

un examen plus attentif fait voir que ce minéral a une structure globuleuse comme les minerais de fer engrains et la pierre calcaire oolithe. Les globules sont fort petits et très-faiblement agglutinés par un léger enduit d'une argile grise qui se délaye promptement dans l'eau. Lorsqu'on traite une portion du minéral tombé en poussière à l'air, par l'acide muriatique, la couleur brune disparaît aussitôt, et l'on distingue aisément les globules qui sont de couleur blonde claire comme le fer carbonaté spathique pur; il se dissout ensuite avec effervescence lente et presque en totalité. On y trouve par l'analyse :

Peroxide de fer.....	0,570	ou Carbonate de fer....	0,812
Oxide rouge de mang..	0,040	Carb. de manganèse.	0,058
Perte par calcination...	0,280	Eau.....	0,020
Argile.....	0,110	Argile.....	0,110
Chaux et magnésie....	0,000		
	1,000		1,000

C'est donc un véritable fer carbonaté que l'on peut désigner sous le nom de *fer carbonaté argileux globuleux* ou *oolithe*.

Jusqu'ici le fer carbonaté n'avait été rencontré que 1°. dans les terrains anciens; 2°. dans les grès houillers; et 3°. disséminé en petite quantité dans la masse du calcaire qui recouvre ceux-ci; il faut reconnaître maintenant que cette espèce est du petit nombre de celles que la nature a pu produire à toutes les époques où elle a formé sur le globe des dépôts de substances minérales.

DESCRIPTION

Des procédés employés dans la fabrication du fer-blanc;

PAR SAMUEL PARKES.

(Extrait d'un Mémoire lu à la Société philosophique de Manchester.)

LE fer en barres anglais destiné à la fabrication du fer-blanc, et que l'on désigne par le nom de *fer à étain* (*tin-iron*), doit être de la meilleure qualité. On le prépare généralement avec du charbon de bois, au lieu de charbon de terre, et on porte le plus grand soin à sa fabrication. On commence par couper les barres de la longueur nécessaire, et on les réduit ensuite au laminoir, par un procédé qui est particulier à ce genre de fabrication, en feuilles d'une épaisseur et d'une forme convenables. On donne alors à ces feuilles, en les coupant avec des cisailles, les dimensions exigées dans le commerce. A mesure que l'ouvrier coupe les feuilles, il les empile, avec l'attention de séparer les caisses les unes des autres par une feuille mise en travers. Deux cent vingt-cinq feuilles forment une caisse; mais elles ne sont pas mises dans des caisses de bois à cette époque de l'opération. Les feuilles de fer passent ensuite, de l'atelier où on les a coupées, dans les mains du décapeur (*scaler*), qui les ploie une à une par le milieu, dans cette forme Λ , avant de les décaper pour les étamer, et pour

la commodité de les placer dans le fourneau à décaper, comme on va l'expliquer plus en détail.

Ce fourneau ou four est chauffé par la flamme d'un foyer d'une construction particulière, et c'est cette flamme qui décape les feuilles que l'on met dans le four par rangées de trois feuilles, jusqu'à ce que le four soit pleiu. Il est clair que si on les mettait à plat sur la sole du four, la flamme ne jouerait que sur une face de chaque feuille, tandis qu'étant pliées, comme on l'a déjà dit, elle agit également sur les deux faces. On peut remarquer ici que la forme de toutes les feuilles de fer-blanc, une sorte exceptée, est celle d'un parallélogramme, et que si une feuille de papier fort ou de carton, de $13\frac{1}{4}$ pouces de long sur 10 de large, est pliée à son centre sous un angle d'environ 60° , et posée ensuite sur ses deux bords extrêmes, on aura la forme d'une feuille n°. 1, convenablement disposée pour le four à décaper.

L'opération du *nettoyage* des feuilles (*cleaning*), comme on l'appelle, et qui précède celle destinée à enlever les écailles d'oxide, se commence en laissant les feuilles pendant quatre ou cinq minutes dans un mélange d'acide muriatique et d'eau, dans la proportion de 4 livres d'acide et de 24 d'eau. Cette quantité d'eau acidulée suffit généralement pour 1800 feuilles ou pour huit caisses de 225 feuilles chacune.

