



les Musées des techniques et cultures comtoises présentent

Le FER dans tous ses états

**Cahier
d'activités**



Franche-Comté
Conseil régional



Direction régionale
des Affaires culturelles
Franche-Comté



I. Fer, fonte et acier : une grande famille



Plaque de cheminée



Canon



Fer à cheval



Lame de couteau



Boîte de conserve



Rail



Soc de charrue

Tous ces produits sont fabriqués en métal, mais lequel exactement ?
Classe les 7 objets dans le tableau suivant :

	FER	FONTE	ACIER
Objets			
Caractéristiques			
Taux de carbone			
Point de fusion			



Le fer, la fonte et l'acier peuvent sembler assez proches. Ils ont pourtant des différences importantes. Note les caractéristiques de chacun dans le tableau précédent en t'aidant des indices fournis ci-dessous.

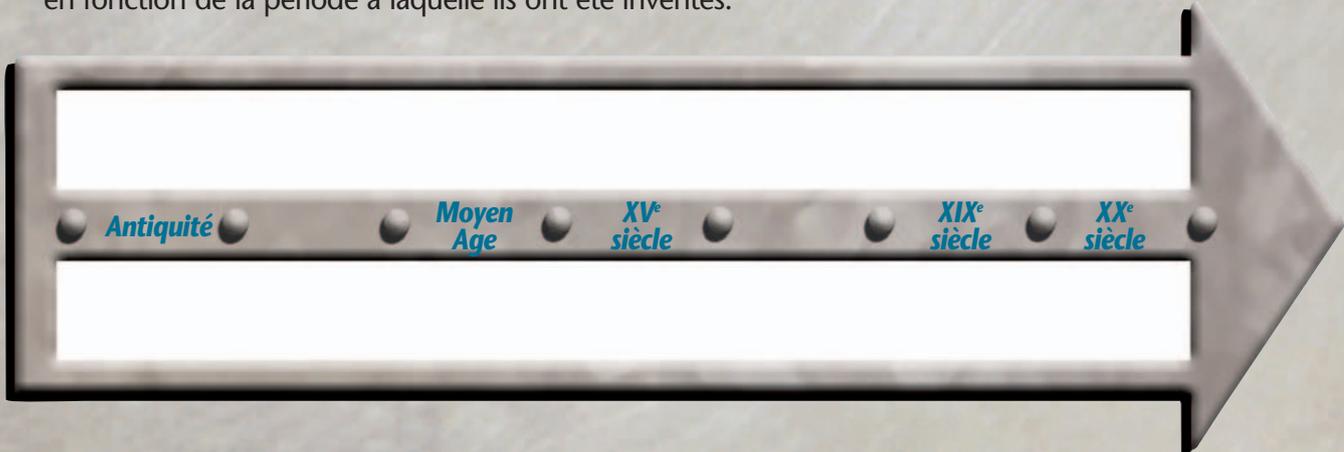
CARACTERISTIQUES A PLACER DANS LE TABLEAU

- | | |
|-----------------------------------|--|
| - contient 0,10 % de carbone | - point de fusion : 1500° C – 1600° C |
| - métal dur et souple | - point de fusion : 1500° C |
| - métal dur et résistant | - point de fusion : 1150° C |
| - métal dur, mais cassant | - contient entre 0,5 et 1,5 % de carbone |
| - contient plus de 3 % de carbone | - sensible à la rouille |

INDICES :

- l'acier est utilisé pour sa résistance : est-ce donc un métal dur, malléable ou cassant ?
- plus le fer est chargé en carbone, plus basse est sa température de fusion
- le fer à cheval est, de tous les objets cités, celui qui contient le moins de carbone.
- le métal utilisé pour les vieux radiateurs est aussi celui qui est le moins résistant et contient le plus de carbone.

Replace les objets écrits en rouge et cités au début de l'exercice sur la frise chronologique en fonction de la période à laquelle ils ont été inventés.



II. Les premières civilisations du fer

Remets les 5 extraits dans l'ordre historique correct.



EXTRAIT N° 1 :

Le premier âge du fer commence 850 ans avant notre ère avec la civilisation d'Hallstatt (située dans les Alpes de l'actuelle Autriche). Spécialiste de la production et de la transformation du fer, ce peuple est surtout connu pour ses épées longues à double tranchant, ses lances et les socs en fer aciéré de ses charues. Il produit également en masse des faux et des faucilles, des clous pour la construction navale et des bandes en fer aciéré pour les roues.

