RABATEC

Sainte-Julie, Québec



GESTION DES FOURS INDUSTRIELS

Investissements et performance des fours

CAPEX Comparez réparation, regarnissage et remplacement. Suivez les hypothèses d'investissement jusqu'à la pose et à la mise en service.

OPEX En tournée avec les opérateurs, repérez l'usure, enseignez les pratiques d'inspection et suivez la durée de campagne, la disponibilité et le coût par tonne.

Votre responsable de projet

Yassine Douche

yassine.douche@rabatec.ca

English

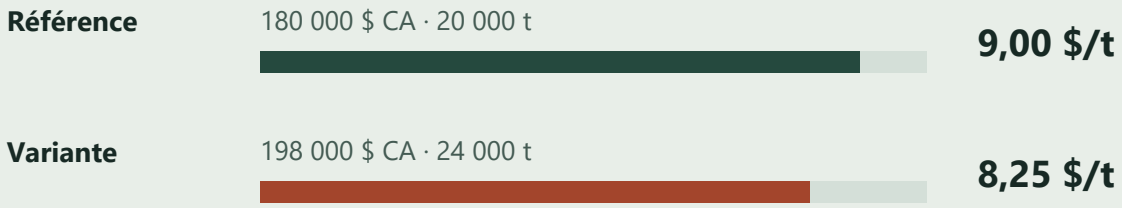
ÉCONOMIE D'EXPLOITATION

Combien coûte une campagne de four?

Une soumission donne le coût de pose et des matériaux. Les relevés de production indiquent combien de tonnes le garnissage a permis de produire. Ces deux données peuvent changer le choix du fournisseur.

FIGURE 1 / COMPARAISON DE CAMPAGNES FICTIVES

Coût du garnissage posé par tonne produite



La variante coûte 10 % de plus à installer. Elle doit dépasser 22 000 t pour devenir avantageuse. À 24 000 t, le coût du garnissage par tonne est inférieur de 8,3 %.

Hypothèses en dollars canadiens. Le calcul porte sur le coût du garnissage posé. L'énergie, les arrêts, les réparations et la récupération du métal exigent des données d'usine distinctes.

Quels indicateurs suivre en parallèle?

Disponibilité	Consignez les heures d'arrêt imprévu et les heures prévues. Distinguez les arrêts dus au garnissage des retards en amont.
Rendement métal	Comparez le métal récupéré au métal enfourné sur la même période. Rapprochez les analyses de laitier et les variations de stock.
Intensité énergétique	Suivez l'énergie par tonne à régime comparable. Examinez le temps de maintien, la température de la virole et le garnissage avant d'attribuer un gain.

Référence sur le chauffage industriel · U.S. Department of Energy

CAPEX / GESTION DES FOURS

De la faisabilité à la mise en service

Précisez les hypothèses qui justifient l'investissement. Intégrez-les à l'appel d'offres, aux inspections de chantier et aux critères d'acceptation au démarrage.

01 Faisabilité et priorisation des investissements

Comparez réparation, regarnissage et remplacement selon l'état du four, les arrêts possibles et la demande de production. Évaluez l'effet de la durée de campagne, du temps d'arrêt et du coût de pose sur la rentabilité.

Vous recevez un plan d'investissement priorisé et un comparatif des coûts sur le cycle de vie, des hypothèses de rentabilité et des risques qui pourraient modifier le choix.

02 Revue de conception des fours et des garnissages

Examiner les plans selon le service prévu, la géométrie, l'exposition au bain et au laitier, l'isolation, les joints, l'ancrage, l'accès et la facilité d'entretien. Relever les interfaces à clarifier avant l'achat.

Vous recevez des plans annotés, un registre des points à résoudre et les critères d'acceptation de chaque zone critique.

03 Simulation du transfert de chaleur

Comparer les garnissages en régime permanent, à la chauffe et au refroidissement. Utiliser les données de conductivité convenues, la géométrie, les conditions aux limites et l'historique de fonctionnement. Évaluer l'incidence des incertitudes.

Vous recevez les températures prévues de la virole, les pertes thermiques et les profils de température par zone, avec les hypothèses, l'analyse de sensibilité et une recommandation sur l'épaisseur ou l'isolation.

