

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département génie industriel

SONATRACH

Mémoire de projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

Option : Management de l'innovation

**Optimisation des coûts de transport et
localisation des unités de production :
Méga Projet Intégré Phosphate
SONATRACH / CITIC Construction**

Présenté par :

Mohamed Chawki BAROUCHE

Mohamed Okba BAAZIZ

Sous la direction de Mme Sabiha NAIT KACI

Présenté et soutenu publiquement le (20/10/2020)

Composition du jury :

Président	M. Ali BOUKABOUS	MAA	ENP
Promoteur	Mme Sabiha NAIT KACI	MAA	ENP
Examineur	Mme Bahia BOUCHAFAA	MAA	ENP

Enp 2020

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
École Nationale Polytechnique



Département génie industriel

SONATRACH

Mémoire de projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Génie Industriel

Option : Management de l'innovation

**Optimisation des coûts de transport et
localisation des unités de production :
Méga Projet Intégré Phosphate
SONATRACH / CITIC Construction**

Présenté par :

Mohamed Chawki BAROUCHE

Mohamed Okba BAAZIZ

Sous la direction de Mme Sabiha NAIT KACI

Présenté et soutenu publiquement le (20/10/2020)

Composition du jury :

Président	M. Ali BOUKABOUS	MAA	ENP
Promoteur	Mme Sabiha NAIT KACI	MAA	ENP
Examineur	Mme Bahia BOUCHAFAA	MAA	ENP

Enp 2020

Dédicace

A ma très chère mère

Quoi que je fasse ou que je dise, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Ton affection me couvre, ta bienveillance me guide et ta présence à mes côtés a toujours été ma source de force pour affronter les différents obstacles.

A mon très cher père

Tu as toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager. Que ce travail traduit ma gratitude et mon affection.

A mon cher petit frère Samy

Je te souhaite tout le bonheur du monde et plein de réussite dans tes études.

A mes chers amis Okba, Mehdi, Celia.

A mes chers camarades ingénieurs Chawki et Marouane.

Ainsi qu'à toute ma famille

Puisse Dieu vous donne santé, bonheur, courage et surtout réussite.

CHAWKI

Dédicace

A mes chers parents, pour leur appui et leurs encouragements, pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire, que ce travail soit l'accomplissement de vos vœux et le fruit de votre soutien infailible, merci d'être toujours là pour moi

A la femme qui a souffert sans me laisser souffrir, à celle qui n'a jamais dit non à mes exigences, à celle qui s'est sacrifiée pour me rendre heureux : Mon adorable mère Nacera

A Mme Kechida pour son soutien moral et ses conseils précieux tout au long de mes études

A mon cher frère qui m'a aidé et supporté dans les moments difficiles

A mes oncles et mes tantes que Dieu leur donne une longue et heureuse vie

A tous, merci pour votre amour et vos encouragements sans oublier mon binôme et mon ami Chawki pour sa patience et sa compréhension

Mohamed OKBA

Remerciements

On adresse nos sincères remerciements à toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits, leurs conseils et leurs critiques ont guidé nos réflexions et qui ont accepté de nous rencontrer et de répondre à nos questions durant notre projet de fin d'étude.

La première personne que nous tenons à remercier est notre promotrice Madame NAIT KACI, pour l'orientation, la confiance, la patience qui a constitué un apport considérable sans lequel ce travail n'aurait pas pu être mené au bon port.

Nous tenons aussi remercier l'équipe de SONATRACH plus précisément Monsieur SOFIANE DAKICHE, Monsieur KOUIDER KERROUM et bien sûr Monsieur ZIANE BOUZIANE pour l'accueil qu'ils nous ont réservé, le temps que chacun nous a accordé, et plus globalement, pour toutes les informations, références bibliographiques, réflexions, corrections... que chacun nous a apporté et qui ont nourrit ce travail.

Notre gratitude se destine également à tous les enseignants du département Génie Industriel de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger pour la qualité de l'enseignement qu'ils nous ont prodigué au cours de ses trois dernières années.

Pour finir, nous tenons à remercier les membres du jury pour avoir pris le temps d'examiner notre travail.

Résumé et mots clés

في إطار سعيها لتنفيذ مشاريعها لتنمية الموارد الجزائرية ، وبهدف توسيع نطاقاتها من المنتجات غير الهيدروكربونية ، أنشأت مجموعة Sonatrach ، بالتعاون مع المجموعة الصينية Citic Construction ، مشروعًا مشتركًا لتنفيذ يهدف إلى إنتاج وتسويق الأسمدة في الجزائر والخارج.

يتمثل هذا العمل في المقام الأول في إعادة تحديد مواقع الوحدات الإنتاجية للمشروع الضخم لتحسين تكاليف النقل ثم إجراء دراسة اقتصادية لمعرفة تأثير التحسين على المؤشرات الاقتصادية المختلفة.

الكلمات المفتاحية: التحسين ، النقل ، وحدات الإنتاج ، تكاليف النقل ، الدراسة الاقتصادية ، المؤشرات الاقتصادية.

Dans le cadre de la poursuite de ses projets de valorisation des ressources de l'Algérie et dans le but d'étendre ses gammes de produits hors hydrocarbures, le groupe Sonatrach a créé, en collaboration avec le groupe chinois Citic construction, une joint-venture afin de réaliser un méga projet intégré de phosphate visant la production et la commercialisation des engrais en Algérie et à l'étranger.

Ce travail consiste à rechercher une meilleure localisation des unités de production du méga projet de manière à optimiser les couts de transport puis, à établir une étude économique afin de voir l'impact de l'optimisation sur les différents indicateurs économiques.

Mots clés :

Optimisation, localisation, unités de production, couts de transport, étude économique, VAN, TRI.

As part of the pursuit of its projects to valorize Algeria's resources and with the aim of extending its ranges of non-hydrocarbon products, the Sonatrach group has created, in collaboration with the Chinese group Citic construction, a joint venture in order to carry out a mega integrated phosphate project aimed for the production and commercialization of fertilizers in Algeria and abroad.

This work consists of seeking for better location of the production units of the mega project in order to optimize transport costs. Then establish an economic study to see the impact of this optimization on the various economic indicators.

Keywords:

Optimization, location, production units, transport costs, economic study, economic indicators.

Table des matières

Liste des Tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale.....	14
Chapitre 1 : Présentation du groupe SONATRACH.....	17
Présentation du groupe SONATRACH :	18
1. Définitions :	18
2. Les principales filiales de SONATRACH :	19
3. Les Directions Fonctionnelles :	19
4. La Direction Stratégie Planification et Economie « DCP-SPE » :	20
4.1. Missions essentielles.....	20
4.2. Organisation.....	20
5. La Direction Etudes Economiques et Modèles :	21
5.1. Missions :	21
5.2. Organisation :	21
6. Le Département Etudes Economiques Activités Connexes :	21
6.1. Missions	21
Chapitre 2 : contexte de l'étude et problématique	23
1. La chaine de valeur des engrais :	25
1.1 Généralités sur les engrais et leur chaine de valeurs :	25
2. Le marché des engrais :	35
2.1. Aperçu du marché des engrais :.....	35
2.2. Tendances clés du marché :.....	35
2.3. La demande des engrais dans le monde :.....	36
2.4. L'offre des engrais dans le monde :	40
2.5. Moteurs de l'offre et de la demande.....	44
3. Description du méga projet de phosphate :	45
3.1. Objectifs & localisation du PP :	46
4. Analyse du projet intégré de phosphate	52
Résultat du diagnostic interne :	58
4.2. Analyse :	58

5. Enoncé de la problématique :	59
Conclusion :	60
Chapitre 3 : Etat de l'art.....	61
Introduction	62
1. La recherche opérationnelle et le problème de localisation :	63
1.1. La recherche opérationnelle :	63
1.2. La Programmation mathématique :	63
2. Critère d'évaluation économique d'un projet d'investissement :	71
2.1. Les principes de capitalisation et d'actualisation :	71
2.2. Les facteurs essentiels à l'évaluation financière d'un projet d'investissement :	72
2.3. Le délai de récupération du capital (DRC) :	74
2.4. La valeur actuelle nette (VAN)	75
2.5. Indice de profitabilité de l'investissement (IPI)	76
2.6. Taux de Rendement Interne (TRI) :	76
Conclusion :	79
Chapitre 4 : Optimisation des couts de transport.....	80
1. Modélisation du projet en blocs :	81
2. Relocalisations des différentes unités de production :	82
2.1. Hypothèses du modèle :	83
2.2. Modélisation mathématique :	83
2.3. Résolution du modèle mathématique et analyse :	86
3. Analyse des résultats et comparaison :	88
3.1. Analyse du schéma optimisé :	88
3.2. Comparaison entre les deux schémas :	89
Chapitre 5 : évaluation économique	90
1. Les données utilisées dans le calcul :	92
1.1. Capex de projet :	92
1.2. Opex de projet :	93
2. Hypothèses et unités de calcul :	95
3. Evaluation de la rentabilité du projet :	96
3.1. Chiffre d'affaire prévisionnel :	96

3.2. Revenu prévisionnel :.....	97
3.3. Les couts opérationnels prévisionnels :.....	97
3.4. Flux de trésorerie opérationnels :.....	98
4. Calcul des indicateurs économiques du projet avant l'optimisations des couts de transports :	102
4.1. La valeur actuelle nette (VAN) :	102
4.2. Le taux de rentabilité interne (TRI) :	103
4.3. L'indice de profitabilité (IP) :.....	103
5. Calcul des indicateurs économiques du projet après l'optimisations des couts de transports :.....	103
6. Comparaison entre le projet avant et après l'optimisation des couts de transports :.....	104
6.1. Le calcul du Taux de rendement interne (TRI) :.....	104
6.2. L'indice de profitabilité (IP) :.....	104
6.3. La Valeur actuelle Nette (VAN) pour comparer deux investissements rentables :	104
Conclusion générale	107
Bibliographie :.....	109
Annexes.....	113

Liste des Tableaux

Tableau 1. Quantités N, P, K dans certains engrais organique.	28
Tableau 2. Quantités N, P, K dans certains engrais inorganiques.....	29
Tableau 3. Les prévisions de la demande mondiale NPK pour l'utilisation d'engrais.	38
Tableau 4. Résultats de l'analyse VRIO et l'impact concurrentiel.	57
Tableau 5. Calendrier CAPEX.....	93
Tableau 6. Taux de conversion des unités	95
Tableau 7. Montée en cadence de la production.....	95
Tableau 8. Paramètres de fiscalité	95

Liste des figures

Figure 1. Organigramme de La Direction Stratégie Planification et Economie « DCP-SPE ».....	20
Figure 2. Les trois nutriments principaux pour les plantes.	26
Figure 3. La production des engrais azotés.....	31
Figure 4. La production des engrais phosphatés.....	32
Figure 5. La production des engrais potassiques.....	33
Figure 6. La taille de marché des engrais par région.....	36
Figure 7. Demande mondiale en azote, phosphore et potassium, pour l'utilisation d'engrais, 2016-2022.....	39
Figure 8. Production totale d'ammoniac avec les dix grands producteurs.....	40
Figure 9. Echange et utilisation d'ammoniac.....	40
Figure 10. Importateurs et exportateurs d'ammoniac dans le monde.	41
Figure 11. Echange d'ammoniac dans le monde.	42
Figure 12. Dix grands producteurs de nitrate dans le monde.....	43
Figure 13. Dix grands producteurs de NPK dans le monde.....	44
Figure 14. Chaîne de valeur d'PIP.....	46
Figure 15. Structure d'actionnaires.....	47
Figure 16. Présentation des actionnaires.....	47
Figure 17. Circulation de flux de produits du PIP.	48
Figure 18. Localisation des unités de production.	49
Figure 19. Description par unité-GISEMENT de PHOSPHATE de Ouad Kebrit.	50
Figure 20. Description par unité-GISEMENT de PHOSPHATE de Hadjar Essoud.	51
Figure 21. Etape de mise en œuvre de la méthode VRIO.....	54
Figure 22. Chaîne de valeur de porter.....	55
Figure 23. Représentation du déroulement des tâches à mener à bien pour résoudre un problème grâce aux techniques de la recherche opérationnelle.	67
Figure 24. Principe de capitalisation et d'actualisation.	71
Figure 25. Représentation graphique du TRI.....	77
Figure 26. Localisation des blocs actuelle.	87
Figure 27. Localisation des blocs optimisée.	88
Figure 28. Chiffre d'affaire prévisionnels.....	96
Figure 29. Revenu prévisionnel.....	97
Figure 30. Coûts opérationnels prévisionnels.....	98
Figure 31. L'excédent brut d'exploitation (EBE).	99
Figure 32. Les dotations aux amortissements.	100
Figure 33. Résultat de l'exploitation.....	100
Figure 34. Impôt sur les bénéfices.	101
Figure 35. Flux de trésorerie opérationnels.	101
Figure 36. Free cash-flows.....	102

Liste des abréviations :

(NH₄)₂SO₄ : Sulfate d'ammonium.

(NH₄)₃PO₄ : Phosphate d'ammonium.

AHF : Fluorure d'hydrogène.

AN : Acide nitrique.

ANDI : Agence nationale de développement de l'investissement.

AP : Acide phosphorique.

AS : Acide sulfurique.

Ca: Calcium.

CaCO₃ : Carbonate de calcium.

CAN: Nitrate de calcium-ammonium.

CAPEX : capital expenditure.

CITIC: The China International Trust Investment Corporation.

DAP : phosphate de di-ammonium.

EBE : Excédent brut d'exploitation.

FAO: food and agriculture organization.

Fe: Fer.

FOB: Free on Board.

H₃PO₄ : Acide phosphorique.

Ha : hectare.

IBS : impôts sur bénéfice.

IDC : Interest during construction.

IP : L'indice de profitabilité.

K : Potassium.

K₂SO₄ : Sulfate de potassium.

KCL : Chlorure de potassium.

Kg : kilo gramme.

KNO₃ : Nitrate de potassium.

KW: kilo watt.

KWh : kilowatt-heure.

MAP : Phosphate de mono-ammonium.

MBTU: Mega British thermal unit.

Mds : milliard de dollar.

Mg : Magnesium.

Mmt : million de tonne métrique.

MT : million de Tonne.

MW : megawatt.

N: Azote.

NA: Nitrate d'ammonium.

NaNO₃ : Nitrate de sodium.

NH₃: Ammoniac.

NM₃ : Normaux mètre cube.

NP : Engrais contenant l'azote et le phosphore.

NPK : Engrais contenant l'azote, le phosphore et le potassium.

OCP : Office chérifien des phosphates.

OCP : Office chérifien de phosphate.

OPEX: operational expenditure.

P: Phosphore.

PIP : projet intégré phosphate.

PIP : Projet intégré de phosphate.

PP : projet phosphate.

Qafco: Qatar Fertiliser Company.

RMB : Renminbi.

S: Souffre.

SIO₂ : Dioxyde de silicium.

SOP : Sulfate de potasse.

SSP : Super phosphate simple.

TAN : Nitrate d'ammonium technique.

TAP : Taxe sur l'activité professionnelle.

TCAC : Taux de croissance annuel composé.

TRI : Le taux de rentabilité interne.

TSP: Super phosphate triple.

USD: United states dollar.

VAN : La valeur actuelle nette.

Introduction générale

Tout comme les humains, les cultures du monde ont besoin de minéraux et de nutriments essentiels pour une croissance forte et saine. L'activité principale de production d'engrais est intimement liée à la productivité agricole et à la production alimentaire. Le rôle des engrais dans la production alimentaire est généralement sous-estimé dans plusieurs pays du monde notamment en Algérie. Ces derniers auront un impact crucial sur les plantes à condition d'être bien exploités, surtout dans un pays comme l'Algérie, connu pour ses richesses en minerais.

La superficie totale de l'Algérie s'élève à 238 millions d'hectares dont 191 millions sont improductifs. La surface agricole est de 8,2 millions d'hectares dont presque la moitié est mise en jachère. Les cultures herbacées couvrent 3,8 millions d'hectares. La polyculture est concentrée dans la riche zone pluvieuse du nord du pays. On y cultive céréales, légumes et fruits et on y pratique l'élevage semi intensif, produisant surtout du lait et de la viande. L'Algérie compte un million d'exploitations dont 70 % ont une surface inférieure à 10 hectares. L'exploitation individuelle prédomine, avec 83 % du nombre total des exploitations occupant un quart de la surface agricole utile. Le pays est riche en ressources naturelles dont deux des principales matières premières nécessaires à la fabrication des engrais, le phosphate naturel et le gaz naturel. La fabrication des engrais azotés et phosphatés satisfait non seulement les besoins du marché intérieur mais permet aussi l'exportation. La gamme des produits fabriqués inclut le nitrate d'ammonium, les superphosphates et les engrais composés binaires et ternaires. La filière des fertilisants est en train d'émerger comme une sérieuse alternative pour permettre à l'Algérie de diversifier son économie en boostant ses exportations hors hydrocarbures.

Depuis la création de SONATRACH, l'Activité Exploration-Production en hydrocarbures est montée en puissance grâce à l'expertise technologique et le savoir-faire des équipes dans la recherche et la découverte de nouveaux gisements sur le territoire national. L'Algérie, de par sa situation géographique et son sous-sol riche en hydrocarbures, dispose d'un vaste domaine minier encore largement inexploité.

Fort de son esprit pionnier, le Groupe poursuit son programme de valorisation des ressources de l'Algérie en s'appuyant sur son expertise dans la recherche, le développement, l'exploitation et la production des produits minéraux. De ce fait, SONATRACH a décidé d'accroître sa production de minerai en développant un partenariat avec le groupe Chinois CITIC construction portant sur l'exploitation et la transformation de phosphates dans la région de Tébessa (Est d'Algérie) afin de pénétrer le marché des produits fertilisants (engrais). Cela en mobilisant un volume d'investissement d'environ 6 Mds USD, la mise en exploitation du projet est prévue en 2022. La concrétisation de ce projet permettrait à SONATRACH d'augmenter la production de minerai de 2 M tonnes/an à 10 M tonnes/an. Suite à l'accord conclu en novembre 2018 qui précise les termes de référence relatifs au développement d'un partenariat à travers la création, en Algérie, d'une société conjointe pour la réalisation de ce grand projet, la partie algérienne détient 51% contre 49% pour la partie chinoise.

L'objectif principal de ce travail consiste à optimiser les coûts de transport à travers une relocalisation des unités de production du projet intégré de phosphate grâce à une étude économique basée sur l'optimisation du réseau de transport.

Ainsi, le premier chapitre qui porte une présentation générale du groupe SONATRACH, ses activités principales, ses principales filiales et ses directions fonctionnelles, particulièrement, la Direction Stratégie Planification et Economie « DCP-SPE » et ses départements.

Dans le deuxième chapitre, nous allons nous concentrer tout d'abord sur la chaîne de valeur des engrais en expliquant quelques généralités sur les engrais en introduisant la fertilisation, les éléments essentiels à la nutrition des plantes et les types d'engrais. Ensuite, nous aurons un aperçu sur le marché des engrais, ses tendances clés ainsi que l'offre et la demande des engrais dans le monde. En plus, nous entamerons la description du méga projet phosphate (PIP) ou nous allons présenter le projet intégré phosphate en détaillant les différents concepts : objectifs du projet phosphate, la structure des actionnaires, la circulation de flux depuis les inputs, en passant par les en-cours jusqu'aux produits finaux avec la cartographie du projet. Enfin, nous établirons une analyse concernant le diagnostic interne du projet PIP. Ceci nous permettra de mettre en avant les points liés à l'environnement interne de ce projet aussi, d'identifier les éléments positifs et négatifs. A la fin de ce chapitre, nous énoncerons la problématique en se basant sur l'ensemble des analyses et le diagnostic effectués auparavant.

Afin d'éclaircir nos travaux pratiques, nous mettrons un troisième chapitre où nous présenterons toutes les connaissances relatives à la recherche opérationnelle et l'évaluation économique d'un projet d'investissement pour traiter les différentes questions relatives à notre problématique.

Le quatrième chapitre est consacré à l'optimisation des coûts de transport à travers la relocalisation des différentes unités de production en utilisant les principes de la recherche opérationnelle afin de modéliser mathématiquement notre problème.

Enfin, le dernier chapitre comportera l'évaluation économique du projet phosphate. Dans cette partie nous allons appliquer les méthodes de base utilisées pour une évaluation d'un projet d'investissement, telles que la méthode de la valeur actuelle nette, l'indice de profitabilité, et le taux interne de rentabilité afin de voir les effets de l'optimisation des coûts de transports sur ces indicateurs économiques.

Chapitre 1 : Présentation du groupe SONATRACH

Présentation du groupe SONATRACH :

1. Définitions :

SONATRACH est une compagnie nationale algérienne de recherche, d'exploitation, de transport par canalisation, de transformation et de commercialisation des hydrocarbures et de leurs dérivées. Elle a pour but de valoriser de façon optimale les ressources nationales d'hydrocarbures et de créer des richesses au service du développement économique et social du pays.

La société SONATRACH représente un acteur majeur dans le domaine du pétrole et du gaz. La SONATRACH est aujourd'hui la première compagnie d'hydrocarbures en Afrique et en Méditerranée. Elle effectue ses activités dans quatre principaux domaines l'Amont, l'Aval, le Transport par Canalisation et la Commercialisation.

SONATRACH est une entreprise publique algérienne, créée en 1963 pour exploiter les Ressources des hydrocarbures du pays. Ses activités diversifiées touchent toute la chaîne de production ; l'exploration, exploitation, transport, raffinage. Elle s'est diversifiée dans la pétrochimie et le dessalement d'eau de mer. SONATRACH est la première entreprise d'Algérie concernant la taille et en création de ressources. L'entreprise qui emploie environ 50 000 salariés (120 000 avec ses filiales), produit à elle seule environ 30% du PIB de l'Algérie. Son chiffre d'affaires atteint les 61,2 milliards de dollars, mais dès la fin de 2014, son chiffre commence à diminuer à cause de la baisse des cours brut du pétrole. Cependant, Sonatrach représente le 12^{ème} groupe au niveau mondial, et le 2^{ème} exportateur de GNL (gaz naturel liquéfié) et de GPL (gaz de pétrole liquéfié) et 3^{ème} exportateur de gaz naturel. SONATRACH veut aujourd'hui s'afficher sur les cinq continents en relevant les défis de la Mondialisation. La politique de responsabilité sociale et du développement durable de l'entreprise est déjà à l'œuvre, elle s'accompagne d'une profonde mutation de ses structures et d'une très grande motivation des hommes. La SONATRACH a réussi d'intégrer les nouvelles technologies, à asseoir une présence prouvée et fiable sur les marchés internationaux des hydrocarbures liquides et gazeux et à capitaliser son expérience du partenariat avec les compagnies internationales de tailles et d'origines géographiques différentes. La société SONATRACH a participé dans plusieurs projets avec différents partenaires en Amérique Latine et en Europe. Elle s'est investie dans d'autres domaines économiques notamment les mines, la génération électrique, l'eau, le transport aérien et maritime...etc. Aujourd'hui, la société SONATRACH s'affirme non seulement comme un Groupe international à vocation pétrolière et gazière, mais comme une compagnie solidaire, responsable et citoyenne. Elle s'est engagée en faveur du développement économique, social et culturel des populations ; elle s'est fixée des priorités incontournables en matière du développement durable en pratiquant la politique de HSE¹.

1 SOURCE : document interne de SONATRACH.

2. Les principales filiales de SONATRACH :

La société SONATRACH contient 154 filiales et participations à l'échelle nationale et internationale. 105 sociétés se trouvent en Algérie et 49 autres à travers le monde, tel qu'au Pérou, en Angleterre, en Espagne, au Mali, au Niger, etc².

Les principales filiales de SONATRACH sont :

- ENAFOR (Réalisation d'opérations de forage)
- ENAGEO (Réalisation des prospections géophysiques)
- ENSP (Réalisation de services aux puits)
- ENTP (Forage et Work over de puits hydrocarbures)
- ENGTP (Etudes et réalisation d'installations Industrielles)
- GCB (Génie Civil et Bâtiment)
- ENAC (Engineering, Construction & Pose de canalisations)
- SAFIR (Engineering et réalisation d'unités industrielles)
- NAFTAL, (Commercialisation et de Distribution des Produits Pétroliers)
- HYPROC SC (Shipping)
- Tassili Airlines (Transport aérien)

3. Les Directions Fonctionnelles :

Élaborent et veillent à l'application des politiques et stratégie du Groupe. Elles fournissent l'expertise et l'appui nécessaires aux Activités Opérationnelles du Groupe. Elles sont organisées en trois (03) Directions Corporates et huit (8) Directions Centrales et, à savoir :

a) - Les Directions Corporate :

- Direction Ressources Humaines « DCP-RHU »,
- La Direction Stratégie Planification et Economie « DCP-SPE »,
- La Direction Finances « DCP-FIN »,

b) - Directions Centrales :

- La Direction Juridique « DC-JUR »
- La Direction digitalisation et System d'Information « DC-DSI »
- La Direction Hygiène, Sécurité et Environnement « DC-HSE »
- La Direction Recherche et développement « DC-RD »

Les activités internationales sont, pour leur part, organisées sous la forme d'un Holding International, Sonatrach International Holding Corporation (SIHC) chargé de l'élaboration et de l'application de la politique et de la stratégie de développement et d'expansion en international.

² SOURCE : document interne de SONATRACH.