Après le séjour prescrit des feuilles dans la liqueur acide, on les en retire, et on les place sur le sol, trois dans une rangée, et alors, par le moyen d'une barre de fer placée au-dessous d'elles, on les porte dans le fourneau chauffé au rouge, où on les laisse jusqu'à ce que la chaleur

en ait détaché les écailles d'oxide; opération que l'on avait en vue en les soumettant à cette haute température.

Lorsque cet effet est produit, on pose les feuilles sur une aire où on les laisse refroidir. On les redresse ensuite et on les aplatit sur un bloc de fonte de fer. L'ouvrier connaît, à l'apparence des feuilles, pendant cette opération, si elles ont été bien décapées, c'est-à-dire, si la rouille ou oxide a été bien enlevée; car alors elles paraissent bigarrées de bleu et de blanc, en quelque sorte comme le papier marbré. L'opération qu'on vient de décrire s'appelle *décaper* (*scale*).

Comme il est impossible d'empêcher que pendant ce procédé les feuilles ne se voilent ou ne se défigurent, on les lamine une seconde fois entre une paire de cylindres de fonte de fer convenablement endurcie et d'un très-beau poli. Cette opération rend les deux faces des feuilles parfaitement unies, et leur donne une sorte de poli. Les cylindres ont chacun environ 17 pouces de longueur et 12 ou 13 de diamètre; mais je suis porté à penser que si leur diamètre était plus grand, ils rendraient les feuilles de fer plus planes, et favoriseraient beaucoup le travail sous tous les rapports (1).

Tous les cylindres qui sont employés dans cette fabrication pour laminer les feuilles, soit à chaud, soit à froid, sont des cylindres durs;

(1) Depuis que ceci est écrit, j'ai soumis mon manuscrit à une personne qui est intéressée pour beaucoup dans une manufacture de fer-blanc, et elle m'a dit que les cylindres que l'on y emploie pour laminer à froid ont 30 pouces de diamètre.

et il y a autant de différence entre une paire de cylindres de fonte de fer durs et une paire de cylindres doux, quoiqu'ils puissent provenir d'une même fusion, qu'il y en a entre l'acier et le fer. Les ouvriers m'ont appris que cette différence dans la dureté des cylindres est entièrement due à la manière de les couler; les cylindres doux sont coulés dans du sable, pendant que les cylindres durs sont formés en versant le métal dans une boîte épaisse de fonte de fer. Le métal, en venant en contact avec la boîte qui est froide, est refroidi assez brusquement pour que toute la surface du cylindre devienne très-dure. La différence dans la dureté de ces deux espèces de cylindres est si grande, que lorsqu'on les place sur le tour pour les égaliser, les tournures de l'un ont un huitième de pouce d'épaisseur, tandis que celles qui proviennent de l'autre ne sont pas plus épaisses que de très-fines aiguilles. La dureté de la fonte de fer variant ainsi suivant la nature du moule dans lequel on la coule, est une circonstance qui me paraît mériter une grande attention dans la fabrication d'une foule d'autres ustensiles dans les arts.

Ces cylindres sont employés sans chaleur; mais ils sont fixés très-solidement l'un sur l'autre, laissant seulement entre eux l'espace nécessaire pour faire passer les feuilles, afin qu'on puisse leur donner le plus grand degré de pression qu'il soit permis d'atteindre. Cette dernière opération se nomme *laminage froid*.

Lorsque les feuilles de fer ont subi cette opération, on les met une à une dans des auges remplies d'une préparation liquide appelée *lessive*.

C'est purement de l'eau dans laquelle on a fait

tremper du son pendant neuf ou dix jours, jusqu'à ce qu'il ait acquis une acidité suffisante. L'objet, en mettant les feuilles une à une dans les auges, est qu'elles soient en contact de toutes parts avec la lessive: on les y laisse sur leurs bords l'espace de dix ou douze heures; mais pendant ce temps on les retourne ou on les renverse une fois.

Au sortir de la lessive, on plonge les feuilles dans un mélange d'acide sulfurique et d'eau, dans des proportions qui varient suivant le jugement des ouvriers.

Le bassin dans lequel cette opération s'exécute est en lames épaisses de plomb, et son intérieur est divisé par des cloisons qui sont également en plomb: chaque division peut contenir environ une caisse de feuilles. Après avoir mis le mélange d'eau et d'acide sulfurique dans les divers compartimens du bassin, on y agite les feuilles pendant environ une heure, ou jusqu'à ce qu'elles soient devenues très-brillantes; et qu'elles n'aient plus aucune des taches noires qu'on remarque à leur surface avant leur immersion dans l'eau acidulée.