04 Sélection et qualification des réfractaires

Adapter le garnissage de travail, le garnissage de sécurité et l'isolant aux attaques chimiques, à l'abrasion, aux cycles thermiques et aux contraintes de pose. Comparer les qualités envisagées au matériau en service.

Vous recevez une liste de matériaux par zone, les spécifications techniques et un plan de qualification des substitutions.

05 Négociation avec les fabricants et approvisionnement

Préparer le dossier technique de demande de prix, mettre les soumissions sur une base commune et appuyer les négociations sur l'équivalence des qualités, l'inspection, les délais, la traçabilité et les garanties. Votre équipe approuve l'attribution du contrat.

Vous recevez un comparatif des soumissions, les écarts documentés et une note de négociation sur le prix, la livraison et le coût sur le cycle de vie.

06 Pose, mise en service et transfert aux opérations

Convenez des points d'arrêt avec l'entrepreneur. Documentez la pose, la cure et le séchage, puis vérifiez avec l'équipe du site que le démarrage respecte les critères d'acceptation.

Vous recevez un dossier d'inspection, une liste des réserves et un état de référence à la mise en service pour l'équipe d'exploitation.

OPEX / GESTION DES FOURS

Coûts et performance en exploitation

Faites le tour du four avec les personnes qui le conduisent. Croisez leurs observations avec les données de coût et d'usure pour choisir un changement, l'essayer sur un quart et décider de l'étendre aux autres équipes.

01 Suivi des coûts et des indicateurs d'exploitation

Suivez le coût des réfractaires par tonne, la disponibilité, l'énergie par tonne et la durée de campagne par rapport au dossier d'investissement. Examinez les écarts avec les équipes d'exploitation et d'entretien avant d'en attribuer la cause au garnissage.

Vous recevez un tableau de bord avec valeurs de référence, fréquence de revue et seuils pour déclencher une inspection, une réparation ou la planification d'un regarnissage.

02 Suivi des campagnes et analyse des défaillances

Cartographier l'usure et les points chauds par zone. Mettre en relation l'historique des réparations et les événements d'exploitation avec les inspections visuelles, les relevés thermiques et les prélèvements en fin de service. Déterminer les observations qui permettraient de départager les causes possibles.

Vous recevez un état de référence, un calendrier d'inspection et une recommandation de réparation, de regarnissage ou d'exploitation, avec ses limites.

03 Analyse métallurgique et essais en exploitation

Reconstituer les coulées à partir des données d'usine et des analyses de la charge, du laitier et du métal. Étudier le moussage, la maîtrise du point final, les pertes, la consommation d'énergie et l'attaque du garnissage. Comparer des changements de conduite dans les limites convenues.

Vous recevez un état de référence du procédé et, si les données le permettent, un bilan de masse ou d'énergie. Le plan d'essai précise les points de prélèvement, les critères de réussite et d'arrêt.

04 Formation des opérateurs au pied du four

Accompagner les équipes en tournée et leur demander où l'usure apparaît et ce qui se perd à la relève. À partir de cas observés sur leur four, s'exercer à reconnaître une dégradation, à la consigner et à prévenir l'entretien au bon moment.

Vous recevez une fiche de ronde rédigée avec les opérateurs, des exemples photographiés sur le site et un exercice de relève pour les chefs d'équipe.

05 Adoption des pratiques de gestion des réfractaires

Choisir un problème récurrent avec les opérateurs et les superviseurs. Essayer un changement sur un quart, recueillir les commentaires, ajuster la pratique et la transmettre aux autres équipes. Comparer ensuite l'usure et les arrêts dans des conditions d'exploitation semblables.

Vous recevez une consigne validée par le site, un responsable désigné et une revue de suivi pour décider de maintenir, d'adapter ou d'abandonner le changement.

SERVICE 02 / R-D APPLIQUÉE ET ESSAIS

Qualifier un changement avant l’essai en usine



FIGURE 2 / SCHÉMA DE PRINCIPE

Une coupe de la face chaude



- Laitier sur la face chaude
- Zone de réaction
- Matrice réfractaire

Un autre réfractaire résisterait-il mieux à votre laitier?

Une comparaison utile part de la nuance en service et d’un critère de décision convenu. Voici comment nous structurerions une étude d’interaction entre un réfractaire et un laitier.

