

Des horaires de broyage rentables et fiables pour Inland Cement

Rédigé par les membres de TEC Consulting : Joey Cherdarchuk, Shahnoor Lalani, Kimberley Mik, and Thaddeus Sim
University of Alberta

** Résumé de l'article primé présenté au Concours de la meilleure contribution par un étudiant de la SCRO à Edmonton en mai 2000.*

Le stade final de la production de ciment chez Inland Cement Edmonton est le broyage d'un produit intermédiaire appelé clinker. Pour faire fonctionner les broyeurs de finition, on a besoin d'une grande quantité d'énergie électrique, ce qui se traduit par des charges très importantes pour Inland. C'est pourquoi, en février 2000, TEC Consulting a entrepris " l'élaboration d'un outil visant à faciliter l'établissement des horaires des trois broyeurs d'Inland Edmonton afin que le ciment soit broyé de manière rentable tout en répondant à la demande prévue ". Ce problème comportait six points principaux que nous exposons ci-dessous.

1. Coûts d'électricité variables

Suivant l'heure, le jour (week-end par opposition à un jour de semaine) et le mois de l'année, le montant facturé à Inland pour l'énergie électrique varie. Les tarifs se divisent essentiellement en six blocs principaux et il y a une variation importante entre les tranches de temps; par exemple, l'énergie consommée durant la tranche de temps la plus coûteuse (maximum hivernal) est presque cinq fois plus coûteuse que celle consommée durant le bloc le moins coûteux (Avantage). Par conséquent, Inland a tout intérêt à utiliser ses broyeurs durant les heures du bloc Avantage à moindre coût lorsque cela est possible. Cependant, compte tenu de nombre limité d'heures Avantage disponibles, il n'est pas possible de produire tout le ciment demandé uniquement durant ces heures. L'outil a donc été conçu de façon à allouer les heures de production aux tranches de temps les moins coûteuses disponibles, dans la mesure du possible, et à éviter les blocs où la consommation est relativement chère.

2. Arrêts d'équipement prévus et imprévus

Pour assurer l'intégrité des broyeurs, Inland doit interrompre le fonctionnement de chacun d'entre eux au moins une fois pendant l'année durant trois à quatre semaines. Cette mesure permet de changer les composants internes des machines et de faire les réparations nécessaires. Chaque arrêt est prévu longtemps à l'avance.

Les arrêts imprévus résultent généralement d'une panne d'équipement. Le moment où ces arrêts se produisent et leur durée sont imprévisibles. Les données historiques révèlent cependant que les broyeurs sont en activité 82 % du temps (hormis les arrêts prévus); c'est la probabilité sur laquelle TEC s'est appuyée pour concevoir son modèle.

3. Vitesses de broyage incertaines

Le temps requis pour broyer une certaine quantité de ciment est variable et dépend de trois facteurs:

- a. **Type de ciment.** Par exemple, comme le ciment de type G est le produit d'un clinker plus difficile à broyer, il peut être produit environ 16 % plus rapidement que le ciment de type 10, même si on le produit dans le même broyeur.



- b. **Broyeur F, G ou H.** Le ciment de type 2, par exemple, peut être produit environ 15 % plus rapidement dans le broyeur F que dans le broyeur H.
- c. **Fourchette de vitesses de broyage.** Tous les taux de production fluctuent à l'intérieur de fourchettes relativement étendues. Par conséquent, il serait quelque peu irréaliste de spécifier une vitesse de broyage particulière pour n'importe quel type de ciment dans n'importe quel type de broyeur.

4. Demande de produits incertaine

Inland a récemment remodelé sa méthode prévisionnelle; le nouveau procédé fournit à Inland des données sur la demande prévue pour chacun de ses six types de ciment sur une base mensuelle. Cependant, il est important que le calendrier de production soit adapté au rythme de la demande quotidienne et non seulement de la demande mensuelle. Par conséquent, un volet de la planification de la production doit inclure une ventilation des prévisions mensuelles en niveaux quotidiens estimatifs. Comme toutes les prévisions, toutefois, tant les données mensuelles que quotidiennes sont susceptibles d'erreur, ce qui complique le processus de planification de la production.

