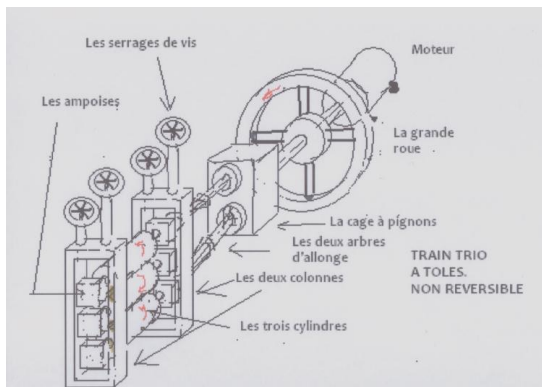


Pour obtenir une belle surface de tôles sur le refroidisseur, il faut que les coulées continues soient bien réglées mécaniquement, avec un arrosage correct, une pression hydraulique adaptée, l'usage de produits appropriés et une bonne inspection avant enfournement. Donc il faut que les brames enfournées aux fours du laminoir soient sans défauts de surface. Ce travail de mise au point fut effectué aux forges de Clabecq entre 1972 et 1982 en liaison avec le constructeur (FCB) et Duinkerke.

Le laminage ne peut effacer les défauts de la brame coulée.

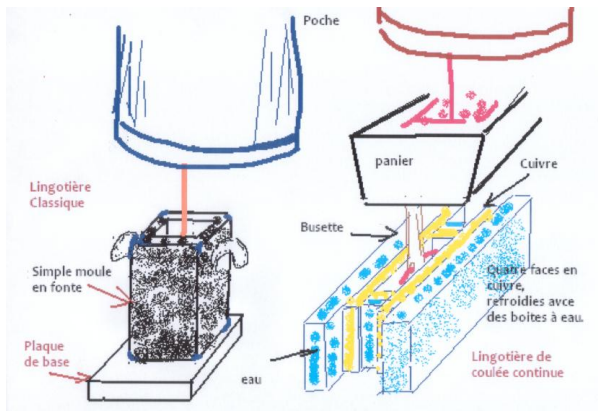
Comme l'atmosphère du four de réchauffage des brames est oxydant, (excès d'air), les surfaces sont oxydées et cela aide à l'élimination des petits défauts sur une profondeur de 2 mm environ. Bien sûr à la sortie du four, il faut décalaminer (enlever les oxydes) avec de l'eau sous haute pression, idem lors des passes au quarto. Il y a une cinquantaine d'années on mettait les fours très oxydant pour cette raison et on jetait du sel à l'entrée des cages pour faire sauter la calamine. Cette mise de sel donnait lieu à des explosions légendaires et cela toutes les 30 secondes. Cette technique était réservée aux anciens trios à tôles.



On ne disposait pas des pompes à eau de haute pression et puis les hommes étaient tout près du produit, ils auraient été brûlés. Les hommes manipulaient les tôles à la tenaille (pinces) de chaque côté du train. Ils devaient attraper les produits lorsqu'ils sortaient du train et les réengager.

Au laminoir, il faut donc que les brames soient impeccables avant enfournement. L'inspection et le décriquage des brames sont les opérations indispensables.

Il faut toujours tenir compte du fait que des stries transversales sont marquées sur les brames de coulées continues (ce qui les distingue des brames provenant de lingots). Ces marques sont dues au mouvement oscillatoire de la lingotière afin de favoriser sa lubrification et le démoulage de la brame pendant la coulée.



Ces marques ne sont pas des défauts. Cette lubrification est assurée par la fusion d'une poudre spécialement reconstituée pour ce genre de travail. La mise au point de cette poudre peut être fastidieuse car la qualité de surface en dépend, ainsi que les risques de percées. (Collages par manque de lubrification). Sa composition est dans le diagramme ternaire : chaux, alumine, silice avec des additifs ou chaux, silice, oxyde de sodium et additifs. Il existe une multitude de poudre. En fait chaque coulée continue a pratiquement la sienne et ce pour chaque qualité d'acier. C'est un produit de haute technologie.

Exemple : le diagramme ternaire $\text{CaO}/\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$.

Chacun de ces éléments ont un point de fusion très élevé : (environ)

CaO : (chaux) : 2970 °C

SiO₂ : (silice = sable) : 1773°C

Al₂O₃ : (alumine argile) : 2020 °C

En chimie et en métallurgie l'on sait que ce sont les corps pur qui ont un point de fusion plus élevé que tous leurs mélanges. On va donc combiner ces trois éléments pour obtenir une poudre qui fond sur l'acier et sert de lubrifiant entre l'acier et le cuivre. Le diagramme ternaire donne ici les points de fusion de tous les mélanges de ces trois corps.