EXTRAIT N° 2 :

En 480 avant notre ère, la civilisation de La Tène (située dans l'actuelle Suisse au bord du lac de Neuchâtel) se développe dans toute l'Europe celtique. C'est le deuxième âge du fer. Les Celtes savent fabriquer plus de 70 modèles d'objets en fer : outils, longues épées, boucliers... Au IV^e siècle avant notre ère, la civilisation de La Tène prend fin en Irlande, en Scandinavie et en Germanie, supplantée par la civilisation romaine.

EXTRAIT N° 3 :

Les Grecs et les Romains n'apportent aucune amélioration par rapport aux techniques d'Hallstatt et de La Tène. Seules les applications continuent de se diversifier : les Grecs utilisent le fer pour consolider leurs bâtiments, les Romains fabriquent des armes et quantités d'objets usuels : ciseaux, rabots, emportés-pièces, vilebrequins, truelles, fraises, vrilles, etc.

EXTRAIT N° 4 :

Au III^e siècle avant notre ère, les Chinois sont les premiers à obtenir de la fonte en faisant fondre le fer. Ils utilisent un minerai dont les éléments ferreux fondent à plus basse température et emploient des soufflets manuels qui permettent d'augmenter la température des foyers et dépasser le point de fusion du fer (1530° C). Des moules en fonte sont employés pour couler des houes et des haches. Au I^{er} siècle avant notre ère, les soufflets sont actionnés par la force hydraulique et de l'acier est produit pour la première fois en Chine : cet acier est obtenu principalement par décarburation. La fonte, encore rouge, est décarburee sur l'enclume au marteau sous un puissant courant d'air froid. Les Chinois ont alors dix-huit siècles d'avance sur l'Europe occidentale.

EXTRAIT N° 5 :

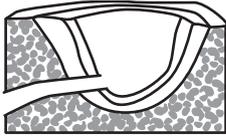
Vers 1500 avant notre ère, le fer est extrait du minerai, travaillé et transformé. Les Chalybes, habitants du sud du Caucase, sont les premiers à pratiquer la métallurgie du fer. Les Hittites, régnant en Anatolie, découvrent également cette nouvelle technique de fabrication qui reste pendant longtemps limitée à cette région. L'invasion des peuples de la mer permet cependant de diffuser ces techniques en Asie puis, à partir de 1200 avant notre ère, en Europe et dans tout le bassin méditerranéen. Le fer est immédiatement adopté par toutes les civilisations car, comparé au bronze, il est à la fois plus résistant, moins coûteux et plus abondant.

Construis une frise chronologique en notant le nom des principales civilisations du fer et la date à laquelle elles apparaissent.

Replace les principales civilisations européennes sur la carte ci-jointe.



III. La fabrication du fer : la méthode directe



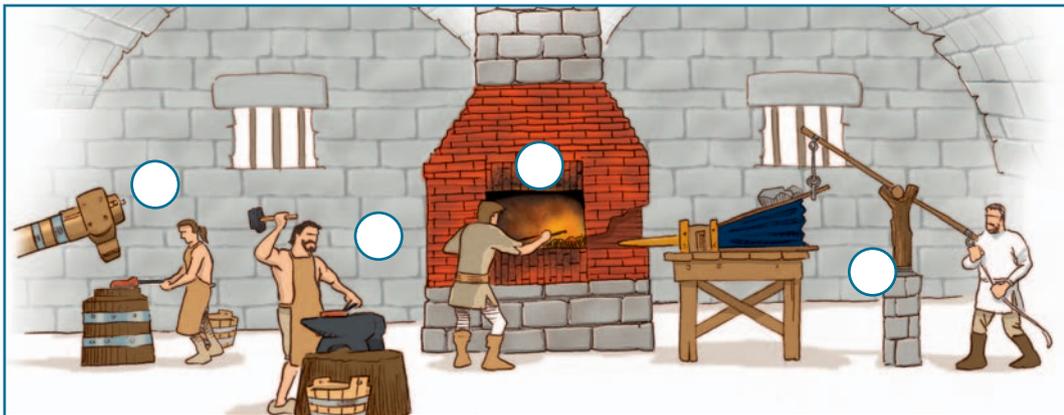
Dans les tous premiers temps de la métallurgie, le fer est produit grâce à un bas foyer : il s'agit d'un simple trou, creusé dans la terre et tapissé d'argile, qui atteint à peine un mètre de profondeur. Ce trou ressemble au terrier du renard, d'où son surnom de "renardière". À l'intérieur, le minerai de fer est entassé, par lits alternés, avec du combustible (charbon de bois). Le trou est chauffé par tirage artificiel, ce qui augmente la température, élimine l'oxygène et permet de dissocier le fer du minerai.