5. Coûts de permutation divers

Si Inland souhaite changer le type de ciment dans un broyeur, l'entreprise fait face à des coûts de "permutation" occasionnés par le temps requis pour changer les lames du broyeur et vider le broyeur du premier type de ciment. Le changement de lames dans un broyeur n'est nécessaire qu'occasionnellement, il prend entre deux et trois heures et dépend de la combinaison de ciments. Par exemple, si dans un broyeur, on passe d'un ciment de type 50 à un de type 10, il n'est pas nécessaire de changer les lames. Par contre, si on passe du type 50 au type 30, il faut des lames différentes. La vidange des broyeurs, le second coût associé aux permutations, doit être effectuée dans tous les cas de permutation quel que ce soit le type de ciment et, contrairement au changement de lames, le broyeur doit alors être en marche, ce qui veut dire qu'on utilise d'éventuelles heures de production d'Inland, ce qui augmente donc les coûts d'électricité de l'usine. Une fois que le broyeur est vide et que les ingrédients du second ciment y sont filtrés, le temps nécessaire pour amener les ingrédients à la combinaison précise requise est substantiel – cela prend généralement entre deux et six heures.

6. Capacités de stockage flexibles

Pour le stockage du ciment sur place, Inland possède 6 grands silos et 18 silos plus petits, chacun pouvant contenir 5 400 et 1 200 tonnes de ciment respectivement. Si la demande oblige Inland à augmenter son stock pour un produit donné, il est possible de remplacer le type de ciment contenu dans un silo par un autre. Malheureusement, vider un silo ne peut pas se faire sur-le-champ, puisque tout dépend du taux de demande de la clientèle; par conséquent on perdra une partie de la capacité du silo durant la permutation.

Méthodologie

Pour résoudre les points susmentionnés, TEC Consulting a divisé le problème en deux étapes. En premier lieu, on a conçu un modèle de programmation linéaire pour uniformiser la production au cours de l'année et pour produire un plan mensuel général. Ce modèle alloue la production mensuelle de ciment à certains broyeurs et donne une indication générale du nombre d'heures nécessaires pour produire chaque type de ciment. En second lieu, pour rendre le plan général plus spécifique et utile sur une base quotidienne, on a élaboré un algorithme en vue de trouver un horaire de broyage



efficace et praticable pour chaque broyeur. L'algorithme fournit aussi une indication de la durée de chaque cycle de production pour chaque type de ciment dans chaque broyeur.

Modèle de programmation linéaire

Le modèle de programmation linéaire (dorénavant appelé le modèle de Czerdarczuk) s'applique essentiellement à trois des six problèmes décrits ci-dessus, notamment :

- a. Les coûts d'électricité variables
- b. Les arrêts prévus et imprévus
- c. Les capacités de stockage flexibles

En règle générale, le modèle de Czerdarczuk "optimise" un plan de production général en minimisant les coûts d'électricité, de telle manière que la demande mensuelle et les contraintes de stock à la fin du mois sont respectés. Le modèle de Czerdarczuk indique combien d'heures seront nécessaires dans chaque tranche de temps pour répondre aux besoins de la production, quels broyeurs fonctionneront durant ces périodes et quels broyeurs produiront quelles combinaisons de ciment. Les résultats de cette optimisation sont alors incorporés dans l'algorithme.

En raison de la variabilité de plusieurs paramètres du modèle (tels que les vitesses de production), on a développé plusieurs estimations, présentées ci-dessous :

- a. Les taux de production pour chacun des broyeurs (et pour chaque type de ciment) ont été établis. Pour les déterminer, on a calculé la moyenne des taux de production historiques.
- b. Le total des heures de production disponibles dans chaque tranche de temps a été limité à 82 % des heures potentielles. Essentiellement, au lieu d'utiliser une journée de 24 heures, le modèle de Czerdarczuk a utilisé une journée de 19.7 heures (0.82×24 heures). Le nombre relatif d'heures disponibles dans chaque tranche de temps a été réduit en conséquence. Cette limite artificielle inclut le temps requis pour les arrêts imprévus et pour les changements de lames, quand les broyeurs ne sont pas disponibles pour la production.
- c. Comme les arrêts prévus par Inland sont connus à l'avance, les heures de production disponibles durant ces périodes ont été réduites à zéro.
- d. Les données historiques semblent indiquer que si Inland change le contenu d'un de ses silos, elle le fait généralement à la fin du mois ou autour de cette date. Par conséquent, le modèle de Czerdarczuk permet à l'utilisateur de changer la capacité de stockage pour chaque type de ciment chaque mois. Inland songe à adopter une désignation de silo constante et, par conséquent, on ne prévoit pas que l'utilisateur devra modifier ces capacités fréquemment.

