Livre blanc

MESURE DE NIVEAU POUR LINGOTIÈRES

Mesure de niveau de remplissage d'acier en coulée continue

BERTHOLD

Introduction

Le niveau de remplissage d'acier en coulée continue est généralement déterminé par la mesure de niveau radiométrique des lingotières. Cette technologie, disponible depuis plus de 50 ans, a déjà été déployée sur plus de 6 000 installations. Le présent livre blanc aborde le process, les variations statistiques, les facteurs d'influence, le choix des sources, ainsi que le développement récent en matière de mesure en continu de l'épaisseur de la couche de poudre de couverture.

Description du process

Les installations de coulée continue permettent d'améliorer les qualités de l'acier et de diminuer les coûts de production, par la réduction des investissements et du personnel, et les coûts d'exploitation, par une meilleure utilisation du matériau. Grâce à ces avantages, et à l'amélioration du process en général, la quasi-totalité des qualités d'acier peuvent être coulées aujourd'hui. C'est pourquoi près de 99 % de la production totale d'acier exploite la coulée continue.

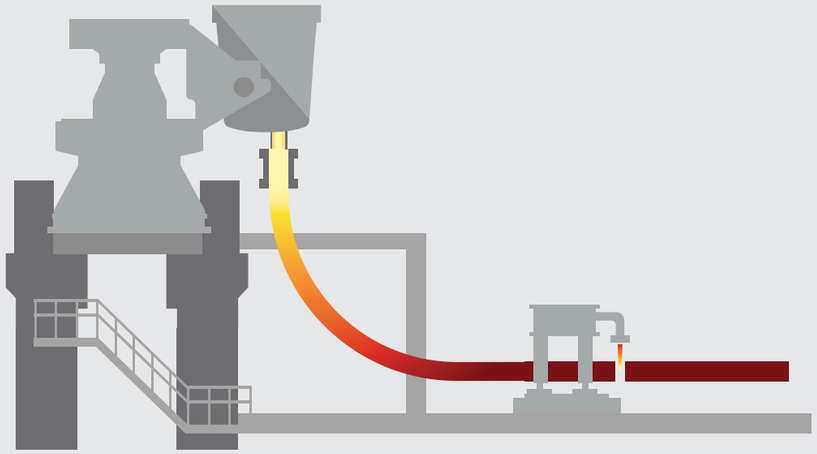
En principe, une installation de coulée continue se compose d'une ou plusieurs lingotières servant au formage et au refroidissement. Une lingotière est constituée d'un tube ou d'un bloc de cuivre dont la section ouverte correspond aux dimensions de la forme d'acier à produire. Elle est placée dans une chemise traversée d'eau de refroidissement et fermée en son fond par un mannequin avant la coulée.

L'acier est acheminé dans une poche, versé dans un répartiteur situé au-dessus de la lingotière, puis réparti dans une ou plusieurs lingotières. Le répartiteur est souvent muni d'une quenouille ou d'un tiroir régulant le débit d'acier arrivant dans la lingotière. L'acier liquide est distribué dans une huitaine de lingotières disposées côte à côte. L'acier refroidit dans la lingotière de 70 à 90 cm de long et se solidifie pour former une coque extérieure. Le barreau d'acier encore chaud est acheminé par le bas de la lingotière et vaporisé d'eau sous pression dans la section de refroidissement secondaire, ce qui solidifie rapidement le cœur du produit.

Pour réduire le frottement entre la lingotière et la coque d'acier, la lingotière oscille à une fréquence de 60 à 360 coups par minute et une amplitude de 3 à 10 mm, et de la poudre est injectée entre la coque du barreau et la paroi de la lingotière.

Dans la phase critique de démarrage du process de coulée, le niveau dans la lingotière, au-dessus du mannequin, monte rapidement. Les entraînements doivent être actionnés au moment opportun pour extraire le mannequin, puis faire descendre l'acier chaud vers un système de rouleaux. Parallèlement, la quantité d'acier qui s'écoule dans la lingotière doit être régulée pour éviter tout débordement. La vitesse de coulée dépend de la section de coulée et varie entre 0,5 et plus de 6 mètres par minute.

Fig. 1 Schéma d'une installation de coulée continue



La Fig. 2 illustre le principe de la mesure de niveau pour lingotières et les éléments de l'installation de coulée continue contrôlables via le système de régulation et l'actionneur.

Selon la vitesse de coulée, la lingotière doit être alimentée en continu d'une quantité suffisante d'acier liquide pour que le niveau à l'intérieur soit constant. Il existe un niveau métallurgique optimal. Si le niveau est trop élevé, la lingotière risque de déborder, ou les organes d'étanchéité de la tête de la lingotière, de brûler. Si le niveau est trop faible, le refroidissement perd en efficacité et la coque extérieure solidifiée du barreau peut s'amincir au point de se déchirer et de laisser s'échapper le noyau encore liquide. Les deux situations se traduisent par une perturbation opérationnelle, associée à des coûts élevés dus aux réparations et au nettoyage induits, entraînant plusieurs heures d'interruption du process. La relation métallurgique réciproque avec le refroidissement uniforme et la qualité associée de la cristallisation et de la microstructure créée lors de la solidification de l'acier, surtout en présence d'aciers spéciaux, revêt une importance capitale.