4. La Direction Stratégie Planification et Economie « DCP-SPE » :

4.1. Missions essentielles

La Direction Corporate Stratégie, Planification et Economie a pour missions essentielles :

- L'animation du processus de formulation, d'adoption et de suivi de la mise en œuvre de la stratégie de la Société ;
- La réalisation, sur base périodique, d'études sur le positionnement des concurrents, partenaires et clients de SONATRACH ;
- L'élaboration des études économiques des projets de la Société ;
- L'élaboration, le suivi et la mise en œuvre d'un système d'évaluation économique du portefeuille de la Société en Algérie et à l'étranger ;
- L'élaboration des normes et standards en matière d'évaluation économique, leur diffusion et le contrôle de leur mise en œuvre ;
- Le développement, en relation avec les institutions universitaires et les organismes spécialisés, de nouvelles méthodes, en termes d'évaluation économique et d'optimisation de portefeuille³ ;

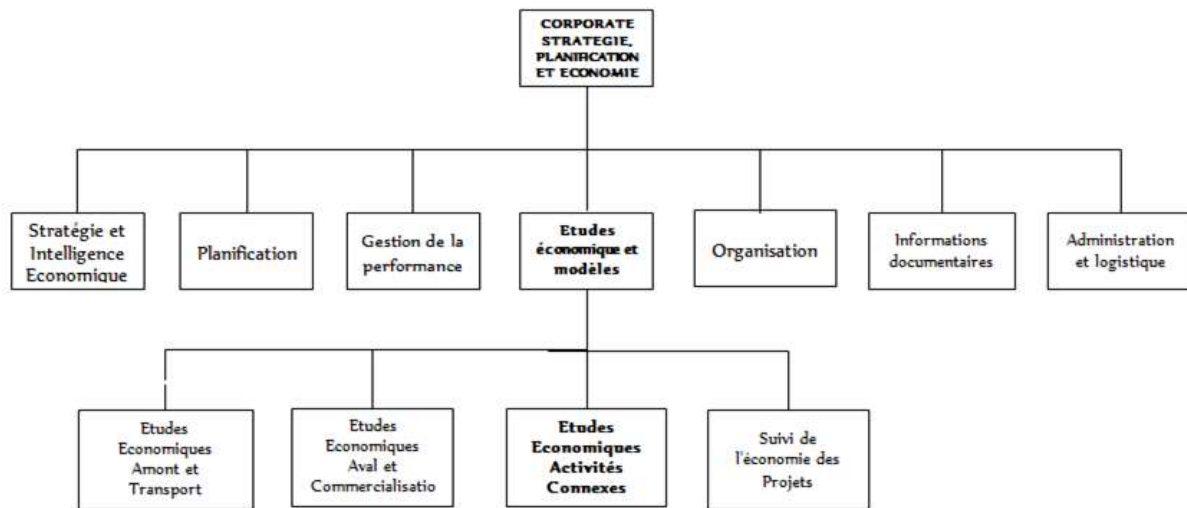


Figure 1. Organigramme de La Direction Stratégie Planification et Economie « DCP-SPE ».

4.2. Organisation

La Direction Corporate Stratégie, Planification et Economie est organisée comme suit :

- Une Direction Stratégie et Intelligence Economique
- Une Direction Planification
- Une Direction Gestion de la Performance

³ SOURCE : document interne de SONATRACH.

- Une Direction Etudes Economiques et Modèles
- Une Direction Organisation
- Une Direction Informations Documentaires
- Un Département Administration et Logistique
- Des Conseillers⁴

5. La Direction Etudes Economiques et Modèles :

5.1. Missions :

La Direction Etudes Economiques et Modèles a pour missions essentielles :

- La réalisation de toutes les études économiques et l'assistance aux structures de la Société, en la matière ;
- La réalisation des études économiques spécifiques commandées par la Direction Générale.
- La participation à la réalisation des études d'opportunité des projets de la Société, de maturation et des études économiques de projets⁵ ;

5.2. Organisation :

La Direction Etudes Economiques et Modèles est organisée comme suit :

- Un Département Etudes Economiques Amont et Transport ;
- Un Département Etudes Economiques Aval et Commercialisation ;
- Un Département Etudes Economiques Activités Connexes ;
- Un Département Suivi de l'économie des Projets⁶.

6. Le Département Etudes Economiques Activités Connexes :

6.1. Missions

Le Département Etudes Economiques Activités Connexes a pour missions :

- La réalisation des évaluations économiques des projets relevant des activités de la Société dans le domaine des énergies renouvelables, de l'industrie (fabrication / construction / montage de pièces, métallurgie / sidérurgie, gaz industriels, etc.) ;
- Le suivi de certaines activités externes comme le dessalement d'eau de mer et les mines ;
- La participation à la réalisation des études d'opportunités dans le domaine des énergies nouvelles, de la prospection jusqu'à la commercialisation ;
- L'assistance aux structures de la Société dans la réalisation des évaluations économiques des projets connexes aux hydrocarbures ;
- La réalisation et/ou la participation aux études d'opportunités de prises de participation ;
- Le développement de banques de données sur les paramètres économiques des activités connexes aux hydrocarbures ;

⁴ SOURCE : document interne de SONATRACH.

⁵ SOURCE : document interne de SONATRACH.

⁶ SOURCE : document interne de SONATRACH.

- La réalisation des études économiques spécifiques commandées par la Direction Générale⁷.

⁷ SOURCE : document interne de SONATRACH.

Chapitre 2 : contexte de l'étude et problématique

Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons en premier lieu introduire quelques concepts importants dans le cadre de l'étude du projet intégré de phosphate (PIP) à savoir la chaîne de valeur des engrais où nous allons détailler le processus de fabrication des différents engrais commerciaux et le marché de ces derniers où nous allons présenter ses tendances clés et ses aspects ainsi que la variation de l'offre et la demande et la fluctuation des prix.

Nous allons aussi faire une description du PIP, en abordant ses différents objectifs, sa structure d'actionnaires, son périmètre, son bilan des matières ainsi que son plan de production afin de faciliter la deuxième partie qui représente une analyse du PIP à travers un diagnostic interne.

1. La chaine de valeur des engrais :

1.1 Généralités sur les engrais et leur chaine de valeurs :

Avec une population en pleine croissance, qui devrait dépasser les 9,5 milliards de personnes d'ici 2050, les engrais sont devenus des ingrédients clés pour la nutrition.

Aujourd'hui, la moitié des aliments cultivés autour du monde sont grâce à l'utilisation des engrais. En effet, les agriculteurs continuent de compter sur ces derniers pour augmenter le rendement et améliorer la production afin de produire plus de nourriture.

Les engrais jouent un rôle essentiel pour fertiliser le sol et apporter assez de nutriments (azote, phosphore et potassium) pour les plantes afin de pousser dans les meilleures conditions.

1.1.1. La fertilisation :

La fertilisation est un processus qui consiste à apporter au sol les éléments minéraux nécessaires pour le développement de la plante.

1.1.2. Les engrais :

Les engrais sont des substances organiques ou minérales, ils ont pour mission principale l'amélioration des rendements des plantes et de leurs croissances à travers les différents compléments nutritifs qu'elle apporte au sol.

1.1.3. Les éléments essentiels à la nutrition des plantes :

Durant la période de croissance, toutes les plantes ont besoin de 17 différents éléments essentiels pour atteindre leur plein potentiel génétique. De ces 17 éléments, 14 sont absorbés à travers le sol, tandis que les trois autres proviennent de l'air et de l'eau.

Plusieurs années d'études pédologiques ont permis d'acquérir des connaissances sur la façon de tester les niveaux d'éléments nutritifs dans le sol, sur la façon dont les plantes les absorbent et sur la meilleure façon de remplacer ces éléments nutritifs après la récolte. C'est là que le rôle des engrais entre en jeu (Jacquot, 1983).

1.1.3.1. Les fonctions des éléments primaires (N P K)

L'azote, le phosphore et le potassium, ou les NPK, sont les principaux nutriments « Big 3 » des engrais commerciaux. Chacun de ces nutriments fondamentaux joue un rôle clé dans la nutrition des plantes.

L'azote(N) :

L'azote est considéré comme le nutriment le plus important puisque les plantes absorbent plus l'azote que tous les autres éléments. L'azote est essentiel pour s'assurer que les plantes sont saines au fur et à mesure qu'elles se développent et qu'elles sont nutritives après leur récolte.

Les protéines constituent la plupart des tissus des êtres vivants et puisque l'azote contribue énormément à la formation de ces dernières, on peut dire qu'il est indispensable (Jacquot, 1983).

Le phosphore(P) :

Le deuxième du "Big 3", le phosphore, est lié à la capacité d'une plante à utiliser et à stocker de l'énergie, y compris le processus de photosynthèse. Il est également nécessaire pour aider les plantes à croître et à se développer normalement. Le phosphore dans les engrais commerciaux provient souvent de la roche phosphatée (Jacquot, 1983).

Le potassium(K) :

Le potassium est le troisième élément nutritif clé des engrais commerciaux. Il aide à renforcer la capacité des plantes à résister aux maladies et joue un rôle important dans l'augmentation du rendement et de la qualité globale. Le potassium protège également la plante lorsque le temps est froid ou sec, renforçant son système racinaire et prévenant la flétrissure. La figure ci-dessous représente les trois éléments nécessaires aux plantes "big 3" (Jacquot, 1983).

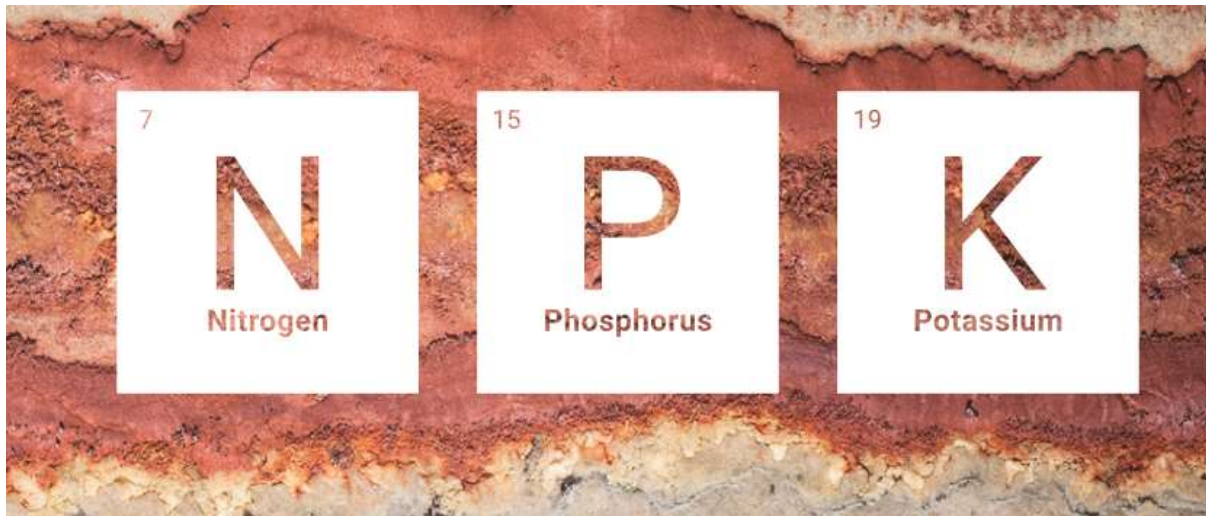


Figure 2. Les trois nutriments principaux pour les plantes.

1.1.3.2. Les fonctions des éléments secondaires :

A côté de ces trois éléments essentiels pour la croissance des plantes, de nombreux éléments et oligo-éléments présents sous forme de traces, ont aussi une importance primordiale pour le développement et la santé des végétaux. Quelques éléments de biologie et de biochimie permettent de mieux comprendre leur rôle (Jacquot, 1983).

Le magnésium (Mg) :

Cet élément est l'un des constituants de la chlorophylle et joue par conséquent un rôle essentiel dans la photosynthèse. Ce rôle métabolique du magnésium est important, mais en général,

le sol est suffisamment riche naturellement en cet élément pour combler les besoins des plantes⁸. Le magnésium est classiquement incorporé dans les engrais spécifiques pour les rosiers et de plus en plus souvent pour les légumes (formule NPK+ Mg).

Le calcium (Ca) :

Là-aussi, les quantités nécessaires de calcium pour assurer les besoins métaboliques des végétaux sont facilement assurés par sa présence naturelle dans le sol. On apporte en général du calcium dans le sol pour améliorer sa structure ou modifier son acidité (pouvoir tampon du calcium)⁹.

Le Fer (Fe) :

C'est un élément dont la carence a des effets bien connus, qui consistent en un jaunissement de la plante (chlorose ferrique). Cette carence est due à un blocage de l'assimilation du fer dans les sols riches en calcaire actif, avec un pH élevé. On peut corriger ces carences par l'apport de fer chélate. Les plantes qui montrent des chloroses chroniques devraient être cultivées en pot dans les régions où le sol n'est pas adapté¹⁰.

Le soufre (S) :

Le soufre est un constituant important des acides aminés et des protéines, et il joue également un rôle important dans l'assimilation des vitamines par les végétaux. Il est aussi responsable de l'odeur et du goût de certaines plantes ou légumes (ail, oignon, chou). Le soufre est essentiellement assimilé par les végétaux à partir des sulfates. Il est en général peu retenu par les sols et doit être apporté en complément. On le trouve notamment dans les fumiers ou dans les engrais minéraux, sous la forme de sulfate d'ammoniaque, de super sulfate de chaux simple ou de sulfate de potasse (qui apporte également du potassium)¹¹.

⁸ Source : <https://www.fertilizerseurope.com/fertilizers-in-europe/types-of-fertilizer/>

⁹ Source : <https://www.fertilizerseurope.com/fertilizers-in-europe/types-of-fertilizer/>

¹⁰ Source : <https://www.fertilizerseurope.com/fertilizers-in-europe/types-of-fertilizer/>

¹¹ Source : <https://www.fertilizerseurope.com/fertilizers-in-europe/types-of-fertilizer/>

1.1.3.3. Les oligo-éléments :

Le cuivre, le bore, le zinc, le molybdène ou le manganèse sont également des éléments importants pour les équilibres métaboliques des végétaux. Ces éléments sont nécessaires en très petites quantités, et la plupart du temps, ils sont présents dans le sol ou dans l'eau de façon suffisante pour subvenir aux besoins des plantes (Jacquot, 1983).

1.1.4. Les types d'engrais :

On distingue principalement deux types : les engrais organiques et les engrais chimiques (engrais inorganiques).

1.1.4.1. Les engrais organiques :

Les engrais organiques libèrent des nutriments au fur et à mesure qu'ils se décomposent, ce qui améliore la qualité du sol et sa capacité de rétention de l'eau et des nutriments.

Avec le temps, ils rendent le sol et les plantes plus sains. Les engrais organiques comportent peu de risques de surdose de produits chimiques toxiques, mais ils nécessitent une décomposition des microorganismes pour libérer des nutriments, ce qui limite leur efficacité saisonnière et donc augmente le temps qu'ils prennent pour nourrir les plantes¹².

Quelques exemples d'engrais organiques : le fumier, le compost, les résidus de récolte. Le tableau ci-dessous représente la quantité des NPK dans certains engrais.

Tableau 1. Quantités N, P, K dans certains engrais organique.

Engrais	%N	%P	%K
Fumier de vache	0.4	0.1	0.4
Fumier de bœuf	0.6	0.1	0.7
Fumier de cheval	0.6	0.1	0.5
Fumier de porc	0.4	0.1	0.5
Fumier de poule	1.0	0.4	0.6
Fumier de lapin	2.4	0.5	0.05
Fumier de chauve-souris	10.0	13.0	2.0
Déchets	1.0	1.0	1.0
Plumes	8.0	0.0	0.0
Cendre de bois	0.0	0.5	10.0

¹² Source : <https://lewebpedagogique.com/classesbilingueslpb/files/2018/06/Le%C3%A7on-34.pdf>

1.1.4.2. Les engrais inorganiques :

L'industrie des engrais transforme des millions de tonnes de matières premières naturelles (l'air, le gaz naturel et les minerais extraits) en produits de nutrition végétale. Les produits à base d'azote constituent de loin le groupe d'engrais le plus important, suivis des engrais à base de phosphore et de potassium.

Les engrais inorganiques sont entièrement artificiels et fabriqués à des doses exactes. Ils sont une source de nourriture presque parfaite pour les plantes, par contre ils n'apportent rien au sol, limitant leur efficacité à long terme. Il existe également un risque de surdosage toxique de produits chimiques dans le sol, affectant potentiellement tout fruit ou légume en croissance. Le tableau ci-dessous représente la quantité des NPK dans certains engrais inorganiques¹³.

Tableau 2. Quantités N, P, K dans certains engrais inorganiques

Engrais	%N	%P	%K
$(NH_4)_2SO_4$	20.5	0	0
$NaNO_3$	15.0	0	0
$(NH_4)_3PO_4$	11.0	48.0	0
$Mg(NH_4)PO_4$	7	40.0	6.0
K_2SO_4	0	0	48.0
KNO_3	0	0	46.0

1.1.4.2.1. Classification des engrais inorganiques :

Selon leur composition en azote, phosphore et potassium, on distingue :

Les engrais simples : Ils ne sont le plus souvent composés que d'un seul des trois éléments (azote, phosphore ou potasse) et leur utilisation concerne donc des cas précis de carences propres à l'élément chimique choisi. La fertilisation par engrais simple est généralement associée à d'autres produits (Jacquot, 1983).

Les engrais composés : Ils rassemblent deux ou trois des éléments (N, P et K). Ils offrent une couverture complète. Cependant, il est conseillé d'associer des engrais organiques aux engrais NPK, pour des apports nutritifs complémentaires (Jacquot, 1983).

¹³ Source : <https://lewebpedagogique.com/classesbilingueslpb/files/2018/06/Le%C3%A7on-34.pdf>

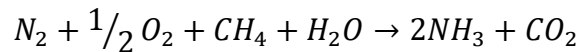
1.1.4.2.2. Les types d'engrais inorganiques(chimiques) :

Les Engrais azotés(N) :

Les engrais azotés sont parmi les engrais simples les plus utilisés au monde. Les principaux produits sont les engrais à base de nitrate tels que le nitrate d'ammonium (NA), le nitrate de calcium-ammonium (CAN), le nitrate d'ammonium technique (TAN) et l'ammoniac.

D'autres engrais azotés simples sont à base de sulfate d'ammonium, nitrate de calcium, nitrate de sodium, nitrate chilien et d'ammoniac anhydre.

L'ammoniac (NH₃) est produit par la réaction de l'azote (N) de l'air avec de l'hydrogène (H) provenant du gaz naturel. Cela se passe à haute pression et température. Tout cela se résume à travers l'équation suivante :



L'ammoniac est stocké sous forme liquide sous pression ou réfrigéré. Pour faciliter sa manipulation, il est souvent converti dans d'autres types d'engrais.

L'acide nitrique (AN) est produit à partir d'un mélange d'ammoniac et d'air. Ensuite, l'acide nitrique concentré et l'ammoniac gazeux sont mélangés dans un réservoir pour produire le nitrate d'ammonium et cela est dû grâce à une réaction de neutralisation.

Le nitrate de calcium-ammonium (CAN) est produit en ajoutant le Carbonate de calcium (CaCO₃) au nitrate d'ammonium (NA).

Le Nitrate d'ammonium technique (TAN) est produit à partir du traitement du nitrate d'ammonium¹⁴. On peut résumer le procédé de production des engrais azotés dans la figure ci-dessous :

¹⁴ Source : <https://fertilisation-edu.fr/production-ressources/engrais-azotes.html>

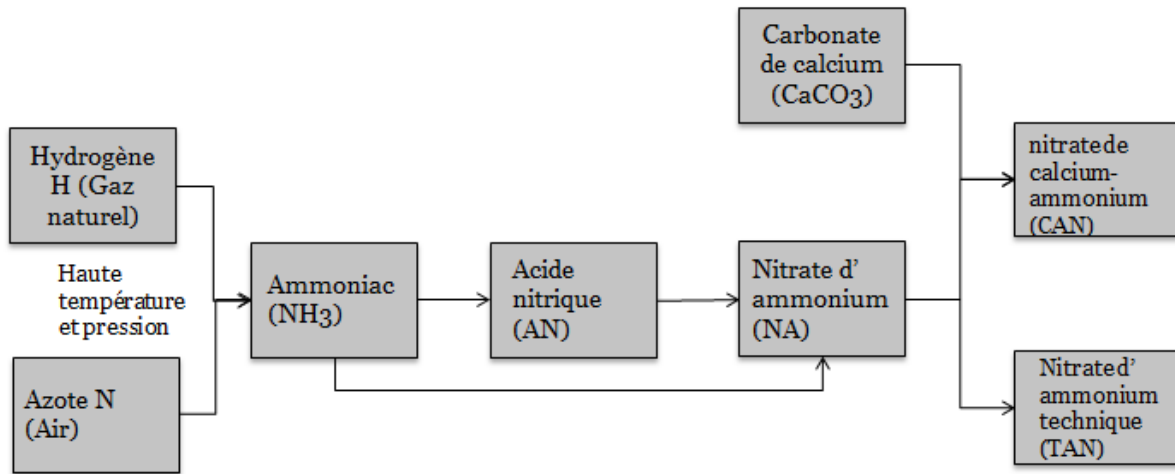


Figure 3. La production des engrais azotés

Les engrais phosphatés :

Les engrais phosphatés les plus courants sont le superphosphate simple (SSP), le superphosphate triple (TSP), le phosphate de mono-ammonium (MAP), le phosphate de di-ammonium (DAP) et le poly phosphate liquide d'ammonium.

Le phosphate naturel est la matière première la plus utilisée pour fabriquer la plupart des engrais phosphatés commerciaux.

Dans le passé, le phosphate naturel moulu lui-même a été utilisé comme source de P pour les sols acides. Cependant, il est très peu utilisé en agriculture en raison de la faible disponibilité de P dans cette matière native sans oublier les coûts de transport élevés¹⁵.

La production des engrais phosphatés commence très souvent par la production de l'acide phosphorique (H₃PO₄).

L'acide phosphorique est produit par voie sèche ou humide.

Dans le processus sec, un four électrique traite le phosphate naturel. Ce traitement produit un acide phosphorique très pur et plus cher, souvent appelé acide blanc ou acide de four, principalement utilisé dans l'industrie alimentaire et chimique.

Les engrais qui utilisent de l'acide phosphorique blanc comme source de P sont généralement plus chers en raison du processus de traitement coûteux.

¹⁵ Source : <http://guichon-vannes.com/faqs/engrais-phosphates-process-de-fabrication-des-engrais-phosphates/>

Dans une unité à procédé humide, l'acide phosphorique est produit par l'action de l'acide sulfurique sur le minerai phosphaté naturel. Cela va former aussi du sulfate de calcium insoluble qui est séparé par filtration pour récupérer le gypse.

Le P dans cet acide est présent à la fois sous forme d'ortho-phosphate et de polyphosphate. Les poly-phosphates sont constitués d'une série d'ortho-phosphates chimiquement réunis. Au contact des sols, les polyphosphates redeviennent des ortho-phosphates.

L'ammoniac peut être ajouté à l'acide super-phosphorique pour créer des matières liquides ou sèches contenant à la fois de l'azote (N) et du P.

Lorsque l'ammoniac est ajouté à de l'acide phosphorique qui n'a pas été chauffé, il produit du phosphate de mono-ammonium (MAP) ou du phosphate de di-ammonium (DAP), selon le rapport du mélange. Le P présent dans ces deux engrais est sous forme ortho-phosphate. On peut résumer le procédé de production des phosphatés azotés dans la figure ci-dessous¹⁶.

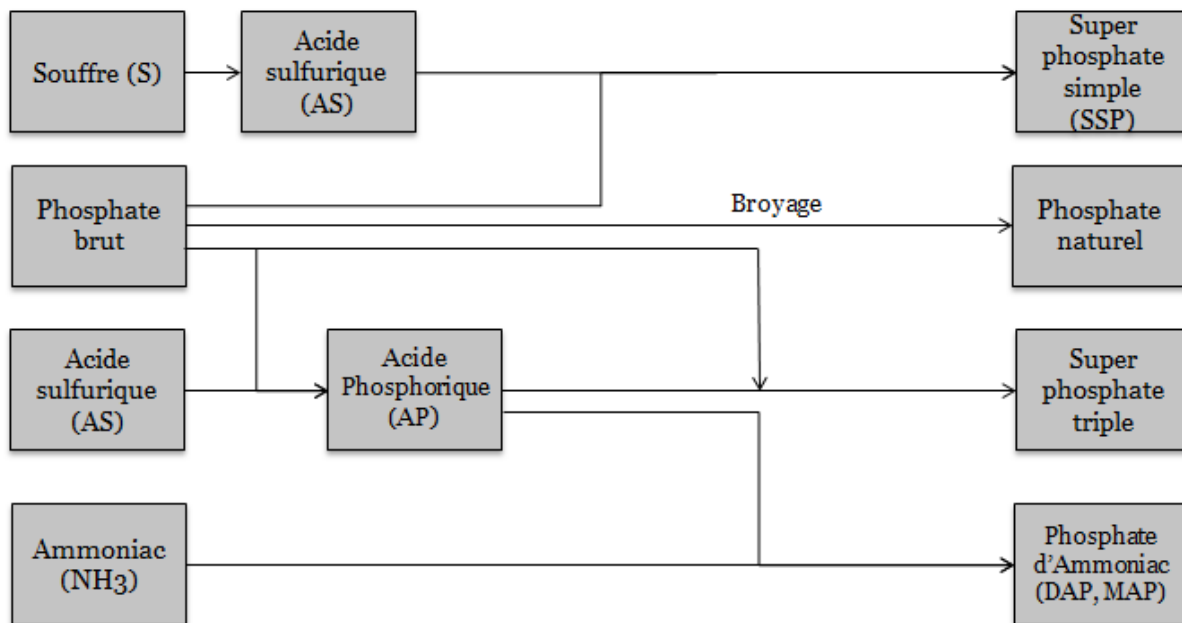


Figure 4. La production des engrais phosphatés

Les engrais potassiques (K) :

Le potassium est également disponible dans une gamme d'engrais qui ne contiennent que du potassium ou deux ou plusieurs nutriments. Ils comprennent le chlorure de potassium (KCl), le sulfate de potassium (K₂SO₄) ou le sulfate de potasse (SOP), le nitrate de potassium (KNO₃), connu sous le nom de KN.

