etats-Unis : 21,4 millions de t, Allemagne : 8,9 millions de t, Japon : 8,6 millions de t, Royaume-Uni : 7,3 millions de t, France : 6,1 millions de t, Pays Bas : 4,8 millions de t, Russie : 4,4 millions de t, Canada : 4,2 millions de t, Belgique : 3,5 millions de t.
- Principaux pays importateurs : Turquie : 22,4 millions de t, Corée du Sud : 10,1 millions de t, Allemagne : 5,5 millions de t, Italie : 5,3 millions de t, Chine : 5,0 millions de t, Taiwan : 5,0 millions de t, Espagne : 4,3 millions de t, Belgique : 4,1 millions de t, Etats-Unis : 3,7 millions de t, France : 2,7 millions de t.

### **Minerais pré-réduits** (DRI : Direct Reduced Iron ou HBI : Hot Briquetted Iron) :

Les fours électriques 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 naturel ayant subi un réformage, et d'utiliser ce minerai pré-réduit pour alimenter des fours électriques. Le procédé Midrex (utilisé pour les 2/3 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 réformé selon la réaction :



- Le [CO<sub>2</sub>](#) utilisé est récupéré après réduction du minerai par CO. La température atteinte ne permet pas la fusion du minerai, 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 : HyL, le plus ancien (1957), Fior, en lit fluidisé...
- La production mondiale est, en 2012, de 71,1 millions de t dont 0,7 million de t dans l'Union européenne (Allemagne et Suède). En millions de t :

Inde	19,7	Venezuela	4,5
Iran	11,6	Egypte	3,1
Mexique	5,6	Malaisie	2,9
Russie	5,2	Qatar	2,4
Arabie Saoudite	5,0	Trinidad & Tobago	1,7

Source : IISI, Steel Statistical Yearbook

### **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.

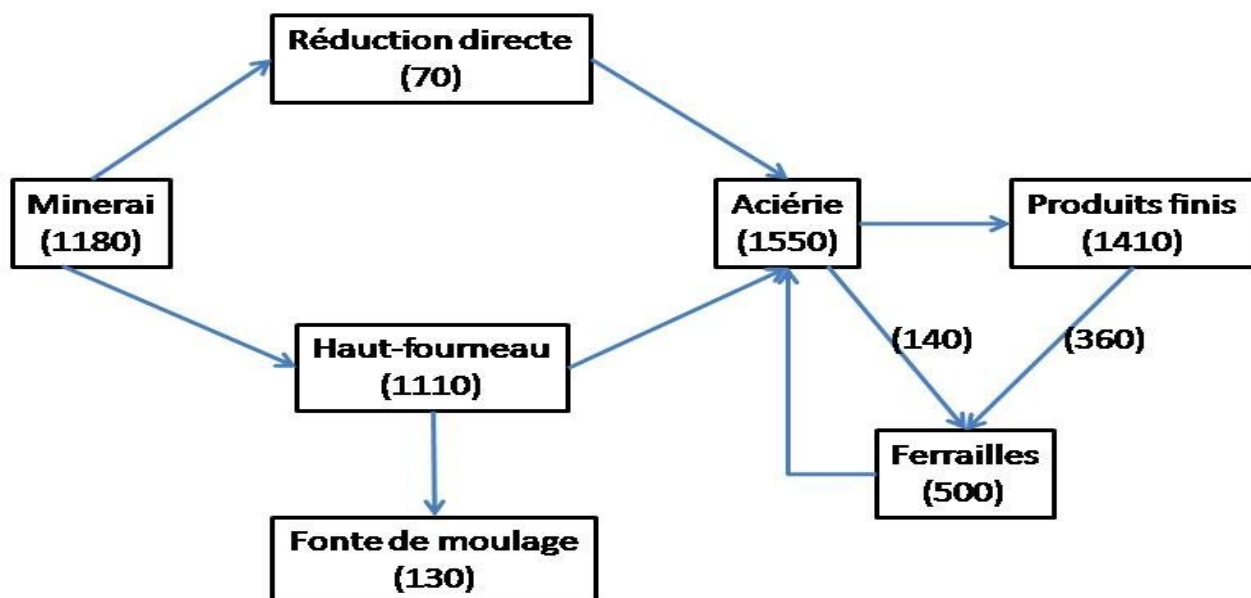
- En France, en 2012, fonctionnent 19 aciéries électriques, voir [carte](#).