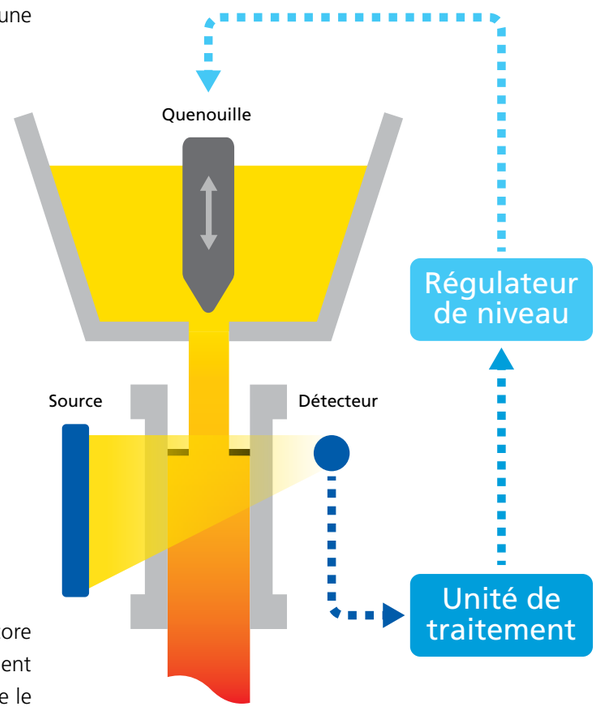
La quantité d'acier liquide s'écoulant du répartiteur par unité de temps n'est pas constante, car la section de la sortie céramique peut évoluer par l'usure ou l'accumulation de scories ou d'alumine. Le flux d'acier dépend également de la fluctuation de la pression ferrostatique résultant du changement du niveau d'acier dans le répartiteur. Le niveau dans la lingotière varie donc si l'alimentation en acier n'est pas régulée via l'ajustement de son débit ou de la vitesse d'extraction du barreau. La mesure en ligne de l'acier dans la lingotière s'impose donc avant toute chose pour le contrôle efficace du niveau. Le système de régulation est très sollicité, surtout s'il doit en plus gérer le démarrage automatique de la coulée.

Lorsque le niveau critique d'acier n'était pas encore automatisé, la procédure était réalisée manuellement par un ouvrier chargé de surveiller en permanence le niveau d'acier dans la lingotière. L'ouvrier devait alors adapter la vitesse d'extraction de la lingotière à l'aide d'un potentiomètre ou réguler le débit du répartiteur au moyen d'une quenouille à tampon. Cette tâche réclamant un niveau élevé de concentration, les ouvriers s'y relayaient souvent.

La mise en place d'une poche nécessite de 40 à 60 minutes, selon sa taille. Les coulées séquentielles, caractérisées par une succession de poches sans changement de répartiteur, sont courantes, ce qui allonge le temps de coulée, évite les pertes en début et fin de barreau, réduit le coût de remplacement du revêtement du répartiteur et élimine les temps de préparation.

Deux technologies éprouvées de mesure de niveau pour lingotières prévalent dans cette application : radiométrique et électromagnétique. Plus de 6 000 installations de ligne de coulée dans le monde exploitent la radiométrie pour la mesure de niveau pour lingotières, ce qui en fait la méthode la plus répandue.

Fig. 2 Principe de la mesure et de la régulation du niveau d'une lingotière



Mesure de niveau radiométrique

Un système de mesure de niveau pour lingotières radiométrique se compose de trois éléments principaux :

- Un radioélément
- Un détecteur à scintillations
- Une unité de traitement

La source émet un rayonnement gamma qui frappe le détecteur et se transforme en scintillation, puis en signaux électriques. Le détecteur envoie ces signaux à l'unité de traitement qui les convertit en une valeur de niveau de lingotière en utilisant la courbe d'étalonnage relevée, enregistrée et active.

La courbe d'étalonnage standard d'un système de mesure de niveau radiométrique découle généralement des valeurs lingotière vide (0 %) et lingotière remplie d'un bloc d'acier adapté (100 %), puis de l'interpolation d'une droite reliant les deux points obtenus (voir Fig. 4). Les systèmes modernes permettent d'établir des courbes d'étalonnage non linéaires plus précises, comportant jusqu'à 21 points qui peuvent être relevés automatiquement via un banc d'étalonnage automatisé.

Les appareils de mesure de niveau radiométrique pour lingotières sont capables de résister aux conditions environnementales et d'exploitation difficiles de l'industrie métallurgique. La source et le détecteur sont normalement intégrés à la lingotière et protégés du trop-plein de cette dernière, par exemple. Les capteurs modernes supportent des températures de fonctionnement continu jusqu'à 70 °C et peuvent être équipés de chemises de refroidissement par l'eau de la lingotière.