¹⁶ Source : <https://fertilisation-edu.fr/production-ressources/engrais-phosphates.html>

Les différents minerais renfermant du potassium sont :

Sylvinite : mélange de chlorure de potassium et de chlorure de sodium.

Hartsalz : mélange de sylvinite et de kiesérite (espèce hydratée de sulfate de magnésium). On le rencontre surtout dans les mines allemandes

La **kiesérite** ou **kieserite** est une espèce minérale, assez rare et instable à l'air ambiant, de sulfate de magnésium

Le **chlorure de potassium**, obtenu par des procédés physiques est un sel pratiquement pur dosant environ 60% d'oxyde de potassium.

Le chlorure de potassium convient à tous les sols et à la plupart des cultures.

Le **sulfate de potassium**, dosant 50% d'oxyde de potassium, est obtenu par action de l'acide sulfurique sur le chlorure de potassium ou par échange d'ions entre sulfate de magnésium (kiesérite) et chlorure de potassium. Il est qualifié d'« engrais pauvre en chlore ». Il s'impose pour le tabac, sensible à la présence de chlore. On peut résumer le procédé de production des potassiques azotés dans la figure ci-dessous¹⁷.

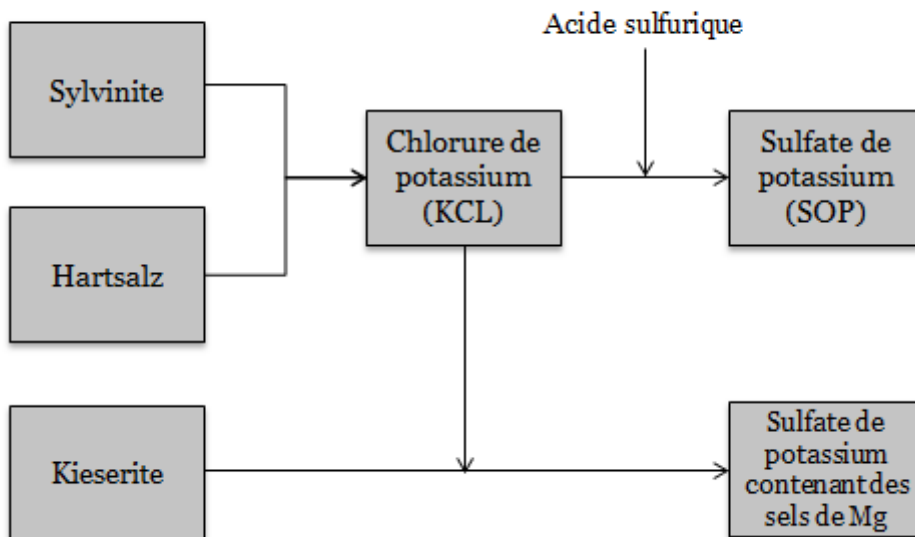


Figure 5. La production des engrais potassiques

¹⁷ Source : <https://fertilisation-edu.fr/production-ressources/engrais-potassiques.html>

Les engrais de calcium, magnésium et de soufre :

Le calcium (Ca), le magnésium (Mg) et le soufre (S) sont des nutriments secondaires essentiels pour les plantes. Ils ne sont généralement pas appliqués comme engrais simples mais en combinaison avec les nutriments primaires N, P et K.

Le soufre est souvent ajouté aux engrais N simples tels que le nitrate d'ammonium ou l'urée. Les autres sources de soufre sont le superphosphate unique (SSP), le sulfate de potassium (SOP) et le sulfate de potassium et de magnésium, ce dernier contenant également du magnésium.

La kiesérite est un minéral de sulfate de magnésium qui est extrait et également utilisé comme engrais dans l'agriculture, principalement pour corriger les carences en magnésium. Le calcium est principalement appliqué sous forme de nitrate de calcium, de gypse (sulfate de calcium) ou de dolomite (carbonate de calcium)¹⁸.

1.1.4.2.3. Grade des engrais :

Le grade des engrais fait référence au pourcentage minimum garanti d'azote (N), de phosphore (P) et de potasse (K) contenu dans l'engrais.

Les nombres représentant la note sont séparés par des tirets et sont toujours indiqués dans la séquence N, P et K.

Par exemple, une qualité 12-32-16 d'engrais complexe NPK indique la présence de 12% d'azote (N), 32% de phosphore (P₂O₅) et 16% de potasse (K₂O).

¹⁸ Source : <https://www.yara.fr/fertilisation/blog/calcium-magnesium-soufre-corriger-carences/>

2. Le marché des engrais :

Introduction :

La population mondiale augmente à un rythme très rapide. En conséquent, cette population croissante augmente à son tour la demande alimentaire et le fait de satisfaire cette demande est devenu une menace.

En revanche, les terres arables sont en déclin, du fait de l'industrialisation et de l'urbanisation. Les engrais sont utilisés depuis longtemps pour augmenter la productivité des cultures. La FAO, a révélé dans « The Resource Outlook to 2050 », qu'à cette époque, plus de 1,5 milliard d'hectares de la surface terrestre du globe (environ 12%) sont utilisés pour la production agricole Il y a peu de possibilités d'expansion de nouvelles terres agricoles. Les terres arables par personne ont diminué de 1,5% de 1970 à 2009. Les terres arables existantes subissent des pressions pour produire plus de nourriture en utilisant des engrais technologiquement avancés de manière durable. Le marché mondial des engrais est segmenté par type (engrais simples et complexes), par type de culture (céréales et céréales, légumineuses et oléagineux, cultures commerciales, fruits et légumes et autres types de cultures) et par géographie.

2.1. Aperçu du marché des engrais :

Le marché mondial des engrais s'élève à 155,8 milliards de dollars en 2019 et devrait enregistrer un TCAC de 3,8% au cours de la période de prévision (2019-2024). En 2018, l'Asie-Pacifique était le plus grand segment géographique du marché étudié et représentait une part d'environ 60% du marché global. L'industrie des engrais a été fortement mise à l'épreuve en 2016. Elle a été confrontée à une demande mondiale de nutriments inégale, à de faibles perspectives économiques, à une baisse des prix des cultures, à une concurrence accrue sur le marché et à une volatilité des prix de l'énergie. Cette combinaison a créé une forte incertitude sur le marché des engrais tout au long de l'année.

Depuis 2012, un ralentissement soutenu de la consommation mondiale d'engrais, conjugué à une baisse des prix des récoltes, principalement aux États-Unis et en Asie-Pacifique, a rendu difficile le maintien d'une croissance régulière. Les principales innovations technologiques de l'industrie, ainsi que la demande croissante d'engrais bio sources et de micronutriments, devraient stimuler le marché. Cependant, les contraintes réglementaires et environnementales et les coûts de production élevés sont susceptibles de constituer des inconvénients dans l'industrie¹⁹.

2.2. Tendances clés du marché :

Le marché des engrais est consolidé et les dix principaux acteurs constituent une part importante, tandis que les autres entreprises d'engrais représentent la plus petite part de marché, sur la base des revenus globaux du marché des engrais en 2019. Les entreprises du marché investissent massivement dans le développement des produits, en particulier dans le segment des engrais complexes. Le marché s'oriente également vers l'utilisation de solutions personnalisées pour des cultures et des régions spécifiques. Les principaux acteurs du marché sont Yara International ASA,

¹⁹ Source : https://www.theexpresswire.com/pressrelease/Global-Fertilizer-Market-2020-2024-Industry-Analysis-by-Growth-Potential-Types-Applications-Rising-Trends-and-Forecast-to-2024-Industry-Researchco_10660317

The Mosaic Company, Nutrien Limited, K + S AG et Groupe OCP. La figure ci-dessous montre la taille de marché des engrais par région.



Figure 6. La taille de marché des engrais par région.

Yara International est le leader du marché, en termes de part de marché, des engrais à micronutriments. La société prévoit d'investir davantage et investit environ 330 millions de dollars au Brésil. Les grandes entreprises se concentrent sur la R&D, les lancements de produits et une stratégie d'acquisition agressive. Au cours des dernières années, Valagro a été l'acteur le plus actif, en termes de développement stratégique, sur le marché mondial des micronutriments (FAO, 2019).

2.3. La demande des engrais dans le monde :

En Afrique au sud du Sahara, le taux d'application d'engrais ne représente en moyenne que 10 kilogrammes (kg) de nutriments par hectare (ha) de terres arables, par rapport à 86 kg / ha en Asie du Sud, 118 kg / ha en Amérique latine et 198 kg / ha dans un pays à revenu intermédiaire moyen. Compte tenu du rôle central que l'agriculture joue dans l'économie rurale de l'Afrique, plusieurs pays ont mis en place des politiques et programmes axés sur la demande pour promouvoir l'utilisation durable des engrais, avec des résultats mitigés (FAO, 2019).

Asie-Pacifique représente 60% du marché des engrais. L'Asie du Sud et l'Asie de l'Est sont les principaux consommateurs d'engrais en Asie. En 2015, la part de l'Asie dans la consommation mondiale d'azote était de 60%, la Chine représentant environ la moitié de cette consommation. En Asie, le riz est une grande culture consommatrice d'azote. En raison de l'inquiétude croissante concernant le modèle actuel d'utilisation des engrais, la forte dépendance à l'égard des engrais azotés, couplées à une mauvaise gestion nutritionnelle, au manque d'intrants complémentaires, à la baisse de la fertilité des sols et à la faiblesse des systèmes de commercialisation et de distribution, sont apparues comme des obstacles majeurs à l'amélioration d'efficacité des engrais dans la région. Ces préoccupations ont fait place aux biofertilisants et aux engrais à micronutriments pour croître et alimenter le marché des engrais dans la région (FAO, 2019).

Selon la FAO 2018, l'Afrique sera le principal exportateur de phosphate, suivi de l'azote. L'Amérique du Nord augmenterait l'offre d'engrais azoté mais continuerait de dépendre des

importations. Au cours de la période de prévision, l'Amérique latine et les Caraïbes continueront d'importer de l'azote et du phosphate. L'Asie de l'Est continuera à de l'azote. L'Asie est excédentaire en tout produits. C'est un contributeur majeur à l'approvisionnement mondial en azote.

Croissance constante de la demande

La demande mondiale d'engrais a connu une bonne croissance depuis 2000, à l'exclusion de l'impact de la crise financière mondiale de 2008 et 2009. La demande mondiale d'engrais en 2000 était d'environ 140 millions de tonnes métriques (mmt), et en 2018, ce nombre était à peine inférieur à 200 mmt. La demande mondiale d'engrais se situe autour de 200 mmt pour 2019. Aucune croissance n'a été observée pour deux raisons principales. La première raison est due à moins d'acres plantées aux États-Unis en 2019 en raison du temps extrêmement humide. Moins d'acres plantés a conduit à moins d'acres nécessitant des applications d'engrais. L'autre raison de la demande constante d'engrais observée en 2019 était liée à des problèmes de demande d'engrais en Chine. La part de la Chine dans la demande mondiale de nutriments est importante, mais elle diminue. La demande de nutriments en Chine en 2018 était autour de 200 mmt, soit environ 30% de la demande mondiale, mais d'ici 2024, le nombre pourrait chuter plus près de 25% du marché mondial des engrais (FAO, 2019).

Il y a plusieurs facteurs qui expliquent la faiblesse de la Chine : Les fondamentaux du marché des récoltes qui ne sont pas favorables, la baisse des taux d'application, l'augmentation de la taille et de l'efficacité des exploitations agricoles et l'évolution des pratiques en matière d'engrais sont autant de raisons de la baisse de la demande chinoise.

La demande d'engrais de la Chine évolue rapidement en raison de la baisse de la demande de nutriments sur les cultures, mais elle est compensée par une augmentation des applications dans les fruits et légumes. Dans l'ensemble, la demande chinoise d'azote et de phosphate est en baisse et devrait continuer de baisser à l'avenir.

En 2018, la demande d'azote en Chine était de 25 mmt tandis que le phosphate était de 10 mmt. Les deux nutriments devraient chuter d'ici 2024.

La demande en 2020 :

Pour 2020, les perspectives de la demande mondiale d'engrais semblent meilleures, grâce à un fort rebond des applications d'engrais aux États-Unis. La demande américaine d'engrais en 2018 était proche de 34 mmt, mais a chuté à environ 32 mmt en 2019. Les prévisions pour 2020 sont de retour autour de ce niveau de 34 mmt.

Les plantations de maïs aux États-Unis devraient bondir en 2020, stimulant ainsi la demande d'engrais. Les acres de maïs aux États-Unis en 2019 étaient fixées à 89,9 millions d'acres, et pour 2020, ce nombre pourrait être plus proche de 93 millions d'acres.

L'une des raisons du rebond attendu de la demande d'engrais aux États-Unis en 2020 est que les indices d'accessibilité aux engrais (un indice des prix des engrais et des récoltes) sont très favorables en ce moment. Le DAP n'a jamais été aussi abordable, tandis que l'ammoniac devient plus abordable (FAO, 2019).

Demande à moyen terme :

La demande mondiale d'engrais à moyen terme (de 2019 à 2024) devrait connaître une certaine croissance. La demande d'engrais d'ici 2024 pourrait dépasser 200 mmt, l'azote enregistrant une croissance de 1,2%, les phosphates de 1,7% et la potasse de 1,8% de croissance annuelle.

La plus grande variation de volume de la demande d'engrais devrait se produire en Amérique du Sud. Le continent pourrait voir une demande supplémentaire de 5 mmt d'engrais ajoutée de 2019 à 2024.

Pendant ce temps, l'Afrique devrait connaître des taux de croissance élevés de la demande d'engrais, peut-être une augmentation de 5,5% de la demande d'engrais. Les autres pays affichant des taux de croissance élevés comprennent l'Amérique du Sud (3,8%) et l'Asie du Sud-Est (3,2%).

Les perspectives à long terme (2024 à 2042) appellent à des mesures d'efficacité accrues dans certaines régions. Cette utilisation pourrait être légèrement inférieure en Amérique du Nord, en Europe occidentale et en Asie de l'Est, mais elle sera très probablement compensée par l'augmentation de la demande d'engrais dans d'autres régions, comme en Europe de l'Est, en Amérique du Sud et en Afrique.

Ces changements à long terme entraîneront des changements dans les parts de marché à l'avenir.

Des régions comme l'Amérique du Nord (16% en 2000 et une prévision de 10% en 2040) et l'Europe (17% en 2000 et 12% en 2040) pourraient voir une part plus faible de la demande mondiale d'engrais. Parallèlement, d'autres régions comme l'Amérique du Sud (7% en 2000 et 16% en 2040) et l'Afrique (3% en 2000 et 7% en 2042) pourraient voir certains gains de demande.

Les prévisions de la demande mondiale d'azote, de phosphore et de potassium pour l'utilisation d'engrais, jusqu'en 2022, sont fournies dans le tableau 3 (et figure 3). (FAO, 2019)

Demande mondiale d'azote, de phosphore et de potassium pour l'utilisation d'engrais, 2016-2022 (en milliers de tonnes)

Tableau 3. Les prévisions de la demande mondiale NPK pour l'utilisation d'engrais (FAO, 2019).

Year	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nitrogen, N	105 148	105 050	105 893	107 424	108 744	110 193	111 591
Phosphorus, as P2O5	44 481	45 152	45 902	46 587	47 402	48 264	49 096
Potassium, as K2O	35 434	36 349	37 171	37 971	38 711	39 473	40 232
Total (N+P2O5+K2O)	185 063	186 551	188 966	191 981	194 857	197 930	200 919

La figure ci-dessous montre Demande mondiale en azote, phosphore et potassium, pour l'utilisation d'engrais, 2016-2022 en milliers de tonnes.

(a) Nitrogen, N

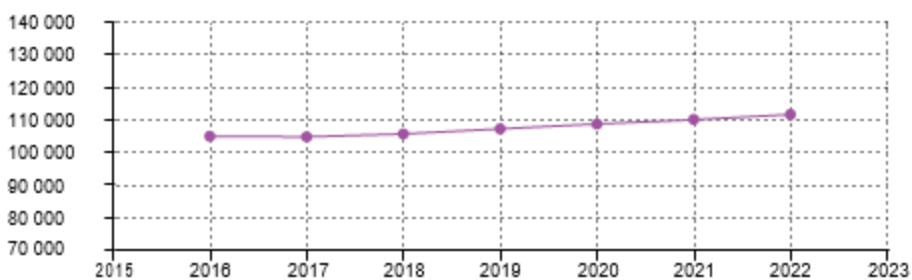
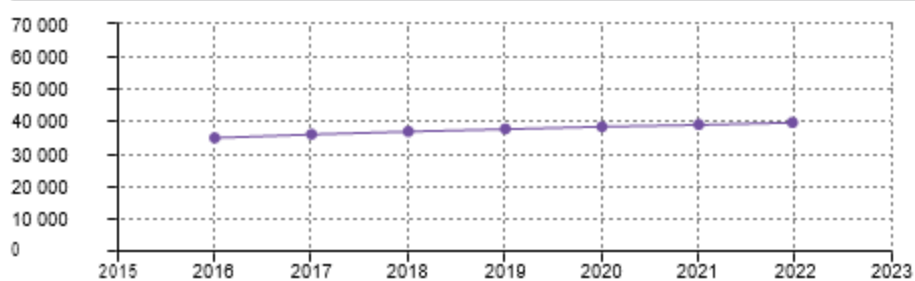
(b) Phosphorus, P_2O_5 (c) Potassium, K_2O 

Figure 7. Demande mondiale en (a) azote, (b) phosphore et (c) potassium, pour l'utilisation d'engrais, 2016-2022 (milliers de tonnes) (FAO, 2019).

2.4. L'offre des engrais dans le monde :

2.4.1. La production mondiale d'ammoniac :

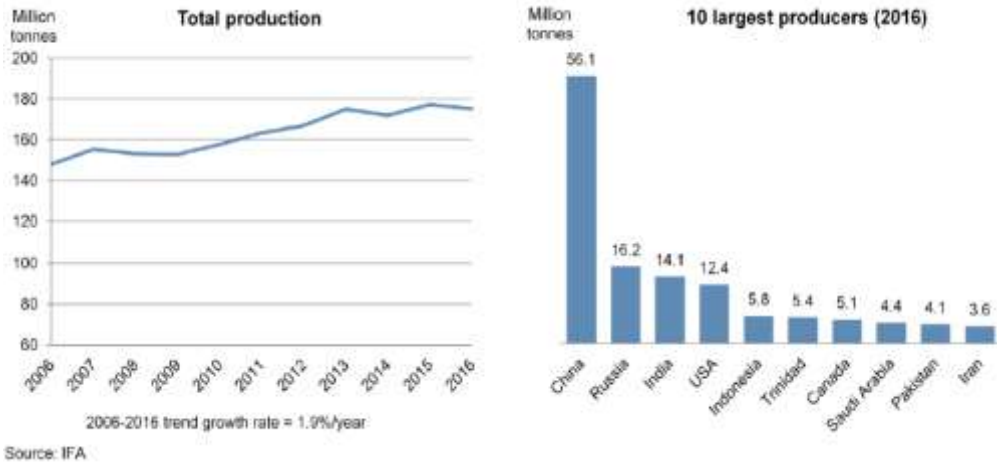


Figure 8. Production totale d'ammoniac avec les dix grands producteurs.

La Chine est le plus grand producteur d'ammoniac. L'ammoniac est le principal intermédiaire pour tous les produits d'engrais azotés et les grands pays consommateurs d'azote sont également de grands producteurs d'ammoniac.

L'ammoniac est principalement valorisé en d'autres produits azotés sur son site de production. Seuls 18,5 millions de tonnes ou 11% de l'ammoniac produit dans le monde en 2016 ont été échangés.

La production d'ammoniac a atteint 175 millions de tonnes en 2016, soit une baisse de 1,2% par rapport à 2015. La tendance de 2006 à 2016 montre un taux de croissance de 1,9% par an.

La majeure partie de la production mondiale d'ammoniac est valorisée en urée, DAP, MAP, NPK et nitrates²⁰.

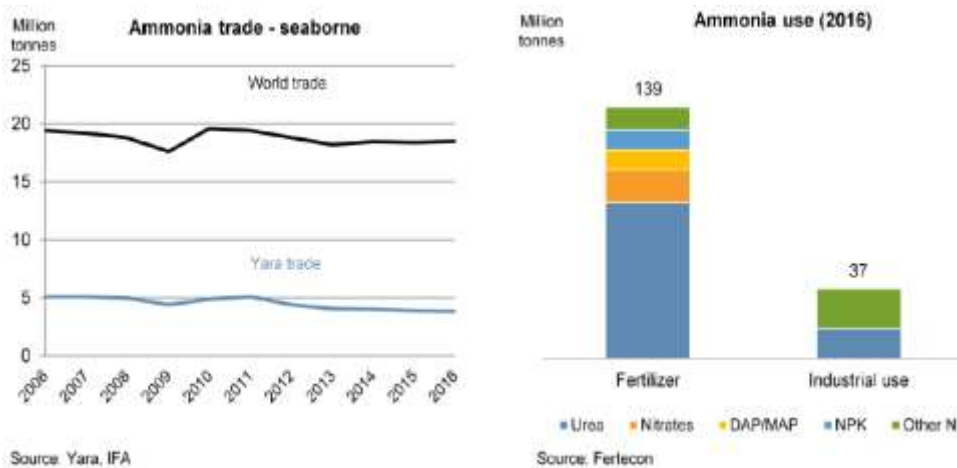


Figure 9. Echange et utilisation d'ammoniac

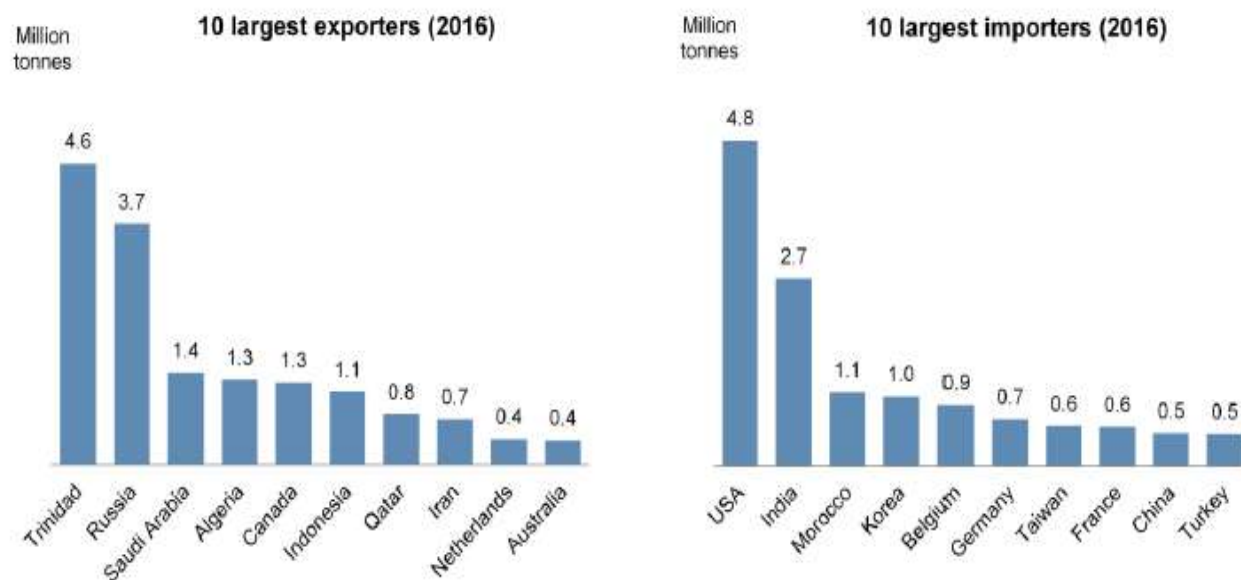
²⁰ source : Yara Fertilizer industry handbook 2018.

Seuls 11% de la production d'ammoniac sont échangés :

En 2016, le commerce mondial d'ammoniac a augmenté de 0,6% pour atteindre 18,5 millions de tonnes, ce qui ne représente que 11% de la production mondiale d'ammoniac. La production d'urée consomme 53% de toute la production d'ammoniac. Cet ammoniac doit être valorisé sur place car la production d'urée nécessite du CO₂ qui est un sous-produit de la production d'ammoniac. Pour l'ammoniac commercialisé, il existe quatre grandes catégories de clients :

- Il existe un marché industriel important pour l'ammoniac.
- Les producteurs des principaux engrais phosphatés (DAP, MAP et certains types de NPK) importent de l'ammoniac, car les régions disposant de réserves de phosphate manquent souvent de capacité en azote.
- Certaines capacités de production de nitrate sont également basées sur l'ammoniac acheté.
- Application directe sur le terrain (commune aux États-Unis uniquement) Yara détient une part de marché d'environ 20% du commerce mondial de l'ammoniac. Cette position de leader donne à l'entreprise une bonne vue d'ensemble de l'équilibre offre / demande mondiale d'ammoniac et permet une meilleure optimisation de ses flux de produits mondiaux²¹.