Comme on cherche une poudre qui fond vers les 1200°C on voit la zone sur le diagramme ternaire. Ce diagramme est complexe et pas facile à comprendre car les mélanges de ces composants donnent des composés plus stables avec des points de fusion plus élevés. La surface est donc très chahutée et pas facile à lire. Mais en regardant bien on voit qu'une poudre formée de 60% de SiO₂, 25% de CaO et 15% d'Al₂O₃ donne un point de fusion d'environ 1170°C.

Elle doit tenir compte de paramètres assez pointus :

Une température de fusion entre 1250 et 1125 °C.

Un pouvoir lubrifiant adapté à la vitesse, à la dimension, donc une viscosité appropriée.

La variation de température de l'acier entre le début et la fin de poche.

De la hauteur de la couche ajoutée.

De la vitesse d'extraction de l'acier.

De la vitesse de fusion de la poudre.

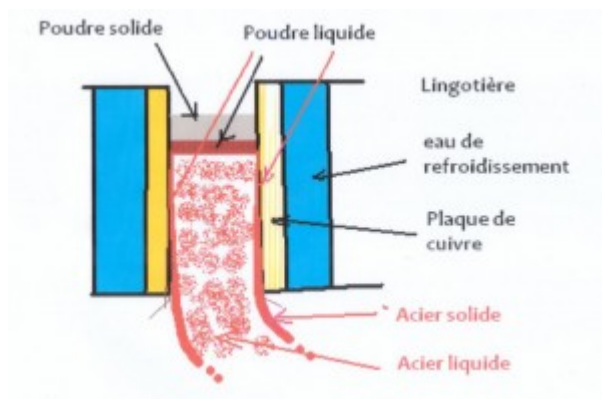
De la nature de l'acier.

Des inclusions qui décantent et viennent modifier l'analyse.

De la nature du recouvrement de la lingotière et de son degré de polissage.

Sa capacité d'être évacuée à la sortie de la lingotière par jet d'eau sans encrasser les rouleaux de pieds. Car cela entraîne une percée assurée. (La couche solidifiée de l'acier se perse et tout l'acier liquide coule dans la machine)

La mise au point de cette poudre donne encore actuellement lieu à des thèses de doctorat et ce même après 40 ans de coulée continue. Des colloques internationaux y sont encore consacrés.



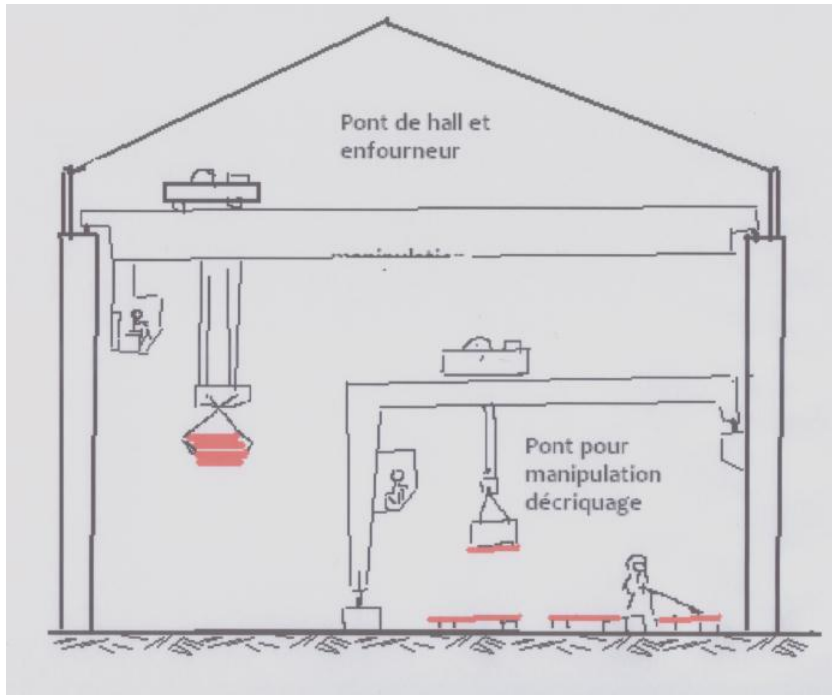
[Documentation ICI :](#)

[Documentation ICI :](#)



Une surface à l'intérieur d'un hall couvert est indispensable avec un éclairage assez fort. (500 lux) A l'extérieur il n'est pas possible de distinguer les défauts par tous les temps. Le soleil, le brouillard, la pluie

et le vent gênent la vue.