Chaque signal électrique est transféré du détecteur à l'unité de traitement sous forme d'impulsion de tension amplifiée, résistante aux interférences électromagnétiques. Les systèmes modernes exploitent également des communications duplex entre le détecteur et l'unité de traitement via une interface industrielle standard qui garantit leur efficacité et leur redondance.

La source de rayonnement gamma et le détecteur sont installés sur la lingotière, dans une configuration permettant de couvrir la plage de mesure souhaitée. Des considérations théoriques et l'expérience permettent d'affirmer que des plages de mesure de 100 à 200 mm sont suffisantes pour compenser les éventuelles grandeurs perturbatrices et permettre le démarrage automatique de la coulée. La longueur de la source allongée utilisée peut être adaptée à la géométrie de la lingotière pour atteindre la plage de mesure requise. En réduisant au minimum l'épaisseur des couches de cuivre, d'eau et d'acier dans le parcours du rayonnement, il est possible de limiter l'activité de la source nécessaire et donc les efforts de radioprotection.

Les sources et détecteurs peuvent être agencés différemment selon la forme à couler et la construction de la lingotière.

Fig. 3 Éléments principaux d'un système radiométrique

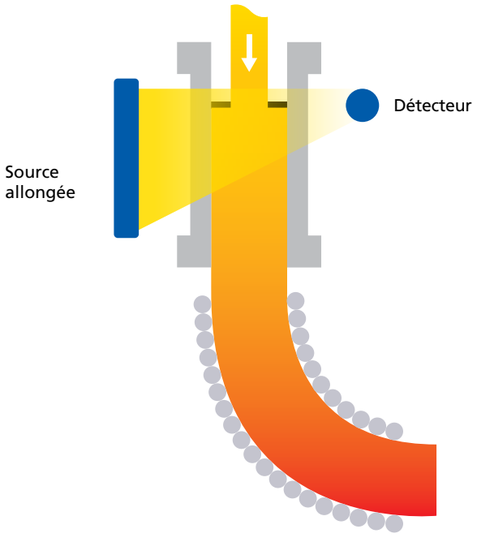


Fig. 4 Courbe d'étalonnage d'un système radiométrique

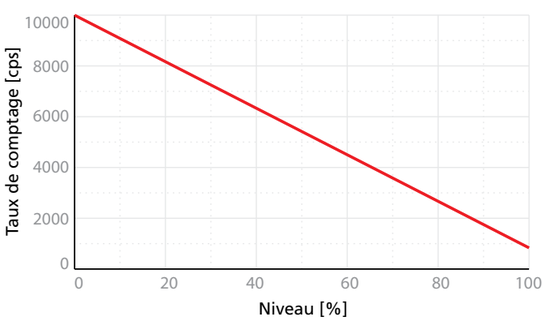
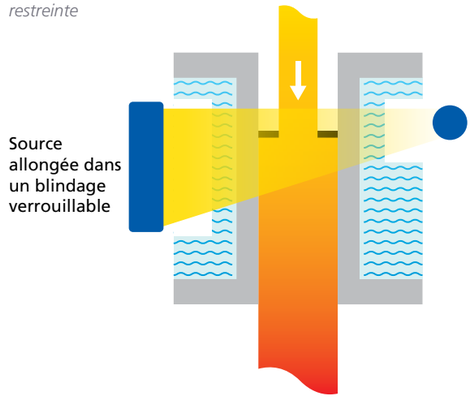


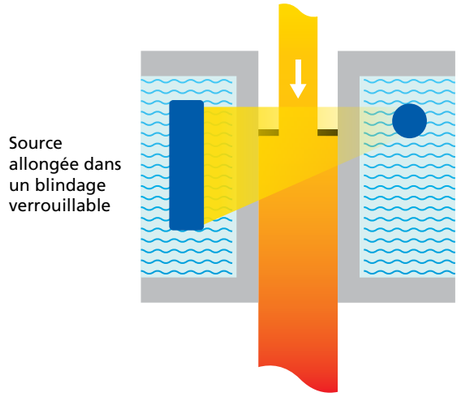
Fig. 5 Configuration externe avec chemise de refroidissement restreinte



En installation externe, la source est placée dans un blindage fixé à la lingotière, à l'extérieur de la chemise de refroidissement. Pour réduire l'atténuation du rayonnement, la chemise de refroidissement et la couche d'eau sont restreintes.

Le détecteur peut être disposé à l'extérieur de la lingotière ou à l'intérieur de la chemise de refroidissement en fonction de l'espace disponible. Cette configuration est privilégiée pour les lingotières tubulaires de formage de billettes.

Fig. 6 Configuration interne

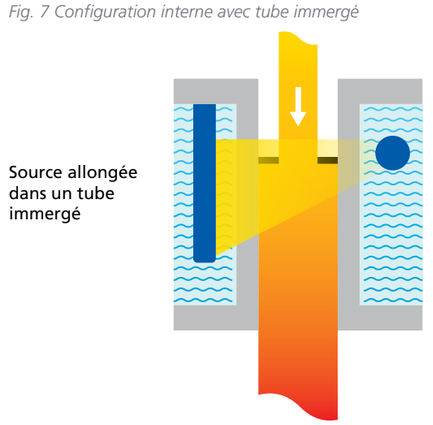


En installation interne, la source blindée doit être placée à l’intérieur de la chemise de refroidissement ou du support de la lingotière. Le détecteur est alors disposé horizontalement dans la chemise de refroidissement au moyen d’un tube de protection.