Échanges mondiaux d'ammoniac :



Source: IFA

Figure 10. Importateurs et exportateurs d'ammoniac dans le monde.

Trinidad est le plus grand exportateur d'ammoniac au monde. Les grands exportateurs d'ammoniac dans le monde ont accès à du gaz naturel à des prix compétitifs, la matière première clé pour sa production. Trinidad possède d'importantes réserves de gaz naturel et se trouve également à proximité du plus grand importateur mondial d'ammoniac, les États-Unis. Trinidad possède de grandes usines autonomes d'ammoniac et d'excellentes installations maritimes qui répondent aux besoins des marchés d'exportation. Yara possède deux grandes installations de production

²¹ source : Yara Fertilizer industry handbook 2018.

d'ammoniac à Trinidad. Le Moyen-Orient possède également certaines des plus grandes réserves de gaz naturel au monde. Le complexe d'engrais Qafco au Qatar produit des quantités importantes d'ammoniac, mais la majeure partie de l'ammoniac produit à Qafco est valorisée en urée. Par conséquent, Qafco est un important exportateur d'urée et il reste un excédent d'ammoniac relativement faible pour les exportations. Aux États-Unis, l'ammoniac importé est utilisé pour la production de DAP / MAP, pour diverses applications industrielles et directement comme engrais azoté. L'Inde utilise son ammoniac importé principalement pour produire du DAP²².

Principaux flux d'ammoniac en 2016 :

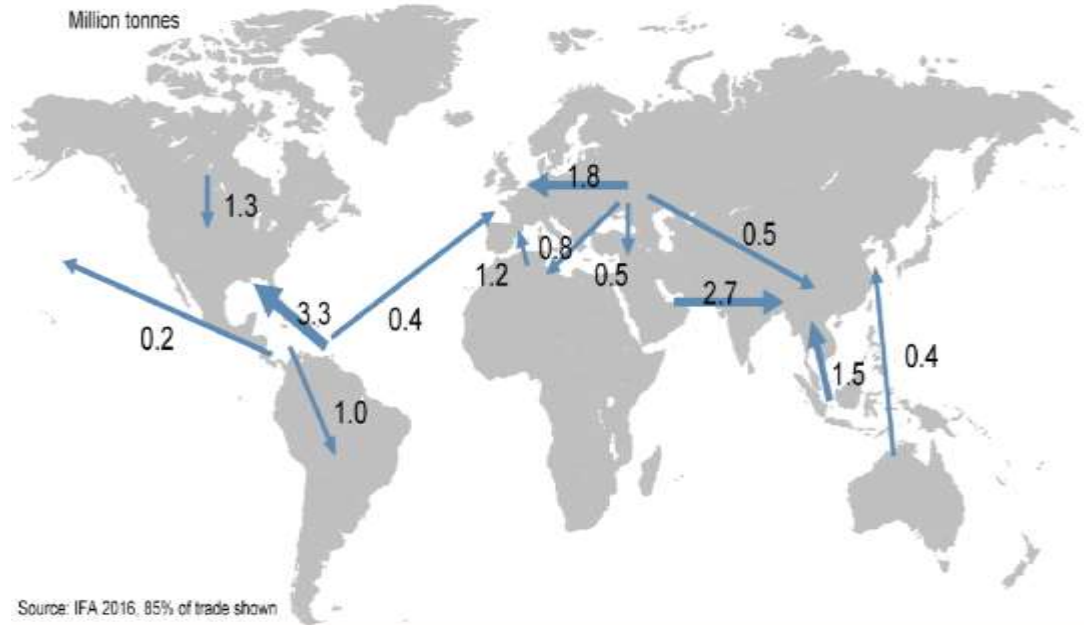


Figure 11. Echange d'ammoniac dans le monde.

La majorité du commerce de l'ammoniac suit les routes indiquées sur la carte, principalement en provenance de pays disposant de gaz à moindre coût. Le principal centre de commerce de l'ammoniac est Yuzhnyy en mer Noire, la plaque tournante du commerce la plus liquide et où se déroulent la plupart des échanges au comptant. L'ammoniac russe et ukrainien est généralement vendu là où les rentrées nettes sont les plus élevées, et les prix relatifs aux États-Unis, en Europe et sur d'autres marchés à l'ouest de Suez sont généralement conformes aux taux de fret en vigueur. L'Asie est presque dans une situation d'approvisionnement équilibrée en ammoniac. En cas de déficit, les prix FOB en Asie augmentent pour attirer les importations en provenance de la mer Noire. En cas d'excédent, les exportateurs asiatiques seront en concurrence à l'ouest de Suez, et les prix FOB asiatiques diminuent généralement²³.

²² source : Yara Fertilizer industry handbook 2018

²³ source : Yara Fertilizer industry handbook 2018

2.4.2. Production de nitrate :

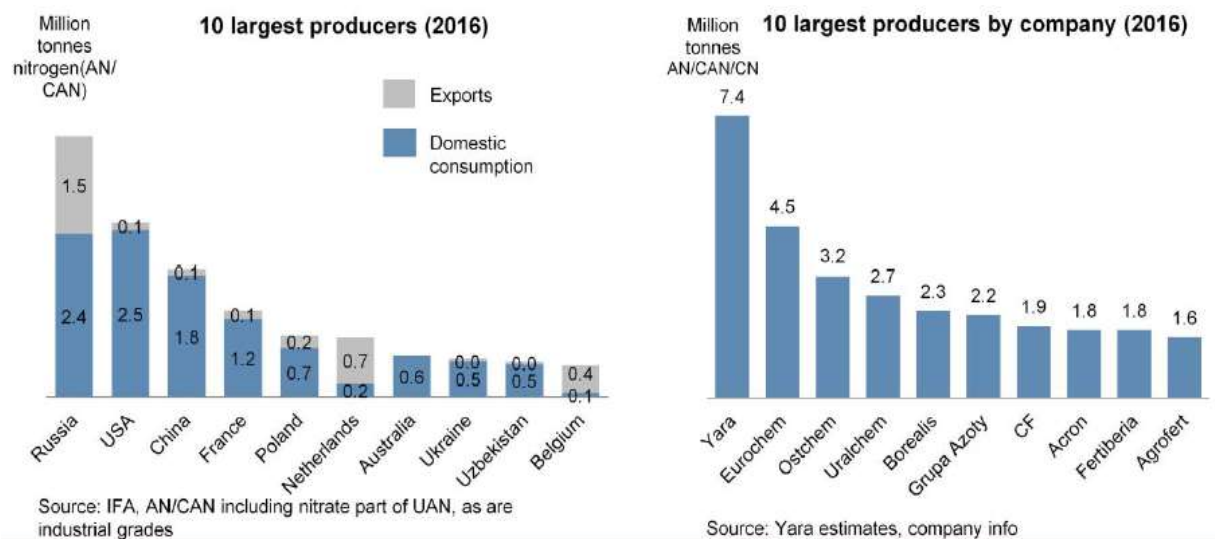


Figure 12. Dix grands producteurs de nitrate dans le monde.

Le nitrate d'ammonium (AN, 33,5% d'azote) et le nitrate de calcium et d'ammonium (CAN, 27% d'azote) sont les principaux produits fertilisants à base de nitrate.

La production de nitrates a augmenté pour atteindre 20,4 millions de tonnes N en 2016, en hausse de 0,9% par rapport à 2015. La production d'AN a augmenté de 1,4%, tandis que la production de CAN / MAN a baissé de 1%. Au cours des années 2006-2016, la production de nitrates a augmenté en moyenne de 2,0% par an.

La Russie est le plus grand producteur de nitrates, suivie des États-Unis et de la Chine. Une solution pour la production d'UAN est incluse dans les chiffres américains.

Les nitrates (AN / CAN) sont biaisés vers l'Europe et ne contiennent que 27 à 34% d'azote, ce qui le rend moins attrayants à transporter que l'urée.

Le nitrate de calcium (CN) fournit du calcium et du nitrate-N solubles et renforçateurs de force (15,5%). Le nitrate de calcium est principalement appliqué aux cultures commerciales, telles que les fruits et légumes, car le calcium est bon pour l'enracinement, la croissance sans stress, les parois cellulaires solides, la qualité améliorée des fruits et un meilleur stockage²⁴.

²⁴ source : Yara Fertilizer industry handbook 2018

2.4.3. Production de NPK :

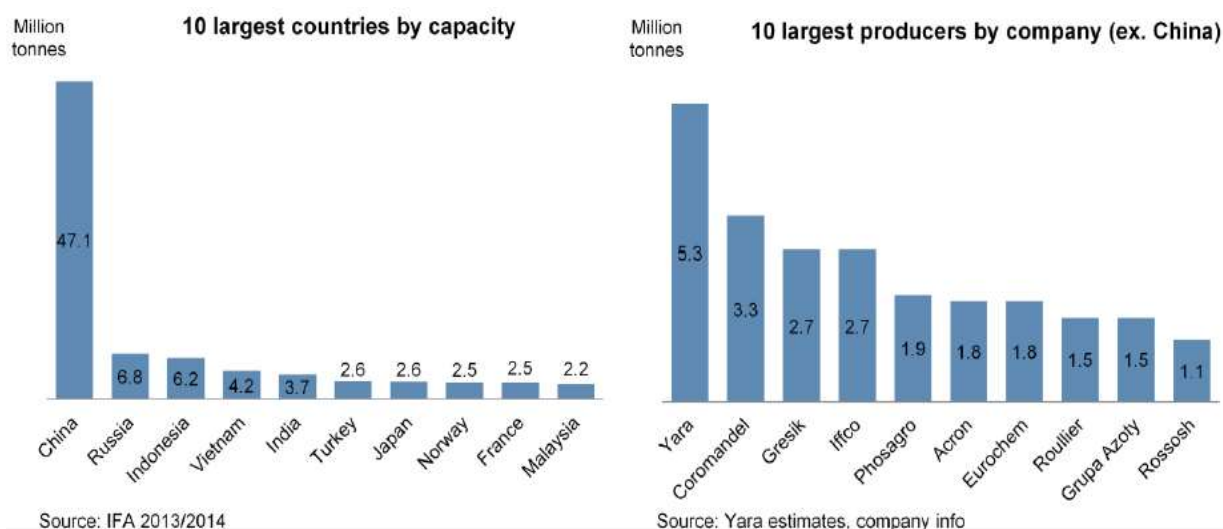


Figure 13. Dix grands producteurs de NPK dans le monde.

La Chine est le plus grand producteur mondial d'engrais NPK

Étant donné que tous les engrais contenant du potassium sont soumis à des taxes à l'exportation, peu ou pas de composé NPK est exporté hors de Chine. Pour 2018, la taxe à l'exportation sur les NPK en Chine est fixée à 100 RMB / t (~ 15 USD / t), en baisse par rapport à la taxe à l'exportation fixe de 20% observée en 2017. Sur les 10 plus grands producteurs de NPK composés, la Russie et la Norvège sont les principaux exportateurs²⁵.

2.5. Moteurs de l'offre et de la demande

En général, lorsque la demande est faible, il existe généralement un marché des engrais « axé sur l'offre » dans lequel le « prix plancher » établi détermine indirectement les prix des engrais. Ce prix plancher est fixé par la région productrice ayant les prix du gaz naturel les plus élevés. Historiquement, les prix du gaz les plus élevés ont été enregistrés aux États-Unis et en Europe occidentale, mais depuis 2009, les producteurs ukrainiens et d'autres pays d'Europe de l'Est ont enregistré les coûts de production les plus élevés avec les producteurs de charbon en Chine.

Lorsque la demande d'engrais est élevée, il existe généralement un marché « axé sur la demande » avec des prix des engrais supérieurs aux prix planchers pour les régions pivotantes (coût le plus élevé). L'équilibre du marché des engrais et l'utilisation des capacités sont d'autres facteurs clés qui influent sur les prix des engrais azotés²⁶.

²⁵ source : Yara Fertilizer industry handbook 2018

²⁶ Source : Yara Fertilizer industry handbook 2018

3. Description du méga projet de phosphate :

Introduction :

Le marché algérien des engrais est un marché attractif qui peut offrir des produits à forte valeur ajoutée, cela est concrétisé par la réalisation du projet intégré phosphate PIP, issu de la joint-venture créée récemment entre le groupe SONATRACH et le groupe CITIC CONSTRUCTION. La description du PIP comportera sur l'objectif du projet, la présentation des structure des actionnaires entre des deux parties algériennes et chinoise puis les activités principales du projet intégré phosphate ainsi que le périmètre et la description par unité-gisement de chaque site de production.

Mais avant nous allons commencer par la justification du projet intégré phosphate selon les plans marché international, commercialisation, synergies et avantages :

Marché international :

Depuis la restructuration industrielle du secteur des engrais en Europe et aux USA, les grands producteurs se sont positionnés sur l'ensemble de la chaîne de valeur des engrais, en amont et en aval²⁷.

Commercialisation :

Aucune contrainte à la commercialisation n'est signalée : la capacité de production du Projet Intégré de Phosphate (PIP) va répondre à la demande du marché national en engrais et les excédents seront exportés vers le marché international dont la croissance moyenne annuelle prévisionnelle est de l'ordre de 3%²⁸.

Synergies :

Le périmètre du Projet est justifié par les synergies entre la mine de phosphate, le complexe d'ammoniac et le complexe de production d'engrais. Ces synergies ont été confirmées par les études de faisabilité et les plans d'affaires élaborés par les bureaux internationaux²⁹. Elles permettent d'envisager une exploitation à grande échelle et économiquement rentable des gisements de phosphates.

Avantages :

Le phosphate jouit d'une importance stratégique dans l'économie moderne. C'est une matière première inconsommable dans l'agriculture et le jardinage comme engrais. L'exploitation du phosphate algérien va rejaillir positivement sur l'économie algérienne avec plus de 2 000 emplois directs qui seront créés tandis que plus de 12 000 emplois indirects sont attendus³⁰. Enfin le Projet impactera positivement la balance devise.

²⁷ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

²⁸ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

²⁹ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³⁰ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

3.1. Objectifs & localisation du PP :

Le phosphate est une source de richesse à l'échelle mondiale et l'un des trois principaux nutriments nécessaires aux cultures agricoles.

Le PIP a pour objectif de diversifier les pincés de l'économie nationale, et de créer de nouveaux postes d'emplois sur le territoire algérien.

Un marché en essor face à un besoin croissants de produits alimentaires. Les produits finaux du PIP seront commercialisés dans le marché local et à l'export.

Le PIP est présent sur toute la chaîne de valeur, et ce pour mieux tirer profit des ressources utilisées :

Extraction et enrichissement : L'exploitation et l'enrichissement des phosphates du gisement de Bled El Hadba avec une capacité d'extraction de 10 mille tonnes³¹.

Production de produits intermédiaires : La transformation des phosphates pour la production d'acide phosphorique à Oued El Keberit (W. Souk Ahras).

Production d'engrais et commercialisation : La transformation du gaz naturel pour la production d'Ammoniac, de TAN, de CAN 27% et des engrais phosphatés DAP / MAP/NPK a Hadjar Soud (W. Skikda)³².

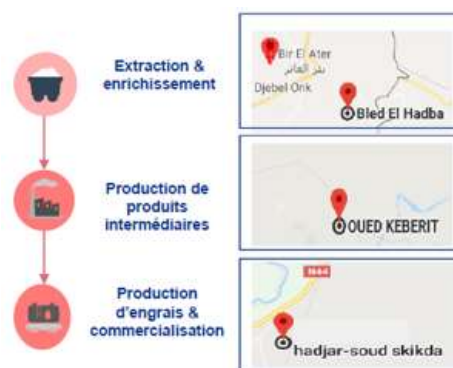


Figure 14. Chaîne de valeur d'PIP³³.

3.1.1. Structure d'actionnaire :

Selon le MOU (Memorandum Of Understanding) souligné entre les partenaires du projet en novembre 2018, à Tebessa, la société ASMIDAL (filiale du groupe Sonatrach) détient 34% de la nouvelle JV contre 17% pour le groupe Manadjim El Djazair (MANAL), soit un total de 51% pour la partie algérienne. La partie chinoise détient les 49% restants, représenté par CITIC, le fonds de

³¹ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³² Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³³ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

la route de la soie (fonds RS), le fonds sino-africain (Fonds SA) pour le développement ainsi qu'un technologie³⁴.



Figure 15. Structure d'actionnaires³⁵.

Présentation des Partenaires

- 
Sonatrach
 Société Nationale des Hydrocarbures Algérienne. En charge du développement du Projet
- 
Amisdal
 Leader de la production et de la commercialisation des engrais et des produits phytosanitaires en Algérie
- 
Manal
 Société algérienne d'exploration et d'exploitation du domaine minier ainsi que de la commercialisation
- 
CITIC Construction
 Filiale de construction et d'ingénierie du groupe CITIC, conglomérat national chinois
- 
Technologue Huan Tuan Hua
 Acteur doté d'expérience sur l'intégralité de la chaîne de valeur, de l'exploitation à la commercialisation
- 
Fonds de la Route de la soie
 Fonds souverain chinois destiné à financer les initiatives de la Nouvelle route de la soie
- 
Fonds sino-africain pour la coopération industrielle
 Fonds d'investissement chinois créé en 2015

Source: Informations du management-Présentation du Projet Intégré de Phosphate Novembre 2018

Figure 16. Présentation des actionnaires³⁶.

3.1.2. Périmètre du projet intégré du phosphate :

Le Projet est défini autour des produits clés suivants :

- Les inputs : phosphate, soufre et ammoniac.
- Les produits intermédiaires : P2O5, HNO3, NH4NO3.
- Les produits finaux : CAN, TAN, NPK, MAP, DAP.

Rejets fluorés : AHF, SIO2.

Le périmètre du projet est justifié par les synergies entre la mine de phosphate, le complexe d'ammoniac et le complexe de production d'engrais.

³⁴ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³⁵ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³⁶ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

- Phosphate : Une capacité d'extraction et d'enrichissement pour obtenir 5 217 millions de tonnes par an de phosphate qualité marchande³⁷.
- Soufre : Une importation de 1,44 millions de tonnes par an de soufre³⁸.
- Acide phosphorique : Une capacité de production d'acide phosphorique (P2O5) de 1,5 millions de tonnes par an.
- Ammoniac : Une capacité de production d'ammoniac de 1,06 million de tonnes par an
- Engrais : Une capacité de production de 3,5 millions de tonnes par an d'engrais (DAP, MAP et NPK)³⁹.

3.1.2.1. Plan de production et bilan matières, PIP :

Le schéma suivant représente la circulation de flux depuis les inputs, en passant par les en-cours jusqu'aux produits finaux.

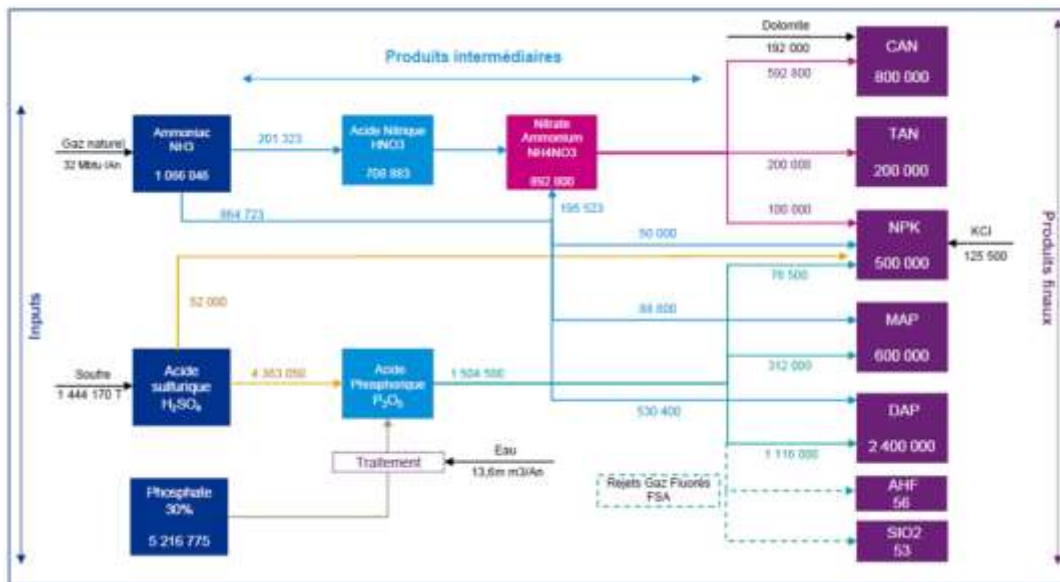


Figure 17. Circulation de flux de produits du PIP⁴⁰.

Cartographie du projet :

Le schéma suivant montre la localisation de la mine ainsi que les unités de production, l'ensemble des unités est éparpillé selon trois principaux blocs qui se situent dans les régions suivantes : Hadjar Essoud- Skikda, Ouad Kebrit- Souk Ahras, Bled Elhadba-Tébessa où la mine se trouve.

³⁷ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³⁸ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

³⁹ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

⁴⁰ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

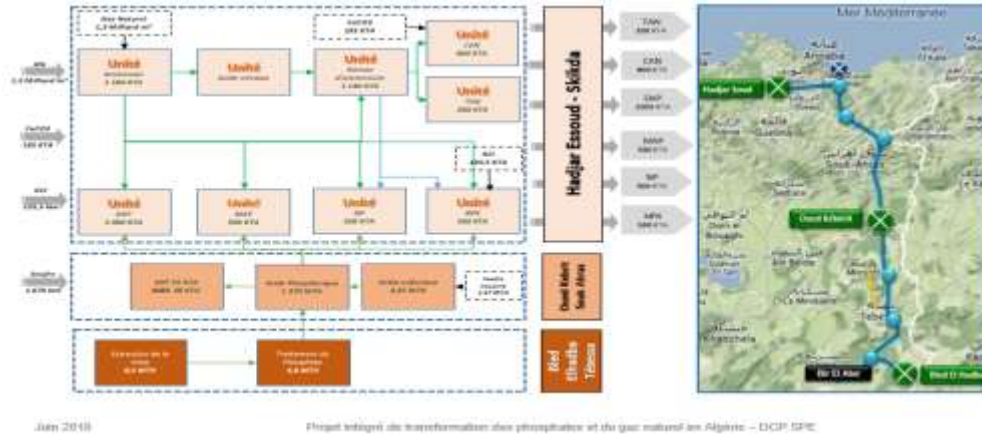


Figure 18. Localisation des unités de production⁴¹.

3.1.2.2. Description par unité-gisement de phosphate de BLED EL HADBA :

- Réserves exploitables : 840 MT de phosphate à 22.2% P2O5 et 4.4 MgO.
- Production du phosphate marchand : 5,217 MT/an.

L'objectif de l'enrichissement est d'optimiser la récupération des réserves, avec :

- Un taux de récupération maximum au niveau de la mine.
- Des rendements poids et métal optimaux.

Garantir une qualité constante de la production de concentré de phosphate marchand :

- > 30% acide phosphorique g.
- < 0.8% oxygène de magnésium MgO.

Capex de BLED EL HADBA: 425 478 000 \$.

Consommations d'énergies :

Eau : 3 500 000 m³

Électricité : 25 KW/Tonne.

Besoin en capacité électrique : 10 MW sur les dix premières années puis 58 MW à partir de la onzième année.

Effectif BLED EL HADBA: 728 postes⁴².

3.1.2.3. Description par unité-gisement de phosphate de Ouad Kebrit :

Complexe de production d'acide sulfurique et phosphorique :

- 4 unités d'acide sulfurique d'une capacité globale de 5 000 000 Tonne/ an.
- 4 unités d'acide phosphorique d'une capacité globale de 5 000 000 Tonne/ an de P2O5.

⁴¹ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

⁴² Source: document interne (SONATRACH) 2018.

Unité de récupération de rejets fluorés générés par les unités de production d'acide phosphorique :

Une unité de récupération de rejets fluorés pour la production d'acide fluorhydrique anhydre (AHF) d'une capacité de 60 000 tonnes/ans et de dioxyde de silicium (SiO_2) d'une capacité de 57 000 Tonnes/ an.

Capex Ouad El Kebrit: 1 949 055 000 \$.

Capex AHF: 250 000 000 \$.

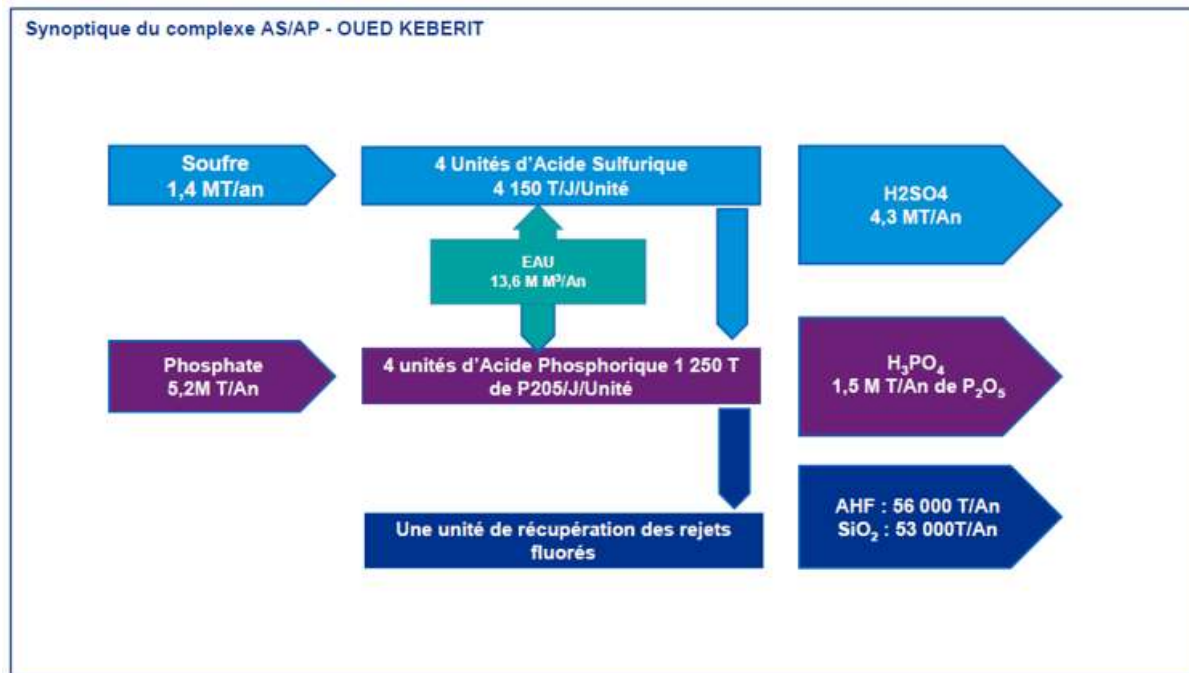
Consommations d'énergies :

Eau : AS-process : 1 127 298 m^3

AP-process : 13 633 723 m^3

Besoin en capacité électrique : 20 MW.