Progressivement, le bas foyer recevra un parement de pierres réfractaires, puis un tronc en cône sera ajouté, émergeant à peine, avant de déborder nettement au-dessus du sol, dans un second temps. Au cours du XIV^e siècle, le soufflage hydraulique de l'air dans les fours de réduction du minerai permet d'agrandir les dimensions du bas foyer.

La masse de fer (qu'on appelle "loupe") est encore grossière, molle et spongieuse quand elle est extraite du bas foyer. Pour en extraire les impuretés ("les scories"), le forgeron doit retravailler et marteler manuellement cette masse de fer brut.

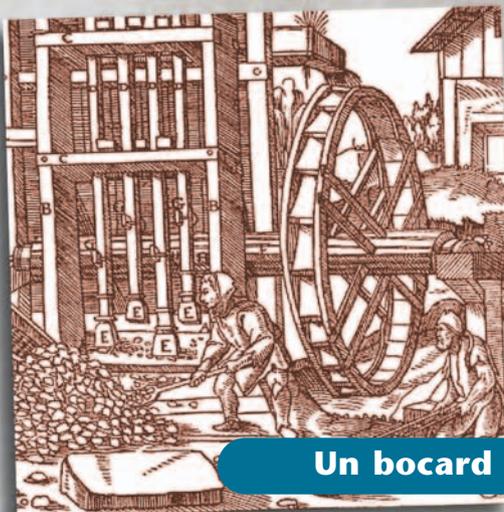
Reconstitue le processus technique de fabrication du fer en remplaçant correctement les légendes sur le dessin ci-dessous.



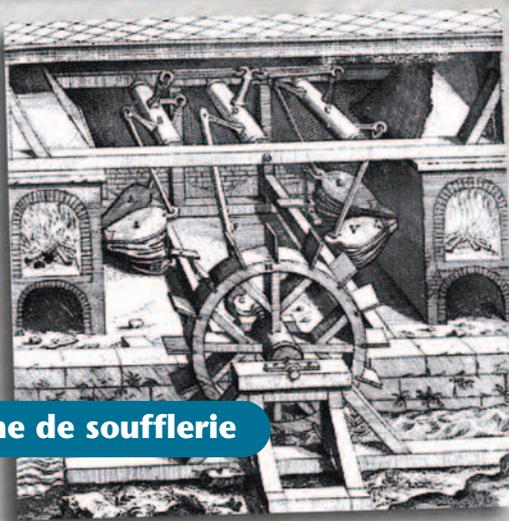
1. À partir du minerai mélangé au charbon de bois, le forgeron affine la loupe dans le foyer.
2. Le soufflet, actionné manuellement, active la fusion.
3. Pour éliminer les impuretés, la loupe est martelée à chaud sous le martinet. Le forgeron lui donne la forme d'un lingot.
4. Le forgeron transforme le lingot de fer en outils ou en armes sur l'enclume.

Un martinet

à la taillanderie de Nans-Sous-Ste-Anne



Un bocard



Mécanisme de soufflerie



Un laminoin

aux forges de Syam

Voici les principales machines qui vont venir, progressivement, améliorer les techniques de fabrication du fer. Replace les illustrations qui les représentent dans le tableau suivant.

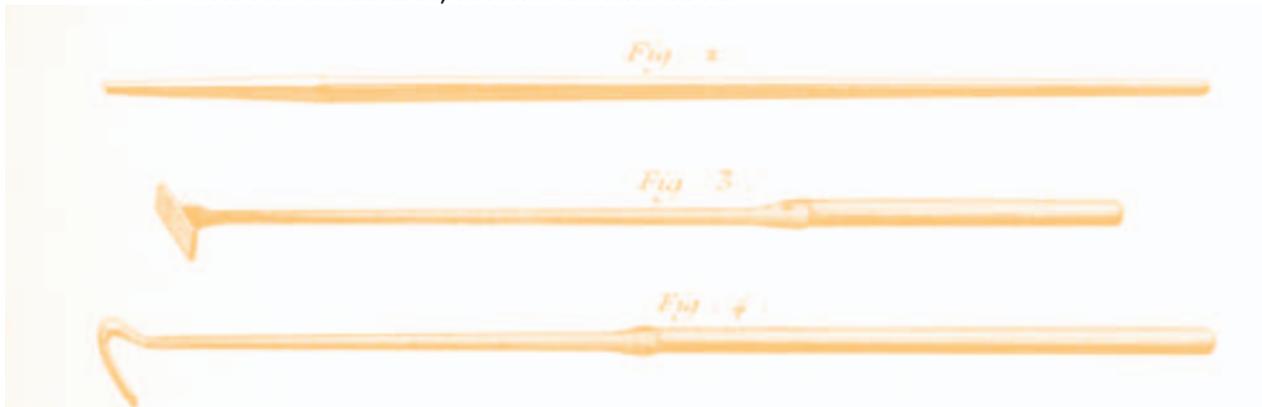
EPOQUE	NOM	UTILISATION
XII ^e siècle		concasse le minerai
XIII ^e siècle		martèle la loupe
XIV ^e siècle		active les feux
XVI ^e siècle		fabrique des barres de fer