Cette configuration permet de réduire suffisamment l’épaisseur des parois des plaques de cuivre et d’acier du support, ainsi que la distance entre la source et le détecteur, nécessaire pour le formage de blooms et de brames.

La pose d’un blindage est indispensable si la source doit être installée sans blindage propre dans la chemise de refroidissement ou le support de la lingotière. Cette configuration est requise en présence d’un espace très limité.

Fig. 7 Configuration interne avec tube immergé



La mise en place et le retrait de la source s’effectuent à l’aide d’un blindage auxiliaire spécial qui peut être placé sur la lingotière, au-dessus du site d’installation de la source. La source peut ensuite être insérée dans le tube protecteur de la lingotière via une tige d’extension, évitant toute manipulation de la source non blindée sans protection. Cette configuration requiert une très faible activité de la source et ne réclame aucune modification majeure, même en cas d’installation ultérieure.

Variations statistiques

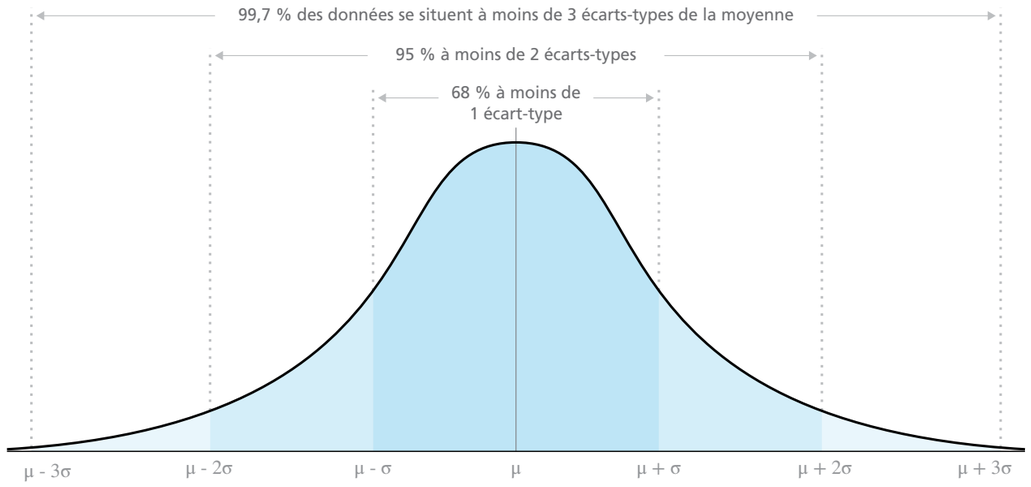
Le rayonnement ionisant découle de la décroissance de matières radioactives. Ce processus n'est ni permanent ni uniforme, mais obéit à une régularité statistique dans sa répartition, ce qui signifie que même à un niveau de lingotière constant, le signal de sortie subit des fluctuations statistiques physiques et non de niveau. L'écart-type statistique (σ) dépend du taux d'impulsions (N) enregistré par le détecteur et de la constante de temps effective (τ) de l'unité de traitement pour le signal. Formule de calcul de l'écart-type relatif :

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{1}{\sqrt{2*N*\tau}}$$

Pour un écart type de 1σ, la règle serait qu'environ 68 % des valeurs mesurées se situent dans l'intervalle de variation +/-σ de la valeur escomptée. La valeur 2σ, représentant environ 95,5 % des valeurs de mesure, est considérée comme une erreur statistique type, et la fluctuation statistique "maximale" correspond à la valeur 3σ, soit 99,7 % des valeurs de mesure. Dans le cadre d'une mesure, il est courant d'utiliser la valeur de calcul 3σ pour les erreurs statistiques. L'expression de l'erreur statistique permet d'influer sur l'ampleur de la fluctuation uniquement par une modification du taux d'impulsions ou de la constante de temps. Avec la géométrie concernée, il est possible d'accroître le taux d'impulsions en augmentant l'activité de la source ou la sensibilité du détecteur. Les limites d'activité de la source sont déterminées par les débits de dose maximum admissibles à l'extérieur de la protection de la lingotière, par l'espace disponible et donc par la taille possible du blindage en plomb ou en tungstène. Une hausse de la constante de temps ne peut être que limitée pour des raisons techniques de régulation. La plage de mesure normale s'étend de 100 à près de 200 mm. La vitesse de coulée pouvant atteindre 100 mm par seconde pour les petites sections, la plage de mesure complète est couverte en 1 à 2 secondes au démarrage. Cet aspect doit être pris en compte au moment de choisir la constante de temps, qui peut alors être comprise entre 0,2 et 0,5 seconde au démarrage d'installations de coulée rapides.