Effectif Ouad El Kebrit : 570 postes⁴³.



Source: Informations du management-Présentation du Projet Intégré de Phosphate Avril 2018

Figure 19. Description par unit-GISEMENT de PHOSPHATE de Ouad Kebrit.

3.1.2.4. Description par unité-gisement de phosphate de Hadjar Essoud:

Complexe de production d'ammoniac, de nitrate technique (TAN) et d'engrais azotés (CAN) :

- 01 unité d'ammoniac d'une capacité globale de 1 100 000 Tonne/ an.
- 02 unité d'acide nitrique d'une capacité globale de 1 122 000 Tonne/ an.

⁴³ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

- 03 unité de nitrate d'ammonium en solution d'une capacité globale de 1 420 000 Tonne/ an.
- 01 unité de nitrate d'ammonium technique d'une capacité globale de 200 000 Tonne/ an.
- 02 unité de calcium ammonium nitrate (CAN) d'une capacité globale de 1 200 000 Tonne/ an.

Complexe de production d'engrais phosphatés :

- 06 lignes d'engrais DAP, MAP et NPK d'une capacité globale de 4 000 000 Tonne/ an.

Capex Hadjar Essoud : 1 815 055 275 \$.

Consommations d'énergies :

Eau : 5 704 832 m³

Électricité : 182 KWh/Tonne.

Besoin en capacité électrique : 40 MW.

Effectif Hadjar Essoud : 736 postes⁴⁴.

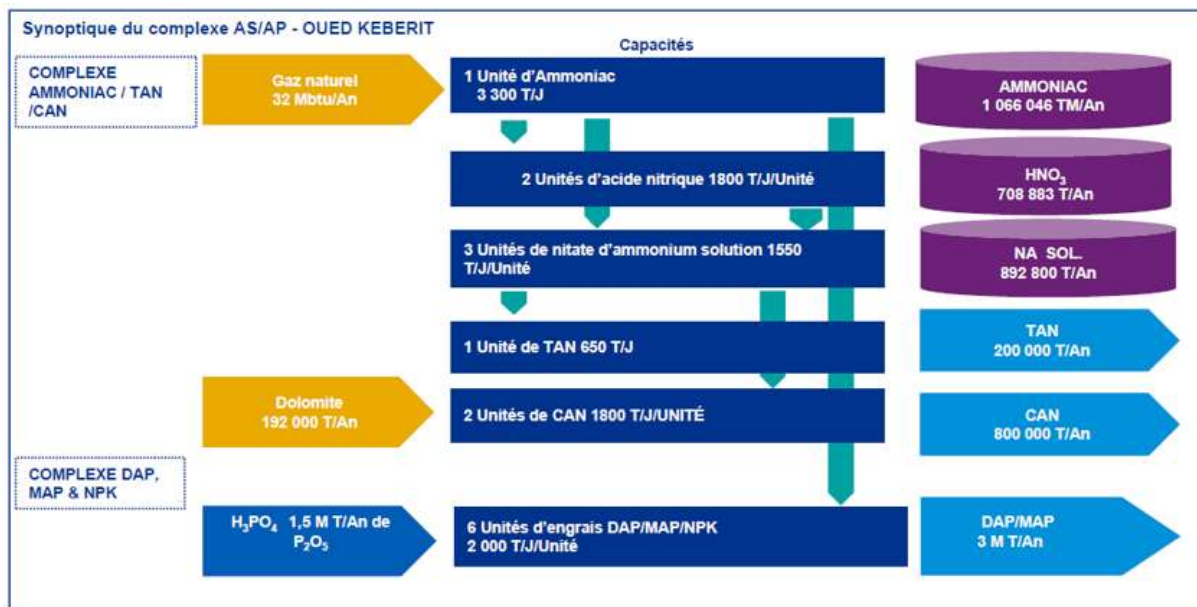


Figure 20. Description par unité-GISEMENT de PHOSPHATE de Hadjar Essoud⁴⁵.

⁴⁴ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

⁴⁵ Source: document interne (SONATRACH) 2018.

4. Analyse du projet intégré de phosphate

4.1. Diagnostic interne :

Dans le but de réaliser un diagnostic interne du projet PIP, nous avons choisi d'utiliser la méthode VRIO⁴⁶ qui va nous aider à déterminer les forces et les faiblesses du projet.

4.1.1. Méthode VRIO :

VRIO est un acronyme dont chacune des lettres se décline comme suit :

- V : Value
- R : Rarity
- I : Imitability, c'est à dire le niveau de difficulté pour copier votre produit ou service
- O : Organisation, c'est à dire la qualité de l'organisation de l'Entreprise permettant au maximum d'exploiter ses ressources ou compétences

La méthode consiste à passer en revue quatre dimensions dans l'ordre des lettres de l'acronyme pour évaluer comment se positionnent les ressources et les compétences de l'entreprise sur chacune d'entre elles.

Signification des quatre dimensions :

Value :

Pour l'entreprise, la dimension "Value" se traduit par la capacité d'exploiter une opportunité ou bien de maîtriser une menace. Les ressources et compétences sont également de valeur si elles apportent, du point de vue du client, un rapport qualité/prix optimal, en jouant sur l'un ou l'autre terme de la division.

Nous pouvons identifier les sources de valeur tout au long du projet grâce à l'étude de la chaîne de valeur.

Le premier point consiste à vérifier si les ressources et compétences considérées créent de la valeur pour l'entreprise ou pour le client.

Rarity :

Il est question de capacités rares lorsque les ressources et compétences sont détenues par un, ou très peu d'acteurs sur un secteur d'activité.

Cette rareté existe lorsque les éléments en question sont très difficilement obtenables. Par exemple un savoir-faire unique acquis sur de très nombreuses années qui nécessite un tour de main expérimenté ou bien un brevet bloquant tout nouvel entrant.

⁴⁶ Contrairement aux autres outils de diagnostic interne, l'analyse VRIO est effectuée sur chaque ressource, elle est plus précise et donne une image claire des défis existants dans l'entreprise.

Imitability :

L'évaluation de ce point porte sur la capacité d'entreprises concurrentes à imiter en dupliquant la ressource ou la compétence en jeu. C'est également le cas en produisant une offre substituable.

Organisation :

Cette dernière dimension concerne l'exploitation des ressources et compétences par l'organisation.

L'utilisation de cet outil est simple. Pour une capacité stratégique donnée, il convient de s'interroger pour chaque dimension du modèle :

1. Quelle est la valeur apportée par la capacité stratégique ?
2. Est-elle rare ? Unique sur le marché ?
3. Est-elle très difficilement imitable ou substituable ?
4. L'organisation de l'entreprise permet-elle d'exploiter au mieux cette capacité ?⁴⁷

Le schéma ci-dessous nous reflète les différentes questions à se poser et l'interprétation des réponses de ces dernières :

⁴⁷ Source : <https://www.manager-go.com/strategie-entreprise/dossiers-methodes/utiliser-la-methode-vrio>.

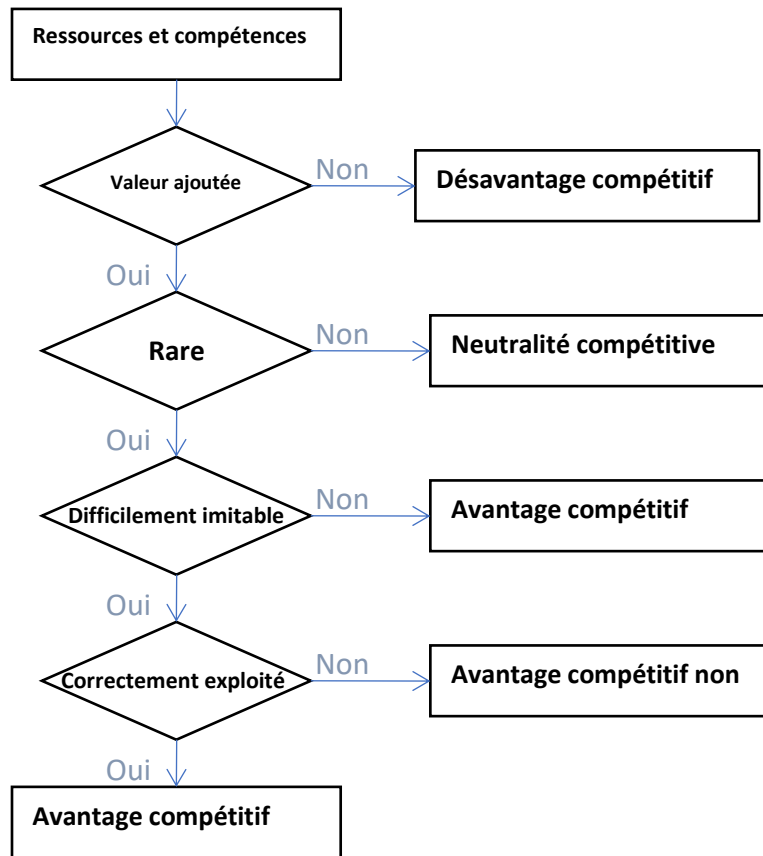


Figure 21. Etape de mise en œuvre de la méthode VRIO.

4.1.2. Mise en œuvre de la méthode VRIO sur le PIP :

Avant de passer aux différentes étapes à suivre pour faire l'analyse VRIO, nous devons identifier les activités créatrices de valeur.

Pour cela, nous allons étudier la chaîne de valeur du projet PIP selon Porter, qui consiste à schématiser l'entreprise comme un enchaînement d'activités interconnectées qui développent chacune une valeur plus ou moins stratégique et importante pour l'entreprise.

4.1.2.1. Chaîne de valeur de Porter :

La chaîne de valeurs de Porter décompose les activités de l'entreprise en deux parties qui sont : les activités principales et les activités de soutien.

En effet, L'étude du projet par secteur d'activités permet de décomposer le processus de création de valeur étape par étape. Cela met en évidence les activités, les services ou secteurs qui lui permettent de se distinguer par rapports à la concurrence.

La figure ci-dessous explique la décomposition de Porter :

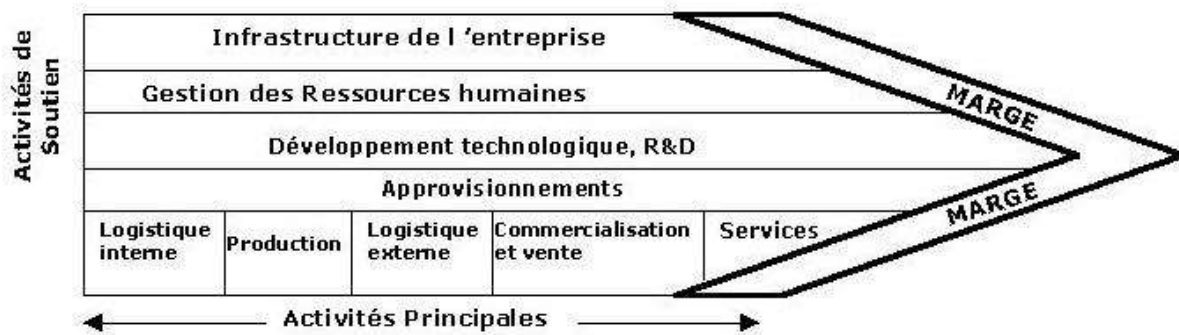


Figure 22. Chaîne de valeur de porter.

Nous allons ainsi décomposer les activités du projet PIP selon Porter afin d'identifier les activités génératrices de valeur et donc passer à l'étape suivante qui consiste à faire l'analyse VRIO.

A- Les activités principales :

Logistique interne :

La logistique amont ou interne regroupe toutes les activités qui consistent à mettre à disposition les produits (matières premières, produits semi-finis) tout en respectant des conditions de volume (quantités) et de délais. La logistique amont désigne donc l'action d'amener les produits « au pied des machines de production » à l'instant où nous éprouvons le besoin.

En effet, la matière première qui est principalement le phosphate, est extraite de la mine et mise directement à disposition des unités de production.

En ce qui concerne les produits semis finis, ils sont transportés entre les différentes unités de production grâce à un chemin ferré déjà élaboré par la SNTF⁴⁸.

La production :

Le projet PIP est composé de plusieurs unités de productions qui transforment les différents inputs en produits finis.

Ces unités de productions sont localisées d'une manière à satisfaire des contraintes sociales et politiques imposé par le gouvernement⁴⁹.

Nous devons souligner que Sonatrach s'est positionnée sur toute la chaîne de valeur des engrais en ayant pour but de produire non seulement les engrais phosphatés mais aussi les engrais azotés.

Le positionnement sur la chaîne de valeur entière des engrais est devenu une tendance chez les industries concurrentes⁵⁰.

Logistique externe :

⁴⁸ Source : Documents internes de SONATRACH 2018.

⁴⁹ Source : Entretien avec le directeur du département études économiques et activités connexes.

⁵⁰ Source : Entretien avec un ingénieur du département études économiques et activités connexes.

On appelle la logistique externe ou aval, l'ensemble des activités qui ont pour objectif d'assurer la mise à disposition dans les délais souhaités pour le client final les quantités voulues (commandées) de produits finis dans les meilleures conditions de coût.

En effet, Sonatrach fera recours au transport maritime afin de mettre à disposition des clients les produits finis.

Elle a un accès avantageux aux marchés européens en termes de couts de transport vu la proximité et en termes de droits de douanes.

Etant donné que la principale concurrente de Sonatrach qui est l'OCP dispose de plus petits navires, Sonatrach va générer des couts compétitifs plus inférieurs que sa concurrente.

Sauf que l'OCP pourra à tout moment affréter de gros vraquiers vers les marchés occidentaux vu la rude concurrence.

B- Les activités de support :

Ils se consistent de plusieurs activités notamment :

- L'approvisionnement qui représente les activités liées aux achats de matières premières (Souffre), des fournitures et des moyens de productions.
- Le développement technologique qui concerne aussi bien les systèmes d'information ainsi que la R&D, la gestion des connaissances.
- La gestion des ressources humaines qui représente l'ensemble des activités de recrutement, rémunération, motivation, formation, gestion de carrière.
- L'infrastructure de l'entreprise tel que la direction générale et les autres fonctions communément appelées "support", telle la comptabilité, le juridique.

4.1.2.2. Analyse VRIO :

Après avoir décomposé les activités du projet PIP selon porter, nous pouvons passer à l'étape suivante qui consiste à faire une analyse VRIO de chaque activité pour savoir si elle représente une force ou une faiblesse.

Nous représentons les résultats⁵¹ de l'analyse dans le tableau ci-dessous :

Tableau 4. Résultats de l'analyse VRIO et l'impact concurrentiel.

Activités	Crée de la valeur	Rare	Non imitable	Organisé	Impact Concurrentiel
Extraction du phosphate	Oui	Non	Non	Oui	Neutralité compétitive
Transport des produits semi-finis et des matières premières par la voie ferrée déjà élaborés par la SNTF	Oui	Oui	Oui	Oui	Avantage compétitif substantiel
Localisation des unités de production	Oui	/	/	Non défini ⁵²	Avantage compétitif non exploité
Positionnement sur la chaîne de valeur entière des engrais	Oui	Non	Non	Oui	Neutralité compétitive
La concurrence rude avec l'OCP	Non	/	/	/	Désavantage compétitif
Utilisation des navires plus grands que celles de l'OCP	Oui	Oui	Non	Oui	Avantage compétitif temporaire
Accès avantageux aux marchés européens en termes de couts de transport	Oui	Oui	Oui	Oui	Avantage compétitif substantiel
Accès avantageux aux marchés européens en termes de droits de douane	Oui	Oui	Non	Oui	Avantage compétitif temporaire
Activités de support	Oui	Non	Non	Oui	Neutralité compétitive

⁵¹ Source : Interviews et documents interne 2018.

⁵² Aucune étude n'a été réalisée pour juger l'optimalité de la localisation actuelle des unités de production puisqu'elles leur localisation a été imposée par le gouvernement.

Résultat du diagnostic interne :

En se basant sur la partie de la description du méga projet PIP, du marché des engrais et des informations obtenues lors de l'entretien avec l'équipe de Sonatrach, nous avons pu faire un diagnostic interne (analyse VRIO) et obtenir les points suivants :

Les forces :

- Le transport des produits semi-finis et des matières premières à travers la voie ferrée déjà élaborés par la SNTF.
- Un accès avantageux aux marchés européens à la fois en termes de coûts de transport, et de droits de douane.
- Des coûts compétitifs vers le principal marché cible, légèrement inférieur à ceux de l'OCP Maroc (utilisant de petits navires).

Les faiblesses :

- Une concurrence rude principalement avec l'OCP, capable d'affréter de gros vraquiers vers les marchés occidentaux.
- Le projet Algérien fera face à des coûts très importants surtout durant les premières années comparées aux autres projets⁵³.

4.2. Analyse :

A travers l'analyse des résultats du diagnostic nous pouvons voir que le projet (PIP) a beaucoup d'avantages liés aux coûts de transport dû à la proximité de l'Europe et l'Algérie et un léger avantage par rapport à son concurrent qui utilise de plus petits navires.

Nous pouvons aussi voir dans les résultats du diagnostic que la localisation actuelle crée de la valeur mais elle n'est pas complètement exploitée, cela revient à la disposition qui a été imposées par le gouvernement dans le but de créer le plus grand nombre possible d'emplois directs et indirects sachant que la localisation des unités de production affecte directement les coûts de transport.

Malgré ses avantages, le projet PIP fait face à des faiblesses qui sont la concurrence rude avec l'OCP d'un côté et les coûts très importants durant les premières années.

Vu que le projet engendre des coûts très importants, nous avons décidé de les regrouper en Cinq groupes :

- Les coûts actifs et les coûts de construction.
- Les coûts des équipements mobiles.
- Les coûts liés aux personnels.
- Les coûts de transport des matières premières, des produits finis ainsi que les semi-finis.
- Les coûts de maintenance.

Etant donné que chaque entreprise souhaite trouver un remède à ses faiblesses et exploiter le maximum de ses forces, relocaliser les unités de production à travers une étude mathématique et

⁵³ Source : Documents internes de SONATRACH 2018.

économique semble d'être une alternative que Sonatrach devrait prendre en considération afin de diminuer les coûts de transport ainsi que le coût global que le projet PIP engendre.

5. Énoncé de la problématique :

Puisque l'Algérie détient une grande réserve de phosphate, la majeure africaine, classée la première en Afrique, SONATRACH, a décidé de se lancer dans le méga projet intégré de phosphate (PIP) et de se focaliser sur toute la chaîne de valeur des engrais en produisant d'une part, les engrais phosphatés et de l'autre, tel que les engrais azotés. Tout cela, dans l'optique de se hisser au rang des premiers exportateurs de phosphate au monde.

Le projet PIP est une source de plusieurs avantages, notamment en étant une source directe de revenus en devises, un moyen de diversifier les piliers de l'économie nationale et surtout un moyen de création de plusieurs postes d'emploi sur le territoire algérien.

Ce projet est l'un des projets les plus coûteux que la majeure africaine a effectué, avec un CAPEX de 7.5 milliards de dollars, Il fera face à des coûts très importants durant les premières années.

Dans le but de déterminer les forces et les faiblesses de ce projet, nous avons menés un diagnostic interne en utilisant la méthode VRIO qui consiste à décomposer le projet en activités grâce à l'analyse de la chaîne de valeur de Porter puis analyser ces activités selon la valeur qu'elle crée, la rareté, la difficulté à imiter par des concurrents et finalement l'exploitation par l'organisation.

Effectivement, il a plusieurs forces, nous citons : l'exploitation du chemin ferré déjà effectué par la SNTF pour le transport des produits et des matières premières, l'accès avantageux aux marchés européens en termes de coûts de transport et de droits de douane et des coûts compétitifs vers le principal marché cible. Il a aussi des avantages non exploités comme la localisation des unités de productions qui a été imposées par le gouvernement.

Bien qu'il a plusieurs forces, le PIP fait face à plusieurs faiblesses notamment la concurrence rude principalement avec l'OCP et les coûts très importants qu'il engendre surtout durant les premières années, parmi les coûts engendrés par ce projet, on distingue les coûts de transport qui sont principalement affectés par les localisations des unités de production.

De ce fait, dans l'optique de trouver une solution aux faiblesses et en même temps exploiter au maximum les avantages, nous nous posons des questions sur la localisation actuelle des unités de production.

- Est-ce que la disposition actuelle des unités de production est optimale ?
- Y'aura-t-il une nouvelle disposition des unités de production qui permettrait de réduire les coûts de transport ?
- Si oui, quelle sera l'impact de cette dernière sur les indicateurs économiques du projet ?

Conclusion :

A travers ce chapitre, nous avons pu introduire la chaîne de valeur et le marché des engrais ainsi que les différentes opportunités qu'elle engendre, nous avons aussi vu l'importance cruciale du projet PIP et ses objectifs au fil du temps.

De plus, l'analyse du projet intégré de phosphate nous a permis de faire la liaison entre les contraintes sociales imposées par l'état et les coûts de transport, ce qui nous a permis de nous poser des questions sur l'optimalité des localisations actuelles des unités de production et la possibilité d'avoir une reconfiguration sans la prise en compte des contraintes sociales en tenant compte des bénéfices générés.

Chapitre 3 : Etat de l'art.

Introduction

Ce chapitre vient nous expliquer les différentes notions et connaissances qui vont nous permettre de mener notre projet et résoudre la problématique proposée dans le chapitre précédent.

Notre problème est assez complexe, puisqu'il consiste à faire en premier lieu, une étude mathématique sans les contraintes sociales afin de trouver s'il y'a une meilleure localisation des unités de production en termes de couts, suivis par une étude économique où nous devons voir l'impact de cette optimisation sur les indicateurs économiques.

Ce qui fait que la première partie de ce chapitre va introduire la méthode de résolution d'un problème à travers de la recherche opérationnelle en passant par les différentes étapes qui permettent de réaliser un modèle mathématique jusqu'à la détermination de l'optimum et donc la solution.

La deuxième partie va introduire à son tour les différents indicateurs qui vont permettre de réaliser une étude économique d'un projet d'investissement.

1. La recherche opérationnelle et le problème de localisation :

1.1. La recherche opérationnelle :

La Recherche Opérationnelle est une discipline moderne qui utilise modèles mathématiques, statistiques et algorithmes pour modéliser et résoudre des problèmes complexes, en déterminant la solution optimale et en améliorant la prise de décisions. Cette matière reçoit aussi le nom de Recherche Opérationnelle ou Aide à la Décision.

A nos jours la Recherche Opérationnelle comprend un grand nombre de disciplines comme l'Optimisation Linéaire, l'Optimisation non Linéaire, la Programmation Dynamique, la Simulation de phénomènes, la Théorie de files d'attente, la Théorie de l'inventaire, la Théorie des graphes, etc.

Bien que sa naissance comme science se dresse pendant la Seconde Guerre mondiale et l'origine du nom vient des opérations militaires, la vraie formation de la Recherche Opérationnelle est beaucoup plus ancienne, vers le XVIIe siècle (du point de vue mathématique). On peut même considérer que le problème de faire un bon usage des ressources a toujours existé et avec lequel l'humanité a abordé au fil de son existence. Cependant, l'importance de cette science est dû, en majeure partie, à la rapidité du développement de l'informatique, qui permet la résolution de problèmes pratiques et l'obtention de solutions en un temps raisonnable⁵⁴.

Grâce au succès obtenu par la Recherche Opérationnelle dans le cadre militaire, celle-ci s'est développée dans d'autres domaines comme l'industrie, la physique, l'administration, l'informatique, l'ingénierie, l'économie, les probabilités et les statistiques, l'écologie, l'éducation, le service social, etc., en s'utilisant actuellement dans tous les domaines où on essaye d'améliorer l'efficacité (Izquierdo Granja & al, 2006).

1.2. La Programmation mathématique :

1.2.1. Résolution d'un problème à l'aide de la programmation mathématique :

La programmation mathématique peut se définir comme une technique mathématique permettant de résoudre des problèmes de gestion et particulièrement ceux où le gestionnaire doit déterminer, face à différentes possibilités, l'utilisation optimale des ressources de l'entreprise pour atteindre un objectif spécifique comme la maximisation des bénéfices ou la minimisation des coûts (Sadi, 2020).

Dans la plupart des cas, les problèmes de l'entreprise pouvant être traités par la programmation mathématique comportent un certain nombre de ressources comme par exemple, la main-d'œuvre, les matières premières, les capitaux, l'espace, etc. qui sont disponibles en quantité limitée et qu'on veut répartir d'une façon optimale entre un certain nombre de processus de fabrication (Baillargeon, 1977).