Cette opération exige cependant quelque habileté; car si les feuilles restent trop long-temps dans l'acide, elles se ternissent ou deviennent *vésiculées*, comme le disent les ouvriers; mais la pratique fait bientôt connaître à un opérateur soigneux l'époque à laquelle il doit les retirer. Néanmoins cette partie de la fabrication du fer-blanc est une des plus embarrassantes, en ce que peu de personnes aiment à s'y livrer, quoiqu'un bon ouvrier dans ce genre soit très-estimé de ceux qui l'emploient, et en obtienne un salaire

très-élevé. Il est nécessaire de remarquer que ; dans ce procédé, ainsi que dans le précédent où l'on a employé l'eau acidulée avec de l'acide muriatique, on accélère l'opération en élevant un peu la température du bain. 30 à 40 degrés centigrades suffisent dans chaque cas : on se procure cette température au moyen de conduits échauffés qui circulent sous chaque bassin.

Les feuilles de fer, au sortir de l'acide sulfurique affaibli, sont placées dans l'eau pure où elles sont nettoyées avec du chanvre et du sable. Le but de cette opération est d'enlever tout l'oxide ou rouille qui aurait pu rester attaché à la surface des feuilles ; car elles ne prennent point l'étain par-tout où il se trouve une particule de rouille ou même de poussière : on les met ensuite dans de l'eau fraîche pour les conserver jusqu'au moment de l'étamage, et les préserver de l'oxidation ; car on a remarqué que lorsqu'elles sont bien propres, elles n'acquièrent aucune rouille, lors même qu'on les tiendrait immergées dans l'eau pendant un an (1).

Après ces diverses opérations préparatoires, on procède à l'étamage des feuilles de la manière suivante :

On met dans un pot de fer un mélange d'étain en saumons (*block-tin*) et d'étain en grains (*grain-tin*), jusqu'à ce qu'il le remplisse presque entièrement lorsqu'il est fondu, et l'on ajoute une quantité suffisante de suif ou de graisse pour former sur le métal fluide une couche d'environ

(1) Cette curieuse observation vient à l'appui de ce qui a été avancé dans un des cahiers des *Annales de Chimie*, que le fer dont la surface est parfaitement nette ne décompose pas l'eau. (R.)

4 pouces d'épaisseur. Cependant, comme quelques personnes pourraient ne pas connaître la différence qu'il y a entre l'étain en saumons et l'étain en grains, on doit remarquer, avant d'aller plus loin, que le métal connu dans le commerce par le nom d'*étain en saumons*, est préparé, soit avec le minéral nommé *minerai d'étain* (*tin-stone*), soit avec celui connu en Cornouaille sous le nom de *pyrites d'étain* (*tin-pyrites*) ; pendant que l'étain en grains s'obtient d'une mine en grains nommée *mine d'étain de lavage* (*stream tin-ore*), parce qu'on la trouve sous des couches d'un sol d'alluvion, dans des lieux bas où, par la suite des siècles, elle a été entraînée des collines par des torrens de pluie. La première espèce d'étain, qui est produite en plus grande abondance que l'autre, contient toujours une portion de fer, de soufre, et d'autres substances nuisibles, et n'est employée, à cause de cela, que pour des usages communs. L'étain en grains, au contraire, qui est à-peu-près exempt de toute impureté, et qui se vend ordinairement plus cher de 24 à 36 fr. par quintal, est employé dans la teinture et dans toutes les autres circonstances pour lesquelles il est nécessaire que l'étain soit pur. Je veux aussi faire remarquer que, dans mon opinion, il serait plus avantageux au propriétaire d'une manufacture de fer-blanc d'employer de l'étain en grains seul, ou mêlé avec l'étain connu sous le nom d'*étain raffiné*, parce que ces deux espèces non-seulement sont plus pures, mais que, comme je l'ai reconnu par ma propre expérience, elles se fondent en un métal plus liquide. Il résulte de cette propriété que, pendant l'étamage, il res-

terait moins d'étain adhérent aux feuilles de fer, et que la consommation de ce métal serait moins considérable. Dans ce moment, les fabricans de fer-blanc emploient l'étain en saumons et l'étain en graius à parties égales.