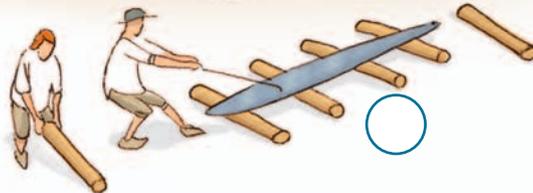
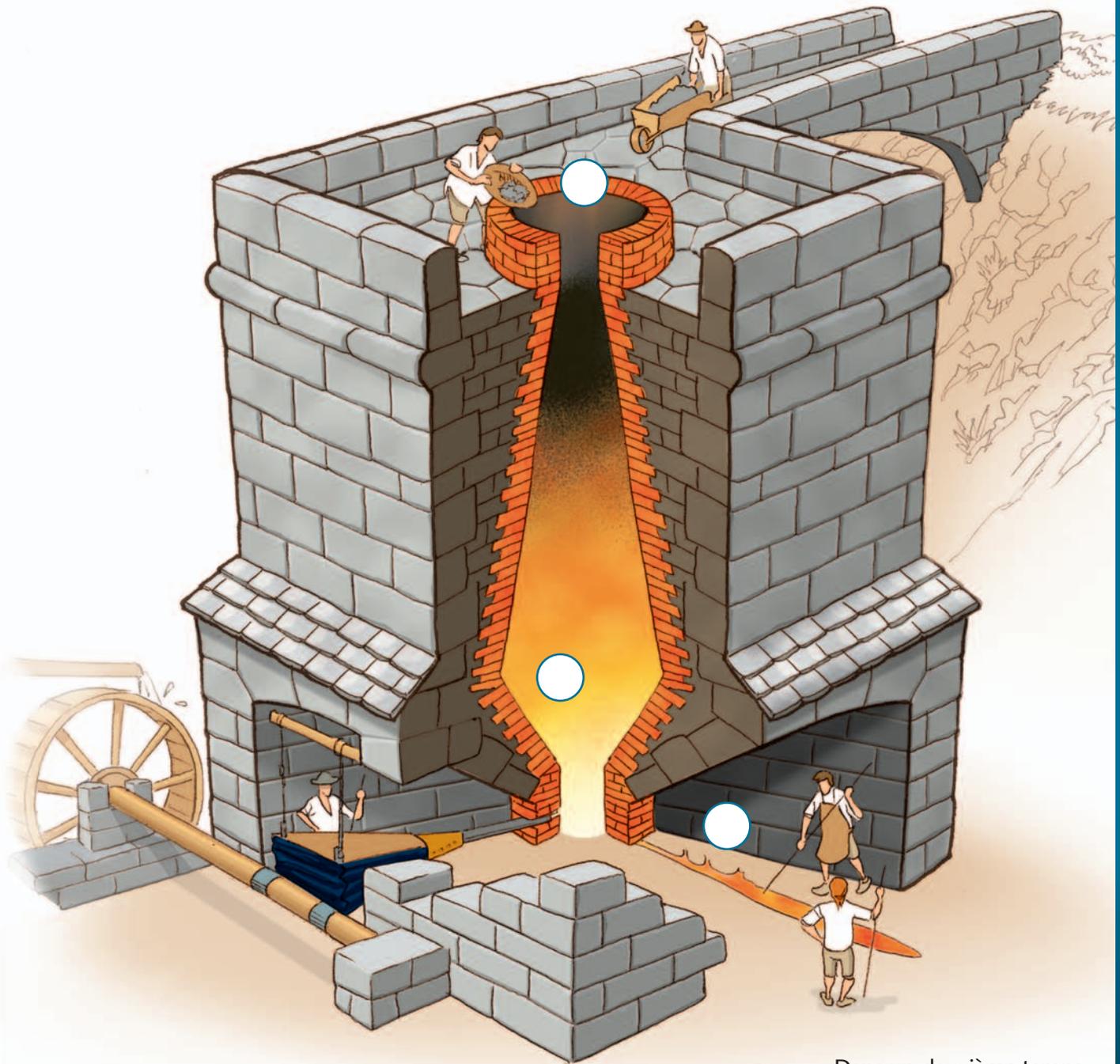
IV. La fabrication du fer : la méthode indirecte

