



Mémoire soumise au  
Bureau d'audiences publiques sur  
l'environnement (BAPE)  
relativement aux résidus serpentiniques  
provenant de l'extraction du chrysotile



Par :

**Jean-Marc Lalancette, Ph.D.**, Vice-Président R&D KSM Inc. Et Ex-  
Vice-président, R&D Société nationale de l'amiante

**David Lemieux, Ing.**, Président KSM Inc.

Février 2020

## Table de matières

1. Mise en Contexte Globale .....	4
2. Résidus .....	4
3. Inventaire .....	4
4. Nature des résidus .....	5
5. Les résidus comme ressource minérale .....	5
5.1. Traitement thermique .....	5
5.2. Production de magnésium .....	6
5.3. Oxyde de magnésium à partir des résidus serpentiniques .....	7
5.4. Sulfate de magnésium à partir de résidus serpentiniques .....	7
5.5. Capture de carbone (CO <sub>2</sub> ) par les résidus serpentiniques .....	7
6. Utilisation sécuritaire des résidus serpentiniques laissés lors de la production du chrysotile .....	7
7. Seuil des poussières de chrysotile .....	8
8. Projet de Valorisation des Résidus Miniers par KSM .....	10
9. Technologie .....	12
9.1. Description .....	12
9.1.1. Technologies actuelles .....	15
9.1.2. Description du procédé .....	15
9.1.3. Produits .....	19
9.2. Avantages pour l'environnement .....	20
9.2.1. Impact environnemental sur l'air .....	20
9.2.2. Impact environnemental sur les sols .....	21
9.2.3. Impact environnemental sur l'eau .....	21
9.2.4. Impacts indirects sur l'environnement .....	22
9.3. Caractéristiques du marché .....	22
9.3.1. Le marché mondial des engrais .....	22
9.3.2. Évolution du marché mondial au cours du siècle dernier .....	22
9.3.3. Le marché combiné du K et la consommation mondiale .....	23
9.3.4. Consommation de K par élément .....	23
9.3.5. Comparaison des prix du K .....	25
9.3.6. Valeurs agronomiques de la SOP et de la SOPM .....	26

10. Conclusion.....	33
---------------------	----

### Liste de tableaux

Tableau 1 - Description du produit .....	19
Tableau 2 - SOP and SOPM spécifications .....	19
Tableau 3 - Impact de la consommation d'énergie sur les GES.....	21
Tableau 4 - Consommation mondiale de fertilisants .....	23
Tableau 5 - Consommation mondiale de sulfate de potassium (en TM) .....	24
Tableau 6 - Consommation mondiale de Sul-Po-Mag (en TM) .....	24
Tableau 7 - Ventes de SOPM et SOP pour 2017 sur les marchés voisins (en TM).....	25
Tableau 8 – Production globale de SOP, demande et utilisation,.....	30
Tableau 9 - Production globale de SOP, demande et utilisation, .....	30
Tableau 10 - Production de SOP pour 2004-2015 (en tmm).....	30
Tableau 11 – Importation et exportation du SOP par pays, 2015 .....	32
Tableau 12 - Principaux producteurs de SOP .....	32

### Liste de figures

Figure 1 - Équation du procédé de KSM - SOP et SOPM .....	13
Figure 2 - Process 3D block diagram .....	14
Figure 3 - Rélation de prix entre le KCL, SOP et du SOPM .....	26
Figure 4 - MOP, prix de SOP, primes et tendances 2010-2016 .....	29

## **1. Mise en Contexte Globale**

Le Bureau d'audiences publiques sur l'environnement (BAPE) a été mandaté par le Ministre de l'environnement pour réaliser « un portrait de la situation résultant de la présence de matériaux contenant de l'amiante et de celle de résidus miniers d'amiante au Québec » ainsi que de « déterminer l'utilisation actuelle de ces matériaux et résidus ainsi que les formes de valorisation et d'élimination existantes et potentielles ».

## **2. Résidus**

Le présent document s'adresse à la question des résidus miniers résultants de l'extraction du chrysotile, une fibre minérale ignifuge et pouvant améliorer le béton. Fin des années 1800, on a découvert la présence de telles fibres dans les régions de Thetford Mines et d'Asbestos et on en a débuté l'extraction. La roche porteuse de fibre, une serpentine, présentait des teneurs en chrysotile n'excédant pas 5% généralement, d'où le volume important de rejets miniers accompagnant la production d'une tonne de fibre, la collecte du chrysotile à partir de la serpentine broyée s'effectuait manuellement au début des opérations. Plus tard, on a développé une approche mécanique utilisant un prélèvement à l'air de la fibre suivie d'une classification en fonction de la longueur de cette fibre. Cette technologie qui s'est raffinée au cours des années permettait une récupération très efficace des fibres d'intérêt commercial.

Par contre, les microfibrilles, d'un millimètre ou moins restaient dans les résidus. Ces résidus sont donc porteurs de fibres très courtes, et ce, au niveau du pourcent. Un rebroyage des résidus d'une première extraction menait à une seconde récolte de chrysotile, une procédure employée à l'occasion par certains opérateurs. L'intensité du broyage de la serpentine avait donc un effet direct sur la quantité de fibre récupérable et sur le dimensionnement des fibres.

## **3. Inventaire**

Toute production de chrysotile ayant cessée au Québec, on peut arriver à un inventaire définitif quant aux résidus. Les résidus serpentiniques s'étalent sur une ligne nord-est de la ville d'Asbestos jusqu'à Tring Jonction. Partant d'Asbestos, on retrouve successivement les sites Jeffrey, Normandie, Lac, British Canadian 1 et 2, King Beaver, Bell, Flinkote, National et Carey avec quelques sites mineurs à Thetford Mines, près d'Asbestos et de East Broughton. Sauf les résidus de Bell et de Jeffrey qui sont étendus en surface, ces résidus serpentiniques constituent des empilements pouvant atteindre 100 mètres de hauteur. Il existe des résidus

serpentiniques en Abitibi suite à une brève exploitation d'un site par John Manville dans cette région.

On estime à 400 millions de tonnes les résidus serpentiniques accumulés dans la région de Thetford Mines et à 250 millions à Asbestos. Ces chiffres doivent être lus comme ordre de grandeur suite à la difficulté de faire la part entre résidus proprement dits et mort terrain plus ou moins contaminé.

#### **4. Nature des résidus**

Les résidus provenant de l'extraction du chrysotile sont des silicates de magnésium hydratés contenant un peu de fer (5-6%) et des traces de nickel (0.25%). On retrouvera en annexe l'analyse chimique des résidus de différents sites. Ces minéraux étant très stables et essentiellement insolubles, on n'observe pas de lixiviats sauf pour des particules solides entraînées. La surface de cet empilement de silicate de magnésium interagit lentement avec le CO<sub>2</sub> de l'air pour donner un durcissement significatif de la surface. La croûte ainsi formée réduit considérablement l'érosion éolienne sans l'abolir complètement. Ce niveau résiduel d'empoussiérage peut être évité par un recouvrement végétal. Au début des années 80, la Société nationale de l'amiante a étudié cette question de revégétation des résidus avec la Faculté d'agriculture de l'Université McGill, et un projet a été mis en route. Présentement, des activités de revégétation des résidus serpentiniques avec des boues organiques sont en cours sur divers sites et le détournement de la route 112 sur le site de la mine Lac donne une bonne illustration de revégétation de résidus serpentiniques.

En conséquence, bien que les résidus serpentiniques renferment des traces de fibres, l'insolubilité de ces matières, le durcissement des surfaces et un éventuel revêtement végétal permettent d'isoler ces matériaux du milieu ambiant.

#### **5. Les résidus comme ressource minérale**

Les résidus serpentiniques, par leur composition chimique et leur grande abondance, en surface et à l'état broyé, constituent une ressource minérale importante en vue de différentes productions que nous présenterons brièvement.

##### **5.1. Traitement thermique**

Le traitement thermique des résidus serpentiniques, que l'on peut écrire (3MgO. 2SiO<sub>2</sub>. 2H<sub>2</sub>O) dans une forme simplifiée, donnera une perte d'eau de structure (2H<sub>2</sub>O) qui sera totale à partir de 700°C. Cette perte d'eau détruit toute fibre chrysotile qui pourrait être présente dans les résidus de départ comme le processus a pu être démontré par des laboratoires reconnus à l'international. Par

contre, la structure du silicate de magnésium ( $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ) est préservée si on limite le chauffage à  $700^\circ\text{C}$  et le produit calciné possède toujours un pouvoir de renforcement dans les matières plastiques.

Si le traitement thermique est porté jusqu'à  $1200^\circ\text{C}$ , on provoque alors un réarrangement en profondeur de la structure du silicate de magnésium ( $3\text{MgO} \cdot 2\text{SiO}_2$ ) pour obtenir une olivine vitrifiée, excellent matériau pour le nettoyage de surfaces métalliques par jet car il ne produit que très peu de poussière en comparaison avec la silice, et cette faible poussière est relativement inerte par rapport à celle de la silice. Cette production d'olivine à partir de résidus serpentiniens est en production industrielle depuis 35 ans.

## 5.2. Production de magnésium

Les résidus serpentiniens renferment de 37% à 41% d'oxyde de magnésium. Ils constituent donc une source minérale d'intérêt pour la production de magnésium métallique. Cette approche a été mise en œuvre par Magnola. La problématique résultant de la présence de fibre dans les rejets serpentiniens a été réglée par un contrôle rigoureux de l'émission de poussières lors du prélèvement du matériau, de son convoyage et de son séchage par l'utilisation de convoyeurs fermés et d'un kiln de séchage gardé en dépression par une chambre à sac. Le matériau sec a par la suite été traité par de l'acide chlorhydrique, donc en phase humide, pour être transformé en chlorure de magnésium. Ce traitement chimique a comme effet d'assurer une destruction totale de fibres de chrysotile présentes dans les résidus par dissolution du magnésium.