01	**Définir l’exposition**	Choisir le témoin et le candidat. Fixer la composition du laitier, la géométrie des éprouvettes, la température, l’atmosphère et la durée.
02	**Mesurer l’endommagement**	Couper les éprouvettes. Comparer les profondeurs de pénétration et les zones de réaction au témoin, par microscopie et, au besoin, par cartographie élémentaire.
03	**Décider du passage en usine**	Recevoir la comparaison, sa variabilité et ses limites. Si un essai en usine se justifie, convenir de la zone, des conditions d’exploitation, des inspections et des critères d’arrêt.

Nous coordonnons les laboratoires spécialisés. Après qualification, la proposition écrite précise l’appareil, la préparation, les conditions d’essai, les responsabilités, l’échéancier et le prix.

CATALOGUE D'ESSAIS

Matériaux, sollicitations et défauts

Analyse des défaillances et identification des matériaux

Pourquoi le garnissage ou la pièce s'est-il détérioré?

Cartographie des ruptures et des zones de réaction Microscope électronique à balayage à émission de champ Hitachi SU-8230 et analyse EDS Bruker XFlash	Micrographies et cartes élémentaires montrant les différences entre la zone endommagée et le témoin.
Identification des phases cristallines Diffractomètre à rayons X PANalytical X'Pert PRO (DRX)	Diffractogrammes et identification des phases cristallines dans les dépôts, le matériau initial ou les produits de réaction.
Comparaison de la pénétration du laitier dans les réfractaires (étude sur mesure) Four tubulaire sous atmosphère contrôlée et microscopie de coupes polies	Comparaison des profondeurs de pénétration et des zones de réaction des garnissages à la température et à la durée d'exposition convenues.

Comportement mécanique et à haute température

Quel matériau résiste à la charge ou au cycle thermique visé?

Traction et compression Machine d'essais universelle de 200 kN	Courbes charge–déplacement ou contrainte–déformation et mesures de résistance convenues sur des éprouvettes comparables.
Déformation à chaud Simulateur thermomécanique Gleeble 3800	Contrainte d'écoulement en fonction de la déformation, à des températures et vitesses choisies pour comparer les conditions de mise en forme.
Dilatométrie Dilatomètre DIL805 A/D	Variation des dimensions à la chauffe et au refroidissement, avec les plages de transformation détectables.
Thermogravimétrie et analyse thermique différentielle Système combiné ATD–ATG (DTA/TGA)	Variations de masse et événements thermiques en fonction de la température sous l'atmosphère convenue.

Contrôle dimensionnel et défauts internes

La pièce respecte-t-elle les tolérances? Présente-t-elle des défauts cachés?

Contrôle tridimensionnel Machine à mesurer tridimensionnelle Mitutoyo Bright Strato 7106	Positions mesurées et écarts dimensionnels par rapport aux références du plan.
Rugosité de surface Profilomètre à contact Mitutoyo SJ400	Profil de surface et paramètres de rugosité spécifiés pour la surface fonctionnelle.
Contrôle interne non destructif Microtomographe à rayons X Nikon XT H 225	Coupes reconstruites et répartition des vides internes selon les dimensions, la densité et la résolution accessible.

CATALOGUE D'ESSAIS

Mise en œuvre, acoustique et chaleur

Mise en œuvre des poudres et des polymères

Un nouveau lot ou une nouvelle formulation se comporte-t-il de façon constante en production?

Écoulement des poudres Rhéomètre pour poudres Freeman FT4	Énergie d'écoulement relative après une séquence de conditionnement définie, pour comparer les lots.
Rhéologie à l'état fondu Rhéomètres rotatif et capillaire	Viscosité en fonction du taux de cisaillement ou de la fréquence, pour comparer les plages de mise en œuvre.
Essais de formulation Extrudeuses et presse à injecter	Éprouvettes d'essai et relevé des conditions de mise en œuvre pour comparaison dimensionnelle ou mécanique.

Bruit et isolation acoustique

Quel traitement de panneau ou d'enceinte réduit le bruit dans la bande visée?

Absorption et transmission Tubes d'impédance à incidence normale	Coefficients d'absorption ou pertes de transmission selon la fréquence pour les éprouvettes.
Cartographie des fuites acoustiques d'une enceinte Chambres acoustiques couplées et sonde d'intensité acoustique I-Track	Carte des principales voies de transmission du son et modifications possibles.