Une atmosphère aérée est indispensable, Il ne faut pas que les fumées dégagées par le chalumeau dérangent la vision.

Un sol fait de sable d'une épaisseur de 50 cm environ. Ce dernier doit permettre le nettoyage des oxydes et scories qui tombent des produits lors du décriquage.

Des blooms d'environ 200mm carrés sont disposés parallèlement à environ 1m de distance. On peut enlever les blooms avec le pont roulant équipé d'un aimant et travailler au bulldozer pour nettoyer. Ces blooms permettent de mettre les brames à bonne hauteur pour le décriqueur et font que la brame ne repose pas sur des déchets.

Un pont roulant avec pince pour alimenter le chantier et un semi-portique avec aimant, pour les retourner et les manipuler, sont indispensables. Le semi portique permet de croiser les mouvements avec le pont du hall, ce qui facilite les manœuvres. Le pont supérieur peut trier les brames et passer derrière le semi-portique. Ce dernier travaille uniquement pour le décriqueur.

Un équipement humain complet. Casque avec rabattant latéral, visière, carreau bleu, manteau complet, bottes (ou rabattant sur les bottines). Le verre bleu permet de bien voir dans la flamme du chalumeau.

Un outil : un gros chalumeau prévu pour décriquer. (Flamme de base et apport supplémentaire d'oxygène possible).

[Document ICI](#)



Dans les cas de tôles très fines et de coulées continues très mal conçues , peu entretenues ou des aciers très sales, on peut être obligés de laver toutes les faces. Dans ce cas il existe des machines automatiques c'est un calcul de rentabilité. C'est GEGA et MESSER qui détiennent le marché mondial des chalumeaux et des machines à décriquer. La brame se trouve à 45 degrés.

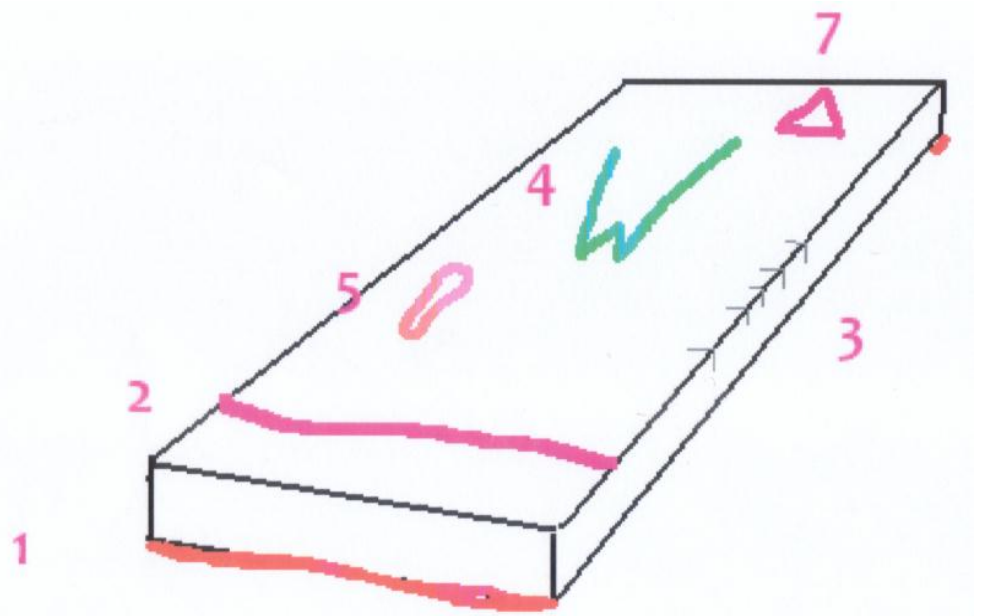
Machine à décriquer toute la surface.



LES DEFAUTS QUE L'ON PEUT RENCONTRER.

1) Des bavures inférieures en largeur, aux extrémités, dues au mauvais réglage des brûleurs

- de coupe à la coulée cc
- 2) Des reprises de coulées dues à un arrêt intempestif de la coulée continue.
 - 3) Des criques de rives (très fines et difficiles à voir)
 - 4) Des criques en long.
 - 5) Des pailles.
 - 6) Une surface très riche en inclusions.
 - 7) Des traces de collage en lingotière.