L'utilisation de résidus serpentiniens comme source de magnésium, en plus de permettre une gestion sécuritaire de la composante fibreuse qu'elle comporte, nous offre un avantage environnemental significatif par rapport à d'autres sources minérales de magnésium.

En effet, l'autre producteur québécois de magnésium, Norsk Hydro, utilisait le carbonate de magnésium comme source de métal ( $\text{MgCO}_3$ ). Lors de la digestion de ce carbonate par l'acide chlorhydrique, on effectue un dégagement très important de gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ), un gaz à effet de serres sous haute surveillance. Pour chaque tonne de magnésium, on dégage 1.8 tonne de ( $\text{CO}_2$ ) en utilisant des carbonates alors qu'avec les résidus serpentiniens ces dégagements sont absents.

Suite à des problèmes de marché venant de Chine, Magnola a cessé ses opérations, Mais présentement, un nouveau projet concernant la production de magnésium métallique est en démarrage à Asbestos : Alliance magnésium. Et cette société utilise les rejets serpentiniens comme source de magnésium.

### **5.3. Oxyde de magnésium à partir des résidus serpentiniques**

Deux projets d'extraction de l'oxyde de magnésium à partir des résidus serpentiniques sont en phase de pilotage au Québec. Dans les deux cas, le contrôle des poussières lors de la manutention de la matière première est bien présent. La destruction de la fibre résiduelle dans les rejets est assurée par une digestion dans l'acide nitrique à Asbestos et par un traitement thermique à Québec.

### **5.4. Sulfate de magnésium à partir de résidus serpentiniques**

Un procédé de sulfatation des résidus serpentiniques par des acides sulfuriques relativement très dilués est en cours de pilotage industriel à Thetford Mines. Au terme du traitement, le magnésium porté par le chrysotile contaminant les rejets serpentiniques se retrouve comme sulfate de magnésium à être utilisé comme engrais pour les cultures intensives.

### **5.5. Capture de carbone (CO<sub>2</sub>) par les résidus serpentiniques**

Tel qu'indiqué au début de ce mémoire, le CO<sub>2</sub> de l'air ambiant effectue lentement une carbonatation à la surface des rejets serpentiniques. En améliorant l'aération de ce matériau, on pourrait accroître significativement cette carbonatation. Du fait de la présence de fibres chrysotile dans les résidus, cette carbonatation devra se faire sur place avec un bon contrôle des poussières, car la circulation sur la voie publique de matériau porteur de chrysotile est interdite.

## **6. Utilisation sécuritaire des résidus serpentiniques laissés lors de la production du chrysotile**

Les résidus serpentiniques provenant de la production du chrysotile contiennent une quantité variable mais significative de fibre chrysotile. La manutention à sec de ce matériau demande un contrôle efficace des poussières. L'industrie minière exploitant les gisements de chrysotile utilisait une séparation à sec de la matière fibreuse. L'air utilisé à cette fin devait subir un traitement très élaboré pour éviter l'exposition du personnel aux poussières de chrysotile. Cette technologie, bien au point, peut être utilisée pour amener les résidus serpentiniques à partir des haldes jusqu'aux digestions acides ou calcination.

Les résidus serpentiniques provenant de la production du chrysotile constitue une source de matières minérales d'un grand intérêt économique pour accéder au magnésium métallique, à l'oxyde de magnésium et aux sels de cet oxyde : nitrate, chlorure, carbonate ou sulfate.

Il a été démontré industriellement qu'il est possible d'utiliser les résidus serpentiniques comme matière première dans des procédés valorisant un ou plusieurs éléments de ce matériau et ce, de façon sécuritaire.

Il a été démontré par des laboratoires indépendants et de réputation internationale que des produits dérivés des résidus serpentiniques sont dépourvus de fibre chrysotile.

Il a été démontré que les résidus serpentiniques pouvaient agir efficacement pour l'absorption de gaz carbonique (CO<sub>2</sub>) et d'anhydride sulfureux (SO<sub>2</sub>) (pilotage à Rouyn-Noranda par la SNA en 1982) pour donner respectivement du carbonate de magnésium et du sulfate de magnésium.

Il a été constaté que l'empilage de résidus serpentiniques se couvrait au fil du temps d'une couche durcie de carbonate, diminuant ainsi l'érosion éolienne, sans l'éliminer complètement.

Il a été vérifié que la revégétation des résidus serpentiniques éliminait l'érosion éolienne des résidus.

## **7. Seuil des poussières de chrysotile**

Partant d'un énoncé à l'effet « qu'il n'existe pas un seuil démontré de l'innocuité du chrysotile », on assiste présentement à un resserrement des niveaux d'empoussiérages permis pour cette fibre.

Il me semble désirable de pondérer cet énoncé en regard de certains faits relatifs au chrysotile.

En premier lieu, il faut indiquer qu'il existe un "bruit de fond" amiantifère partout dans le monde. R.J. Lee et D.R. Van Orden ont établi une valeur moyenne de 0.00002f/cm<sup>3</sup> de chrysotile pour l'ensemble des Etats-Unis. Un article récent en 2018 de A. Miller et M. Wiens décrit les mécanismes qui peuvent incorporer des fibres dans l'air ambiante à partir de sources naturelles. Ce phénomène ne date pas de l'ère industrielle car on a trouvé du chrysotile dans des carottes de glace datant de plus de 10,000 ans au Groenland.

L'existence de ce « bruit de fond » nous indique donc que nous avons appris à vivre en santé avec ce seuil de fibre sur cette planète que je présume toujours habitable.

Le second point que je désire soulever concerne la capacité remarquable du chrysotile d'agir comme adsorbant de substances cancérigènes, particulièrement des polluants de la fumée du tabac. Le chrysotile ainsi chargé de ces dérivés très nocifs voit ses effets sur la santé multipliés par des ordres de grandeur comme l'a

démontré l'étude de Selikof sur la santé des travailleurs de l'industrie navale aux USA pendant la seconde guerre mondiale. Afin de réduire le risque d'incendie dans les navires de guerre, on procédait alors au flocage des parois dans ces navires, une opération qui générerait des expositions extrêmes au chrysotile. Vingt ans plus tard, les ouvriers fumeurs avaient été amputés de 20 ans à leur espérance de vie alors que les non-fumeurs exposés aux mêmes concentrations extrêmes de chrysotile ne subissaient qu'une légère croissance de morbidité.

Ce constat du synergisme très toxique existant entre le chrysotile et les dérivés du tabagisme constitue un élément important lors de l'évaluation des effets de l'exposition à cette fibre. Ainsi, dans un rapport en date du 3 janvier 2013 (Maladies de l'amiante dans la municipalité régionale du comté des Appalaches ; V. Bernier, P. Deshaies). On mentionne 8 travailleurs (mines) atteints de maladie associée au chrysotile ayant œuvrés sous la norme de 1 fibre/cm<sup>3</sup>. On indique sans le quantifier que certains étaient fumeurs et d'autres non-fumeurs et de ce fait ont exclu le tabagisme comme cause de la maladie. Mais on semble ignorer toute l'importance accordée maintenant aux fumées secondaires dans les évaluations des maladies reliées au tabagisme. Il est hautement probable que dans cette cohorte de 8 travailleurs, les non-fumeurs étaient des "fumeurs secondaires" en de multiples circonstances, compte tenu de l'importance du tabagisme à cette époque.

En conséquence l'imputation exclusive au chrysotile des problèmes de santé de cette cohorte, telle que faite dans ce rapport, peut être remise en question.

L'existence d'un seuil généralisé de chrysotile dans l'atmosphère et le synergisme qui existe entre certains cancérigènes et cette fibre ne change en rien aux mesures rigoureuses qui doivent être utilisées afin de prévenir un empoussiéragé qui serait toxique. Cependant, les limites recommandées de fibres ne devraient pas devenir ab nihilo car la base historique qui justifierait une telle décision n'existe pas en regard des deux points que j'ai soulevés.

L'état de santé de cohortes ou même de populations exposées à des niveaux mesurés de poussières de chrysotile pourrait permettre à un organisme régional d'établir le niveau d'empoussiéragé sécuritaire pour une activité spécifique impliquant l'utilisation des résidus serpentiniques.

## **8. Projet de Valorisation des Résidus Miniers par KSM**

### **Sommaire Exécutif**

KSM est une compagnie privée fondée pour la mise en marché d'un nouveau procédé de production d'engrais. À cette fin, la compagnie a fait l'acquisition de la propriété intellectuelle et des brevets reliés à ce procédé et procède présentement à un pilotage en continu dans une phase de démonstration de la technologie. Suite à la réussite de cette démonstration, KSM désire procéder à une implantation industrielle visant à une production commerciale de fertilisants au niveau de 55,000 T/an.

La société KSM a été fondée en vue de concrétiser un projet initié par Dundee Technologies Durables inc, (DTD) projet qui visait à produire des engrais à partir des résidus miniers que l'on retrouve dans la région de Thetford Mines.

Ce procédé résultait de travaux et d'investissements au niveau de 2 millions de dollars canadiens par DTD, travaux qui s'étalent sur une période de 10 ans et qui ont fait l'objet de plusieurs brevets. Des pilotages et des évaluations à l'interne complétés par des analyses par des firmes d'ingénieurs (Roches, Sénéca) ont confirmé les coûts de construction et de fonctionnement d'une telle usine ainsi que sa rentabilité.