La fin du XIV^e siècle connaît un profond bouleversement des techniques métallurgiques. C'est l'apparition du haut-fourneau et de la méthode indirecte qui consiste à fabriquer tout d'abord de la fonte, puis à la décarburer, c'est à dire à en retirer le carbone.

Pour mieux comprendre ce nouveau procédé, numérote chacune des légendes suivantes dans l'ordre chronologique du processus de fabrication.

- La fonte s'écoule dans une saignée. On appelle cette opération la coulée.
- La fonte est retirée du foyer d'affinage et martelée pour lui donner la forme d'un lingot par exemple.
- Sous l'effet de la chaleur, le minerai est transformé en fonte.
- Le minerai et le charbon de bois sont chargés par le gueulard par couches alternées.
- En refroidissant, la fonte durcit et forme un lingot de fonte (la gueuse).
- Dans le foyer d'affinage, on enlève le carbone contenu dans la fonte. Une fois décarburée, la fonte devient du fer.





Dans un deuxième temps,
replaces 4 de ces 6 légendes
sur l'illustration.

V. La carte des "savoir-fer"

L'affinage est une opération qui consiste à transformer la fonte en fer ou en acier. L'affinage est pratiqué en France depuis le Moyen Âge. Mais jusqu'à la fin du XIX^e siècle, les méthodes artisanales d'affinage varient selon les régions.

Les extraits suivants détaillent les différents procédés d'affinage. Lis attentivement ces textes et réponds aux questions qui suivent.

La **méthode wallonne** : elle tire son nom de sa région d'origine. La particularité de cette méthode était d'employer deux foyers : un pour le chauffage, un pour l'affinage. Ce second foyer s'appelait la chaufferie, il servait à réchauffer la loupe d'affinage pour faciliter le martelage. Cette méthode était pratiquée en Bretagne, dans la Mayenne, la Sarthe et l'Orne.

La **méthode comtoise** : d'origine germanique, elle a pénétré en France par la Franche-Comté dont elle a gardé le nom. Cette méthode réunissait en un seul les deux foyers utilisés par la méthode wallonne. Cet unique foyer servait à la fois à l'affinage et à réchauffer la loupe pour faciliter le martelage. Cette méthode a été pratiquée dans le nord de la France, en Moselle, dans les Vosges, le Jura, mais aussi dans la Drôme et en Dordogne.

La **méthode nivernaise** : son nom vient de la Nièvre, la seule région où elle était pratiquée. Elle se caractérise par une étape supplémentaire, le chauffage de la gueuse avant l'affinage.

La **méthode champenoise** : elle est beaucoup plus récente que les autres méthodes. Elle est introduite en France après 1815. L'affinage a lieu dans un four, plus moderne que le foyer d'affinage, qui est chauffé avec de la houille et non plus avec du bois. La première région à pratiquer cette méthode fut le nord de la Bourgogne.

La **méthode catalane** : ce n'est pas une méthode d'affinage mais celle d'obtention de fer par procédé direct, sans passer par la fonte. Cette méthode a été utilisée depuis l'Antiquité jusqu'au milieu du XIX^e siècle, dans le sud-ouest de la France. Dans cette région, la présence de nombreuses forêts et d'un minerai riche en fer a permis à cette méthode de persister aussi longtemps.

QUESTIONNAIRE :

- La **méthode comtoise** utilise le même foyer pour affiner la gueuse de fonte et réchauffer la loupe de fer **VRAI / FAUX**
Dans la **méthode wallonne**, la loupe n'est pas réchauffée pour préparer le martelage **VRAI / FAUX**
Dans la **méthode nivernaise**, la gueuse de fonte est réchauffée avant d'être affinée **VRAI / FAUX**
La **méthode champenoise** est plus moderne que les autres méthodes **VRAI / FAUX**
La **méthode wallonne** était pratiquée dans l'ouest de la France **VRAI / FAUX**
Le foyer d'affinage de la **méthode champenoise** est chauffé avec du charbon de bois **VRAI / FAUX**
La **méthode catalane** permet d'obtenir de la fonte sans utiliser de fer **VRAI / FAUX**

Situe les régions correspondantes à chaque méthode d'affinage en les replaçant sur la carte de France.