L'électronique moderne permet de réduire considérablement l'erreur statistique du signal de niveau de la lingotière grâce à des filtres dynamiques. On suppose ici que dans un processus de coulée normal, non perturbé, les fluctuations possibles du niveau de la lingotière sont nettement moins importantes que pendant la coulée réelle et qu'aucune autre irrégularité ne devrait se produire. L'opération peut être poursuivie avec une constante de temps considérablement réduite.

Fig. 8 Fonction de densité de répartition normale



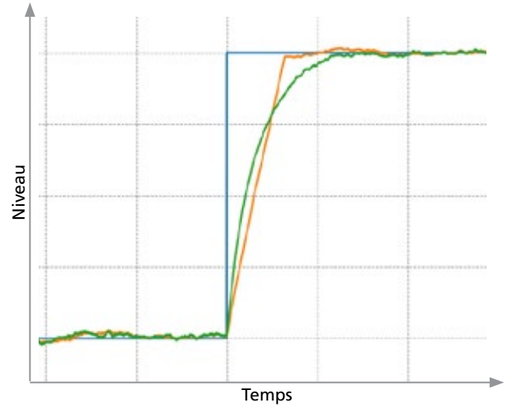
Constante de temps et temps de réponse du système

Contre les variations statistiques, les systèmes radiométriques modernes utilisent des filtres, qui lissent le signal brut sans nuire au temps de réponse du système. Le filtre RC à constante de temps paramétrable présente plusieurs avantages par rapport, par exemple, au filtre à moyenne mobile, notamment en termes de réactivité, avec le même écart-type. La Fig. 9 illustre la réactivité d'un filtre RC (ligne verte) et d'un filtre à moyenne mobile (ligne orange) à la variation d'un échelon du signal idéal (ligne bleue), avec les mêmes écarts-types.

En conditions de coulée normales, les variations de niveau réelles sont de l'ordre de +/-1 %, et le filtre RC améliore la réactivité du système de mesure. La Fig. ci-dessous illustre le temps de réaction d'un filtre RC. Avec un filtre RC, 63 % de la variation de niveau est transmise au signal de sortie en une constante de temps ou presque 50 % en une demi-constante de temps. Réponse de sortie dans le cas d'une constante de temps de 1 s et d'un remplissage instantané de la lingotière de 0 à 100 %, maintenu à 100 % :

- 50 % après 0,5 s
- 63 % après 1 s
- 86,5 % après 2 s
- 95 % après 3 s
- 100 % après 5 s

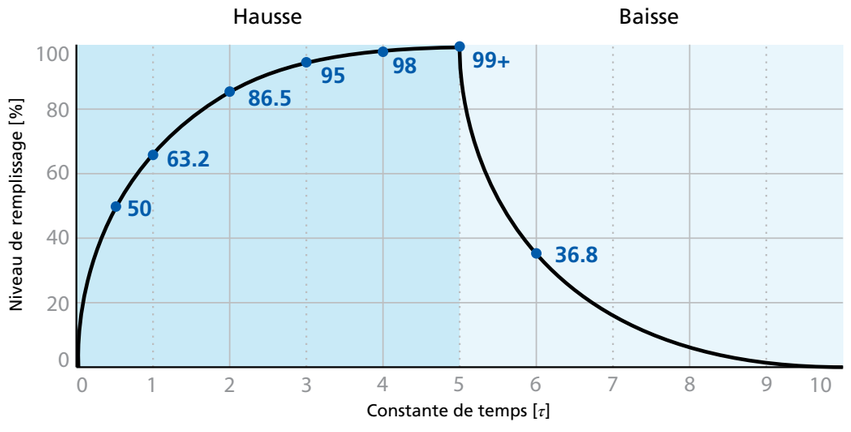
Fig. 9 Comparaison entre la réponse d'un filtre RC (vert) et celle d'un filtre à moyenne mobile (orange) à la variation d'un échelon (bleu)



La Fig. 10 illustre la réactivité d'un filtre RC face à un changement, mais également la nécessité d'environ 5 constantes de temps pour que l'effet soit total. Le filtre RC convient donc aux légers changements rapides, tels que ceux subis par le niveau d'une lingotière pendant la coulée. Les systèmes modernes permettent l'utilisation de constantes de temps plus courtes dans la phase de démarrage d'une installation de coulée, pendant laquelle le temps de réponse prévaut sur la précision.

Le temps de mise à jour de ces systèmes est également important, car ils fournissent une nouvelle valeur de sortie calculée toutes les 5 ms environ, optimisant le fonctionnement du filtre RC.