Une réorientation de DTD vers des minéraux aurifères explique son retrait du secteur des fertilisants. Suite à cette décision corporative de DTD, KSM a fait l'acquisition de ce corpus technologique (savoir-faire, brevets) et vise à sa mise en exploitation.

Cette technologie fait appel à des méthodes nouvelles pour la production du sulfate de potassium (SOP) et du sulfate de potassium et de magnésium (SOPM), deux engrais très en demande. Le procédé fait appel à la potasse (KCl) et à l'acide sulfurique ( $H_2SO_4$ ) pour former ces deux engrais. L'acide chloridrique (HCl) apparaît comme produit secondaire au cours de l'opération. Cet acide est en grande demande au cours des opérations de fracture pour l'extraction du gaz et de l'huile. Le magnésium, quant à lui, provient des résidus serpentiniques très abondants (400M tonnes) dans la région de Thetford Mines. D'autres sources minérales régionales pourraient être utilisées, tel le talc, mais avec une efficacité moindre et à plus grand coût.

L'usine projetée de KSM fera appel aux structures industrielles laissées par l'exploitation passée de l'amiante dans la région. La production projetée est de

55 000 tonnes par année, en regard d'un marché mondial de 7 M de tonnes, dont 600 K tonnes en Amérique du Nord.

Au plan économique, le procédé breveté de KSM présente un coût d'opération (OPEX) 30% moindre que celui de la technologie Mannheim. De plus, le procédé KSM présente un impact environnemental très réduit par rapport à Mannheim, particulièrement en ce qui concerne l'émission des gaz à effet de serre du fait d'une consommation énergétique beaucoup plus faible par unité de SOP produite.

Les objectifs de l'usine de démonstration actuellement en opération sont de mettre au point et de roder une opération en continu et en circuit fermé et de produire des échantillons au niveau de la tonne pour des essais en champs. Ces essais seront effectués avec des partenaires du milieu agro-alimentaire avec lesquelles nous développons la planification de notre mise en marché.

Une étude effectuée au terme du pilotage par une firme d'ingénierie a établi que les coûts d'investissement (Capex) se situaient à 34M\$ can. et les coûts d'opération (EBIDTA) à 17M\$ CDN pour une production de 55 000T/an, le retour sur investissement de l'opération (IRR) étant de 38%.

## **Conclusion**

L'implantation du projet KSM dans la région de Thetford Mines comporte des avantages économiques significatifs, nommément :

- Remplacer des engrais importés au Québec par une production locale.
- Création de 70 emplois directs.
- Substitution d'une technologie non polluante (GES) au procédé actuel (Mannheim).

L'usage des résidus serpentiniques comme source de magnésium peut s'effectuer de façon tout à fait sécuritaire pour les raisons suivantes :

- Il a été démontré que le traitement thermique (700°C) ou le traitement chimique (HCl, HNO<sub>3</sub>) détruit la fibre dans les résidus.
- On peut effectuer la collecte des résidus sans élever le niveau de fibre dans la zone concernée (voir Alliance Magnésium).
- Les produits résultant de la mise en œuvre de KSM sont dépourvus de fibres.

En conséquence, l'opération de KSM ne résultera pas en une augmentation de l'empoussiérage sur le site de collecte ou autour de l'usine.

## **9. Technologie**

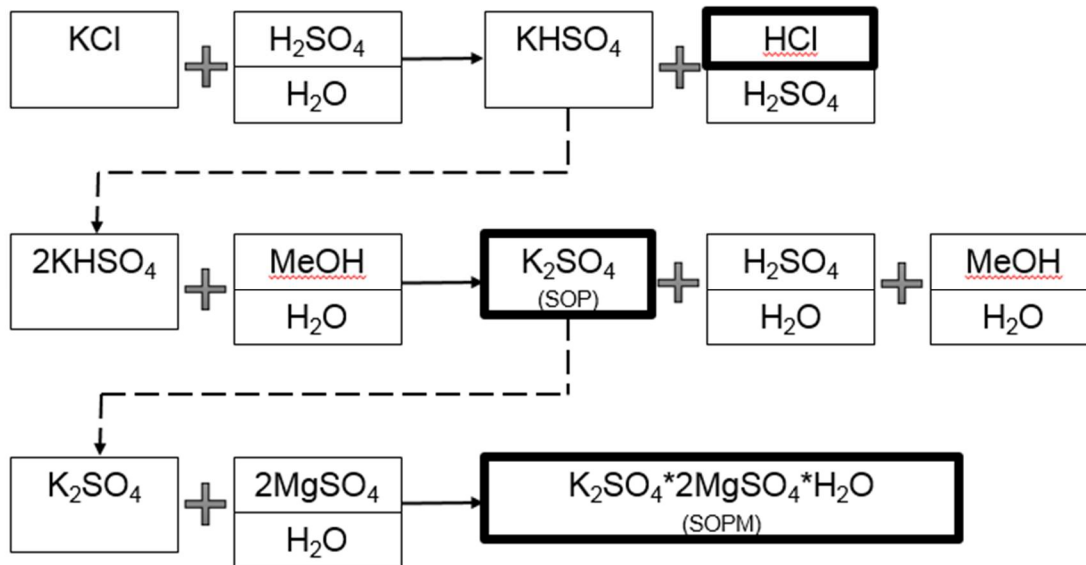
### **9.1. Description**

La potasse est le nom commun donné à un groupe de minéraux contenant du potassium qui sont généralement utilisés en agriculture pour aider la croissance des plantes. Le type de potasse le plus courant est le chlorure de potassium (KCl), également connu sous le nom de muriate de potasse (MOP).

Le sulfate de potassium (SOP) et le sulfate de magnésium et de potassium (SOPM) sont également une excellente source de nutrition pour les plantes. La portion de potassium de ces produits n'est pas différente des autres engrais potassiques courants. Cependant, ils offrent également l'avantage de fournir une précieuse source de sulfate, qui peut également aider les plantes à se développer. De plus, les ajouts de chlorure présents dans la MOP doivent être évités dans certains sols et cultures. Dans de tels cas, les SOP et SOPM sont les choix parfaits car ils ne contiennent pas de chlore.

Dans ce projet, KSM profite de sa technologie de synthèse innovante démontrée en laboratoire et en usine pilote. Cette technologie permet de réduire les coûts OPEX et CAPEX par rapport aux technologies actuellement utilisées, notamment la technologie "Mannheim process" où le sulfate de potassium est synthétisé à haute température (600°C) dans des conditions extrêmes et dans un environnement corrosif.

L'avantage principale de la technologie de KSM est que le processus se réalise en deux étapes à une température beaucoup plus basse (100 ° C) au lieu de terminer la réaction immédiatement à des températures très élevées, comme le montrent les équations suivantes:



**Figure 1 - Équation du procédé de KSM - SOP et SOPM**

Tout d'abord, le chlorure de potassium est mélangé à de l'acide sulfurique pour produire du KHSO<sub>4</sub>. Ensuite, le KHSO<sub>4</sub> est mélangé avec du méthanol à basse température pour produire le produit final, le K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (SOP). Avec ce SOP, il est alors possible de le granuler et de le vendre, ou de le modifier encore en le mélangeant avec du magnésium pour produire du SOPM (*K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.2MgSO<sub>4</sub>.H<sub>2</sub>O*)

Cette option est d'autant plus intéressante car elle utilise l'acide sulfurique résiduel de la réaction SOP, qui est maintenant plus dilué, pour lixivier le magnésium contenu dans les résidus minéraux.

Il convient de noter que ce résidu de serpentine est un résidu minéral provenant de l'extraction de l'amiante et que son élimination est un problème actuel pour ces régions. Il est à noter que le même résultat peut être obtenu par la lixiviation du talc brut (stéatite), qui est également facilement disponible.

Le procédé est illustré sur la figure 1 sous forme de schéma fonctionnel et sur la figure 2 sous forme de schéma fonctionnel du processus.

#### **Les avantages de ce procédé :**

- 1. Réduction de l'impact sur les GES grâce à des besoins énergétiques moindres et;**
- 2. Utilisation du gaz naturel au lieu du charbon pour la production d'énergie, avec revalorisation partielle des résidus miniers à proximité de l'usine.**

L'usine commerciale de KSM produira :

- 25 000 tonnes par an de SOP ;
- 30 050 tonnes par an de SOPM ;
- 13 750 tonnes par an de sel d'Epsom ;
- 42 325 tonnes par an d'acide chlorhydrique (HCl).