VI. La révolution de fer

Les étiquettes ci-dessous signalent les grandes étapes de la Révolution industrielle, période au cours de laquelle les procédés de fabrication du fer et de la fonte connaissent de grands bouleversements. Remplace chacun de ces éléments dans le schéma global pour mieux comprendre les causes et les conséquences de cette modernisation sur les techniques métallurgiques.

Le bois, qui est le principal combustible des hauts-fourneaux, commence à se raréfier en Angleterre au XVIII^e siècle.

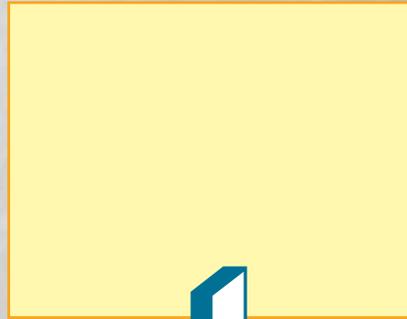
En 1709 l'industriel anglais Abraham Darby imagine d'alimenter son haut-fourneau avec du coke (résidu de houille) et non plus avec du bois. L'utilisation du coke comme combustible permet d'agrandir la taille des fourneaux.

Les martinets hydrauliques ont des capacités limitées par rapport aux quantités de fer qui sont produites.

L'industriel anglais Henri Cort découvre, en 1784, un nouveau procédé d'affinage : le puddlage, qui permet de transformer d'énormes quantités de fonte en fer.

Vers 1780, les forges adoptent la machine à vapeur qui est utilisée pour actionner les souffleries des fourneaux et entraîner les laminoirs. Ainsi les forges gagnent en puissance et ne sont plus obligées de s'installer le long des cours d'eau.

Henri Cort a également l'idée de faire passer le métal sorti du four dans un laminoir. Le métal est ainsi profilé par son passage entre des cylindres cannelés tournant en sens inverse.

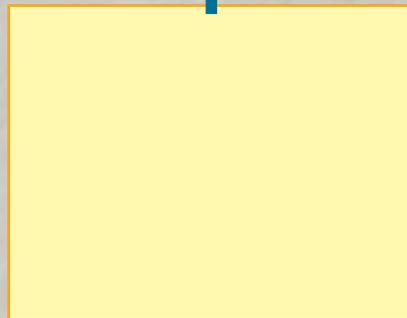


La production de fonte s'accroît. Mais les procédés d'affinage restent lents et nécessitent toujours une importante main-d'œuvre.

MAIS



Plus abondants et moins coûteux, la fonte et le fer peuvent, à la fin du XVIII^e siècle, concurrencer le bois pour la conception des machines et des bâtiments.



VII. La modernisation des techniques

Relie par une flèche le procédé qui a remplacé l'ancien système.

ROUE HYDRAULIQUE



COKE



BAS FOYER



ENERGIE HYDRAULIQUE



METHODE DIRECTE



HAUT FOURNEAU



CHARBON DE BOIS



METHODE INDIRECTE



ENERGIE MUSCULAIRE



MACHINE À VAPEUR



Remplace quatre innovations particulièrement fondamentales de l'histoire sidérurgique sur l'échelle chronologique suivante.



Grâce à ces nouvelles technologies, le fer devient bientôt plus abondant et moins onéreux, au point de concurrencer les matériaux traditionnels. Désormais, le fer est utilisé partout : le premier pont métallique, le *Ironbridge*, est construit en Angleterre en 1777.

Et durant tout le siècle suivant, le fer est utilisé pour la construction des rails, des gares, des usines, des bibliothèques et des grands magasins, et, emblématiquement, pour l'ensemble des bâtiments de l'Exposition universelle de 1889. À cette occasion un bâtiment très connu a vu le jour...



VIII. La fabrication de l'acier

Lis attentivement ce texte et réponds ensuite aux questions.