Isolation thermique et consommation d'énergie

Où se produisent les pertes et quelle isolation pourrait les réduire?

Conductivité thermique Analyseur de conductivité thermique C-Therm Trident	Valeurs de conductivité sur des échantillons adaptés, dans la plage de températures convenue.
Résistance thermique d'un assemblage Boîte chaude étalonnée et capteurs de flux thermique FluxTeq PHFS-09e	Données de flux de chaleur et comparaison de la résistance thermique d'assemblages de parois ou d'isolants.
Profil de charge électrique Enregistreur d'énergie triphasé Fluke 1730	Profil de puissance appelée et d'énergie consommée dans le temps, sur des cycles représentatifs.

CATALOGUE D'ESSAIS

Revêtements, chaussées et sols

Électronique et revêtements fonctionnels

Le prototype respecte-t-il les caractéristiques électriques ou les exigences du revêtement?

Résistance surfacique Sonde à quatre pointes	Résistance surfacique d'un film conducteur compatible, pour comparer des lots ou des paramètres de dépôt.
Profil de surface et hauteur de marche du film Profilomètre à palpeur Ambios XP-200	Profil de hauteur et mesure de la marche sur un bord de film préparé.
Réponse d'un composant radiofréquence Analyseur de réseau vectoriel E5061	Réflexion et transmission selon la fréquence pour un composant et un montage compatibles.

Durabilité des chaussées et des granulats

Quel effet aura un changement d'enrobé, de liant ou de granulat sur la performance?

Sensibilité à l'orniérage Orniéreur MLPC	Profondeur d'ornière selon le nombre de cycles de charge, pour comparer des enrobés compactés.
Comportement du liant à basse température Rhéomètre à poutre fléchissante Cannon TE-BBR	Rigidité en fluage pour les conditions de température et de chargement spécifiées.
Usure des granulats Appareil d'abrasion Micro-Deval	Perte de masse après un cycle d'abrasion contrôlé, pour comparer des granulats.

Comportement des roches et des sols

Quelle résistance ou quel comportement au cisaillement doit guider le choix du matériau?

Cisaillement des discontinuités rocheuses Machine de cisaillement direct GCTS RDS-200XL	Courbe contrainte de cisaillement–déplacement sous la charge normale convenue.
Compression de la roche Presse de compression uniaxiale	Résistance en compression simple de carottes de roche préparées.
Cisaillement d'un sol ou d'un matériau granulaire Boîte de cisaillement direct de 100 × 100 mm	Résistance maximale au cisaillement sous les contraintes normales choisies, dans l'état de matériau spécifié.

VOTRE RESPONSABLE DE PROJET

Yassine Douche

Yassine cumule 20 ans d'expérience technique et commerciale dans l'industrie. Il a dirigé un portefeuille nord-américain de réfractaires pour des installations de production d'aluminium, de cuivre, de nickel et de plomb. Sur le terrain, il a examiné le fonctionnement de fonderies, sélectionné des réfractaires, négocié avec des fournisseurs, évalué la qualité de la pose et réalisé des analyses après service.

Titulaire d'une maîtrise ès sciences appliquées en génie métallurgique, il a étudié la résistance aux chocs des bétons réfractaires aluminosilicatés. Il est candidat au doctorat en génie mécanique. Ses recherches portent sur l'usure des réfractaires lors de la fusion et de la conversion du nickel et sur la maîtrise du moussage du laitier pendant la réduction au carbone dans les convertisseurs de nickel.

Certification API 936 en réfractaires
Certification valide jusqu'au 31 août 2028.
Voir la certification

Ceinture noire Lean Six Sigma
Délivrée par le Six Sigma Global Institute.
Voir la certification

Maîtrise ès sciences appliquées en génie métallurgique
Recherche sur les dommages causés par les chocs dans les bétons réfractaires.
Consulter le mémoire

DISCUTER D'UN PROJET

Quelle décision votre équipe doit-elle prendre?

Envoyez à Yassine une brève description non confidentielle du four, du matériau ou du procédé. Précisez les données disponibles et votre échéance. Nous définirons le mandat avec vous avant de le chiffrer.

yassine.douche@rabatec.ca