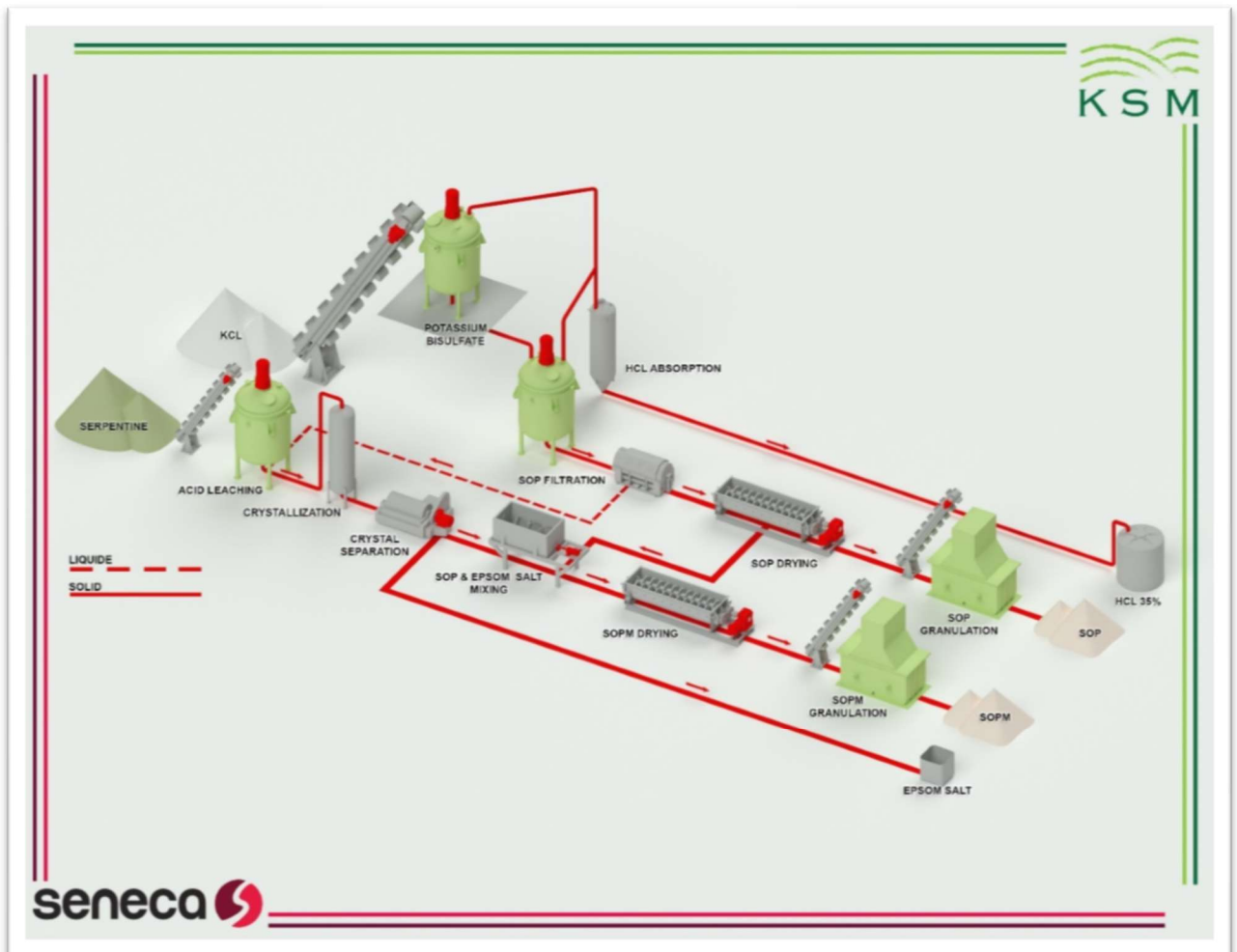


Figure 2 - Process 3D block diagram

### **9.1.1. Technologies actuelles**

Actuellement, deux technologies principales sont utilisées pour produire du SOP : l'extraction directe à partir de minerai et la production par le procédé Mannheim. La première méthode nécessite la découverte d'un terrain riche en roches contenant à la fois du potassium et du sulfate, ce qui est rare. La seconde méthode ne nécessite cependant pas de terrain spécifique car les matériaux peuvent être achetés puis transformés en SOP en utilisant de l'acide sulfurique et beaucoup d'énergie. De plus, les matières premières nécessaires, la potasse et l'acide sulfurique, sont toutes faciles à acquérir sur le marché. En effet, le potassium est extrait par millions de tonnes en Saskatchewan, tandis que l'acide sulfurique peut être acheté à peu près partout en grandes quantités.

En ce qui concerne la première méthode, l'extraction, les mines actuelles sont principalement construites dans le sud des États-Unis et au Mexique et, bien que le processus lui-même soit relativement sûr pour l'environnement par rapport à son alternative (tous les processus nécessitent l'extraction d'un matériau au départ), les coûts et les impacts environnementaux de l'expédition de ces mines vers le Canada sont importants. De plus, comme les terrains riches en POS ne sont pas courants, cette méthode ne peut être reproduite pour le projet actuel.

La deuxième méthode, le processus de Mannheim, est la plus utilisée pour produire des POS. Le chlorure de potassium et l'acide sulfurique sont mélangés dans un réacteur à haute température et la POS est produite avec un sous-produit de HCl. La SOP est ensuite neutralisée, granulée et conditionnée. Cependant, pour que cette réaction soit complète et que tous les atomes d'hydrogène de l'acide sulfurique réagissent, la réaction doit avoir lieu à 600°C, ce qui rend l'acide très agressif (usure de tous les équipements en contact avec la réaction) et nécessite une énorme quantité d'énergie de chauffage. C'est pourquoi les usines actuelles de Mannheim sont construites dans des régions où l'énergie fossile est bon marché (principalement en Chine) et provient du charbon, ce qui ajoute au coût environnemental du processus. Il faut également noter que les usines construites en Chine ont une main d'œuvre à un prix bien inférieur à celui des autres pays industrialisés, ce qui compense la maintenance fréquente des équipements.

Par rapport aux technologies actuelles, le procédé KSM produit du SOP directement au Québec, à proximité de ses consommateurs et réduit les impacts environnementaux du transport, en utilisant beaucoup moins d'énergie et moins d'entretien en raison de la température plus basse du procédé.

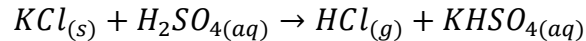
### **9.1.2. Description du procédé**

Le procédé commercial de KSM a été brièvement expliqué dans la section 1 et sera détaillé dans les sections suivantes.

### 9.1.2.1. Production de sulfate acide de potassium

La première opération consiste à mélanger du chlorure de potassium granulé (KCl, provenant d'un lot dans un entrepôt) avec de l'acide sulfurique concentré à 93 % (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Cette réaction va générer du sulfate d'acide potassique (KHSO<sub>4</sub>), également appelé bisulfate de potassium, et du chlorure d'hydrogène (HCl), comme indiqué précédemment.



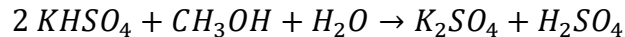
La réaction a lieu dans trois réacteurs en cascade pour obtenir une conversion maximale du chlorure de potassium.

Les réacteurs sont maintenus à 90°C pour éviter la cristallisation du bisulfate et l'ampérage de l'agitateur est contrôlé pour suivre la viscosité de la solution. De l'eau est ajoutée si l'ampérage dépasse une valeur définie pour aider à contrôler la viscosité.

Un léger vide est maintenu dans le réacteur pour faciliter la réaction et recueillir le chlorure d'hydrogène gazeux, ce qui évite la dispersion de gaz nocifs dans l'installation.

### 9.1.2.2. Production de POS

Le sulfate acide de potassium (KHSO<sub>4</sub>) est ensuite pompé dans un réacteur où du méthanol est ajouté pour convertir le bisulfate en sulfate (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> ou SOP).



La réaction se fait dans un procédé discontinu à 65°C. À la fin de la réaction, la solution est une bouillie contenant du méthanol, de l'acide sulfurique (26 % p/p), de l'eau et du sulfate de potassium solide car elle n'est pas soluble dans cette solution.

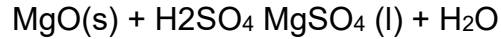
La boue est filtrée à l'aide d'un filtre à tambour sous vide. Le filtrat est envoyé pour être soumis à une lixiviation avec la serpentine et l'acide.

Le gâteau (principalement du SOP) est ensuite lavé avec une solution de méthanol à 85% pour éliminer l'acide sulfurique résiduel. La solution de lavage au méthanol acidifié est neutralisée avec de l'hydroxyde de calcium (chaux). Le méthanol neutralisé est recirculé en boucle fermée vers le filtre à tambour.

Après le lavage, le gâteau est séché et envoyé dans un stockage intermédiaire. La SOP peut être granulée et vendue ou mélangée avec les sels d'Epsom pour produire la SOPM (ref - cristallisation du sel d'Epsom).

### 9.1.2.3. Lixiviation serpentine et acide

Le filtrat produit avec le filtre à tambour contient de l'acide sulfurique faiblement concentré. Mélangé aux résidus de serpentine déjà disponibles sur le site, il permet de lixivier le magnésium contenu dans la serpentine. Il s'agit d'une réaction en mode discontinu effectuée à 60°C.



Dans un second réacteur, l'oxyde de magnésium est utilisé pour neutraliser la boue. Le sulfate de magnésium reste en solution lorsqu'il précipite à un pH plus élevé.

Le résidu de serpentine, appelé enstatite, contient principalement des silicates et est filtré à l'aide d'un filtre à pression. Le gâteau neutralisé sera disposé selon les normes en vigueur tandis que le filtrat sera recyclé.

### 9.1.2.4. Distillation du méthanol

Le filtrat de la lixiviation en serpentine, contenant du méthanol, de l'eau et du sulfate de magnésium, est envoyé dans une colonne de distillation pour récupérer la fraction de méthanol en haut de la colonne. Le méthanol sera récupéré à une concentration de 85 % afin de limiter la consommation d'énergie et les dépenses d'investissement. Il faut noter qu'une concentration de 85 % est suffisante pour les besoins du procédé tout en réduisant considérablement le coût des équipements nécessaires pour atteindre une plus grande pureté. Le méthanol récupéré est réinjecté dans le processus pour alimenter le réacteur SOP et pour compenser le lavage du gâteau SOP.

### 9.1.2.5. Cristallisation du sel d'Epsom

La solution aqueuse obtenue au bas de la colonne de distillation du méthanol contient du sulfate de magnésium, qui est concentré via un évaporateur à couche mince.

La solution concentrée est ensuite refroidie pour précipiter une partie du sulfate de magnésium en sel d'Epsom (sulfate de magnésium heptahydraté). Le sel d'Epsom est filtré et envoyé au stockage avant d'être vendu ou mélangé avec du sulfate de potassium pour produire du SOPM.