Lorsque le pot de fer a été chargé d'étain de la manière qu'on vient d'indiquer, on le chauffe au moyen d'un foyer placé au-dessous de son fond, et de conduits qui règnent autour de sa surface extérieure : on porte la chaleur aussi loin qu'il est possible sans enflammer la graisse qui couvre l'étain en fusion. L'usage de la graisse est de préserver l'étain de l'action de l'air, et conséquemment de prévenir son oxidation. En fondant un peu d'étain ou de plomb dans une cuiller de fer, et en mettant un morceau de suif sur le métal fluide, après en avoir enlevé la crasse, on reconnaîtra aisément la propriété qu'a le suif d'éclaircir la surface métallique. Les ouvriers disent aussi qu'il augmente l'affinité du fer pour l'étain, ou, encore, que les feuilles de fer prennent beaucoup mieux l'étain.

Il est curieux que la *graisse brûlée* (*burnt grease*), ou quelque espèce que ce soit de graisse empyreumatique, produise cet effet beaucoup mieux que le suif frais.

Un autre pot qui est fixé à côté du pot à l'étain est rempli seulement avec de la graisse : on y plonge une à une les feuilles préparées comme on vient de le dire, avant de les traiter par l'étain ; et lorsque le pot en est entièrement rempli, on les y laisse aussi long-temps que le maître-ouvrier le juge nécessaire. Si elles restent une heure dans la graisse, on trouve qu'elles s'étament beaucoup mieux que lorsqu'on leur donne un temps plus court.

De ce pot on les passe dans le pot à l'étain avec la graisse adhérente à leur surface, et on les place dans une position verticale. On met ordinairement dans ce pot 340 feuilles, et on les y laisse une heure et demie pour qu'elles soient bien étamées ; mais quelquefois il faut plus de temps pour compléter cette opération.

Lorsque les feuilles sont restées un temps suffisant dans l'étain en fusion, on les ôte et on les place sur une grille de fer, afin que le métal superflu puisse s'en écouler ; mais, malgré cette précaution, elles retiennent toujours, lorsqu'elles sont refroidies, plus d'étain qu'il ne faut, et on l'enlève par un procédé subséquent appelé *lavage* (*washing*). Comme ce procédé est un peu compliqué, il est nécessaire de le décrire avec quelques détails.

D'abord, le laveur prépare un pot de fer qu'il remplit presque entièrement avec le meilleur étain en grains fondu ; un second pot contient du suif en fusion pur, ou du lard exempt de sel ; un troisième ne renferme rien qu'un grillage pour recevoir les feuilles ; et un quatrième (*listing-pot*) ne contient qu'une couche d'étain fondu de l'épaisseur d'un quart de pouce. Le tout sera cependant mieux compris par l'esquisse *fig. A*, Pl. VII, qui montre les divers vaisseaux dans l'ordre où ils sont établis dans la manufacture sur une maçonnerie en brique.

Les feuilles sont travaillées de la droite à la gauche, dans le bâtiment qui renferme l'appareil au lavage.

- N^o. 1 représente le pot à l'étain ;
2 le pot à laver avec une cloison qui le divise ;

- 3 le pot à la graisse;
- 4 le vase contenant seulement un grillage à son fond (1);
- 5 le *listing-pot*.

Le dessin représente la surface des pots : les astérisques montrent la place où se tiennent les ouvriers et en même temps les pots qui sont chauffés en dessous.

La cloison dans le pot à laver n^o. 2 est un perfectionnement récent : elle a pour objet d'empêcher la crasse de l'étain de se loger dans la partie du vaisseau où l'on donne la dernière immersion aux feuilles. En employant l'étain commun dans la première opération de l'étamage, beaucoup d'oxide ou de crasse adhère à la surface des feuilles; et lorsque celles-ci sont portées dans le pot à laver, l'oxide s'en détache et couvre la surface du nouveau bain; mais, au moyen de la cloison, l'ouvrier l'empêche de se répandre sur toute la surface du pot. Lorsque cette cloison n'existe pas, le laveur doit écumer le métal fluide chaque fois qu'il y plonge une feuille.