**Utilisation mondiale des procédés de production** : en 2012, en % de la production.

Pays	Coulée continue	Oxygène	Electrique	Martin
Monde	95,6	69,6 %	29,3 %	1,2 %
Union européenne	96,7	58,3 %	41,7 %	0,5 %
France	96,1	60,9 %	39,1 %	0
Allemagne	96,7	67,7 %	32,3 %	0
Italie	95,4	34,2 %	65,8 %	0
Japon	98,8	76,8 %	23,2 %	0
États-Unis	98,6	40,9 %	59,1 %	0
Russie	80,7	63,4 %	27,0 %	9,6 %
Chine	98,4	89,8 %	10,1 %	0

Source : IISI, Steel Statistical Yearbook

**Schéma simplifié de l'approvisionnement de la sidérurgie mondiale en millions de t de fer contenu, en 2012**



**Consommations de la sidérurgie :**

Consommations moyennes selon la voie utilisée : en 2011, pour une tonne d'acier brut.

	Voie haut fourneau - convertisseur	Voie four électrique
Minerai de fer	1,4 t	0
Charbon	770 kg	150 kg
Calcaire	150 kg	43 kg
Acier recyclé	120 kg	880 kg
Energie	19,8 à 31,2 GJ	9,1 à 12,5 GJ

Source : World Steel Association

Consommation d'énergie, de la sidérurgie française, en 2011 : 5,1 millions tep, dont : charbon et coke métallurgique : 62,8 %, [électricité](#) : 16,1 %, [gaz naturel](#) : 11,7 %, charbon et coke énergétique : 9,2 %, fioul : 0,2 %.

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

- [Produits réfractaires](#) : 13 kg/t d'acier brut.

### **Coproduits et émissions :**

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.

- Les sous-produits des [cokeries](#) (sulfate d'ammonium...) sont utilisés en chimie.

Emissions : par t d'acier, dans des installations modernes : 2 kg de poussières, 2,45 kg de [SO2](#). Les quotas attribués à la sidérurgie française sont de 28,7 millions de t de CO<sub>2</sub>.

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.

### **Les aciers spéciaux :**

Pour plus de détails sur les [aciers inoxydables](#) voir ce chapitre.

- Aciers inoxydables : contenant par exemple 18 % de [Cr](#) et 10 % de [Ni](#) pour les aciers austénitiques. En 2012, production de 35,4 millions de t dans le monde dont 300 000 t, en France.

- Autres aciers alliés spéciaux :

- Aciers à roulements : contenant 1 % de C, 1,5 % de Cr.

- Aciers à outils : contenant jusqu'à 18 % de [W](#), 1,5 % de C.

- Autres : 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).