⁵⁴ Source : http://www.phpsimplex.com/investigacion_operativa.htm

Notre approche pour résoudre des problèmes sera divisée en deux étapes principales :

a) La modélisation :

La modélisation du problème sous forme d'équations ou d'inéquations qui permettra ainsi de bien identifier et structurer les contraintes que doivent respecter les variables du modèle ; de plus, on doit définir l'apport de chaque variable à l'atteinte de l'objectif poursuivi par l'entreprise, ce qui se traduira par une fonction à optimiser⁵⁵.

Un modèle est une construction mathématique utilisée pour représenter certains aspects significatifs de problèmes du monde réel. Il y a différents types de modèles mathématiques, mais nous nous focaliserons sur les modèles d'optimisation (Bastin, 2010).

Il y a trois composantes principales dans un modèle d'optimisation :

- **Variables** : elles représentent les composantes du modèle qui peuvent être modifiées pour créer des configurations différentes.
- **Contraintes** : elles représentent les limitations sur les variables.
- **Fonction objective** : cette fonction assigne une valeur à chaque configuration différente. Le terme "objectif" vient du fait que l'objectif est d'optimiser cette fonction (Bastin, 2010).

b) La détermination de l'optimum mathématique à l'aide de certaines techniques propres à la programmation mathématique :

Cette approche oblige donc à formaliser d'abord le problème qu'on envisage de résoudre en passant d'une compréhension vague du problème en un énoncé plus formel et mieux structuré de la situation sous forme d'un modèle mathématique que nous appellerons dans notre cas, modèle de programmation mathématique. Ceci suppose évidemment que le problème à résoudre peut se formuler en termes d'un problème de programmation mathématique (Baillargeon, 1977).

La résolution de problème est un processus complexe. Décrivons les étapes à suivre dans la formulation, la résolution et l'implantation d'un modèle de programmation mathématique :

1) Définition du problème :

La définition du problème est probablement l'étape la plus cruciale dans ce processus. Une définition imprécise, incomplète ou incorrecte du problème peut causer des torts irréremédiables lors de la réalisation des étapes subséquentes. Sans une bonne compréhension du système à modéliser, des facteurs qui entrent en jeu et des objectifs poursuivis, les résultats espérés sont minimes (Norbert & al, 1995).

⁵⁵ Source : http://www.gymomath.ch/javmath/polycopie/prog_lin.pdf

Une bonne définition du problème comprend en particulier la définition d'objectifs adéquats, l'ensemble des contraintes qui doivent être satisfaites, le contexte dans lequel se situe le problème, la limite de temps où une décision doit être prise, etc (Norbert & al, 1995).

2) Bases théoriques, données disponibles :

Il s'agit des connaissances pertinentes au problème décrivant le mieux le comportement du système (lois, théories, hypothèses, données disponibles d'études antérieures, etc.).

3) Formulation du modèle :

Après avoir bien défini le problème, la prochaine étape consiste à reformuler ce problème pour en faciliter l'analyse. Il s'agit de déterminer la structure mathématique permettant de décrire le comportement du système ou une imitation de ce comportement. Habituellement, cette structure mathématique comprend des paramètres qu'il faut estimer grâce à des données expérimentales.

La construction d'un modèle mathématique permet de décrire notre problème de manière plus concise, permet une plus grande compréhension et l'acquisition d'une vision globale du problème à résoudre, met souvent en évidence les relations existantes entre les paramètres en jeu, etc. L'obtention d'un modèle mathématique nous amène aussi à tirer profit en même temps des techniques mathématiques et des outils informatiques les plus appropriés pour sa résolution (Norbert & al, 1995).

4) Collecte des données :

Souvent, il s'agit de l'opération la plus longue et la plus coûteuse.

5) Résolution du modèle :

Cette étape consiste à déterminer une solution optimale ou mieux encore une "bonne" solution. Il ne faudra jamais oublier que cette solution est optimale pour notre modèle mais, dans le meilleur des cas (où notre modèle est valide), ce n'est qu'une bonne approximation de la réalité.

Au-delà de la modélisation, la résolution de problèmes de recherche opérationnelle nécessite de recourir à des algorithmes adaptés à la nature du problème, et capables de traiter de quelques dizaines à des millions de variable.

Il existe de nombreux logiciels qui mettent en œuvre ces algorithmes, toutefois l'utilisation de tels outils nécessite l'apprentissage de certains langages de modélisation adaptés. Ces langages servent à décrire dans des termes compréhensibles par le solveur le problème à résoudre (Norbert & al, 1995).

6) Validation du modèle :

Le modèle représente-t-il bien la réalité ? Il ne faut jamais oublier qu'un modèle représente toujours une approximation de la réalité. L'introduction d'hypothèses simplificatrices (sans quoi le problème ne peut être résolu) peut faire en sorte que le modèle n'est plus valide et que l'analyse qui s'en suit ne traduit pas le phénomène étudié.

De ce qui précède, on pourrait être tenté d'inclure dans le modèle tous les facteurs ayant un lien direct ou non avec le système à modéliser. Mais il faut tenir compte des objectifs poursuivis et du degré de corrélation entre les facteurs entrant en jeu et les prédictions du modèle (Nobert & al, 1995).

Voici des critères sur lesquels se base la vérification de la validité d'un modèle :

➤ **Critères internes**

Le modèle est consistant ; il n'y a pas de contradiction logique, mathématique ou conceptuelle.

L'algorithme de résolution est approprié et peut fournir des solutions suffisamment précises :

➤ **Critères externes**

Validité empirique

Le modèle doit correspondre d'abord aux données qui ont servi à le construire. Il doit ensuite concorder avec d'autres données qui, cette fois, n'ont pas été utilisées dans sa construction.

Validité théorique

Le modèle doit concorder avec d'autres modèles jugés valides ou avec des théories acceptées.

Validité pratique

Le modèle doit permettre de s'adresser aux objectifs fixés.

Validité heuristique

Le modèle doit avoir une capacité potentielle assez élevée pour fournir une performance acceptable.

7) Prise de décisions et implantation de la solution :

Les étapes de résolution d'un problème à l'aide de la programmation mathématique peuvent être résumés par la figure ci-dessous :

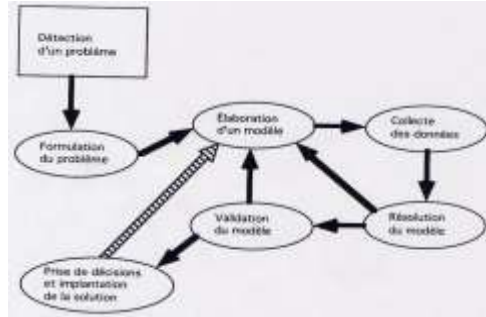


Figure 23. Représentation du déroulement des tâches à mener à bien pour résoudre un problème grâce aux techniques de la recherche opérationnelle⁵⁶.

1.2.2. Les disciplines principales de la programmation mathématique :

- La programmation linéaire
- La Programmation non linéaire
- La Programmation en nombres entiers
- La programmation mixte

1.2.2.1. Programmation linéaire :

Les problèmes de programmations linéaires sont généralement liés à des problèmes d'allocations de ressources limitées, de la meilleure façon possible, afin de maximiser un profit ou de minimiser un coût. Le terme meilleur fait référence à la possibilité d'avoir un ensemble de décisions possibles qui réalisent la même satisfaction ou le même profit. Ces décisions sont en général le résultat d'un problème mathématique (Pirlo & al, 2010).

Condition de formulation d'un programme linéaire :

La programmation linéaire comme étant un modèle admet des hypothèses (des conditions) que le décideur doit valider avant de pouvoir les utiliser pour modéliser son problème. Ces hypothèses sont :

1. Les variables de décision du problème sont positives
2. Le critère de sélection de la meilleure décision est décrit par une fonction linéaire de ces variables, c'est à dire, que la fonction ne peut pas contenir par exemple un produit croisé de deux de ces variables. La fonction qui représente le critère de sélection est dite fonction objectif (ou fonction économique).
3. Les restrictions relatives aux variables de décision (exemple : limitations des ressources) peuvent être exprimées par un ensemble d'équations linéaires. Ces équations forment l'ensemble des contraintes.

⁵⁶ Source :

<http://www2.ift.ulaval.ca/~dupuis/Optimisation%20lineaire%20et%20applications/Introduction%20a%20la%20programmation%20mathematique/Introduction.doc>

4. Les paramètres du problème en dehors des variables de décisions ont une valeur connue avec certitude⁵⁷.

Les étapes de formulation d'un PL :

Généralement il y a trois étapes à suivre pour pouvoir construire le modèle d'un programme linéaire :

1. Identifier les variables du problème à valeur non connues (variable de décision) et les représenter sous forme symbolique (exp. x_1, y_1).
2. Identifier les restrictions (les contraintes) du problème et les exprimer par un système d'équations linéaires.
3. Identifier l'objectif ou le critère de sélection et le représenter sous une forme linéaire en fonction des variables de décision. Spécifier si le critère de sélection est à maximiser ou à minimiser (Pirlo & al, 2010).

Présentation théorique d'un PL :

Un programme linéaire consiste à trouver le maximum ou le minimum d'une forme linéaire dite fonction objective en satisfaisant certaines équations et inégalités dites contraintes⁵⁸. En langage mathématique, on décrira de tels modèles de la manière suivante :

Soient N variables de décision x_1, x_2, \dots, x_n , l'hypothèse que les variables de décision sont positives implique que $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$

La fonction objective est une forme linéaire en fonction des variables de décision de type :

$$z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Où les coefficients c_1, \dots, c_n doivent avoir une valeur bien déterminée (avec certitude) et peuvent être positifs, négatifs ou nuls. Par exemple le coefficient c_i peut représenter un profit unitaire lié à la production d'une unité supplémentaire du bien x_i , ainsi la valeur de z est le profit total lié à la production des différents biens en quantités égales à x_1, x_2, \dots, x_n

Supposons que ces variables de décision doivent vérifier un système d'équations linéaires définis par M inégalités :

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n &\geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n &\geq b_2 \\ &\vdots \\ a_{M1}x_1 + a_{M2}x_2 + \dots + a_{Mn}x_n &\geq b_n \end{aligned}$$

⁵⁷ SOURCE. <https://www.cours-et-exercices.com/2012/10/exercices-corriges-recherche.html>

⁵⁸ SOURCE. <https://www.cours-et-exercices.com/2012/10/exercices-corriges-recherche.html>.

Où les coefficients a_{1M}, \dots, a_{MN} et b_1, \dots, b_M doivent avoir une valeur bien déterminée (avec certitude) et peuvent être positifs, négatifs ou nuls. Le paramètre b_j représente la quantité de matière première disponible dont le bien x_i utilise une quantité égale à $a_{ij} x_i$.

En suivant les étapes de formulation ci-dessus, on peut représenter le PL comme suit :

$$\begin{aligned} & \text{Max } c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n \\ & \text{s. } x \\ & a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ & a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \\ & \quad \cdot \\ & \quad \cdot \\ & \quad \cdot \\ & a_{M1}x_1 + a_{M2}x_2 + \dots + a_{Mn}x_n \geq b_n \\ & x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0 \end{aligned}$$

1.2.2.2. Programmation non linéaire

Dans cette classe de problèmes, la fonction économique et les contraintes sont non linéaires.

Selon l'usage, la programmation non linéaire compte les divisions suivantes :

i) Programmation convexe

La fonction objective à minimiser et l'ensemble sur lequel on cherche à résoudre le problème de programmation mathématique sont convexes.

ii) Programmation quadratique

La fonction objective $f(x)$ est quadratique tandis que les contraintes sont des égalités et des inégalités linéaires.

iii) Problèmes à extremums multiples

Nous retrouvons, par exemple, les problèmes relatifs à la minimisation d'une fonction concave sur un ensemble convexe (Minoux, 1983).

1.2.2.3. La programmation en nombres entiers :

Dans cette classe de problèmes, les variables ne peuvent prendre que des valeurs entières (Minoux, 1983).

1.2.2.4. La programmation mixte :

Certaines classes de problèmes combinent plusieurs des propriétés précédentes. Par exemple, nous pouvons considérer le cas où la fonction objective $f(x)$ est convexe sur l'ensemble convexe S , les contraintes sont linéaires et les variables ne peuvent prendre que des valeurs entières (Minoux, 1983).

2. Critère d'évaluation économique d'un projet d'investissement :

Introduction

L'analyse financière est un processus qui permet d'évaluer une entreprise, un projet ou bien une entité afin de déterminer sa performance et sa pertinence à travers un ensemble de concepts, de méthodes et d'instruments.

Généralement, l'analyse financière est utilisée pour analyser si une entité est stable et suffisamment rentable pour justifier un investissement monétaire (Houdayer, 2008).

2.1. Les principes de capitalisation et d'actualisation :

- L'actualisation consiste à ramener en équivalent U_m (unité monétaire) d'aujourd'hui la valeur attendue des flux de revenus futurs générés par le projet d'investissement.
- Mathématiquement, l'actualisation correspond à l'inverse de la capitalisation (Mandou, 2009).

Nous pouvons représenter le principe d'actualisation et de capitalisation sur la figure ci-dessous :



Figure 24. Principe de capitalisation et d'actualisation⁵⁹.

La capitalisation :

Permet de déterminer le montant X_1 obtenu en t_1 en plaçant en t_0 la somme X_0 pendant un an au taux d'intérêt r (Mandou, 2009).

$$X_1 = X_0 (1+r)$$

$$X_n = X_0 (1+r)^n$$

⁵⁹ SOURCE : <https://openclassrooms.com/fr/courses/5481101-calculez-et-utilisez-les-taux-d-interet/5599181-calculez-les-valeurs-de-capitalisation-et-dactualisation>

L'actualisation

Permet de déterminer le montant X_0 à placer en t_0 pendant un an au taux d'intérêt r pour obtenir en t_1 la somme X_1 (Mandou, 2009).

$$X_0 = X_1 / (1+r)$$

$$X_0 = X_n / (1+r)^n$$

2.2. Les facteurs essentiels à l'évaluation financière d'un projet d'investissement :

- Le montant à investir
- La durée de vie prévisionnelle du projet
- Le montant des flux de revenus futurs générés (flux de trésorerie espérés)
- Le coût du capital
- La valeur terminale ou résiduelle du projet d'investissement (Mandou, 2009).

Le montant à investir :

- Sa détermination est très importante pour une bonne évaluation du projet
- Dans la pratique, on observe souvent, une sous-évaluation de ce montant, due à une mauvaise appréciation des études préalables à la réalisation du projet (Mandou, 2009).

La durée de vie prévisionnelle du projet :

- La dépense d'investissement d'un projet d'investissement s'inscrit dans le temps.
- Sa détermination est essentielle à l'étude de rentabilité.
- Correspond à la durée économique du bien acquis, et donc la durée pendant laquelle le bien rencontre la satisfaction du marché (Mandou, 2009).

Le flux de trésorerie (cash-flow) :

Le cash-flow totalise l'ensemble des flux de trésorerie générés par les activités d'une société. Cet indicateur permet de mesurer la marge réelle d'une entreprise, sa capacité à financer son développement (ses investissements notamment) à partir de son exploitation, ainsi que la masse des dividendes qu'elle peut servir à ses actionnaires (MEYE, 2007).

Il correspond à la différence entre les sorties de fonds (cash out flow) et les entrées de fonds (cash in flow)

- $FT = \text{cash flows} = \text{cash inflow} - \text{cash out flow}$.
- $FT = \text{produits encaissables} - \text{charges décaissables} - \text{impôts sur les bénéfices}$ (MEYE, 2007).

Le coût du capital :

Le coût du capital d'une entreprise est le coût de la totalité de sa dette (argent emprunté), plus le coût de tous ses capitaux propres (capital des actions ordinaires et privilégiées).

Coût du capital = Coût de la dette + coût du capital d'actions privilégiées + coût du capital d'actions ordinaires

Le coût de la dette est facile à déterminer, car les taux d'intérêt sur les prêts sont décrits dans les notes afférentes aux états financiers d'une entreprise. Comme on paie les versements d'intérêts avant les impôts, on doit les ajuster à la baisse pour obtenir le coût de la dette après impôt.

Le coût des capitaux propres d'actions privilégiées est également facile à déterminer, car on indique aussi les versements de dividendes dans les notes afférentes aux états financiers. Comme on verse les dividendes après impôts, nul besoin de les ajuster.

Le coût des capitaux propres d'actions ordinaires est difficile à déterminer, car il n'y a pas de modalités de paiement déclarées dans les notes afférentes aux états financiers. Les analystes utilisent donc diverses méthodes pour estimer le coût des actions ordinaires (aucune n'est précise à 100 %). Une façon rapide d'estimer ce coût consiste à prendre le coût de la dette et à ajouter une majoration pour le risque lié à la propriété des actions ordinaires. Les moyennes de l'industrie servent de guide⁶⁰.

La valeur résiduelle du projet :

La valeur résiduelle correspond à la valeur d'un bien à l'expiration de sa durée d'utilisation ou de location. Cet indicateur est notamment utilisé par les entreprises afin de connaître la valeur de leurs équipements, lorsque ceux-ci ont été amortis. Cette valeur est donc équivalente au coût d'acquisition diminué des amortissements opérés durant la période d'utilité du bien.

La valeur résiduelle peut être nulle ou positive si l'actif a été utilisé sur une courte durée au terme de laquelle il sera revendu.

Celle-ci a toutes les raisons d'être différente de la valeur comptable (VC) du projet. Leur comparaison va donner lieu à des plus ou moins-values qui déboucheront respectivement sur des paiements ou crédits d'impôts⁶¹.

$$VR > VC \Rightarrow \text{plus value} \Rightarrow \text{impôts}$$

$$VR < VC \Rightarrow \text{moins value} \Rightarrow \text{crédits d'impôts}$$

Méthodes utilisées pour le choix des investissements :

Dans le choix des investissements, deux méthodes de calcul de rentabilité sont régulièrement utilisées par les entreprises :

Méthodes statiques (comptables)

- Comparaison des coûts
- Comparaison des bénéfices

⁶⁰ Source : <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/boite-outils-entrepreneur/gabarits-documents-guides-affaires/glossaire/pages/cout-du-capital.aspx>

⁶¹ Source : <https://www.capital.fr/votre-argent/valeur-residuelle-1356179>

- Calcul de rentabilité
- Délai de récupération (pay back)

Méthodes dynamiques (mathématico-financières)

- Méthode de la valeur actuelle nette (VAN)
- Méthode des annuités
- Taux de rentabilité interne (TRI)
- Méthode dynamique des pay back

2.3. Le délai de récupération du capital (DRC) :

Le délai de récupération simple (DRS) ou Payback est le temps nécessaire pour que l'investissement initial soit "récupéré" grâce aux cash-flows générés jusqu'à cette date⁶².

$$\sum_{t=1}^{t=DRS} CF_t - I_0 = 0$$

Le Délai de Récupération Actualisé (DRA)

Le délai de récupération actualisé (DRA) est le temps nécessaire pour que la VAN des cash-flows cumulés actualisés devienne positive (Debourse, 2012).

$$\sum_{t=1}^{t=DRS} CF_t / (1+i)^t - I_0 = 0$$

Inconvénients des critères de délai

- Le DRA/DRC ne tient pas compte des cash-flows générés au-delà du délai de récupération.
- Le DRA/DRC favorise les investissements à horizon limité.
- Il n'y a aucune raison qu'un projet avec un délai de récupération long ne soit pas pertinent pour l'entreprise (Debourse, 2012).

⁶² Source : <https://www.compta-online.com/le-delai-de-recuperation-mesurer-le-risque-de-liquidite-un-investissement-ao3119>

Raisons d'utilisation des critères de délai :

- Les projets avec un DRA/DRC élevés dégagent rapidement des cash-flows et permettent ainsi d'améliorer la structure financière.
- L'utilisation du DRA/DRC peut être un substitut à l'analyse du risque d'un projet, si celle-ci est difficile à réaliser.
- Le responsable d'un projet peut avoir besoin d'un succès rapide (Debourse, 2012).

2.4. La valeur actuelle nette (VAN)

Choix du taux d'actualisation :

Le **taux d'actualisation** ou coût de capital est un taux qui correspond à la **rentabilité attendue** par l'**ensemble des apporteurs de fonds** (les actionnaires et les créanciers) de l'entreprise, il est appelé également coût moyen pondéré du capital.

En matière d'investissement, le taux d'actualisation est l'un des paramètres essentiels du calcul de la VAN. Il permet d'actualiser les flux de trésorerie potentiels à générer par un projet d'investissement afin d'évaluer sa rentabilité **tout en tenant compte de la valeur de l'argent dans le temps**. Il permet également d'**arbitrer** entre les différents projets d'investissement potentiels pour l'entreprise.

Ce taux d'actualisation reste un problème très sérieux dans sa fixation car l'on doit tenir compte de la pondération future capable de refléter la réalité du coût d'opportunité du capital en tenant compte des possibilités de placement et même de l'urgence d'un emprunt⁶³.

$$\text{taux d'actualisation} = k_i \frac{F_e}{F_e + F_p} + k_e \frac{F_p}{F_e + F_p}$$

k_i = taux exigé par les prêteurs.

k_e = taux exigé pour les fonds propres.

F_e = fonds empruntés.

F_p = fonds propres.

$F_e + F_p$ = capitaux permanents

Définition de la valeur actuelle nette (VAN) :

Elle représente la différence entre la valeur actuelle des flux de trésorerie espérés et la valeur actuelle du montant investi.

Chaque projet est une succession de flux financiers dont un flux initial négatif correspondant à l'investissement et des flux annuels positifs correspondant aux recettes du projet (BWAKO WILONDJA, 2012).

⁶³ Source : [https://www.compta-online.com/le-taux-actualisation-notion-et-calcul-ao3303#:~:text=Le%20taux%20d'actualisation%20ou,pond%C3%A9r%C3%A9%20du%20capital%20\(CMPC\).](https://www.compta-online.com/le-taux-actualisation-notion-et-calcul-ao3303#:~:text=Le%20taux%20d'actualisation%20ou,pond%C3%A9r%C3%A9%20du%20capital%20(CMPC).)

La VAN se calcule avec la formule :

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{FNL}{(1+r)^i} - I_0$$

Avec :

FNL = flux nets de liquidités.

N = durée de vie du projet.

R = taux d'actualisation.

I_0 = investissement initial.

La VAN mesure l'avantage absolu susceptible d'être retiré d'un projet :

- Si la $VAN > 0$, elle représente « l'enrichissement » de l'entreprise procuré par ce projet.
- Si la $VAN < 0$, elle représente « l'appauvrissement » de l'entreprise.

La VAN doit être positive et la plus élevée possible.

La VAN peut se calculer aussi avec une fonction Excel nommée « VAN » en français ou bien « NPV » en anglais.

2.5. Indice de profitabilité de l'investissement (IPI)

L'IPI est le rapport entre le montant des flux nets de liquidités cumulés et le montant de l'investissement. L'IPI est obtenu par la formule suivante :

$$I_p = \sum_{j=1}^n \{ FT_{(j)} * (1+i)^{-j} \} / I_0 = 1 + VAN / I_0$$

L'IPI mesure la productivité de l'investissement par UM investi au-delà du taux minimum requis.

Il sert à comparer entre différents projets d'investissement et à sélectionner celui qui maximise la création de valeur par UM investi.

L'IPI présente tous les avantages de la VAN et constitue un indicateur relatif car mesurant l'enrichissement par UM investi.

Un IPI supérieur à 1 signifie que l'investissement est acceptable.

Plus l'IPI d'un investissement est élevé, plus il est rentable (SOLNIK, 2005).

2.6. Taux de Rendement Interne (TRI) :

Cette méthode de TRI consiste à rechercher pour quel taux d'actualisation on obtient l'égalité entre l'investissement initial et la valeur actuelle de cash-flows nets attendus. Autrement dit, c'est une méthode qui conduit au calcul du taux de rentabilité (qui est le taux d'actualisation permettant d'annuler la valeur actuelle nette) (BWAKO WILONDJA, 2012).

$TRI = i$ pour $VAN = 0$

$$\sum_{j=1}^n \{ FT_{(j)} * (1+i)^{-j} \} = I0$$

Avec :

- I0 : Le coût de l'investissement ;
- $\sum FT (1 + i)$: Sommes actualisées des flux de trésorerie à générer par l'investissement ;
- i : le taux de rentabilité interne (à rechercher) ;
- j : période estimée pour laquelle l'investissement génèrera des flux de trésorerie.

A travers la figure ci-dessous nous pouvons voir la représentation graphique du TRI :

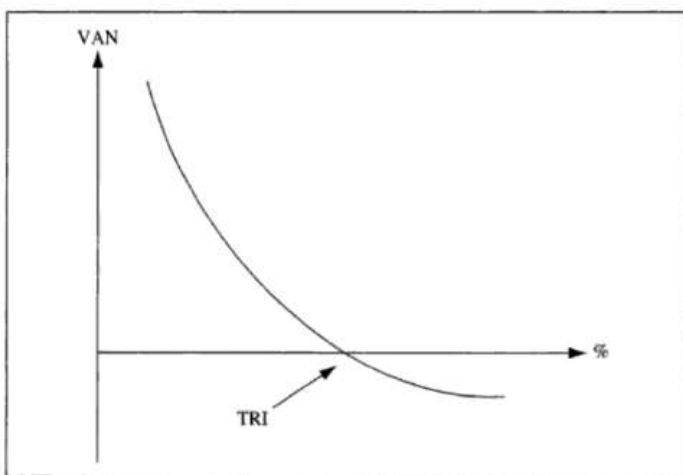


Figure 25. Représentation graphique du TRI

Le TRI est le taux de rentabilité de l'investissement.