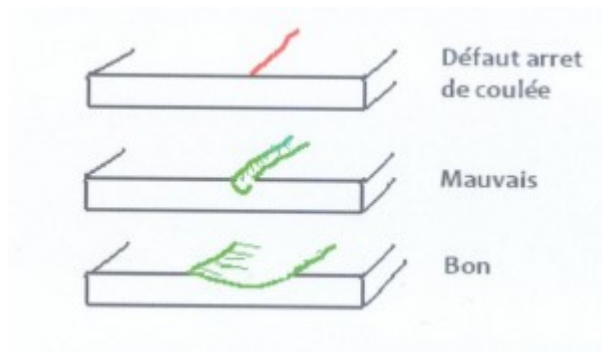
COMMENT DECRIQUER ET REPARER LES SURFACES

1) Comme à la sortie de la coulée continue on coupe à chaud. Le réglage de la flamme d'oxycoupage n'est pas facile. Aussi je conseille de passer un coup de chalumeau sur les bords de toutes les brames. Cette bavure ne risque donc pas de se retrouver sur la table du train et être relaminée avec la pièce et donc de donner un défaut réimprimé dans la tôle. Le personnel de la coulée continue a trop tendance à assurer la coupe pour ne pas devoir arrêter la coulée et donc de négliger la qualité de la coupe.

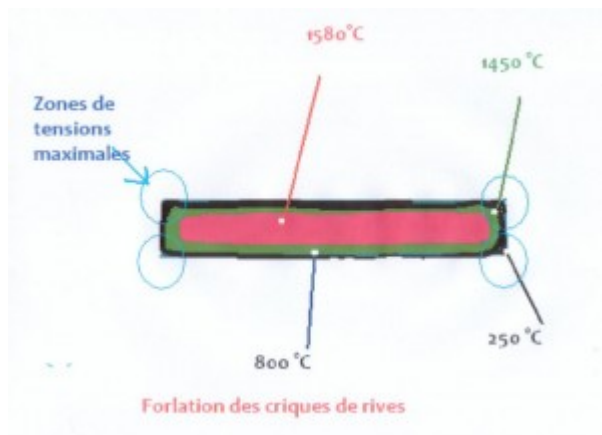
2) Les reprises de coulée sont très visibles. Elles forment une barre hétérogène (acier et scories) légèrement incurvée tout en travers de la brame et perpendiculairement aux bords.

Il faut nettoyer cette zone en profondeur car le défaut est profond. Il est rare de mener ce travail à bien car il faut en plus respecter un angle de sortie pas trop raide pour éviter les replis au laminage.

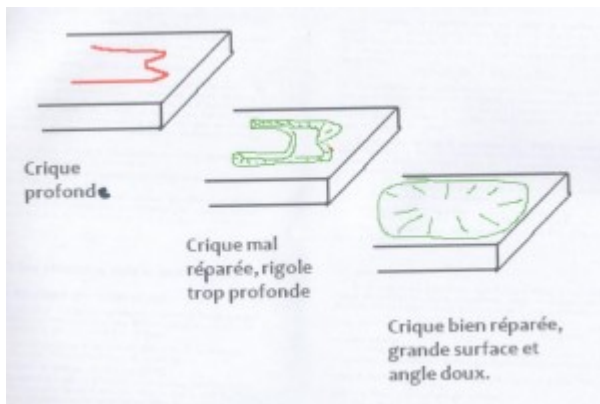
Généralement la coulée continue a déjà déclassé cette zone et donc elle n'est pas affectée à une commande client. La coulée continue déclassé 100 cm, c'est ce que son bac à mitrailles accepte. Ce défaut est rare si la coulée continue est bien conduite. (Une fois par semaine).



3) Les criques de rives. Elles sont petites et fines, sur les coins, longueur environ 50 mm, profondeur 1 à 2 mm. Elles sont à cheval sur la face et sur la rive. Elles sont assez difficiles à voir, il faut de l'expérience. Il faut donc nettoyer les bords au chalumeau. Ce défaut est très difficile à dominer du côté de la coulée continue. Certain aciers, certaines machines de CC, ont cette propension d'en faire beaucoup. Elles sont évidemment très dangereuses pour les trains à bandes. Car ces derniers ne coupent pas en rives et donc on obtient après laminage des rives déchirées. Pour les tôles moyennes et grosses comme on dérive environ 50 mm le défaut est moins dramatique.