Les pots dont je viens de donner une esquisse étant préparés convenablement, le laveur commence sa part de l'ouvrage qui reste à faire pour terminer l'étamage, par mettre les feuilles qui ont subi les diverses opérations qui ont été décrites jusqu'ici, dans le vaisseau appelé le *pot à laver*, et rempli d'étain en grains fondu (2).

(1) Ce vase est destiné à recevoir les feuilles à mesure que l'ouvrier les retire du pot à la graisse : il n'est point chauffé en dessous.

(2) On ne doit jamais se servir, dans ce pot, que de l'étain en grains : tout l'étain commun qui est consommé dans

La chaleur de cette grande masse de métal fond bientôt l'étain qui n'est qu'adhérent à la surface des feuilles : celui-ci, en se mêlant à l'étain du pot, en altère la pureté, de sorte que lorsqu'on a passé soixante ou soixante-dix caisses de fer-blanc dans le bain d'étain en grains, on est dans l'usage d'en retirer la quantité d'un saumon, c'est-à-dire, 500 livres, et d'y remettre une pareille quantité d'étain pur en grains. Ces vaisseaux contiennent généralement trois saumons chacun ou environ 1000 livres de métal. L'étain qu'on retire du pot à laver, pour le remplacer par du métal pur, est donné à l'étameur, qui s'en sert pour l'étamage.

Lorsque les feuilles sont retirées du pot à laver, on les nettoie soigneusement sur chaque face avec une brosse de chanvre d'une espèce particulière, et faite expressément pour cet objet. Comme cette partie du travail demande beaucoup d'adresse et de célérité, il peut être utile de l'expliquer un peu plus en détail.

Le laveur retire d'abord un petit nombre de feuilles du pot à laver, et les place devant lui sur le fourneau. Il prend alors une feuille avec des tenailles qu'il tient dans sa main gauche, et avec une brosse qu'il a dans l'autre main, il frotte un côté de la feuille; il retourne ensuite la feuille, frotte l'autre côté, et la plonge immédiatement une seconde fois dans le pot à laver; puis, sans l'abandonner avec ses tenailles, il la retire instantanément et la plonge dans le pot à la graisse n^o. 3.

Une personne qui n'a point vu cette opéra-

cette fabrication est employé dans la première partie du procédé, savoir, celle qu'on désigne par le nom d'*étamage*.

tion, ne peut se former qu'une idée très-imparfaite de l'adresse avec laquelle elle est exécutée. La pratique donne à l'ouvrier tant d'habileté qu'il se fait de très-bons gages, quoiqu'on ne lui donne que 30 centimes pour broser et laver dans l'étain 250 feuilles. J'ai appris qu'un laveur habile, s'il emploie bien son temps, peut laver, en douze heures, vingt-cinq caisses contenant 5,625 feuilles, quoique chaque feuille doive être broyée sur chacune de ses faces, et plongée deux fois dans le pot d'étain fondu.

Il est peut-être nécessaire d'expliquer pourquoi les feuilles doivent être plongées deux fois dans l'étain fondu pendant cette partie de la fabrication. On doit se rappeler qu'on les brosse entièrement chaudes, et par conséquent, si on ne leur donnait pas une seconde immersion, les marques de la brosse seraient visibles.

Le seul usage du pot à la graisse est d'enlever tout l'étain superflu qui peut rester sur les feuilles; mais c'est une opération qui demande beaucoup d'attention, parce que, pendant le séjour de la feuille dans la graisse, l'étain, qui est dans un état de fusion ou au moins de ramollissement, s'en détache en partie, et il en adhère d'autant moins à sa surface qu'elle reste plongée plus long-temps dans le bain. Conséquemment, si les feuilles séjournaient dans la graisse plus long-temps qu'il n'est absolument nécessaire, elles exigeraient sûrement d'être plongées une troisième fois dans l'étain. D'un autre côté, si les feuilles devaient être achevées sans passer dans la graisse, elles retiendraient trop d'étain; ce qui, d'une part, serait une perte pour le manufacturier, et de l'autre, l'étain formerait des ondulations sur leur surface.