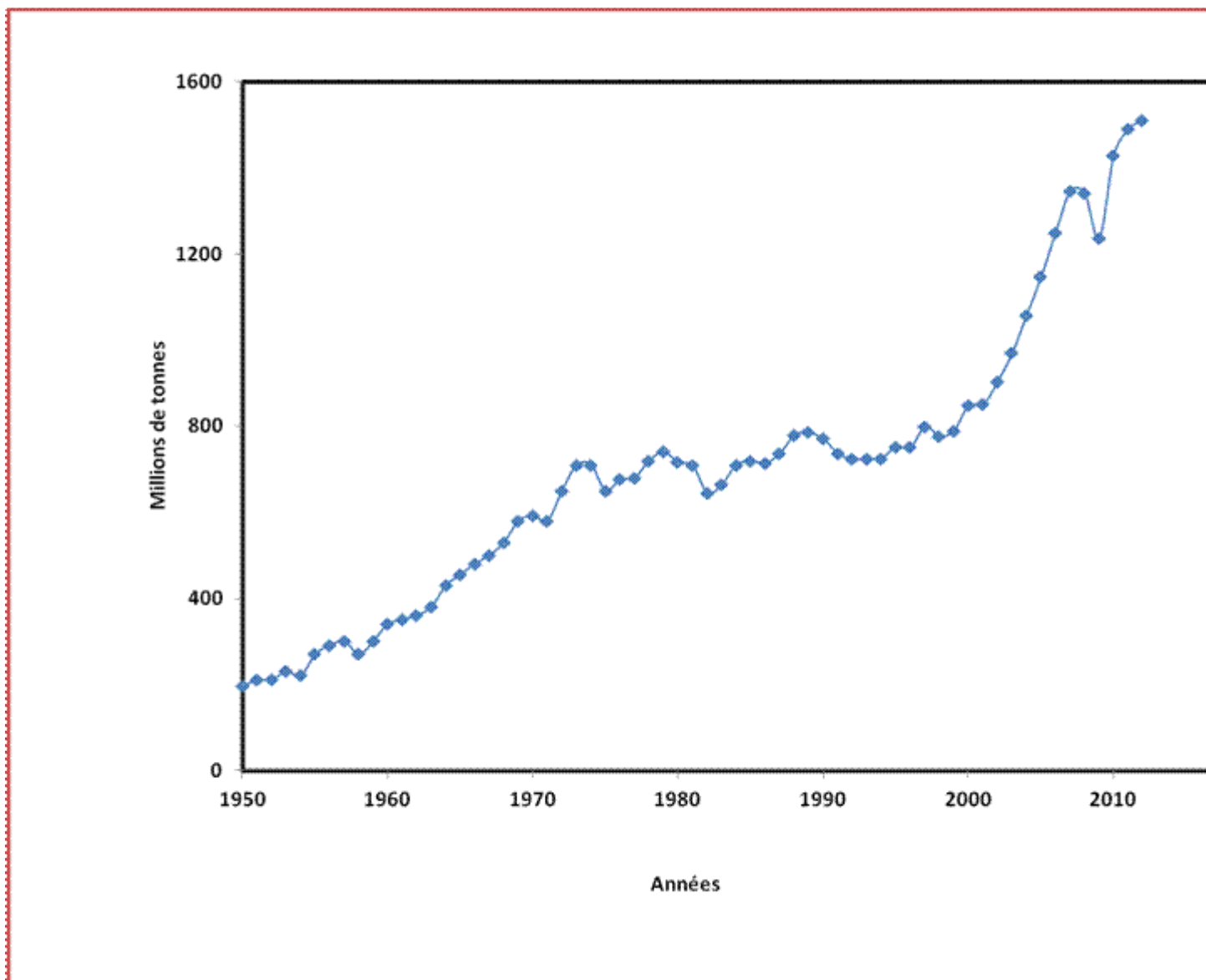
## PRODUCTION d'acier brut :

En 2012, en millions de t. Monde : 1 547, Union européenne : 168,5.

Chine	716,5	Brésil	34,5
Japon	107,2	Ukraine	33,0
États-Unis	88,7	Italie	27,3
Inde	77,6	Taiwan	20,7
Russie	70,4	Mexique	18,1
Corée du Sud	69,1	France	15,6
Allemagne	42,7	Iran	14,5
Turquie	35,9	Espagne	13,6

Source : IISI

## Évolution de la production mondiale d'acier



La sidérurgie mondiale :

- 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 2012 elle est exportatrice nette (54,8 millions de t exportées pour 14,2 millions de t importées). 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. 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 2012, les exportations du Japon sont de 41,5 millions de t, les importations de 3,8 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 importent, en 2012, 31,5 millions de t. Ils exportent 13,6 millions de t.

- Le commerce de l'acier est important : 379 millions de t en 2012. La Russie a exporté, en 2012, 26,7 millions de t, l'Ukraine, 24,1 millions de t. 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 2012, les exportations de l'Union Européenne ont porté sur 47,1 millions de t et les importations sur 29,5 millions de t en provenance de Russie à 25 %, d'Ukraine à 23 %, de Chine à 13 %, de Corée du Sud à 6 %, de Turquie à 5 %, du Brésil à 5 %. Les principales sociétés sidérurgiques européennes sont regroupées dans Eurofer. Evolution 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 : 539 à 195. Nombre d'employés dans l'Union européenne, en 2012 : 350 656 dont 88 296 en Allemagne.

### 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 %

**Producteurs :**

Productions de 2012 en millions de tonnes d'acier.