Fig. 10 Temps de réaction d'un filtre RC



Optimisation des performances

Tel qu'expliqué ci-avant, l'écart-type statistique relatif peut être exprimé, en théorie, comme suit :

$$\frac{\sigma_N}{N} = \frac{}{\sqrt{2*N*\tau}}$$

Cela signifie qu'une constante de temps élevée (τ) et une activité de la source ou un taux d'impulsions (N) accrus améliorent la précision de la mesure.
Soit la plage de mesure totale (L_t), le point de consigne de la coulée (L_{sp}) et le taux de comptage lingotière vide (N_{empty}), on obtient l'écart-type du système au point de consigne de la coulée (en millimètres) suivant :

$$\sigma_L = L_t\sqrt{\frac{1-\frac{L_{sp}}{L_t}}{N_{empty}*2*\tau}}$$

L'application de cette formule, en conditions relativement normales de coulée d'une installation de petite section...

N_{empty} = 10 000 coups par seconde
τ = 0,8 s
L_{sp} = 112,5 mm (75 % de la plage de mesure totale, L_t)
L_t = 150 mm

permet d'obtenir les écarts statistiques suivants :

Écart-type	Écart en mm
1σ	0,6
2σ	1,2
3σ	1,8

Ces conditions devraient offrir une précision du niveau de lingotière de +/-1,2 mm dans 95 % des cas et +/-1,8 mm dans 99,7 % des cas.

Résultat pour une activité de la source multipliée par 2 (N_{empty} = 20 000) :

Écart-type	Écart en mm
1σ	0,4
2σ	0,8
3σ	1,3

Cet exemple montre clairement que l'activité de la source / la sensibilité du capteur jouent un rôle important dans la précision de la mesure. Cette même expression peut être adaptée afin de déterminer le taux de comptage N_{empty} minimum acceptable dans les conditions données et l'écart statistique (σ_L) requis.

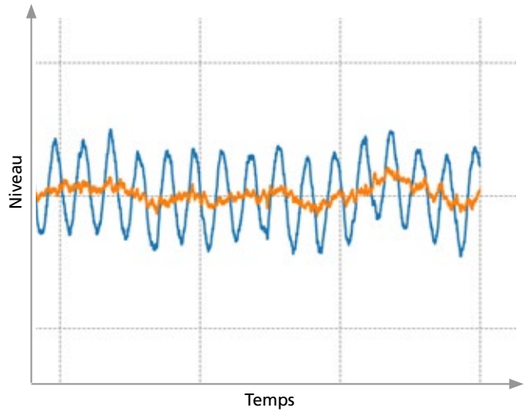
Les règles d'or d'une mesure de niveau radiométrique de lingotières précise peuvent être résumées comme suit :

- Un taux de comptage "vide" (N_{empty}) élevé améliore la précision sur toute la plage de mesure.
- Avec une constante de temps (τ) élevée, le signal de niveau est plus lisse, mais le temps de réponse, plus long.
- Un point de consigne (L_{sp}) du niveau de coulée supérieur améliore la précision de la mesure.

Facteurs d'influence

Oscillation de la lingotière
Comme indiqué ci-avant, la lingotière oscille pendant la coulée. La source et le détecteur, souvent fixés directement à la lingotière, suivent son mouvement, ce qui implique une variation relative par rapport au niveau de coulée. En principe, cette oscillation est transmise au signal de sortie du système de mesure de niveau. Pour la plupart des formes de coulage, cet effet est moyenné de sorte que la perturbation devienne presque négligeable.
Pour les formages d'une fréquence inférieure à environ 180 coups par minute, le signal d'oscillation de la lingotière peut altérer le signal de niveau de cette dernière. Les systèmes modernes sont capables de supprimer cet effet de manière dynamique grâce à un filtre à réponse impulsionnelle infinie (RII) numérique, sans trop nuire à la qualité du signal ou au temps de réponse.

Fig. 11 Signal sans (bleu) et avec (rouge) compensation de l'oscillation de la lingotière pour une installation de coulée à faible fréquence d'oscillation



Poudre de couverture
Au déploiement initial de la radiométrie pour la mesure de niveau de lingotières, le process de coulée ouverte utilisait systématiquement de l'huile comme lubrifiant. La fine couche d'huile sur l'acier liquide n'avait aucun effet sur le signal de niveau de la lingotière. L'introduction de la coulée fermée a fait naître un facteur d'influence, avec ses couches de poudre de couverture de plusieurs centimètres, notamment en présence d'une source Cs-137, d'une énergie spécifique plus faible.
Outre le matériau de la source utilisé, la forme de la section a également une incidence sur la poudre de couverture. Les sections larges sont relativement plus impactées par la poudre de couverture en raison du chemin de faisceau plus long dans la poudre et donc de l'atténuation supérieure. Il faut alors s'efforcer de raccourcir le chemin du faisceau dès la phase de conception et d'utiliser de fait les angles de la lingotière au lieu de la section.
De récents développements ont tourné la sensibilité de la poudre de couverture en avantage pour la radiométrie, permettant de mesurer en continu et simultanément l'épaisseur de l'acier et de la couche de poudre. L'association de différentes autres technologies a également été utilisée pour obtenir des informations sur la couche de poudre, sans grands résultats. La radiométrie est un atout dans ce contexte, car elle permet de réaliser 2 mesures de niveau avec une seule technologie éprouvée.