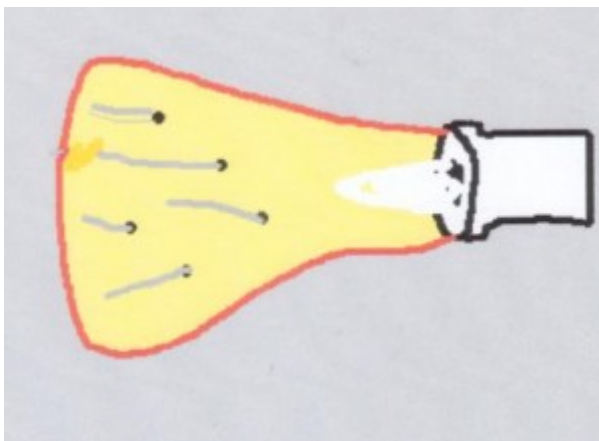


4) Les criques en long. Elles sont généralement très visibles. Assez grosses, soit souvent en forme de « M » d'une longueur d'environ 1.000 mm et d'une profondeur de 5 à 10 mm. Elles doivent être totalement enlevées afin d'obtenir un produit sain, sans quoi la tôle sera à rebutée. Attention à l'angle de sortie de la réparation.



5) Les pailles. En coulée continue les pailles sont rares. Elles se distinguent des criques par le fait qu'elles ont un contour fermé. Généralement petites, de forme longue et étroite. Environ 50 mm de long. Elles doivent être parfaitement enlevées. Cause de rebus certain. Ce défaut est fréquent sur des brames provenant de lingot car le jet d'acier assez puissant en lingotière peu éclabousser celle-ci.

6) Lors du test de surface, on passe le chalumeau en forme de croix sur la brame. On regarde la flamme. Si des lignes apparaissent dans l'acier fondu qui précède le chalumeau, c'est que l'acier est sale et donc plein d'inclusions non métalliques. Il faut laver toute la surface de la brame sur une petite épaisseur d'environ 5 mm. Evidemment la destinée de la tôle joue un rôle dans ce cas. Pour de grosses tôles de plus de 100 mm ce défaut est acceptable mais pour les fines l'utilisateur risque d'avoir des problèmes de soudure. Les inclusions venant modifier le bain de soudure. La résilience (résistance aux chocs) en est affectée.



7) Une reprise de coulée après une amorce de percée à la coulée continue, soit un début de collage. Brame à déclasser. Elle se présente sous forme d'une grosse paille triangulaire d'une grandeur variable mais généralement avec une longueur du côté du triangle d'environ 300 mm.

Travail indispensable

Le travail du décriqueur est donc fondamental. C'est lui qui assure un beau fini des tôles. Le lamineur doit juste bien décalaminer et l'aciérie doit fournir des produits peu riches en hydrogène. (Soit principalement l'hydrogène qui doit être raréfié). En effet ce dernier va passer à l'état gazeux au cours du refroidissement. L'hydrogène est très soluble dans l'acier solidifié à haute température. Il ne va se dégager qu'entre 400 et 250 °C. Ce phénomène peut dans certains cas de tôles sous les 20 mm, donner des défauts de surface que l'on peut confondre avec des très fines criques de face (environ 1 à 2 mm, de forme en « M » sur une longueur d'environ 200 mm). L'hydrogène peut aussi être à l'origine de défauts internes. Ce sont les pressions internes, entre grains, qui en sont la cause. La bataille pour l'hydrogène est difficile car son origine c'est l'humidité. Evidemment un dégazage de l'acier enlève 90% de l'hydrogène et résout ce problème. Les tôles destinées à la fabrication de tubes de grand diamètre et à haute pression pour le fuel ou le gaz sont très sensibles à ce défaut. Cela pourrait amener à des ruptures lors des essais de mise sous pression qui font partie de cette chaîne de fabrication.

Ces tôles doivent recevoir un refroidissement lent. C'est le fait de rester empilées chaude que leur refroidissement est atténué et permet à l'hydrogène de sortir de l'acier au lieu d'y faire des cavités. L'opération de dégazage permet aussi d'obtenir un produit très propre car il ne faut pas combiner l'oxygène avec un alliage pour l'éliminer. Ce dernier est éliminé en même temps que l'hydrogène.