### 9.1.2.6. Absorption d'acide chlorhydrique

Le gaz acide chlorhydrique (HCl) produit est capté par un système de collecte de gaz et traité par une unité d'absorption de HCl.

L'objectif est de produire un acide chlorhydrique salin ayant une concentration cible en acide de 35 %.

L'unité d'absorption comprend un système de lavage des gaz pour empêcher la dispersion du chlorure d'hydrogène dans l'environnement.

### **9.1.2.7. SOP / SOPM Granulation et stockage**

Dans cette section de l'usine, la SOP et la SOPM sont granulées et on obtient les produits de KSM.

Les systèmes de granulation sélectionnés sont utilisés pour sécher, chauffer, compacter, calibrer, tamiser et glacer le produit d'alimentation pour répondre aux spécifications agricoles standard. KSM a également effectué des tests sur les équipements de granulation et la dureté des SOP et SOPM produits a atteint la norme actuelle du marché.

### **9.1.2.8. Traitement de l'eau**

Le traitement de l'eau est nécessaire pour les cas suivants :

- Contrôle de la viscosité à l'intérieur des réacteurs ;
- Absorption de l'acide HCl ;
- Eau d'appoint dans le système d'eau de refroidissement ;
- Eau d'appoint dans le système de production de vapeur.

L'eau consommée par le procédé commercial à des fins de lavage ou de neutralisation sera entièrement pompée d'un lac voisin, situé sur les lieux de l'usine, qui sera naturellement réapprovisionné par la pluie ou la fonte des neiges. Toutefois, pour l'usine de démonstration, étant donné que l'emplacement est différent et que le volume d'eau requis est beaucoup plus petit, l'eau proviendra de l'approvisionnement municipal en eau.

L'eau est récupérée et recirculée dans le processus lorsque cela est possible afin de minimiser la consommation d'eau douce.

### **9.1.2.9. Différences entre les usines de démonstration et les usines commerciales**

Il convient de noter que si l'usine de démonstration est de très petite taille par rapport à l'usine commerciale, le procédé développé dans les deux cas sera presque identique si ce n'est pour la mise à l'échelle. Le processus de transformation d'une tonne de KCl en une tonne de SOP et de SOPM restera essentiellement le même pour les deux systèmes.

Il y a toutefois une différence : La granulation pour l'usine de démonstration se fera à l'extérieur de l'usine, directement chez le fabricant d'équipements, tandis qu'elle se fera sur place pour l'usine commerciale. Cela est principalement dû au facteur économique, car il n'est plus nécessaire d'acheter certains équipements qui ne contribuent pas directement aux réactions chimiques du procédé. En outre, le fabricant pourra tester davantage l'équipement sélectionné et améliorer sa conception pour l'usine commerciale.

### 9.1.3. Produits

Les matériaux produits par l'usine peuvent être utilisés et vendus à différentes fins. Il est important de noter qu'aucune partie de la production n'est gaspillée et que toutes les matières, même si certaines ne rapportent pas beaucoup, peuvent être vendues.

**Tableau 1 - Description du produit**

Produit	Description	Traitement / Quoi faire
SOP	Sulfate de potassium en poudre	Vendu comme engrais aux agriculteurs
HCl 35%	Liquide	Vendu à d'autres industries
SOPM	Sulfate de potassium et de magnésium en poudre	Vendu comme engrais aux agriculteurs de blé
MgSO <sub>4</sub>	Sulfate de magnésium en poudre (sel d'Epsom)	Vendu sous forme de sel d'Epsom

La SOP et la SOPM sont les principaux produits à vendre, tandis que le HCl et le MgSO<sub>4</sub> sont simplement des sous-produits utiles. En les vendant à d'autres entreprises, l'empreinte écologique de l'usine est encore réduite. Quant aux résidus, nous les prenons dans le processus, en retirons une petite partie et la remettons à côté du tas de résidus, ce qui permet d'enlever efficacement la masse sans produire de nouveaux déchets.

Si l'on utilisait du talc au lieu des résidus, les produits seraient similaires, bien que les résidus de pierre à savon soient produits comme des déchets.

Les SOP et SOPM produites par KSM seront conformes aux spécifications suivantes :

**Tableau 2 - SOP and SOPM spécifications**

	SOP	SOPM
Potasse soluble	51,5%	22,3%
Magnésium soluble	0%	11%
Sulfure	17,5%	22%
Chlorure	1%	1%
Humidité	0,5 – 1%	0,5 – 1%

Les spécifications du produit, tant pour l'usine de démonstration que pour l'usine commerciale, doivent être conformes aux exigences ci-dessus pour être commercialisées, de sorte que les objectifs à atteindre sont les mêmes pour les deux usines et seules les quantités produites varieront.

## **9.2. Avantages pour l'environnement**

Comme mentionné précédemment, le processus de KSM permet de tirer de nombreux avantages environnementaux de ce projet. Ce processus permet de réduire l'impact sur la pollution atmosphérique, d'avoir un impact bénéfique sur la qualité du sol tout en n'ayant aucun impact sur l'eau.

### **9.2.1. Impact environnemental sur l'air**

Par rapport aux technologies actuelles, l'utilisation du procédé de KSM présente un avantage net en ce qui concerne l'impact sur l'air, car les émissions de gaz sont plus faibles. En effet, la production de SOP et de SOPM au Canada réduit la pollution due au transport du matériel outre-mer et sur route depuis des endroits tels que l'Utah, le Mexique ou l'Europe. En outre, par rapport aux autres procédés de transformation, la pollution causée par la consommation d'énergie est considérablement réduite.

Le procédé Manheim, méthode utilisée pour produire aussi le SOP et le SOPM, nécessite d'énormes quantités d'énergie généralement fournies par des moyens moins écologiques (centrales thermiques au charbon). Par conséquent, en utilisant le procédé KSM au Canada, les besoins énergétiques seraient considérablement réduits tout en ayant accès à des énergies plus écologiques, comme l'hydroélectricité et le gaz naturel au lieu du charbon.

Comme le montre le tableau suivant, il existe une grande différence dans l'impact des GES.

**Tableau 3 - Impact de la consommation d'énergie sur les GES**

Produit	KSM	Mannheim
Coût d'énergie	120 \$/T SOP	377 \$/T SOP
Consommation d'énergie	15 MMBtu/T SOP	37 MMBtu/T SOP
Diminution de consommation d'énergie	22 MMBtu/T SOP	N/A
Réduction équivalente des GES (gaz)	17 000 T CO <sub>2</sub> /year*	N/A
Réduction équivalente des GES (charbon)	30 000 T CO <sub>2</sub> /year*	N/A

### 9.2.2. Impact environnemental sur les sols

Le procédé de KSM présente également un avantage pour les sols chargés de résidus minéraux d'amiante. Pour produire la SOPM et terminer le processus, ce matériau difficile à gérer est nécessaire, ce qui aide des régions comme Thetford Mines à réduire leur problème au fil du temps et à revaloriser leurs sols.

Un autre avantage secondaire est la réduction des déchets produits par l'entretien. Les usines existantes qui utilisent le procédé de Mannheim traitent actuellement des liquides très agressifs à haute température, ce qui représente une charge importante pour les équipements, la tuyauterie et les accessoires, provoquant beaucoup de maintenance et de remplacement d'équipements. En utilisant le procédé de KSM, la température et la corrosion des réactions peuvent être diminuées, ce qui entraîne moins de maintenance et donc moins de déchets pour l'environnement.

### 9.2.3. Impact environnemental sur l'eau

Le procédé de KSM présente un grand avantage en ce qui concerne la pollution de l'eau : tous les intrants des réactions sont transformés en produits qui peuvent être vendus comme engrais ou à d'autres installations industrielles. Le processus en lui-même n'a pas d'effluents et son impact sur l'eau est minime. Tous les produits chimiques produits peuvent être stockés et vendus, et aucun produit chimique n'est rejeté dans l'environnement.

De plus, même si l'eau est consommée dans le processus principal (lavage des gâteaux, neutralisation, services publics), l'eau destinée à l'usine commerciale sera pompée à partir d'un grand bassin situé directement à côté de l'usine. Ainsi, la consommation d'eau est régénérée localement par les pluies et la neige sans nécessiter de traitement supplémentaire de la part de la municipalité.

#### **9.2.4. Impacts indirects sur l'environnement**

Le procédé de KSM, en étant implanté au Québec, a un autre impact moins direct sur l'environnement car il permet aux agriculteurs canadiens de dépendre d'une source locale d'engrais. En outre, le Canada étant un leader en matière de normes environnementales pour ses industries, l'usine de KSM répondrait à des exigences très strictes en matière de santé et d'environnement au lieu d'être laissée à des gouvernements moins respectueux de l'environnement.

### **9.3. Caractéristiques du marché**

#### **9.3.1. Le marché mondial des engrais**

Les engrais chimiques jouent un rôle majeur dans la production agricole. L'utilisation des engrais a augmenté au cours des dernières décennies en raison de l'augmentation de la demande alimentaire mondiale. La disponibilité de meilleures variétés de semences au potentiel génétique plus élevé, une meilleure résistance des cultures, la mécanisation, l'irrigation, la fertirrigation, des pratiques agricoles plus efficaces, une meilleure utilisation des sols et une meilleure utilisation des engrais ont entraîné une augmentation des rendements des cultures. Certains pays souffrant de carences alimentaires sont désormais exportateurs. Même avec ces rendements accrus, la demande d'engrais suit la croissance de la population mondiale. La consommation de potasse augmente plus rapidement que la population mondiale.