Champs électromagnétiques
Depuis l'introduction de la mesure de niveau radiométrique pour lingotières, les photomultiplicateurs (PMT) se sont généralisés dans les détecteurs. Leur technologie s'appuyant sur des électrons volants, ils sont sensibles aux interférences des champs électromagnétiques forts. Ces champs dévient la trajectoire des électrons volants, faussant l'amplification. Cette sensibilité n'a posé aucun problème tant que les lingotières ne subissaient aucun champ électromagnétique fort, mais l'avènement des agitateurs (EMS) et freins (EMBr) électromagnétiques pour améliorer la qualité de l'acier produit a imposé le blindage des détecteurs de mesure de niveau radiométrique pour lingotières à l'aide de boîtiers spéciaux.
L'industrie des semi-conducteurs a récemment développé des photomultiplicateurs en silicium (SiPM), pratiquement immunisés contre les champs électromagnétiques. Un fournisseur au moins propose des détecteurs à SiPM pour la mesure de niveau radiométrique de lingotières. L'utilisation d'EMBr ou d'EMS réclame des détecteurs à SiPM pour garantir l'absence d'interférences.

Radioélément

Choix du matériau de la source

Deux éléments à isotopes spécifiques sont utilisés pour la mesure de niveau radiométrique de lingotières : Cs-137 et Co-60, le Co-60 étant à de nombreux égards le matériau le mieux adapté à cette application. Le tableau ci-dessous répertorie plusieurs paramètres pertinents pour les deux options.

Le Cs-137 présente une énergie spécifique inférieure de moitié à celle du Co-60, ce qui signifie qu'une partie infime du rayonnement du Cs-137 seulement atteindra le détecteur côté opposé de la lingotière. Pour compenser cela, la quantité réelle de matériau radiométrique doit être jusqu'à cinq fois plus élevée afin d'obtenir la précision de mesure souhaitée. Avec le Co-60, l'activité de la source pourra être réduite.

L'énergie spécifique du Cs-137 accentue aussi davantage l'incidence de la poudre de couverture sur le signal de niveau de la lingotière que le Co-60.

Dans une source Cs-137, le Cs-137 est intégré à une capsule en céramique, une source Cs-137 allongée type se constituant donc de plusieurs de ces capsules. Dans une source allongée Co-60, le Co-60 est un enroulement métallique hélicoïdal continu autour d'une tige porteuse.

Cette conception permet de tracer une courbe de réponse linéaire et ainsi de réaliser un étalonnage simple à deux points.

Avec sa demi-vie plus longue, le Cs-137 peut sembler un choix économique, mais c'est rarement le cas en raison de son coût nettement supérieur. La législation nationale recommande que les radioéléments présentent une durée de vie normalement comprise entre 10 et 15 ans.

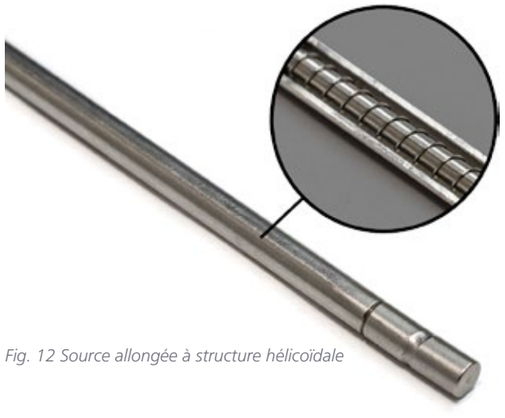


Fig. 12 Source allongée à structure hélicoïdale

Fig. 13 Répartition d'activité continue / en plusieurs points des sources allongées

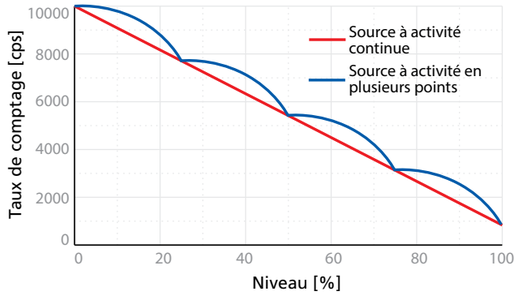


Fig. 14 Principales caractéristiques des matériaux Cs-137 et Co-60

	Cs-137	Co-60
Énergie gamma spécifique	660 keV	1173/1332 keV
Activité de la source	Élevée (jusqu'à 5 fois supérieure)	Faible
Incidence de la poudre de couverture	Élevée	Faible
Conception	Sources ponctuelles en céramique	Fil métallique
Type de source allongée	Plusieurs points	Continu
Prix	Élevé	Plus économique
Étalonnage	Non linéaire (toujours)	Linéaire
Demi-vie	30,18 ans	5,27 ans
Durée de vie légale	Législation nationale	Législation nationale
Durée de vie prévue	10(-15) ans	10(-15) ans