Pendant les mises au point des coulées continues les rapports de décriquage doivent être encodés par le décriqueur afin que les responsables de la coulée continue soient au courant et puissent éventuellement faire face. Il faut en permanence faire une étude statistique sur les défauts. Et bien sûr y remédier dès qu'un facteur prend un « poids » trop important.

Il faut de nombreuses années pour mettre au point les conditions de coulée à toutes les dimensions et à toutes les qualités.

Quelles mesures prendre ?

1) Défaut N° 1 : Il faut régler les chalumeaux de découpe à la sortie de la coulée continue. Si nécessaire changer les becs et régler, gaz, oxygène, distance, vitesse, oxygène de coupe.

2) Défaut N°2 : Les reprises de coulée sont inacceptables. Il faut prendre les mesures nécessaires pour avoir le temps de changer de poche ou de panier. Evidemment dans ce dernier cas c'est impossible. Là il faut directement découper une brame à mitraille à la sortie de la CC et ne pas l'affecter à une commande client. Il faut aussi soigner l'approvisionnement en busettes immergées afin que leur durée de vie soit la plus longue possible. Leur usure est fréquemment la cause du changement de panier.

3) Défaut N° 3 : C'est un problème particulièrement difficile à gérer. Les criques proviennent de la rupture partielle de la partie solidifiée de la rame et ce principalement dans les angles. En fait cette partie d'acier veut se rétracter à cause du refroidissement demandé pour garantir la santé interne, et la partie restée chaude ne veut pas se comprimer. Et donc la partie solide extérieure craque. Ce défaut se situe sur les angles car en ce lieu que la

température est la plus basse. Le rapport surface sur masse est plus important. De plus cette zone de la brame est soumise à des tensions dues à l'extraction de la brame, à l'entre distance des appuis des rouleaux guides (maintenus par des vérins hydrauliques) et de la distance entre les rouleaux (conception machine) et vitesse d'extraction (section et coordination).

Il existe actuellement une machine détectrice de ces criques d'angles à la sortie de la machine de coulée continue. Elle est basée sur des perturbations d'un champ magnétique.

Quels sont les facteurs qui entrent en jeux :

La dimension de la brame.

La qualité de l'acier (la ductilité à chaud).

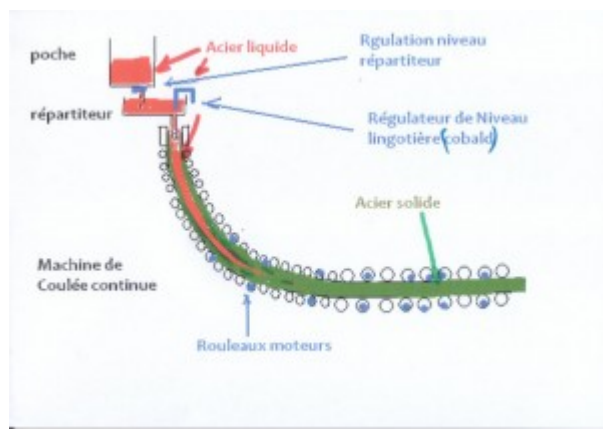
La vitesse d'extraction de la machine de coulée continue.

L'intensité de l'aspersion d'eau et sa régularité.

Les diamètres des rouleaux-guides.

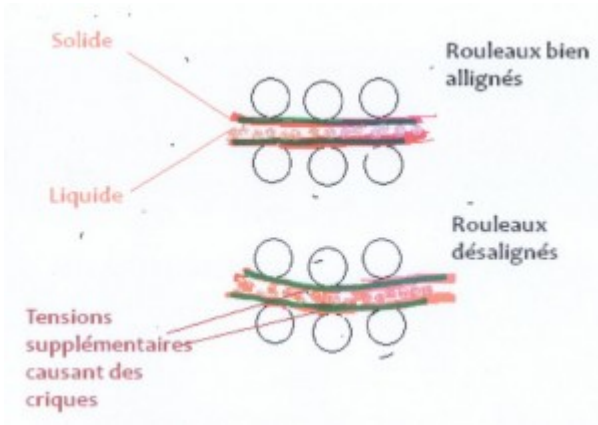
La régularité du guidage d'extraction.

Principe de la Coulée Continue.