Population mondiale au 17 janvier 2017	7.5 milliards de personnes
Augmentation (%)	1.12%/an

#### **9.3.2. Évolution du marché mondial au cours du siècle dernier**

Selon l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), l'utilisation des engrais en 2017 a augmenté de 1,8 % par an pendant les cinq années suivantes. La consommation mondiale en 2014 s'est élevée à 182 000 000 TM. La consommation mondiale totale de potasse pour l'agriculture était de 27 000 000 TM\* (équivalent  $K_2O$ ). Comme le montre le tableau 4, la consommation annuelle de potasse a augmenté plus rapidement que la consommation de NPK combinée. Dans le passé, la potasse provenait principalement de Carlsbad (N.M.), mais après les années 70, le Canada (Saskatchewan) est devenu le plus grand acteur mondial. Au cours de la dernière décennie, la demande de sources de potasse autres que le muriate de potasse a constamment augmenté. Les produits

potassiques issus du sulfate répondent aux besoins de nombreux types d'agriculture. Le sulfate remplace les formules chlorées en raison de la valeur agronomique du soufre et des réactions qui éprouvent les plantes.

\*Note : cela peut inclure le KCl utilisé pour produire d'autres sources d'engrais à base de potassium comme les SOP, SOPM et autres. Cela peut inclure ± 1 000 000 TM de KCl vendues pour d'autres usages.

### 9.3.3. Le marché combiné du K et la consommation mondiale

En général, l'utilisation d'engrais est stable dans les pays industrialisés. Dans les pays émergents, l'utilisation d'engrais augmente plus que la moyenne de la croissance mondiale. Certains pays ont besoin d'une correction majeure de leurs sols pour les ramener à un niveau équitable permettant de produire des cultures de bonne qualité. Un sol bien fertilisé est une bonne pratique pour minimiser l'érosion du sol et conserver son potentiel de productivité. La production agricole des pays émergents augmentera en combinant des bons fertilisants à des pratiques agricoles modernes et à un bon soutien économique local.

**Tableau 4 - Consommation mondiale de fertilisants**

Consommation annuel		N.P.K.	POTASE
2013		182,000,000 MT	27,700,000 MT
2014 (3.7%)		186,000,000 MT (+2.2%)	30,800,000 MT
2018 (+10.3%)	PRÉVISIONS	199,000,000 MT (+3.2%)	34,000,000 MT

### 9.3.4. Consommation de K par élément

Le marché mondial du K est principalement divisé en trois produits : le muriate de potasse (KCl), le sulfate de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) et le sulfate de magnésium et de potassium (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 2MgSO<sub>4</sub>). La plus grande partie de la potasse utilisée dans le monde provient du KCl (70%, ± 24 000 000 tonnes). Dans certains pays comme les États-Unis, elle représente jusqu'à 90 %. L'économie est le principal facteur à l'origine de cette tendance. Les 30 % restants proviennent d'autres sources de potassium telles que la SOP, la SOPM et une petite quantité d'autres sources telles que le PN. La teneur en chlore du KCl est la principale raison pour laquelle d'autres produits doivent être sélectionnés et utilisés sur certains sols et dans de nombreuses cultures. Une autre raison est que le chlore n'est pas considéré comme un produit respectueux de l'environnement. D'autres produits tels que le POS et la MPS contiennent du soufre et sont exempts de chlore ou ont des teneurs très faibles. Si l'on se réfère aux tableaux n° 5 et 6, on peut voir que, dans le monde entier, on utilise beaucoup plus de POS que de MPOC. Si l'on se réfère au tableau n°7, dans la région du nord-est (Québec, Maritimes, Ontario, États de la Nouvelle-Angleterre), la SOPM est plus populaire que la SOP.

En raison de sa teneur en Mg, les statistiques mondiales de la SOPM ne sont pas aussi précises que celles des autres engrais NPK. Par exemple, certains pays exportent différentes formes de magnésium à mélanger à la SOP pour remplacer la SOPM. D'autres pays importent différentes formules de potassium/magnésium non considérées comme de la SOPM. Ces engrais sont considérés comme une minorité et, statistiquement parlant, sont classés dans la catégorie AUTRES (Maritimes). Cette situation peut fausser la quantité réelle de SOPM utilisée dans le monde et ne montre pas la demande réelle. Au cours des 5 dernières années, la pénurie de la SOPM a obligé les entreprises à passer à un mélange de SOPM avec des MS, MO ou MOS. Étant donné l'éloignement du point d'approvisionnement (Carlsbad), la qualité et l'approvisionnement ne sont pas constants dans les régions du Nord. En raison de l'éloignement des fournisseurs, la livraison dans les délais n'est jamais garantie.

**Tableau 5 - Consommation mondiale de sulfate de potassium (en TM)**

	2010	2015	% Variation
Europe de l'Est	43,000	70,000	+ 61%
Amérique du Nord	381,000	375,000	- 1.5%
Amérique Latine	204,000	245,000	+ 20%
Afrique	236,000	265,000	+ 12%
Moyen-Orient	215,000	265,000	+ 23%
Asie	1,680,000	1,810,000	+ 8%
Océanie	56,000	80,000	+ 42%
Europe	994,000	1,000,000	+ .6 %
<b>Total</b>	<b>3,809,000</b>	<b>4,110,000</b>	<b>+ 8%</b>

**Tableau 6 - Consommation mondiale de Sul-Po-Mag (en TM)**

	2014-2015
Europe	191,000
Asie du Sud-Est	54,000
Asie de l'Est et Océanie	207,000
Chine	154,000
Amérique du Nord	484,000
Amérique Latine	286,000
Autres	47,000
<b>Total</b>	<b>1,423,000</b>

**Tableau 7 - Ventes de SOPM et SOP pour 2017 sur les marchés voisins (en TM)**

	SOPM	SOP
Québec	22,000 ***	1,600
Ontario	31,000	2,900
Maritimes	3,000 ***	500
Ouest.Can	2,000 *	400
États de la Nouvelle-Angleterre	5,000 *	200
Autres	1,000 *	1,500
<b>Total</b>	<b>64,000 M.T.</b>	<b>7,100 M.T.</b> **

\* Ces chiffres peuvent inclure les ventes de pelouses et de jardins.

\*\* Ces chiffres peuvent inclure certaines ventes industrielles.

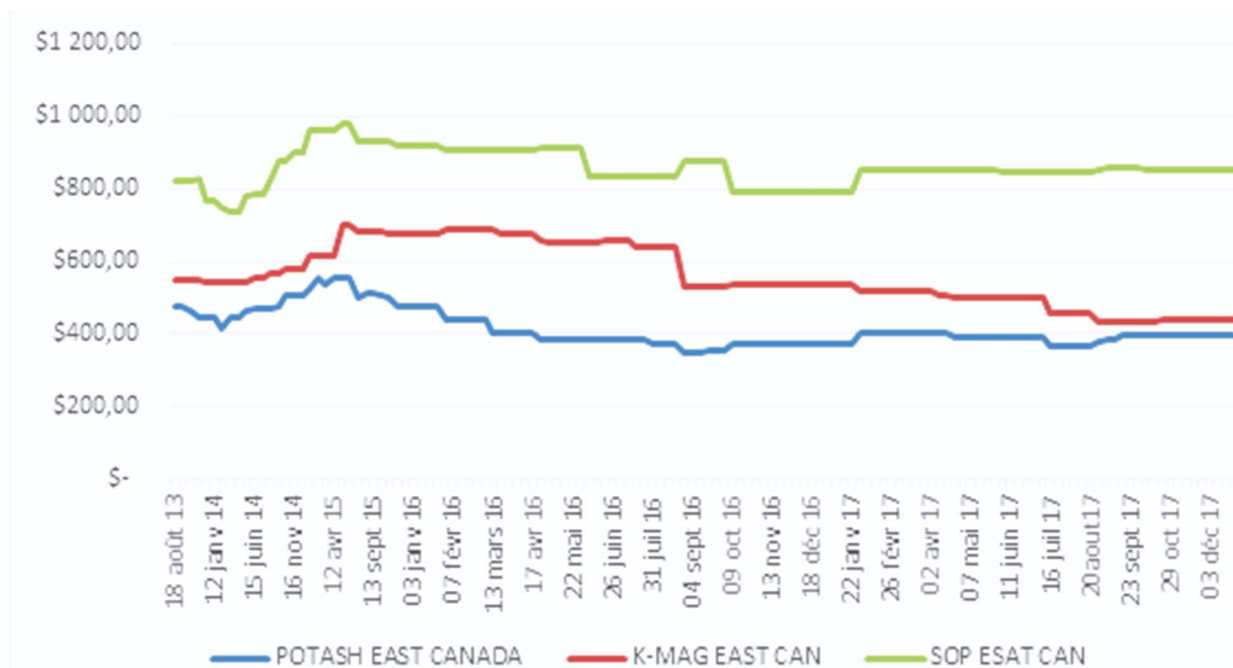
\*\*\* Certaines importations ne sont pas déclarées et/ou identifiées comme décrit sur l'étiquette du produit.

Il n'existe pas de statistiques locales. En raison des ventes d'engrais qui traversent la frontière dans les deux sens, et de la pénurie de la SOPM au cours des cinq dernières années, ces données sont fiables à 95 %. En se basant sur le fait que l'approvisionnement n'a pas été constant et fiable depuis 2012, la consommation de la SOPM et/ou les besoins des usines pourraient en fait être beaucoup plus élevés.