Si le TRI > au taux de rentabilité à exiger de l'investissement compte tenu de son risque, alors l'investissement vaut la peine d'être réalisé.

Au contraire, si son TRI < au taux de rentabilité à exiger, alors cet investissement ne mérite pas d'être réalisé.

Pour calculer le **TRI**, on peut utiliser une calculatrice financière ou un chiffrier comme **Excel**. Il faudrait alors utiliser la fonction « TRI » ou bien « IRR » en anglais.

Avantages et inconvénients du TRI :

Avantages :

- Le TRI représente un taux de rentabilité absolu
- Le TRI intègre la valeur temporelle de l'argent.

Inconvénient :

- Peut être en contradiction avec la VAN (Mandou, 2009).

Contradiction entre la VAN et le TRI :

La VAN mesure directement la valeur ajoutée du projet pour la firme.

Lorsqu'il y a contradiction entre la VAN et une autre règle de décision, on doit toujours utiliser la VAN pour prendre une décision.

Le TRI n'est donc pas fiable dans les situations suivantes :

- Flux monétaires non conventionnels.
- Projets mutuellement exclusifs (Mandou, 2009).

Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons pu présenter la recherche opérationnelle et les différentes étapes pour établir une modélisation mathématique d'un problème et la résoudre par la suite.

Nous avons aussi introduit les différents indicateurs économiques qui vont, par la suite, nous servir pour voir l'impact de l'optimisation.

Plus globalement, nous avons introduits tous les concepts et outils nécessaires afin de résoudre notre problématique le plus facilement possible.

Chapitre 4 : Optimisation des couts de transport

Introduction :

Suite à quelques décisions imposées par l'état, SONATRACH a été obligé de localiser ces unités de production d'une manière qui privilégie l'aspect social par rapport à l'aspect économique.

Ce qui mène à notre problématique qui consiste à trouver une localisation optimale de ces unités sans prendre en compte les critères sociaux, tout ça dans le but de diminuer les couts de transport des produits entre ces unités.

Le travail principal de ce chapitre consiste à regrouper les unités de productions en blocs puis établir un modèle mathématique pour enfin le résoudre et voir s'il existe une meilleure disposition des unités qui va optimiser les couts de transport.

1. Modélisation du projet en blocs :

A travers la description du méga projet intégré de phosphate (PIP) entamé durant la partie théorique, nous pouvons constater que ce dernier est composé de plusieurs unités, nous citons :

La mine : où le phosphate est extrait.

Les unités de production des produits finis et semi finis (AHF, AN, AP, AS, CAN, DAP, MAP, NA, NH₃, NPK, TAN, TSP)⁶⁴.

Le port d'Annaba : où les produits finis seront envoyés.

Afin de faciliter la modélisation mathématique de notre projet et bien sûr la relocalisation des différentes unités, nous avons décidé de modéliser notre projet en plusieurs blocs de façon à ce que chaque bloc regroupe une ou plusieurs unités qui ne peuvent être séparés. Donc en d'autres termes les unités d'un même bloc seront situées dans le même site.

En modélisant le projet en blocs, nous allons éviter plusieurs calculs inutiles et donc gagner du temps et en même temps réduire les erreurs.

À travers notre modélisation, nous avons réussi à avoir en total huit blocs d'unités :

Premier bloc (La mine) :

Ce bloc contient seulement la mine puisqu'elle ne dépend d'aucune autre unité et le phosphate peut être transporté à n'importe quel site sans aucun problème.

Deuxième bloc (AS, AP, AHF) :

Ce bloc regroupe les deux unités de production de l'acide sulfurique, l'acide phosphorique :

L'unité de l'acide sulfurique (AS) n'envoie de la matière qu'à l'unité de l'acide phosphorique (AP), ainsi le fait de les séparer ne ferait qu'augmenter le cout de transport de l'acide sulfurique.

De ce fait il est évident que ces deux unités ne peuvent être séparées.

⁶⁴ Les unités AHF et SIO₂ ne seront pas considérés dans notre modèle puisque c'est des rejets de gaz fluorés en petites quantités.

Troisième bloc (MAP, DAP, TSP, NPK) :

Ce bloc contient quatre unités de production de produits finis qui sont le MAP, le DAP, le TSP et bien sûr le NPK. Ils sont pratiquement tous produits en utilisant les mêmes inputs d'un côté, et sont tous envoyé au port à la fin de leur production.

Donc on peut très facilement déduire que ces quatre unités peuvent très bien être ensemble dans le même bloc.

Quatrième bloc (NH3) :

Ce bloc contient l'unité de production de l'ammoniaque NH₃ à travers du gaz naturel, elle constitue un bloc toute seul parce qu'il est impossible de la regrouper avec d'autres unités puisqu'elle n'a pas les mêmes inputs que les autres.

Cinquième bloc (AN) :

Tout comme le bloc qui précède, ce bloc ne contient qu'une seule unité qui est l'unité de l'acide nitrique qui ne peut être regroupée avec d'autres unités.

Sixième bloc (NA) :

Ce bloc ne diffère pas des deux précédents, il contient seulement l'unité du nitrate d'ammonium.

Septième bloc (CAN, TAN) :

Ce bloc regroupe les deux unités de production des deux produits finis le CAN et le TAN qui ont exactement les mêmes inputs et qui sont destinés au port.

Huitième bloc (Port) :

Pour le huitième bloc nous avons décidé de mettre l'unité restante qui est le port d'Annaba où sont destinés tous les produits finis.

2. Relocalisations des différentes unités de production :

Après avoir créé plusieurs blocs à partir des différentes unités, il faut revenir à notre objectif initial qui est la diminution des couts de transport, et pour cela il faudrait relocaliser les différents blocs de manière à ce que le cout de transport des produits entre les différents blocs soit le minimum possible.

De ce fait, nous avons pour but la relocalisation des huit blocs dans les différents sites possibles (Bled el Hadba, Oued el Kebrit, Hadjar Soud, Annaba) tout en minimisant les couts de transport engendré par les interactions entre ces derniers.

Ce qui nous mène à notre problème qui représente un modèle de localisation où on doit localiser nos blocs dans les quatre sites possibles de manière à optimiser le cout de transport.

2.1. Hypothèses du modèle :

- Nous avons huit blocs à localiser.
- Le nombre de sites où on peut localiser ces blocs est égal à quatre (Bled el Hadba, Oued el Kebrit, Hadjar Soud, Annaba)
- La mine est situé à Bled el Hadba et par conséquent sa localisation est fixe et ne changera pas.
- Le port est situé à Annaba et sa localisation est fixe.
- Aucun autre bloc ne peut être localisé à Annaba, en d'autres termes les six blocs restants auront la possibilité d'être localisés seulement sur trois sites (Bled el Hadba, Oued el Kebrit, Hadjar Soud)
- Chaque site peut contenir plusieurs blocs comme il peut ne contenir aucun.
- Chaque bloc doit être affecté à un et un seul site.
- Les blocs sont interdépendants (chaque bloc peut recevoir un input d'un autre bloc et en même temps envoyer son produit à un autre) sachant que les quantités envoyées et reçues par an entre les blocs sont fixes et ne changeront pas.
- La distance entre deux blocs dépend des sites où sont localisés ces deux derniers.
- La quantité de produits envoyés par an entre deux blocs est supposée fixe.
- Le cout de construction d'une unité ne sera pas pris en considération puisqu'il restera le même peu importe le site choisi.
- Le transport se fait en utilisant des trains, ce qui fait que le chemin qui relie les différents sites est déjà réalisé⁶⁵.

2.2. Modélisation mathématique :

Après avoir bien défini notre problème, nous pouvons entamer la modélisation qui consiste à formuler ce problème mathématiquement pour en faciliter l'analyse.

Effectivement, notre objectif est la minimisation du cout global de transport de produits entre les différents blocs.

Nous avons comme données la distance entre les différents sites ou nous devons localiser les blocs (Annexe 1.1), le cout unitaire de transport de chaque produit (Annexe 1.2) et finalement la quantité de produit annuelle envoyée entre chaque bloc (Annexe 1.3)

Puisque le cout unitaire de transport et les quantités annuelles envoyées sont fixes, nous avons décidé de fusionner les deux matrices afin de faciliter le calcul, de ce fait, nous avons créé une troisième matrice qui représente le produit entre chaque cout unitaire et la quantité qui lui correspond. De ce fait, la troisième matrice représente le cout total de transport de la quantité annuelle de produit entre les blocs. (Annexe 1.4)

⁶⁵ Source : Entretien avec le directeur du département études économiques et activités connexes.

En ce qui concerne les blocs, nous avons décidé de les diviser en deux parties ceux qui envoient les produits et ceux qui reçoivent ces produits. Seulement notre cas est un cas particulier où pratiquement chaque bloc reçoit des inputs, il les transforme en output puis les envoie à son tour ce qui veut dire que les blocs sont présents dans les deux parties en mêmes temps puisqu'ils envoient et reçoivent en même temps.

Paramètres du modèle :

Pour réaliser notre modèle mathématique, nous devons introduire quelques paramètres :

I : ensemble des blocs i qui transmettent les produits finis ou semi-finis, I= {1,8}

S : ensemble des blocs s qui reçoivent les produits finis ou semi-finis, S= {1,8}.

K : ensemble des produits envoyés entre les blocs i et s, K= {1,13}.

J : ensemble des sites j où sont localisés les blocs qui transmettent les produits finis ou semi-finis, J= {1,4}

N : ensemble des sites n où sont localisés les blocs qui transmettent les produits finis ou semi-finis, N= {1,4}.

c_k : Cout unitaire de transport d'un produit k (DZD/KT)

Q_{is}^k : La quantité annuelle d'un produit k envoyé entre le bloc i et le bloc s (KT/an)

C_{is} : Cout du transport total de la quantité annuelle de produits à transporter du bloc i au bloc s. (DZD/an) (on peut avoir C_{is} en multipliant chaque quantité Q_{is}^k par le cout c_k correspondant)

D_{jn} : Distance entre le site j et le site n.

Variables de décision du modèle :

$$Y_{ij}: \text{Variable binaire de localisations } Y_{ij} \\ = \begin{cases} 1 : \text{Le bloc } i \text{ est localisé au site } j. \\ 0 : \text{Le bloc } i \text{ n'est pas localisé au site } j. \end{cases}$$

$$W_{sn}: \text{Variable binaire de localisation } W_{sn} \\ = \begin{cases} 1 : \text{Le bloc } s \text{ est localisé au site } n. \\ 0 : \text{Le bloc } s \text{ n'est pas localisé au site } n. \end{cases}$$

Le modèle mathématique :

Le modèle mathématique qui répond à notre problème et permet de relocaliser les différents blocs peut s'écrire sous la forme suivante :

$$Z = \min \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^4 \sum_{s=1}^8 \sum_{n=1}^4 C_{is} \cdot Y_{ij} \cdot W_{sn} \cdot D_{jn} \dots\dots\dots (A)$$

Sous les contraintes:

$$\sum_{j=1}^4 Y_{ij} = 1, \forall i \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sum_{n=1}^4 W_{sn} = 1, \forall s \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$Y_{ij} = \{0,1\}, \forall i \forall j \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$W_{sn} = \{0,1\}, \forall i \forall j \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$Y_{11} = 1 \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$Y_{84} = 1 \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$Y_{i4} = 0, \forall i \in [2,7] \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$W_{11} = 1 \quad \dots\dots\dots (8)$$

$$W_{84} = 1 \quad \dots\dots\dots (9)$$

$$W_{s4} = 0, \forall s \in [2,7] \quad \dots\dots\dots (10)$$

$$C_{1s} = 0, \forall s \in S - \{2\} \quad \dots\dots\dots (11)$$

$$C_{2s} = 0, \forall s \in S - \{2,3\} \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$C_{3s} = 0, \forall s \in [1,7] \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$C_{4s} = 0, \forall s \in S - \{3,5,6\} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$C_{5s} = 0, \forall s \in S - \{6\} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$C_{6s} = 0, \forall s \in S - \{3,7\} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$C_{7s} = 0, \forall s \in [1,7] \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$C_{8s} = 0, \forall s \in [2,8] \quad \dots\dots\dots (18)$$

$$Y_{ij} = W_{sn}, \text{ pour tout } i = s \text{ et } j = n \quad \dots\dots\dots (19)$$

La fonction objectif (A) minimise la somme des couts de transport de chaque produit entre les blocs.

La contrainte (1) assure que chaque bloc i est affecté à un et un seul site j .

La contrainte (2) Assure que chaque bloc s est affecté à un et un seul site n .

Les contraintes (3) et (4) assurent que les variables de décision Y_{ij} et W_{sn} reçoivent deux valeurs 0 ou 1. $Y_{ij} = 1$ si le bloc i est localisé au site j sinon 0. Même chose pour l'autre variable de décision $W_{sn} = 1$ si le bloc s est localisé au site n sinon 0.

La contrainte (5) assure de localiser de la mine dans le premier site qui est Bled El Hadba puisque c'est le seul site où on peut extraire le phosphate.

La contrainte (6) assure de localiser le port à Annaba puisqu'il ne peut être localisé dans aucun des autres sites.

La contrainte (7) assure qu'aucun autre bloc à part le port ne peut être localisé à Annaba puisque qu'il est impossible de construire une usine à Annaba.

Les contraintes (8), (9) et (10) sont identiques aux contraintes (5), (6) et (7) respectivement, la seule différence c'est que les premiers assurent la localisation des blocs qui envoient des produits et les deuxièmes assurent la localisation des blocs qui reçoivent les produits.

Les contraintes (11), (12), (13), (14), (15), (16), (17), (18) assurent le flux entre les blocs qui envoient et ceux qui reçoivent, par exemple les contraintes (13) et (17) elles assurent que les produits du bloc 3 et 7 ne sont envoyé uniquement qu'au port.

La contrainte (19), c'est la contrainte la plus importante de notre modèle, elle assure la coordination de notre modèle puisque nous sommes dans un cas particulier où les blocs qui envoient des produits reçoivent aussi de la matière. De ce fait le même bloc qui envoie et reçoit de la matière doit être localisé dans un et un seul site.

Nous pouvons dire que la solution de ce problème est assez complexe puisque c'est un problème d'optimisation linéaire combinatoire⁶⁶, ce dernier consiste à trouver la solution optimale parmi un ensemble discret de solutions possibles. Cependant, il existe plusieurs solveurs grâce auxquels nous pouvons trouver la solution optimale rapidement et sans beaucoup d'efforts.

Dans notre cas, nous avons choisi d'utiliser le logiciel IBM ILOG CPLEX⁶⁷ qui est l'un des logiciels les plus performants en ce qui concerne l'optimisation.

2.3. Résolution du modèle mathématique et analyse :

Après avoir réalisé le modèle mathématique qui décrit parfaitement notre problème, nous devons le programmer en langage C (voir annexe 1.5) puis l'introduire dans notre logiciel afin d'avoir les solutions attendues.

Avant tout cela, dans le but de faire une comparaison entre la localisation actuelle des blocs et la localisation optimisée, nous devons présenter le schéma actuel ainsi que certaines de ces caractéristiques.

Le schéma actuel :

Pour faciliter la comparaison, nous devons adapter la localisation actuelle des unités de production que nous avons déjà vue dans la partie théorique au concept de blocs.

En effet, la figure ci-dessous montre la répartition des blocs dans les différents sites :

⁶⁶ L'optimisation combinatoire, aussi appelée optimisation discrète, est une branche de l'optimisation. Dans sa forme la plus générale, un problème d'optimisation combinatoire consiste à trouver dans un ensemble discret un parmi les meilleurs sous-ensembles (ou solutions) réalisables, la notion de meilleure solution étant définie par une fonction objectif.

⁶⁷ CPLEX est un outil informatique d'optimisation commercialisé par IBM depuis son acquisition de l'entreprise française ILOG en 2009. Son nom fait référence au langage C et à l'algorithme du simplexe.

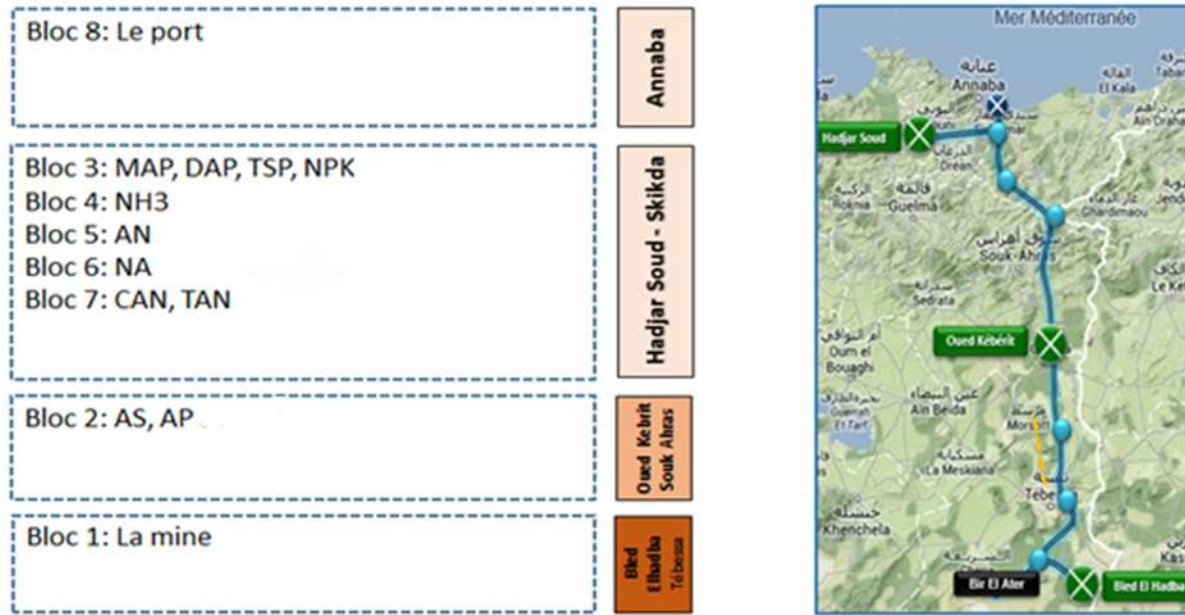


Figure 26. Localisation des blocs actuelle.

A travers cette figure, nous pouvons voir que le premier bloc qui représente la mine est situé à Bled el Hadba, le deuxième bloc a Oued Kebrit, les blocs 3,4,5,6 et 7 sont situés à Hadjar Soud et finalement le dernier bloc le port qui est situé à Annaba.

La répartition actuelle des blocs engendre des coûts de transport de produits entre les différents sites. De ce fait, on peut facilement calculer le cout de transport global annuel qui est de 8 260 417 520 DZD/an.

Le schéma optimisé :

En effet, après avoir déroulé notre algorithme dans le logiciel, nous avons pu obtenir le résultat (voir annexe 1.6) qui représente la nouvelle répartition des blocs optimisée.

Tout comme on a fait pour le schéma actuel, afin de faciliter la comparaison, la nouvelle répartition est montrée par la figure ci-dessous :

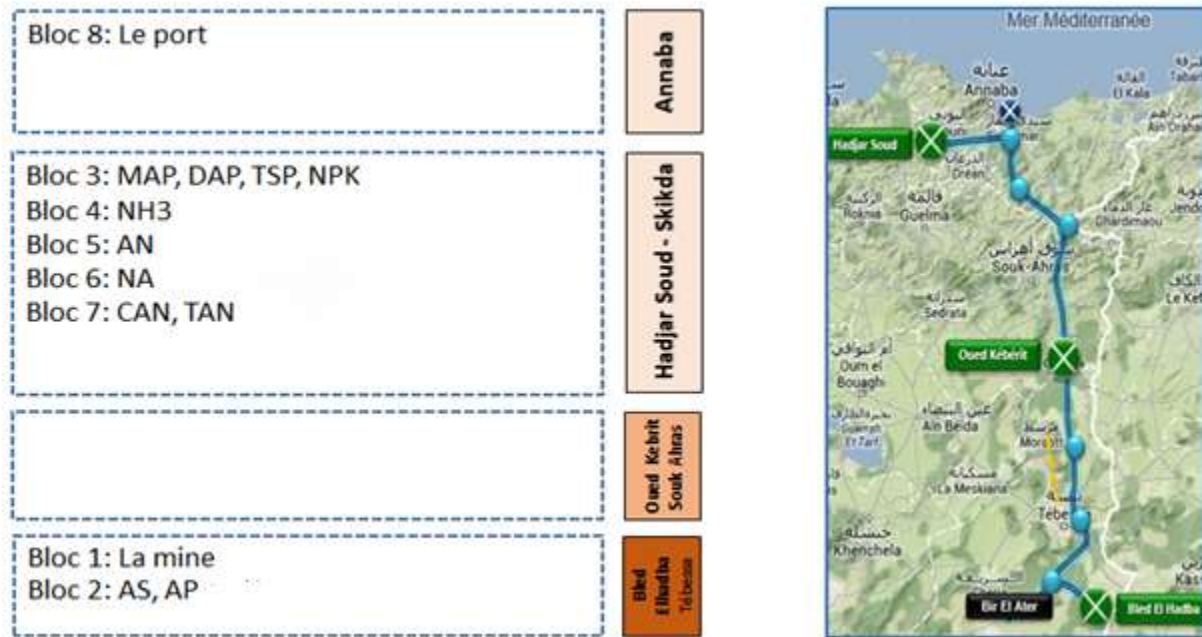


Figure 27. Localisation des blocs optimisée.

A travers de cette figure, nous pouvons voir que le premiers et le deuxième bloc sont situés à Bled el Hadba, les blocs 3, 4, 5, 6 et 7 sont situés à Hadjar Soud et finalement le dernier bloc le port qui est situé à Annaba.

La répartition optimisée des blocs engendre des couts de transport de produits entre les différents sites. De ce fait, le cout de transport global annuel est de 7 862 113 200 DZD/an.

3. Analyse des résultats et comparaison :

Après avoir trouvé la solution optimale de notre problème, nous devons faire une analyse du schéma optimisé et une comparaison de ce dernier avec le schéma actuel.

3.1. Analyse du schéma optimisé :

Pour commencer, nous pouvons remarquer que le deuxième bloc qui contient les unités d’AS, AP et AHP a été localisé à Bled El Hadba avec la mine, ce qui veut dire qu’aucun bloc ne sera localisé à Oued El Kebrit.

En effet, le changement de la localisation du deuxième bloc va affecter le transport de plusieurs produits :

-Le phosphate ne sera pas transporté à Oued El Kebrit, il sera transformé directement à Bled El Hadba.

-Le souffre seras transporté du port d'Annaba jusqu'à Bled El Hadba au lieu de Oued El Kebrit.

-L'acide phosphorique (AP) et l'acide sulfurique (AS) seront envoyés de Bled El Hadba à Hadjar Soud au lieu d'être envoyés de Oued El Kebrit.

En ce qui concerne les autres blocs, leur localisation n'a pas été changée.

3.2. Comparaison entre les deux schémas :

D'abord, en ce qui concerne les localisations, la seule différence c'est le deuxième bloc qui a été relocalisé au premier site.

En effet, cela a affecté le transport de plusieurs produits et donc automatiquement affecté le cout de transport global annuel.

On peut facilement remarquer que le cout de transport global annuel du schéma optimisé est moins que celui du schéma actuel.

Afin d'avoir une idée sur les pertes que SONATRACH a subi, nous devons soustraire le cout de transport global annuelle optimisé au cout de transport actuel.

Ainsi, les pertes annuelles sont 398 304 320 DZD/an, et comme la durée d'exploitation du projet est estimée à 30 ans, les pertes tout au long de la durée de vie du projet sont 11 949 129 600 DZD qui sont l'équivalent de 95593,0368 K\$.

Conclusion :

Dans le but de trouver une réponse à notre problématique qui consiste à trouver s'il y a une meilleure disposition des unités de production de façon à optimiser les couts de transport, nous avons établi dans ce chapitre une modélisation mathématique de notre problème.

Après avoir résolu le modèle mathématique grâce au logiciel CPLEX, nous avons trouvé qu'il existe effectivement une meilleure disposition qui consiste à localiser les trois unités AS, AP au premier site qui représente Bled El Hadba. En effet, cette nouvelle localisation va affecter le transport de plusieurs produits et donc va engendrer une diminution des couts de transport.

Pour finir, afin de voir les effets de cette optimisation sur les indicateurs économiques et mieux comparer, nous avons décidé, dans le prochain chapitre, de mener une étude économique du projet avant et après l'optimisation.

Chapitre 5 : évaluation économique

Introduction

Dans cette partie, il nous faudra faire une évaluation économique afin d'effectuer une comparaison entre le projet avant et après l'optimisation des coûts de transports, il faut être capable de les comparer de manière objective, donc il faut déterminer les coûts et les avantages qui vont être générés dans le temps. Pour cela nous devons établir les flux de trésorerie dégagés pendant la durée d'exploitation du projet et évaluer les critères de rentabilité et les risques associés à cet investissement sur la base des connaissances actuelles. Il faudra donc baser ses choix d'investissements sur une base actuarielle.

Dans ces conditions, trois critères sont généralement utilisés pour juger la pertinence de cet investissement :

La valeur actuelle nette (VAN),

L'indice de profitabilité (IP),

Le taux de rentabilité interne (TRI).

Afin de savoir choisir entre le projet avant et après l'optimisation des coûts de transports et juger quel est l'investissement le plus rentable, nous allons considérer le projet phosphate comme deux investissements qui diffèrent en termes de coût de transport. Il faut ensuite réaliser une analyse de ces deux investissements en comparant ces trois critères économiques.