Ce dernier point est particulièrement à suivre. Si de plus les rouleaux sont mal alignés, ils impriment à la brame des tensions supplémentaires. Tensions qui peuvent donner naissance à des criques. La géométrie de la machine doit être régulièrement vérifiée. Le changement d'un rouleau pour usure ou casse, doit se faire avec soin. Il faut aligner ce dernier par rapport à ses voisins. Au moins une fois par semaine il faut vérifier toute la machine. Pour ce faire il faut environ huit heures à trois hommes. Il faut passer un gabarit du rayon de 12 mètres dans la machine, (rayon théorique) posé sur au moins 6 rouleaux. Sa longueur est d'environ 4 m. A chaque position il faut le caler et mesurer les distances entre le gabarit et les rouleaux au moyen de calibres d'épaisseur au 10^{ème} de mm. On déplace le gabarit rouleau par rouleau et on fait cette opération à gauche et à droite de la machine. Actuellement il y a des machines type robot qui font pratiquement le même travail en une ou deux heures.

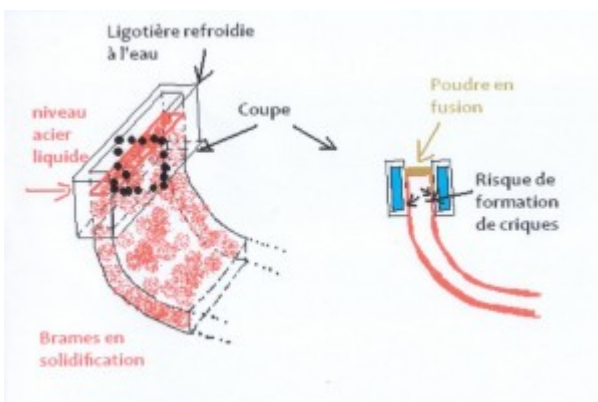
Principe de la formation de criques de rives par désalignement d'un rouleau.



Pour interpréter ces résultats et mettre en œuvre des réglages, il y a trois façons.

- On fait des approximations manuelles.
- On transpose les résultats sur un plan et on trouve une solution de continuité sous forme graphique
- On introduit les valeurs dans un programme informatique. Ce dernier donne les corrections à apporter à chaque rouleau à gauche et à droite pour assurer une continuité acceptable. Parfois donc éloignée du rayon théorique de la machine..

4) Défaut N°4 : Ces criques en long sont l'apanage des aciers dur, soit de plus de 50 kgr/mm². Ces aciers supportent moins les déformations à chaud et donc « criquent » plus vite. Mais on a presque une certitude que ces dernières se forment déjà en lingotière. Ce sont les grosses différences de température au sein des grandes faces refroidies abondamment à l'eau. Elles sont plaquées contre les faces de cuivre de la lingotière par la pression de la hauteur de liquide et leur faible épaisseur solidifiée.

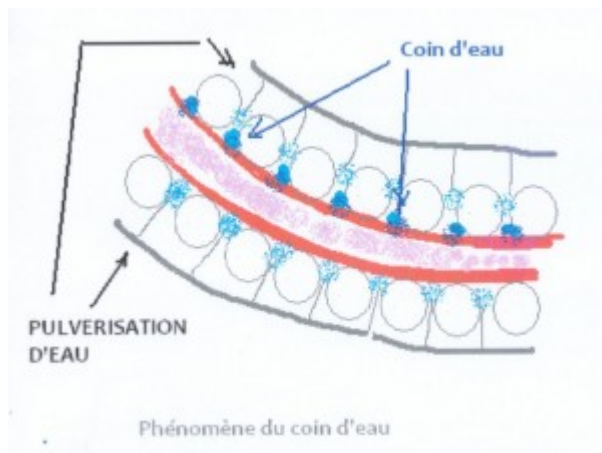


Il faut : faire les mêmes réglages que pour le défaut N°3, mais diminuer les tolérances par 2. Donc il faut travailler deux fois plus précisément.

Il faut particulièrement vérifier la continuité de l'arrosage. Il est conseillé d'utiliser la pulvérisation d'eau avec de l'air comprimé. Cela égalise l'effet. Surtout cela élimine le coin d'eau que l'on retrouve sur la partie supérieure des appuis rouleaux (coin d'eau)

Le lubrifiant apporté par la fusion de la poudre sur le bain doit être adapté à la qualité de l'acier. Dans ce cas il doit être plus visqueux pour assurer une meilleure répartition de la chaleur..

Mesurer et éventuellement remplacer les rouleaux dont le faux rond est supérieur à 5/10 mm. Cette vérification doit être hebdomadaire.