### 9.3.5. Comparaison des prix du K

Depuis la crise de la potasse (2012), le prix du MOP est resté entre 50\$ et 100\$ la tonne en dessous de celui de la SOPM. En raison de la teneur en sulfate de la SOPM et de la solubilité de la Mg, le prix unitaire justifie une prime par rapport au KCl. Même avec la différence de prix entre la MOP, la SOPM et la SOP, la demande mondiale de SOP et de SOPM est toujours forte. L'apparition de nouvelles cultures sophistiquées et les nouvelles normes de qualité renforcent l'importance du soufre pour répondre aux besoins du marché. La demande mondiale de POS et de SOPM croît plus rapidement que celle du KCl, même si le prix unitaire est plus élevé que celui du KCl. Le coût du transport ferroviaire de la SOPM expédiée du Nouveau-Mexique au Québec se situe entre 90 et 100 dollars américains par tonne métrique (selon les compagnies de chemin de fer secondaires concernées). En dollars canadiens, le prix varie entre 124\$ et 138\$ par tonne métrique.

**Figure 3 - Rélation de prix entre le KCL, SOP et du SOPM**



\*La couleur bleue représente la Muriate de Potasse (KCL)

### 9.3.6. Valeurs agronomiques de la SOP et de la SOPM

Le muriate de potasse à 60 % (KCl) est la forme de potasse la plus populaire utilisée dans le monde entier en raison de son faible coût unitaire. Le produit contient 45 % de chlore. Dans certaines régions, le chlore est la partie indésirable de ce produit. La SOP et la SOPM sont exemptées ou très pauvres en chlore. En fait, de nombreuses cultures comme le tabac, les pommes de terre, les bananes, les fraises, les framboises, les mangues, les oranges, les pamplemousses, les cerises, les poivrons, les avocats, les noix de cajou, les concombres, les melons, les laitues, les oignons et la plupart des nouvelles cultures plus sophistiquées peuvent tolérer ou sont partiellement tolérantes ou sensibles au chlore. En fait, au Canada, la POS et la POSM de sources naturelles sont acceptés dans l'agriculture biologique. Le soufre joue un rôle important dans la croissance de la plante. Le S est un élément structural des acides aminés, les éléments constitutifs des protéines. Le S joue un rôle dans la synthèse du sucre, de l'amidon et des vitamines, active des enzymes importantes dans le métabolisme des acides gras et joue un rôle essentiel dans la formation des huiles. Le soufre améliore la qualité des fruits et légumes, renforce la capacité des plantes à résister au stress et la défense immunitaire des plantes. Le soufre améliore l'efficacité d'utilisation d'autres nutriments. Dans le sol, l'azote et le soufre travaillent ensemble comme une équipe.

Le SOP 50% ( $K_2SO_4$ ) contient 18% de S. Le SOP est bien connu dans le monde entier dans le domaine de la production biologique. Le SOP est considéré comme une source supérieure de potassium pour la croissance et la santé des plantes.

Le SOPM (Sul-Po-Mag, 0-0-22%-11%, ( $K_2SO_4 \cdot 2MgSO_4$ )) est un sulfate de magnésium et de potassium, libre ou pauvre en Cl. Le produit contient 22 % de  $K_2O$ , 11 % de Mg soluble et 22 % de soufre. Le SOPM est très reconnu dans le secteur de l'agriculture biologique.

#### **9.3.6.1. Agronomie et approvisionnement**

Lors des périodes de pénurie du SOPM l'année dernière, la solution était de passer de SOPM à SOP mélangé à d'autres sources de Mg telles que l'oxyde de Mg ou l'oxysulfate de magnésium. C'était la seule solution d'apporter un peu de Mg plus S dans leurs formules et d couvrir les besoins des cultures. Dans la plupart de cas, le Mg n'était pas du tout ni partiellement soluble et ne procurait pas tous les avantages agronomiques du SOPM. Cela les obligeait également à avoir un double inventaire qui ne garantissait pas la solubilité de leur Mg. C'était la solution ultime dans ces cas.

#### **9.3.6.2. Résumé du marché du sulfate de potasse : les prix du MOP font baisser les prix du SOP**

Malgré les prix du sulfate de potasse ("SOP") en 2016, qui sont à leur plus bas niveau depuis six ans, son prix supérieur à celui du MOP se maintenu. Vers la fin de l'année 2016, les prix restent au niveau historiquement élevé de ~400 dollars US par tonne. En plus du prix du SOP, la production mondiale atteindra des niveaux records pour profiter de la tarification plus élevée. On s'attend à ce que les prix du SOP reviennent à leur niveau par rapport au MOP.

Les marchés du MOP sont saturés et les taux d'utilisation devraient continuer à baisser. Comme il est peu probable que les prix du MOP se redressent de manière significative d'ici 2017, les prix du SOP devraient continuer à être sous pression, mais les primes par rapport au MOP ne devraient pas descendre en dessous de de 200 dollars US.

À moyen terme, Green Markets continue de prévoir que les marchés du MOP seront tendus jusqu'à ce que de nouvelles offres soient mises en ligne. Les progrès réalisés dans la construction de nouvelles usines de SOP ont été peu financés cette année. Cela suggère qu'en dépit des efforts des entreprises, il pourrait être difficile de trouver de nouvelles usines de POS en dehors de la Chine avant la fin de cette décennie. Cela contribuera également à soutenir les primes du MOP.

Au cours des 5 à 10 prochaines années, Green Markets prévoit que le marché pourrait supporter de 1 à 1,5 million de tonnes supplémentaires de production de SOP avant que les prix ne soient affectés à long terme.

Une offre supplémentaire aurait probablement un impact sur les prix régionaux au moment d'une augmentation de la production, car les producteurs se livrent

concurrence pour obtenir une part du marché. Cette situation s'atténuerait probablement avec la croissance de la demande. De nouvelles usines sont nécessaires pour qu'une augmentation de la demande se produise sur le marché.

L'impact à moyen et long terme sur la nouvelle capacité de production et une baisse des prix est une concurrence accrue et l'instabilité des prix, mais pas une détérioration des prix à long terme.

#### **9.3.6.3. Principes de base du marché du SOP**

Le sulfate de potasse est un engrais spécial à base de potassium qui est utilisé sur les cultures sensibles au chlorure. Il est utilisé comme nutriment pour les cultures qui ont tendance à avoir une valeur relative plus élevée que les cultures telles que les céréales.

Une liste générale des cultures sensibles au chlorure qui bénéficient du potassium sous forme de SOP comprend : amandes, avocats, noix de cajou, houblon, concombres, melons, oignons, laitue, tabac, framboises, fraises, mûres, les myrtilles, et les mangues. Aux États-Unis, l'utilisation de SOP est plus importante dans le nord-ouest du Pacifique, dans des états comme la Californie (amandes, vignes, houblon) et dans le sud-est (agrumes).

Les producteurs de cultures dans des climats plus arides bénéficient également de l'utilisation de SOP.

#### **9.3.6.4. Du SOP de haute qualité au MOP**

Historiquement, le SOP s'est négocié à un prix élevé que le muriate de potasse ("MOP"). Au cours des cinq dernières années, le prix moyen du SOP était de 260 dollars US par rapport au MOP (voir figure 4 - MOP, prix du SOP, prix et tendances 2010-2016).

Les prix du MOP a baissé au cours des dernières années en raison de l'augmentation de la capacité mondiale. En 2016, les prix du SOP a également baissé, le MOP se négociant à des niveaux historiquement bas. Green Markets note que les prix moyennes restent assez élevés par rapport aux normes historiques, les prix en 2016 étant en moyenne supérieures à 400 dollars, même si les prix du SOP ont reculé.

Les prix du SOP ont baissé d'environ 18 % en Amérique du Nord au cours des trois premiers trimestres de 2016. Cette baisse des prix a été en partie due aux

efforts du producteur nord-américain Compass Minerals pour maintenir sa part de marché domestique alors que les importations augmentaient.

La baisse des prix de la MOP au cours des dernières années semble également avoir influencé l'augmentation de la production du SOP au niveau mondial.

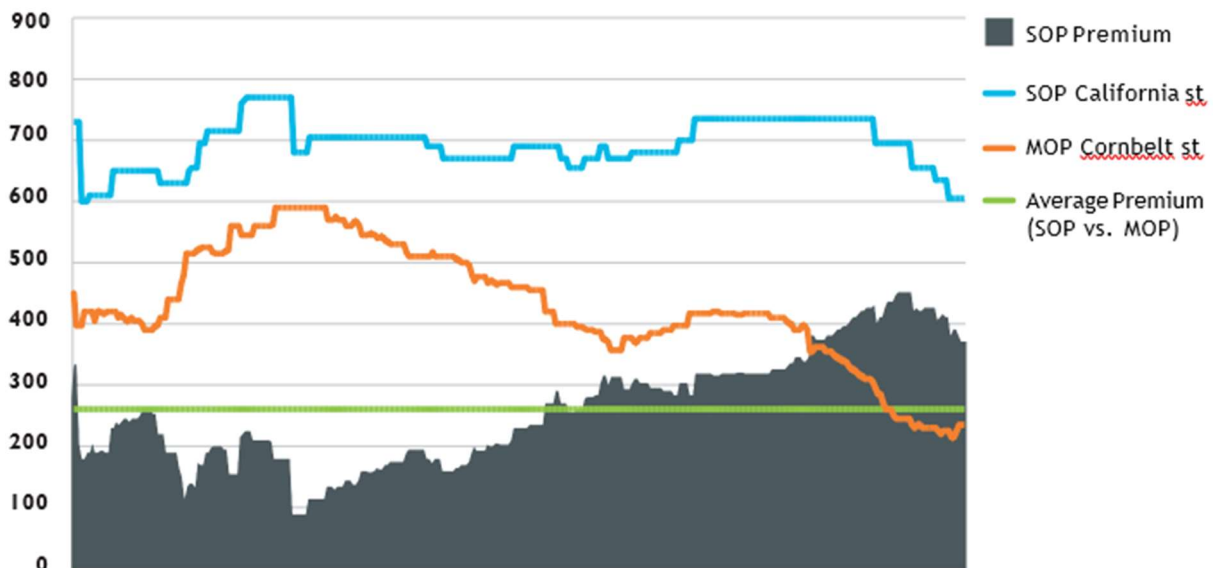
### 9.3.6.5. Offre et demande de SOP au niveau mondial

Pour l'année civile 2016, Green Markets estime que la capacité mondiale de SOP atteindra ~8,9 millions de tonnes. L'augmentation de la production de ces dernières années a été presque exclusivement l'œuvre des producteurs chinois.