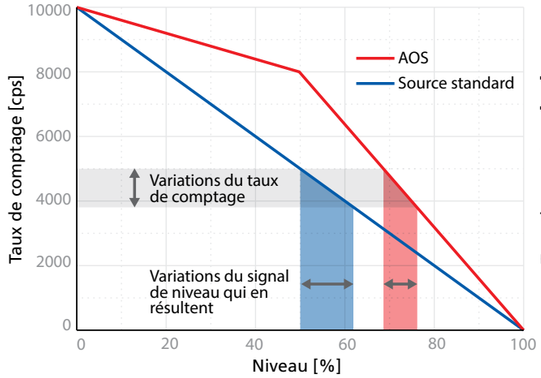
Source avec linéarisation optimisée de l'activité

La courbe de réponse linéaire était presque indispensable auparavant au bon fonctionnement du système de mesure. Avec l'électronique moderne, il est désormais facile de traiter la quasi-totalité des formes de courbe de réponse monotone, faisant émerger les sources avec linéarisation optimisée de l'activité (AOS) qui offrent :

- une précision supérieure à activité identique,
- une activité inférieure à précision identique.

Ces deux caractéristiques s'appuient sur une électronique de traitement d'au moins une courbe de réponse à trois points, le niveau 50 % étant normalement la valeur médiane.

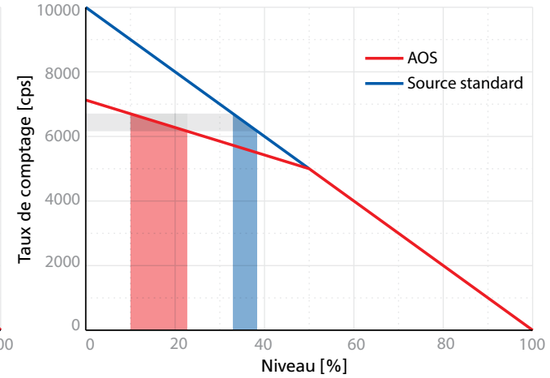
Fig. 14 Précision supérieure à activité de la source identique



Précision supérieure à activité de la source identique : Pour cela, il faut modifier la répartition de l'activité de la partie inférieure de la source vers la partie supérieure. La partie inférieure de la source n'est utile qu'en début de coulée, lorsque l'exigence de précision est moindre. La partie supérieure de la source sert tout le temps en coulée normale, l'augmentation de l'activité dans cette région améliorant donc la précision du process. L'activité globale de la source est alors constante.

Activité de la source inférieure à précision identique : Une simple diminution de la précision dans la partie inférieure de la lingotière (<50 %) permet de la maintenir constante dans la zone de contrôle tout en réduisant l'activité de la source, ce qui se révèle utile en présence de petits blindages ou lorsqu'un faible rayonnement est possible.

Fig. 15 Activité de la source inférieure à précision identique



Synthèse

Née il y a plus de 50 ans, la radiométrie est la technologie la plus couramment utilisée pour mesurer le niveau d'acier dans des lingotières de coulée continue. Fiable, elle convient à la quasi-totalité des formes de lingotières et conditions environnementales.

Les équipements de pointe intègrent un filtre pour contrecarrer l'oscillation de la lingotière et les variations statistiques et offrent un temps de réponse réel de l'ordre de 5 ms. Les principaux fournisseurs proposent des détecteurs radiométriques à SiPM, immunisés contre les interférences électromagnétiques, qui peuvent être associés à des EMBr ou EMS sans préparations ni considérations particulières.

Le Co-60 est le matériau de prédilection des sources de mesure de niveau radiométrique pour lingotières. Il est notamment moins onéreux et plus performant que le Cs-137. De nouveaux détecteurs radiométriques sont désormais capables de mesurer simultanément les niveaux d'acier et de poudre pendant la coulée continue. Ils devraient permettre à la radiométrie, qui constitue un investissement pérenne, de rester le choix par défaut pour cette application.

L'EXPERT
EN MESURE DES RAYONNEMENTS

Berthold Technologies est le pionnier de la mesure radiométrique en industrie. L'entreprise est spécialisée dans cette technologie depuis plus de 70 ans. L'image de Berthold Technologies est associée à son savoir-faire, à la qualité et la fiabilité de ses produits.
Nos solutions sont orientées clients, nous considérons et apprenons votre métier et ses contraintes. Notre expérience, nos connaissances, notre large gamme de produits, sont autant d'atouts pour une collaboration étroite avec les utilisateurs et les prescripteurs sur les besoins de mesure spécifiques, sur la conception, le développement d'applications et de solutions dans tous les secteurs de l'industrie.

Nous sommes présents à vos côtés… dans le monde entier
Les équipes de Berthold technologies sont à votre écoute quel que soit l'endroit où vous vous trouvez. Notre réseau mondial vous garantit une assistance rapide et efficace. Il est disponible dans les délais les plus brefs pour apporter la réponse appropriée à vos demandes et besoins.

Livre blanc Mesure de niveau pour lingotières · DC00635PR50 · Rév. 00 · 02-2021

BERTHOLD FRANCE SAS

8, route des Bruyères · 78770 Thoiry · France
+33 (0)1 34 94 79 00 · berthold-france@berthold.com · www.berthold.fr

BERTHOLD