<a href="#">ArcelorMittal</a>	93,6	<a href="#">Ansteel</a> (Chine)	30,2
<a href="#">Nippon Steel</a> et <a href="#">Sumitomo</a> (Japon)	47,9	<a href="#">Shandong Group</a> (Chine)	23,0
<a href="#">Hebei Group</a> (Chine)	42,8	<a href="#">Tata Steel</a> (Inde)	23,0
<a href="#">Baosteel Group</a> (Chine)	42,7	<a href="#">US Steel</a> (Etats-Unis)	21,4
<a href="#">Posco</a> (Corée du Sud)	39,9	<a href="#">Nucor</a> (Etats-Unis)	20,1
<a href="#">Wuhan Group</a> (Chine)	36,4	<a href="#">Gerdau</a> (Brésil)	19,8
<a href="#">Shagang Group</a> (Chine)	32,3	<a href="#">Maanshan</a> (Chine)	17,3
<a href="#">Shougang Group</a> (Chine)	31,4	<a href="#">Hyundai Group</a> (Corée du Sud)	17,1
<a href="#">JFE</a> (Japon)	30,4	<a href="#">Riva Group</a> (Italie)	16,0

Source : IISI, World steel 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.

**SITUATION FRANÇAISE** : en 2012, en milliers de t d'acier.

- Production : 15 607 d'acier brut (19 200 en 2007, 12 800 en 2008). Filière fonte : 9 500, filière électrique : 6 100.
- Solde du commerce extérieur : + 1 730 dont - 284 de l'Union européenne.

Espagne	+ 1 156	Brésil	+ 13
Turquie	+ 636	Royaume Uni	- 196
Maroc	+ 193	Pays Bas	- 317
Etats-Unis	+ 166	Belgique	- 675
Inde	+ 166	Allemagne	- 748

Source : FFA

- Effectifs : 23 800 personnes (150 000 en 1978).

[Localisation des installations françaises de production d'acier](#) (document de la Fédération Française de l'Acier)

- 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...

## **UTILISATIONS :**

**Consommations** apparentes finales d'acier : en 2012, en millions de t et ( ) en kg/habitant/an.  
 Monde : 1 413 (217), Union européenne : 140 (278).

Chine	646 (477)	Russie	42 (293)
États-Unis	97 (306)	Allemagne	38 (460)
Inde	72 (57)	Turquie	28 (382)
Japon	64 (506)	Brésil	25 (127)
Corée du Sud	54 (1 114)	Italie	22 (355)

Source : IISI, Steel Statistical Yearbook

La consommation par habitant la plus importante, en 2010, est celle des Emirats Arabes Unis : 1 402 kg/habitant/an, suivis du Qatar : 1 372 kg/habitant/an. Celle de la République Démocratique du Congo est de 1,2 kg/habitant/an.

**Secteurs d'utilisation de l'acier** : en 2011, dans le monde.

Construction de bâtiments	51,2 %	Autres transports	4,8 %
Construction de machines et appareils mécaniques	14,5 %	Equipements électriques	3 %
Fabrication d'objets métalliques	12,5 %	Appareils ménagers	2 %
Automobiles	12 %		

Source : Worldsteel

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...).

## **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 40 % 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 Etats-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 utilisations 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 utilisés.

-  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 Etats-Unis et 2 hauts fourneaux 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 de 270 000 t d'acier importé du Royaume-Uni par Tata Steel à Hayange (57). Les rails produits d'une longueur de 80 m sont, 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.

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

- Muselets de bouteilles de champagne : la société Tréfilunion à Commercy (55), en fabrique de l'ordre de 1 000 t/an.

- 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.

### **Les composés chimiques du fer :**

Le principal composé utilisé est le chlorure ferrique ( $\text{FeCl}_3$ ) qui est fabriqué, en solution, par attaque chlorhydrique de ferrailles suivie d'une oxydation par le dichlore ou directement par attaque de ferrailles par  $\text{FeCl}_3$ . L'attaque acide directe de minerai de fer est de plus en plus employée.

Le chlorure ferrique est également préparé anhydre par attaque de ferrailles par le chlore vers 500-700°C ou obtenu comme sous-produit de la fabrication du dioxyde de titane par chloration (voir ce chapitre).



En France, les capacités annuelles de production d'[Arkema](#) sont de 80 000 t à Pierre-Bénite (69) et à Lavera (13). Aux Etats-Unis les capacités sont de 500 000 t/an.

Le chlorure ferrique est principalement employé dans le [traitement des eaux usées](#), comme agent flocculant ainsi que pour l'élimination des ions phosphates, par précipitation du phosphate ferrique, afin de lutter contre l'eutrophisation des rivières.