Green Markets estime la demande mondiale pour 2016 à environ 7,6 millions de tonnes, pour un taux d'utilisation mondial d'environ 85 %.

À part la Chine, Green Markets estime que la capacité nominale est d'environ 4,4 millions de tonnes contre une demande d'environ 3,4 millions de tonnes pour un taux d'utilisation d'environ 78 %.

Green Markets estime que la croissance annuelle de la demande sera juste au-dessus de ~1% jusqu'à ce que la nouvelle usine du SOP soit construite. Green Markets prévoit une croissance plus élevée de ~4% lorsque la production prévue sera disponible à la fin de la décennie.



**Figure 4 - MOP, prix de SOP, primes et tendances 2010-2016**

**Tableau 8 – Production globale de SOP, demande et utilisation,  
2015-2026 (en tmm)**

World (with China)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Capacity (Name Plate)	8.6	8.9	9.1	9.1	9.3	10.5	10.5	10.7	10.7	10.7	10.7	10.7
ImpliedDemand(total)	7.5	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	8.3	8.6	8.9	9.3	9.6	9.6
Utilization, %	87%	85%	85%	86%	85%	76%	79%	80%	83%	86%	90%	90% <sup>1</sup>

**Tableau 9 - Production globale de SOP, demande et utilisation,  
excluant la Chine, 2015-2026 (en tmm)**

World (ex-China)	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026
Capacity(NamePlate)	4.4	4.4	4.6	4.6	4.8	6.0	6.0	6.2	6.2	6.2	6.2	6.2
ImpliedDemand(total)	3.3	3.4	3.6	3.7	3.9	4.0	4.2	4.3	4.5	4.6	4.8	5.0
Utilization, %	75%	78%	79%	81%	81%	67%	69%	69%	72%	75%	78%	81%

La production mondiale de SOP semble avoir atteint des niveaux records en 2015 et ces niveaux de production persisteront probablement jusqu'à l'année 2016. La production de 2015 a presque atteint les ~7,5 millions de tonnes. L'augmentation de la production en Chine, ainsi que l'utilisation accrue de Mannheim, semblent être les causes de l'augmentation des prix du SOP à des hauses significatives par rapport au PMO.

**Tableau 10 - Production de SOP pour 2004-2015 (en tmm)**

	SOP Total	SOP Ex-China
2004	4.87	2.99
2005	5.15	3.15
2006	5.14	3.30
2007	5.58	3.48
2008	4.17	2.67
2009	3.75	2.45
2010	4.81	3.24
2011	4.94	3.14
2012	4.78	2.88
2013	5.37	2.98
2014	6.92	3.28
2015	7.47	3.59 <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Source: Green Markets © Kennedy Information, LLC, A Bloomberg BNA Business

<sup>2</sup> Green Markets © Kennedy Information, LLC, A Bloomberg BNA Business

#### **9.3.6.6. Sommaire du commerce mondial du SOP**

Vu les bas prix du MOP et les primes historiques élevés, des dernières données commerciales suggèrent une augmentation de la production globale par le biais du procédé Mannheim. C'est ce qui ressort clairement des données sur les exportations des principales régions productrices de Mannheim, telles que la Chine et Taïwan, qui voient toutes leurs exportations augmenter. Notamment, les exportations de la Chine sont passées d'environ 62 000 tonnes en 2014 à plus de 77 000 tonnes en 2015.

La Chine a un tarif d'exportation de 600 RMB/mt (~90 \$) et ils existent des rapports selon lesquels l'Association chinoise de la potasse a fait pression pour une réduction. Cependant, le gouvernement est probablement désireux de maintenir l'approvisionnement dans le pays étant donné qu'il est à court de potassium et qu'il importe des niveaux importants de MOP.

D'autres pays asiatiques (dont Taïwan) ont simultanément augmenté leur production. Ces régions ont vu leur production augmenter de 118 000 tonnes en 2014 à 153 000 tonnes en 2015.

La Belgique et l'Allemagne dominent le marché mondial de l'exportation du MOP. Des statistiques récentes indiquent que leurs exportations combinées pourraient approcher les 2 millions de tonnes, les entreprises de ces pays cherchant à maximiser la production de POS car les prix de la POS sont plus bas au niveau mondial.

Green Markets note également que les importations de la Belgique sont probablement utilisées comme intrants dans des engrais NPK complexes. Les Pays-Bas sont également à la fois importateurs et exportateurs de SOP car la plupart des produits sont également améliorés.

**Tableau 11 – Importation et exportation du SOP par pays, 2015<sup>3</sup>**

Principaux exportateurs	Mille mt	Principaux importateurs	Mille mt
Allemagne*	1,082	Pays Bas	308
Belgique*	986	Belgique	146
Pays Bas	273	États-Unis	134
Autres pays d'Asie, nes	154	Japon	93
Suède	117	France	88
Chili	96	Malaisie	70
Chine	77	Mexique	70
Fédération de Russie	63	Inde	67
Canada	48	Algérie	62
États-Unis	27	Australie	59

\*Approximatif

### 9.3.6.7. Marchés SOP en Amérique du Nord

En 2014, les États-Unis ont importé ~0,89 million de tonnes de POS, l'Allemagne fournissant ~50% du produit, ce qui signifie que K+S est le principal exportateur. En 2015, les États-Unis ont importé ~1,34 million de tonnes de POS, l'Allemagne fournissant à nouveau ~50% du produit.

L'augmentation de 50 % des importations provenait de sources multiples, l'Égypte, la Chine et le Chili ayant tous enregistré des gains d'une année sur l'autre en exportant vers les marchés américains. L'augmentation des expéditions en provenance de Belgique (probablement via le Canada) est également une source probable de nouveaux approvisionnements vers les États-Unis l'année dernière. L'augmentation des importations en 2015 a incité Compass Minerals à commencer à réduire ses prix pour défendre sa part de marché et fermer les possibilités d'arbitrage en Amérique du Nord.

**4Tableau 12 - Principaux producteurs de SOP et procédés de production, 2015 (en mmt)**

Compagnie	Production	Lieu	Procédé
Compass Minerals	0.50	États-Unis	Évaporation
K+S	0.85	Allemagne	Kieserite (MOP) Process
Tessengerlo	0.90	Belgique	Mannheim
SQM	0.34	Chili	Évaporation
Luobupo	1.60	Chine	Évaporation
Migao	0.32	Chine	Mannheim
Qingshang	0.90	Chine	Mannheim

<sup>3</sup> Green Markets © Kennedy Information, LLC, A Bloomberg BNA Business

<sup>4</sup> Green Markets © Kennedy Information, LLC, A Bloomberg BNA Business

Le SOP est produit à l'échelle mondiale principalement par trois procédés. Le plus important est l'évaporation des saumures de sel ; les États-Unis, la Chine et le Chili sont les principaux producteurs par évaporation. Cette méthode peut être sensible aux conditions climatiques mais est généralement la technique de production la moins coûteuse.

Le procédé de Mannheim traite le MOP à l'acide sulfurique à haute température avec de l'acide chlorhydrique comme sous-produit et constitue la méthode de production la plus coûteuse. Le MOP, moins coûteux, a permis d'augmenter la production de Mannheim. La Belgique est le plus grand producteur après la Chine par le biais du procédé de Mannheim.

K+S utilise un procédé qui fait réagir différents sels qui sont ensuite décomposés pour donner le MOP.

Green Markets estime qu'environ 50 % de la production mondiale de SOP provient du procédé de Mannheim, le reste étant une combinaison de décomposition du sel et d'évaporation de la saumure. Yara produit du SOP dans son usine de Kokkola en Finlande, à la fois pour l'amélioration et l'exportation vers les marchés chinois et méditerranéens. Des usines de Mannheim se trouvent également en Chine, à Taïwan et au Moyen-Orient. La Russie produit également du SOP comme sous-produit du minerai de néphéline (alumine).

## **10. Conclusion**

L'implantation du projet KSM dans la région de Thetford Mines comporte plusieurs avantages économiques significatifs, notamment :

- Remplacer des engrais importés au Québec par une production locale.
- Investissements directs d'environ 35 M\$ CDN
- Retombées annuelles d'environ 43 M\$ CDN
- Création de 70 emplois directs.
- Substitution d'une technologie non polluante (GES) au procédé actuel (Mannheim)

KSM est d'avis que l'usage des résidus serpentiniques comme source de magnésium peut s'effectuer de façon tout à fait sécuritaire sur la base des considérations suivantes :

- Il a été démontré que le traitement thermique (700°C) ou le traitement chimique détruit complètement la fibre dans les résidus.
- On peut effectuer la collecte des résidus sans élever le niveau de fibre dans la zone concernée (voir Alliance Magnésium).

- Les produits et les sous-produits résultant de la mise en œuvre de KSM sont complètement dépourvus de fibres.

En conséquence, l'utilisation d'une approche responsable et sécuritaire permet d'envisager l'opération de KSM sans résulter en une augmentation de l'empoussiérage sur le site de collecte ou autour de l'usine.