Dans sa forme actuelle, le modèle de Czerdarczuk contient presque 900 variables, dont 24 sont binaires. Il faut entre 1 et 2 minutes pour résoudre le problème sur un Pentium 200.

Résultats et limites du modèle de Czerdarczuk

Le modèle de Czerdarczuk permet d'obtenir le nombre d'heures requises chaque mois pour la production de chaque type de ciment, dans chaque broyeur. En outre, le modèle de Czerdarczuk indique combien d'heures il faudra dans chaque bloc d'énergie électrique.

Par contre, il est bien sûr plus utile pour Inland d'avoir en main un horaire de broyage précis pour chaque broyeur. Cela lui permettrait, par exemple, de planifier le nombre de changements de lames nécessaires durant le mois et de prévoir en conséquence le personnel affecté aux broyeurs. Aussi,



les estimations relatives à la durée de chaque cycle de production fourniront des indications plus précises sur la quantité de chaque produit qu'aura en stock l'entreprise à tout moment.

Algorithme d'ordonnancement quotidien des produits

L'élément algorithmique de l'outil d'ordonnancement (dorénavant appelé le Scheduler) s'applique aux trois problèmes restants décrits ci-dessus, notamment :

- a. Les vitesses de broyage incertaines
- b. La demande de produit incertaine
- c. Les coûts de permutation divers

L'heuristique spécialement conçue vise à déterminer un ordre efficace pour broyer les ciments dans chaque broyeur et à déterminer une durée appropriée pour chaque cycle de production. Le Scheduler planifie des cycles de production pour des journées complètes fondées sur les résultats du modèle de Czerdarczuk. Essentiellement, l'algorithme simule la production du type de ciment qui permettra d'obtenir le cycle de production le plus long sans qu'on excède la capacité de stockage pour ce ciment ou qu'on manque d'un autre type de ciment. Quand les durées de production possibles sont équivalentes pour deux types de ciments ou plus, on privilégie le type de ciment qui utilise les mêmes lames de façon à minimiser les coûts de permutation. Chaque mois est planifié indépendamment du prochain. En outre, le nombre d'heures de production pour chaque jour est déterminé par le pourcentage de chaque tranche de temps utilisée durant le mois conformément au modèle de Czerdarczuk.

Combinaison des résultats : un horaire flexible

Grâce à cet outil, Inland obtient un horaire de broyage flexible pour chacun de ses trois broyeurs. Les résultats ne précisent pas le nombre d'heures spécifiques pendant lesquelles Inland doit broyer chacun de ces ciments puisqu'il ne serait pas possible pour l'entreprise de se conformer à un horaire aussi strict; des pannes d'équipement imprévues ou des afflux soudains dans la demande, par exemple, rendrait un tel horaire inutilisable. L'horaire flexible de TEC Consulting, cependant, permet à Inland de prévoir de telles situations sans déroger aux lignes directrices fournies; en fait, un certain écart par rapport à l'horaire flexible est prévisible.

Conclusions

L'outil mis au point pour Inland Cement Edmonton fournit à l'entreprise un outil de planification à long terme qui pourra être modifié et mis à jour à mesure qu'une meilleure information et que d'autres paramètres deviendront disponibles; avec chaque adaptation, l'outil se rapprochera peu à peu de l'optimum que recherche toute société. Mais en plus de fournir des repères à Inland, cet exercice de planification de la production a aussi ouvert les yeux de ses dirigeants sur plusieurs autres facteurs dans l'usine qui ont une incidence sur la production, et qui peuvent par conséquent avoir un impact sur le niveau de satisfaction du client. Il semble donc que cet outil sera à la fois utile et utilisé, et qu'il servira de base pour d'autres applications de recherche opérationnelle chez Inland.