Il est également nécessaire de faire attention à la température de la graisse, qui doit être plus petite ou plus grande à proportion que les feuilles sont plus épaisses ou plus minces; car si, lorsque le suif est d'une température convenable pour une feuille mince, on y plonge une feuille épaisse, on l'en retirera non pas de la couleur de l'étain, comme cela devrait être, mais aussi jaune que de l'or. La raison en est évidente. Une feuille épaisse contient plus de chaleur qu'une mince, et conséquemment exige que le suif soit à une température plus basse. Si, au contraire, on plonge des feuilles minces dans un pot de suif préparé pour des feuilles épaisses, ce pot ne remplira pas l'objet qu'on s'était proposé.

C'est une observation commune que, dans la plupart de nos manufactures et dans toutes les spéculations chimiques, la théorie et la pratique ne sont point généralement d'accord; mais il y a peu de manufactures, peut-être, présentant autant de minuties qui pourraient échapper à un observateur ordinaire, et qui exigent cependant qu'on y ait égard pour obtenir de bons résultats, que celle dont je décris maintenant les procédés. Mais revenons à la fabrication du fer-blanc.

Lorsque les feuilles sont suffisamment broyées, elles sont de nouveau immergées, une à une, dans le pot d'étain fondu, comme on l'a déjà dit, et immédiatement après on les passe dans le pot de suif. Ce pot porte des chevilles disposées de manière à prévenir le contact mutuel des feuilles, et cette partie du procédé s'exécute de la manière suivante :

Lorsque le laveur a passé cinq feuilles à travers l'étain fondu, et de là dans le pot au suif,

un garçon prend une de ces feuilles, et tandis qu'il la met à refroidir dans le pot vide, le laveur la remplace par une *sixième*. Le garçon ôte alors une *seconde* feuille qui est de même remplacée par une *septième*, et on continue ainsi d'une manière régulière, jusqu'à ce que tout le tas de feuilles soit épuisé.

Comme les feuilles sont immergées dans l'étain dans une position verticale, il y a toujours, après le refroidissement, sur le bord inférieur de chacune, un bourlet d'étain qu'il est nécessaire d'ôter : cela s'exécute de la manière suivante :

Un garçon prend les feuilles lorsqu'elles sont assez froides pour les manier, et les place, une à une, sur leur bord inférieur, dans le pot n^o. 5, qui a été décrit comme ne contenant qu'une très-petite quantité d'étain fondu. Lorsque le bourlet d'étain est fondu au moyen de cette dernière immersion, le garçon retire la feuille et lui donne un coup vif avec une baguette : ce coup débarrasse le bord de la feuille de son métal excédant ; et celui-ci, en tombant, ne laisse qu'une trace légère dans la place où il était adhérent. Cette marque, à laquelle les ouvriers ont donné le nom de *lisière* (*list*), se découvre aisément sur toutes les feuilles de fer-blanc du commerce.

Il ne reste maintenant qu'à nettoyer les feuilles de leur suif. On y parvient au moyen du son, et à mesure qu'elles sont nettoyées, on les met dans de fortes caisses de bois ou de tôle faites exactement pour les recevoir : tout le travail est alors terminé. (Cet article est extrait des *Annales de Chimie*, tome XII, page 153.)

*Sur la fabrication du MOIRÉ MÉ-
TALLIQUE.*

Extrait du *Bulletin de la Société d'Encouragement.*

ON a publié, dans le *Bulletin de la Société d'Encouragement* du mois de janvier 1819, trois notes sur le *moiré métallique*. La première de M. Baget, la seconde de M. Herpin, la troisième de M. Berry. Nous allons faire connaître, dans cet article, les méthodes détaillées dans les notes dont il s'agit.

D'abord nous rappellerons que c'est à M. Allard, dit M. Mérimée, que l'on doit la découverte du *moiré métallique* : la Société d'Encouragement a récompensé cette invention en lui accordant une médaille d'or.

M. Mérimée a fait, à cette même Société, dans le mois de janvier 1819, un rapport sur le *moiré métallique* appliqué aux feuilles d'étain.

Dès que le procédé de M. Allard fut connu, il fut importé en Angleterre ; il donna lieu à l'obtention d'une patente qui fut accordée à M. Vallet.

Après avoir étudié à fond le procédé de M. Allard, après avoir bien connu tous les effets qu'on peut en obtenir sur le fer et le cuivre, M. Brunel parvint à l'appliquer sur les feuilles d'étain, que leur flexibilité permet d'adapter sur plusieurs matières.

M. Vallet, qui a aidé M. Brunel dans ses recherches et coopéré à ses succès, vient d'intro-