Il y a trente-trois ans, j'essayai d'introduire une méthode de fabrication de l'acier entièrement nouvelle, si nouvelle même... que je rencontrai de tous côtés la plus grande crédulité et la plus grande méfiance. Je devrais peut-être avoir quelque indulgence pour ces sentiments, car je proposais d'employer comme matière première de la fonte brute coûtant 75 francs la tonne au lieu du fer en barre de Suède, très pur, que l'on employait alors et qui coûtait de 375 à 500 francs la tonne : je proposais en outre de n'employer aucun combustible, de quelque nature qu'il fût, pour la conversion qui, avec mon procédé, ne durait que 25 à 30 minutes au lieu de 10 jours et 10 nuits que nécessitait le procédé alors en usage ; je proposais encore de faire de 5 à 10 tonnes d'acier en une seule opération au lieu des petits lingots du poids de 18 à 22,5 kg, sous la forme desquels on produisait alors de l'acier. Ce qu'on ne pouvait pas admettre surtout, c'est que je pusse faire de l'acier en barre à 150 francs la tonne, au lieu de 1500 francs.

Mon invention s'écartait tellement des notions acquises et de la pratique industrielle d'alors qu'il ne fut plus possible de décider aucun fabricant d'acier à adopter ce que le monde sidérurgique déclarait être le simple rêve d'un enthousiaste extravagant, et ce n'est qu'en construisant moi-même une aciérie dans la ville de Sheffield qu'il me fut possible de surmonter les préventions et l'extrême incrédulité qu'avait rencontrée mon invention.

Mais aussitôt que je fus capable... de vendre mon acier à bas prix, il y eut une sorte de panique dans l'industrie... À partir de ce moment, la nouvelle méthode commença à se répandre dans toute l'Angleterre, et, de là, dans les états européens, puis aux États-unis où elle a pris une place prépondérante.

*H. Bessemer, la production de l'acier autrefois et aujourd'hui. Annales industrielles, 1894.
Bibliothèque nationale.*

Comment le convertisseur Bessemer a-t-il révolutionné la sidérurgie au niveau :

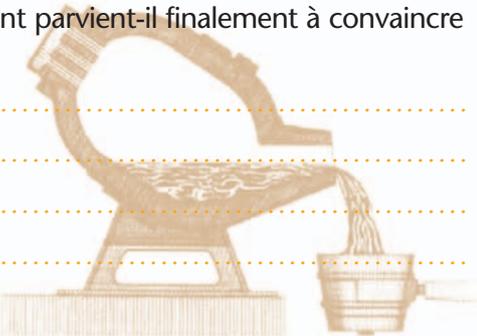
des coûts ?

du temps ?

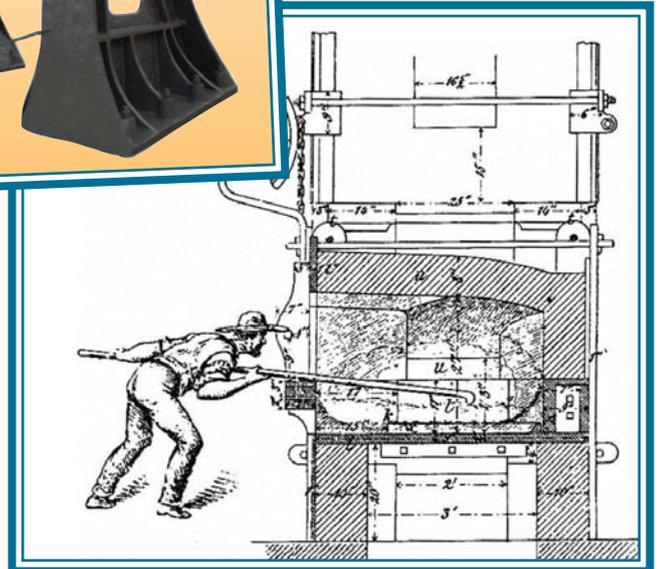
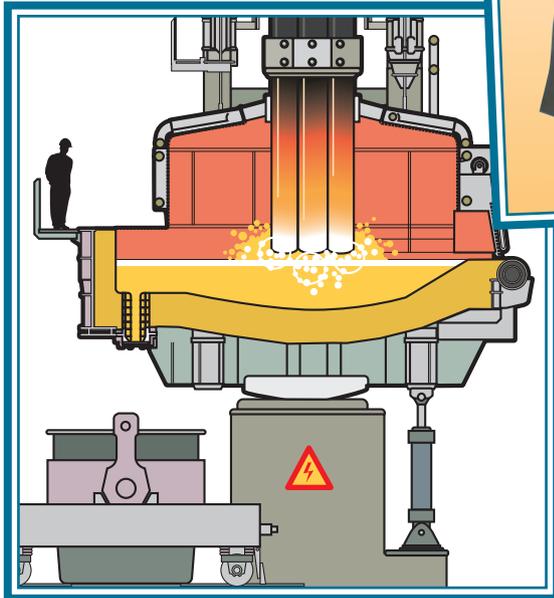
du volume ?

du combustible ?