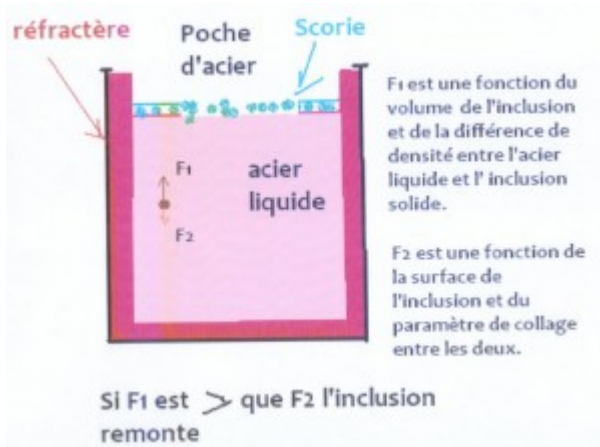


5) Défaut N 5 : Vaste question de la teneur en éléments étranger dans l'acier. Ce sont généralement des déchets provenant de la désoxydation de l'acier en poche et des déchets de réfractaires. Pour que ces inclusions décantent par la force de gravité il faut :

Un certain temps. Mais ce temps est limité par des impératifs de production. Insuffler un gaz neutre pendant quelques minutes (environ 10 minutes) pour réagglomérer les inclusions. Une inclusion plus grosse décante mieux car la force qui la fait monter est fonction de son volume (différence de densité) et la force qui la retient est fonction de sa surface (force de collage entre l'acier liquide et la surface des particules étrangères).

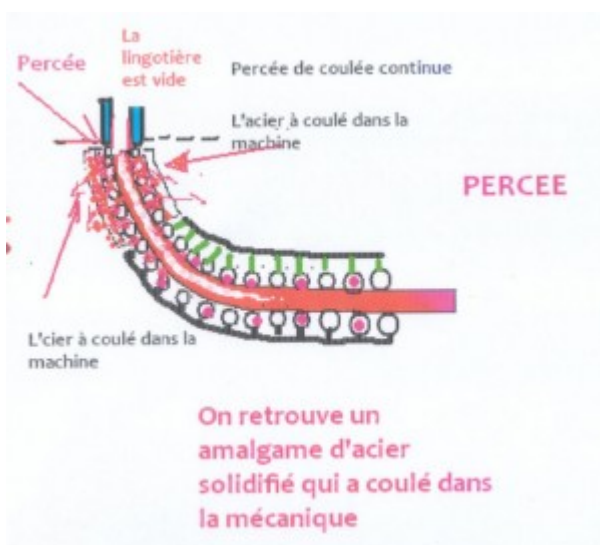
Ne pas suroxyder les coulées au convertisseur. Donc bien calculer la charge pour ne pas être obligé de consommer du fer pour arriver à température.

La plus belle solution est évidemment le dégazage sous vide mais à Clabecq, nous ne disposons pas de cet équipement. (Seuls Dunkerque et Dillingen sont équipés).



6) Défaut N°6 : Les amorces de percées sont dues au fait que l'acier qui se solidifie en lingotière reste collé sur la surface de cuivre. Le niveau début de solidification quitte alors le niveau de coulée et descend sous forme d'un triangle. Si ce point arrive au bas de la lingotière c'est la percée. La coulée est écrêtée. Il ya 2 à 3 tonnes d'acier dans la machine et il faut tout nettoyer pendant au minimum huit heures. Mais comme on dispose d'un appareil de détection de cette anomalie, on peut parfois en arrêtant la coulée un instant éviter l'incident. Dans ce cas une marque reste sur la brame et évidemment c'est un défaut.

Cet appareillage de détection basé sur des prises de température dans le cuivre de la lingotière avec un traitement informatique de données est particulièrement sophistiqué. Il s'agit de détecter des inversions de température et cela dans des temps de l'ordre de la seconde. Douze thermocouples étaient insérés dans le cuivre dans des orifices de 3 mm sur une profondeur de 100 et 300 mm.



Les tentatives de modélisation mathématiques de tous ces phénomènes furent très développées. [Document ICI](#) Bien que imparfaits et très difficiles ces calculs aidèrent à la conduite des machines de coulées continues.

En anglais : Pour vous permettre de chercher sur le net.

Continuus casting. Coulée continue

Scarfiging : décriquage

Crack : crique

Slab : brame.

Tundish : répartiteur/panier.

Mold : lingotière.

Plate : tôle.

Straw : paille.

Continuus Powder ; poudre de CC.