Comment est accueillie la découverte de Bessemer ? Comment parvient-il finalement à convaincre les industriels d'utiliser son procédé ?



IX. Les fours





J'ai été inventé en 1858, en Angleterre. Je permets de produire de l'acier en grande quantité, en injectant à la fonte liquide un courant d'air froid sous pression qui provoque dans la cornue la combustion des impuretés.

La surélévation de la température qui en résulte permet de produire de l'acier liquide en masse.

FOUR :
NUMERO :

Je suis utilisé au XX^e siècle. Ma capacité varie de 10 à 200 tonnes par opération. La fusion a lieu grâce à des arcs électriques puissants qui s'opèrent entre les électrodes et la charge à fondre. On me charge avec un mélange de fonte et de ferrailles. Ma production annuelle se situe entre 2000 et 10 000 tonnes par jour.

FOUR :
NUMERO :

Je suis un simple trou creusé dans la terre et tapissé d'argile. J'apparais autour de 1500 avant notre ère. Ma production de fer est faible (2 à 3 kg), et se fait par procédé direct.

FOUR :
NUMERO :

À partir des illustrations ci-contre, retrouve le nom du four décrit dans chacun des cartouches, et attribue-lui un numéro en fonction de son ancienneté (1 pour le plus ancien, 2 pour le suivant ... 5 pour le plus récent).

J'ai été inventé en Angleterre en 1784 et j'apparais en France en 1820. La masse de fonte portée à ébullition se décarbure lentement grâce au brassage énergique du puddleur. Puis le métal est cinglé et étiré dans le laminoir. J'ai permis de traiter des quantités de fonte beaucoup plus importantes que dans les foyers d'affinage. Ma production a été multipliée par dix.

FOUR :
NUMERO :

J'apparais à la fin du XV^e siècle. Je prends l'apparence d'une tour et au XVIII^e siècle j'atteins 10 mètres de hauteur. Le chargement du minerai et de charbon de bois se fait par le gueulard. L'air est amené par des tuyères et permet un échange thermique nécessaire aux réactions. Au moment de la coulée, les déchets, plus légers, sont évacués par un trou situé plus haut que celui où coule la fonte. Grâce à moi, on a pu produire de la fonte en grande quantité.

FOUR :
NUMERO :

X. Les usages les plus récents du fer

En fonction de leurs points communs , classe ces objets en quatre catégories

Barreaux de fenêtre
Avion
Serrure
Marteau
Fourchette

Boîte de conserve
Pelle
Train
Bistouri
Ascenseur

Plaque de cheminée
Marmite
Vélo
Ciseaux
Casserole

Hache
Porte de garage
Bateau
Gaufrier
Moto

Catégorie :	Catégorie :	Catégorie :	Catégorie :

Au XIX^e siècle, le fer, l'acier et la fonte commencent à être utilisés en architecture, dans la construction de bâtiments d'un type nouveau. Voici la description de quelques-uns des édifices les plus remarquables issus de cette tendance. Retrouve le nom de ces monuments en faisant une recherche sur Internet à partir des indices fournis.

Je suis un pont construit entre 1777 et 1781 en Angleterre près du haut-fourneau appartenant à A. Darby.

.....

Je suis une tour construite pour l'Exposition universelle de 1889.

.....

Je suis une bibliothèque construite vers 1840 à Paris par Henri Labrouste.

.....

Je suis une fabrique de chocolat construite en 1872 en Seine-et-Marne, un bâtiment construit en brique avec un squelette en fer.

.....

XI. Conclusion croisée

Complète la grille suivante à partir des définitions. Tu obtiendras ainsi le nom d'un personnage important de l'histoire de la métallurgie.

1/ Ce procédé découvert par H. Cort en 1784 permet de transformer d'énormes quantités de fonte en fer.

2/ Méthode qui utilisait la fonte comme matière première et sans aucun combustible pour l'affinage.

3/ Les ingénieurs de cette firme allemande ont travaillé avec Pierre-Emile Martin à la création d'un four à fondre l'acier.

4/ Cet appareil a remplacé le martinet. Le tout premier a été utilisé dans les usines Schneider du Creusot en 1841. Nom composé.

5/ Cet appareil profile le métal brut en le faisant passer entre des cylindres parallèles tournant en sens inverse les uns des autres.

6/ Créateur d'une célèbre tour métallique qui porte son nom.

7/ C'est un matériau robuste, alliage de fer et de carbone. Grâce à plusieurs inventions, sa production devient massive dans la seconde moitié du XIX^e siècle.