1. Les données utilisées dans le calcul :

L'évaluation économique de ce projet consiste à calculer le TRI, l'IP et la VAN, ces trois critères sont importants pour juger l'efficacité de cet investissement, les données incluses pour effectuer ce calcul ont été regroupées comme suit :

1.1. Capex de projet :

Les capex totaux du projet regroupent l'ensemble des coûts orientés vers la construction, les actifs incorporels « Intangible assets cost », autres actifs et autres coûts financiers (Annexe 1.7), les capex sont représentés comme suit :

- **Coûts de construction :**
 - Siège social
 - Mine
 - Unité AS, AP, AHF
 - Unité Ammoniac, AN, NA, TAN, CAN, MAP, DAP, TSP, NPK
 - Annaba Port
 - Coût d'achat des équipements
- **Autres coûts :**
 - Terrain
 - Coût de l'ingénierie du management de la construction
 - Installations temporaires
 - Frais de préparation et d'administration
 - Coût de l'ingénierie du design
 - Coût de supervision de l'ingénierie de construction
 - Assurance de l'ingénierie
 - Coût de l'opération d'essai combiné.
- **Coûts des actifs incorporels :**
 - Royalties
 - Produit d'attribution (Permis minier)
- **Autres coûts actifs :**
 - Production preparation cost
 - Overseas travel cost
 - Reception fee
 - Drawings translation and reproduction cost.
- **Contingency**
- **Tax fees**
- **Historical cost**
- **IDC**
- **Financing fees**

L'ensemble de ces coûts d'investissement est arrangé selon un calendrier capex étalé sur 34 années dont la majorité est dépensée pendant les quatre premières années comme le montre le tableau suivant :

Tableau 5. Calendrier CAPEX

Calendrier Capex							
Années				1	2	3	4
General CAPEX schedule	100%			15%	30%	35%	20%

1.2. Opex de projet :

L'Opex de ce projet représente l'ensemble des coûts d'exploitations pour chaque bloc et pour chaque unité, la structure des coûts d'exploitations se diffère entre chaque bloc et entre chaque unité en quelque points ainsi, elle se ressemble en d'autres (Annexe 1.8). Ces coûts sont exposés comme suit :

Mine

- Equipement mobile et utilités : Pelles – camions, Roues pelles, Convoyeurs, Equipement mobile, Drilling Blasting, Convoyeur, Eau, Gaz naturel, Diesel, Réactifs, Assurances, Electricité (consommation), Electricité (redevance fixe), Electricité (mise à dispo capacité).
- Personnel : Personnel Mining, Personnel Processing, Personnel Traitement, Personnel infrastructure, Personnel Environnement, Personnel Administration.
- Maintenance.
- Transport.

Unité AS, AP, AHF

- Consommables AS: Gaz naturel, Precoat, Caustic Soda, Morpholine, Oxygen Scavenger, Trisodium Phosphate, Hypochlorite, Process water, Demineralized Water, Cooling Tower Make-Up.
- Consommables AP : Dolomite, Process water, Lime, Soufre
- Consommables AHF
- Personnel : Directeurs, Ingénieurs, Agents de maitrise, Techniciens, Agents techniques, Manœuvre.
- Maintenance : Maintenance Sulfurique, Maintenance Calcination, Maintenance Phosphorique, Maintenance Générale, Power & utilities.
- Charges externes : Charges sociales, Assurances, General electricity (mise à disposition capacité), General water
- Transport

Unité MAP, DAP, TSP, NPK

- Consommables MAP: Electricity, Natural Gas, Filler Dry, Process Water, Mp Steam, Bp Steam, Defoamer, Coating Oil, Bags.

- Consommables DAP: Electricity, Natural Gas, Filler Dry, Process Water, Mp Steam, Bp Steam, Defoamer, Coating Oil, Bags.
- Consommables TSP: Electricity, Natural Gas, Filler Dry, Process Water, Mp Steam, Bp Steam, Defoamer, Coating Oil, Bags.
- Consommables NPK: Electricity, Natural Gas, Filler Dry, Process Water, Mp Steam, Bp Steam, Defoamer, Coating Oil, Bags.
- Personnel : Directeurs, Ingénieurs, Agents de maitrise, Techniciens, Agents techniques, Controlleur.
- Maintenance : Maintenance MAP/DAP/NP/NPK, Maintenance Infrastructure/démarrage.
- Charges externes : Charges sociales, Assurances, General electricity (mise à disposition capacité), General water.
- Transport

Unité ammoniacque

- Consommables: Water, Natural Gas, Catalyst.
- Personnel : Directeurs, Ingénieurs, Agents de maitrise, Techniciens.
- Maintenance
- Charges externes : Charges sociales, Assurances, electricity.
- Transport

Unité OPEX Netric Acid (NA)

- Consommables : Ammoniac, Water, Catalyst.
- Personnel : Directeurs, Ingénieurs, Agents de maitrise, Techniciens.
- Maintenance
- Charges externes : Charges sociales, Assurances, electricity.
- Transport

Unité OPEX Ammonium Nitrate (AN)

- Consommables : HNO₃, Ammoniac, Water.
- Personnel : Directeurs, Ingénieurs, Agents de maitrise, Techniciens.
- Maintenance
- Charges externes : Charges sociales, Assurances, electricity.
- Transport

Unité TAN, CAN :

- Consommables TAN : Water, Bags.
- Consommables CAN : Water, Bags.
- Personnel : Directeurs, Ingénieurs, Agents de maitrise, Techniciens.
- Maintenance
- Charges externes : Charges sociales, Assurances, electricity.
- Transport.

2. Hypothèses et unités de calcul :

Afin de simplifier les calculs et unifier les unités des différentes quantités de composants initiaux, en-cours et produits finaux, les unités de calcul ont été prises comme ci-dessous :

- Les quantités en kilo tonne
- Les distances en kilo mètre
- Les entités monétaires en kilo dollar.

Les hypothèses à prendre en considération :

Afin de d'élaborer les prévisions des cash-flows des hypothèses ont été mise en place, ainsi nous avons considéré :

Pour les taux de conversion des différentes unités :

Tableau 6. Taux de conversion des unités

Taux de Conversion utilisés			
1 USD		125,0	DZD
1 NM3		8 837,0	KCAL
1 MBTU		27,8	NM3
1 Tonne		0,4	NM3

La cadence de la production des trois premières années :

Tableau 7. Montée en cadence de la production.

Montée en cadence de la production	Unité		
1er année	% capacitaire		80,0%
2eme année	% capacitaire		90,0%
3eme année	% capacitaire		100,0%

A partir de la troisième année la cadence de la production des différentes unités est fixée à 100%.

Fiscalité :

Tableau 8. Paramètres de fiscalité

Fiscalité		
IBS		19,0%
TAP		1,0%
Durée des avantages ANDI	Ans	9

Les hypothèses de prévision des prix de matières premières, de produits finis ainsi que les quantités produites pour chaque produit sont représentées dans (Annexe 1.9).

3. Evaluation de la rentabilité du projet :

Afin d'évaluer la rentabilité du projet avant et après l'optimisation des coûts de transports, nous aurons besoin de calculer plusieurs critères. Pour nous simplifier les calculs nous avons créé un modèle sur EXCEL (Annexe 1.10) qui nous permet de calculer les critères nécessaires pour effectuer la comparaison entre le projet avant et après l'optimisation des coûts de transports.

Mais avant de procéder à l'application de ces derniers qui nous aideront à prendre la décision, il convient de déterminer en premier lieu les caractéristiques de ce projet.

3.1. Chiffre d'affaire prévisionnel :

Le chiffre d'affaire prévisionnel de chaque année est réalisé par les ventes provenant des blocs outputs (TAN, CAN, MAP, DAP, NPK, TSP, AHF, SIO2) générant un volume de production d'environ 4600 kt de produits finaux.

Le chiffre d'affaire annuel est calculé à partir de la formule ci-dessous :

Le prix de vente unitaire du produit i x la quantité du produit i

Le graphe suivant nous montre la variation du chiffre d'affaire annuel par rapport à la durée de vie de ce projet :

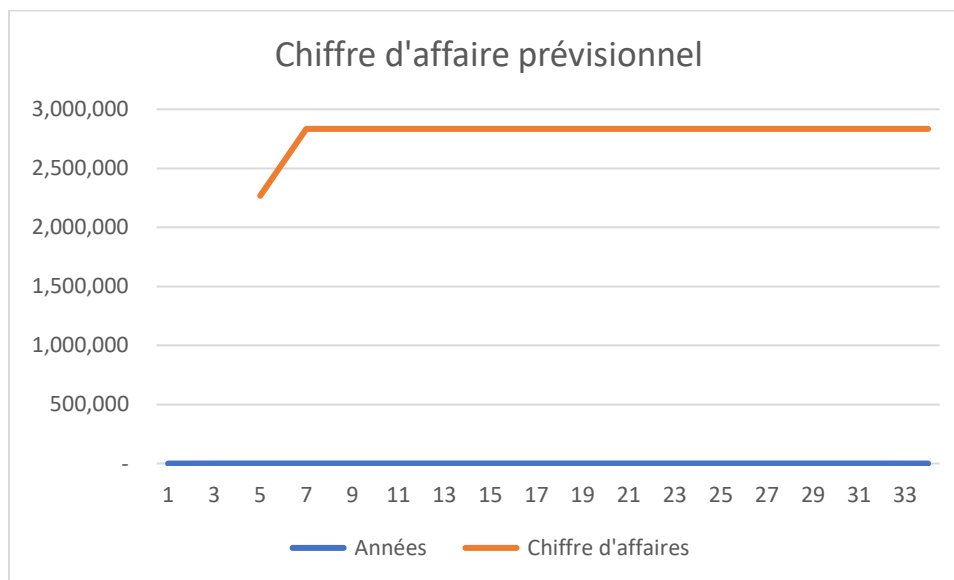


Figure 28. Chiffre d'affaire prévisionnels

Nous constatons d'après le résultat trouvé par Excel que le chiffre d'affaire annuel des deux premières années est évalué à 2 267 241 k\$ et 2 550 646 k\$ respectivement, cela est dû aux hypothèses prises à 80% et 90% respectivement de la cadence normale de production des deux premières années, ensuite, la cadence augmente à 100% pour en retrouver un chiffre d'affaire stable tout au long du reste de durée de vie de projet et évalué à environ 2 834 051k\$

3.2. Revenu prévisionnel :

Le revenu annuel généré est relativement proportionnel au chiffre d'affaire annuel que nous venons de calculer, nous le trouvons en prenant le chiffre d'affaire annuel et déduire la taxe sur l'activité professionnelle (TAP), la formule appliquée et la suivante :

Chiffre d'affaire annuel – TAP

TAP : Taxe sur l'activité professionnelle est due à raison du chiffre d'affaires réalisé en Algérie par les contribuables qui exercent une activité dont les profits relèvent de l'impôt sur le revenu global, dans la catégorie des bénéficiaires professionnels ou de l'impôt sur les bénéfices des sociétés.

La TAP annuel appliqué pour le calcul de revenu est évalué 1.0% de chiffre d'affaire annuel autrement dit 28 341 k\$ et elle entre en vigueur après 9 années, d'après la durée des avantages ANDI qui représentent des avantages accordés après constat de mise en exploitation établi par les services fiscaux à la diligence de l'investisseur.

Les résultats de revenu annuel tout au long de la durée de vie de projet trouvé par EXCEL :

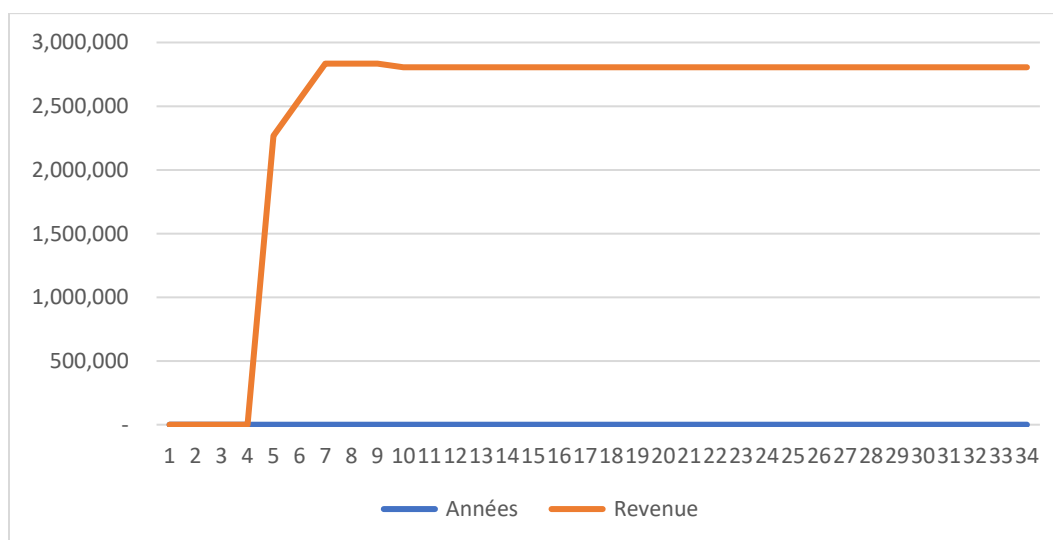


Figure 29. Revenu prévisionnel

La courbe du revenu ressemble à la courbe du chiffre d'affaire sauf, nous constatons une diminution et cela est dû à raison de la mise en vigueur de la TAP après la 9-ème années.

3.3. Les couts opérationnels prévisionnels :

Les couts opérationnels prévisionnels regroupent l'ensemble des couts d'exploitations de projet représentant dans notre cas la somme des OPEX des différents blocs :

- Mine
- AS, AP, AHF
- MAP, DAP, TSP, NPK

- NHO3
- NA
- AN
- TAN, CAN

Les OPEX annuels de chacun de ces blocs est calculé à partir des données OPEX de projet citées auparavant pour toute la durée de vie de ce projet '34 ans'.

Les couts opérationnels prévisionnels ont été calculés en sommant l'ensemble des OPEX de chaque bloc et pour chaque année.

Les résultats obtenus à partir d'EXCEL :

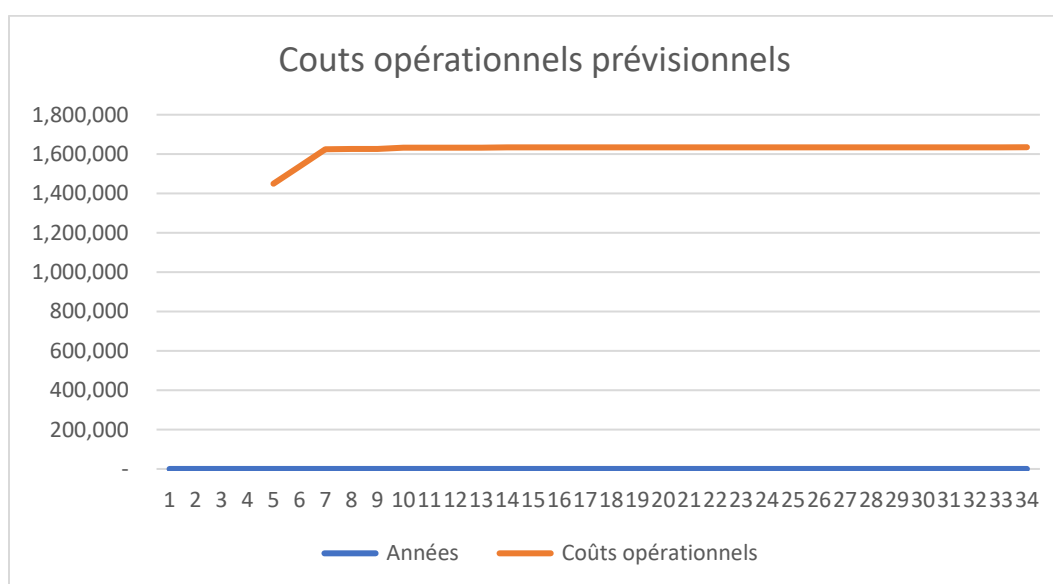


Figure 30. Coûts opérationnels prévisionnels

Nous constatons d'après ce résultat que la courbe des couts opérationnels prévisionnels ressemble à celle de chiffres d'affaires prévisionnels et cela dû aux hypothèses prises à 80% et 90% respectivement de la cadence normale de production durant les deux premières années qui influencent les couts comme les chiffres d'affaires, les résultats pour les deux premières années sont d'environ : 1 449 492 k\$ et 1 537 350 k\$ respectivement puis ils deviennent relativement constants à environ : 1 634 827 k\$.

3.4. Flux de trésorerie opérationnels :

L'obtention de flux de trésorerie nécessite le calcul de plusieurs paramètres en commençant par :

- **L'excédent brut d'exploitation (EBE)⁶⁸**

⁶⁸ EBE : L'excédent brut d'exploitation qui représente un Solde Intermédiaire de Gestion calculé comme la différence entre les produits d'exploitation et les charges d'exploitation.

- **Les dotations aux amortissements :**

Se calcule en fonction de la durée d'utilisation du bien pour constater la diminution de valeur d'un bien immobilisé du fait de son utilisation dans le temps, pour ce projet les dotations aux amortissements sont appliquées pour une durée de 20 ans qui commence à partir de la première année d'exploitation du projet.

- **Le résultat de l'exploitation :**

Obtenu par la déduction des dotations aux amortissements de l'excédent brut d'exploitation.

- **L'impôt sur les bénéfices :**

Qui désigne l'impôt dû par les entreprises chaque année au cours d'un exercice social donné, dans notre cas, nous le prenons IBS = 19%.

Ces quatre paramètres ont été calculés à partir des formules suivantes :

L'excédent brut d'exploitation (EBE) :

L'excédent brut d'exploitation (EBE) = Chiffre d'affaires – couts opérationnels

Le calcul sur EXCEL a apporté le résultat suivant :

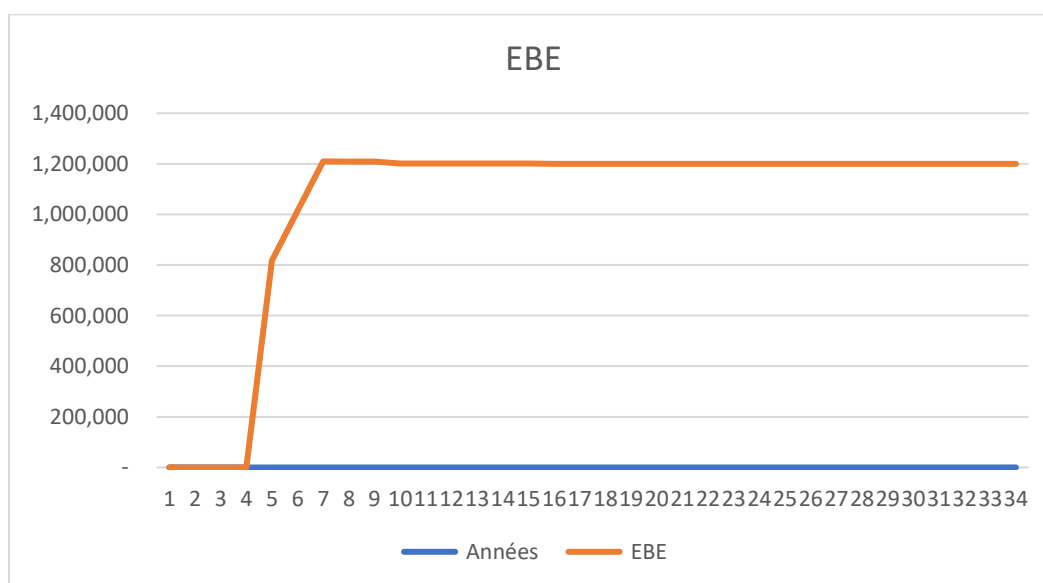


Figure 31. L'excédent brut d'exploitation (EBE).

Les dotations aux amortissements :

Les dotations aux amortissements = Total CAPEX × taux d’amortissements

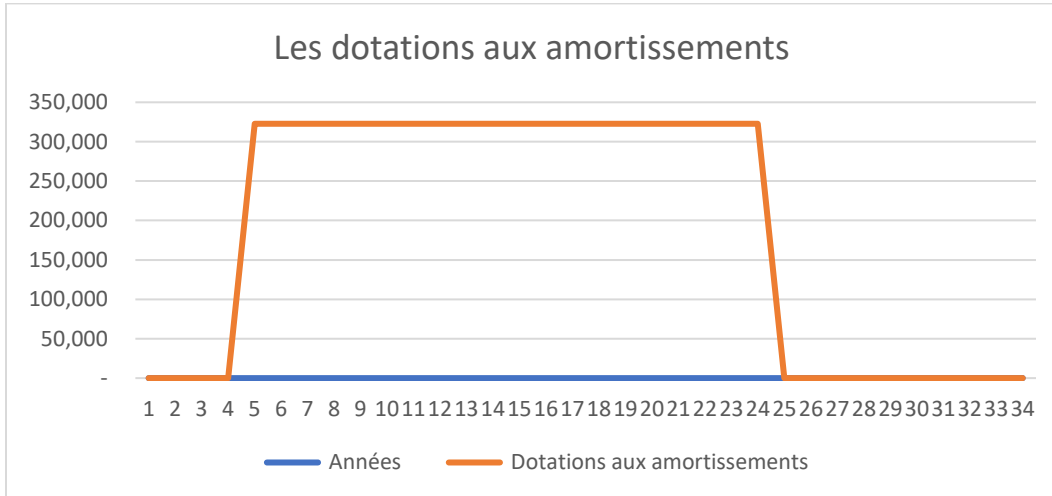


Figure 32. Les dotations aux amortissements.

Résultat de l’exploitation :

Résultat de l’exploitation = L’excédent brut d’exploitation (EBE) - Les dotations aux amortissements

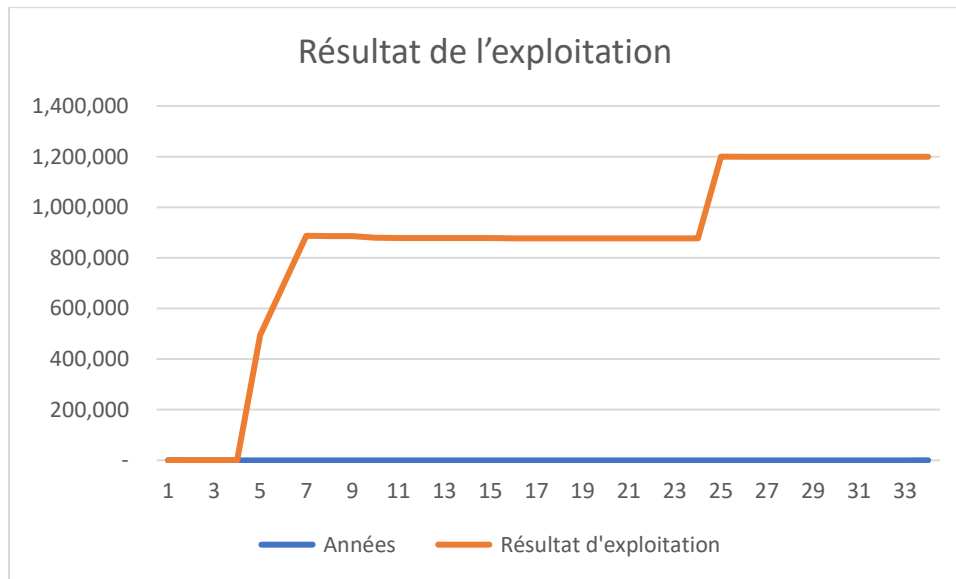


Figure 33. Résultat de l’exploitation

L'impôt sur les bénéfices :

L'impôt sur les bénéfices = Résultat d'exploitation × IBS

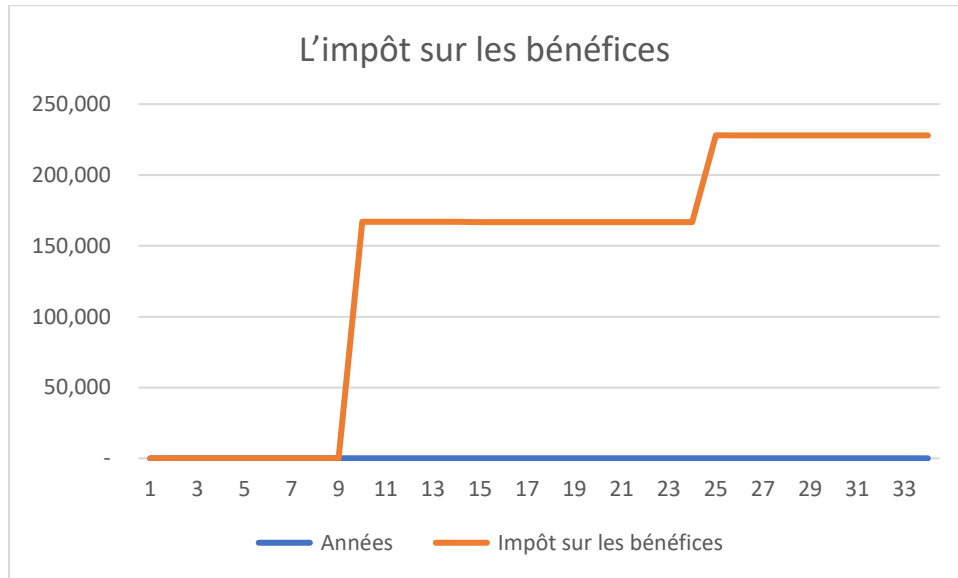


Figure 34. Impôt sur les bénéfices.

Pour calculer les flux de trésorerie opérationnels, nous avons appliqué la formule suivante :

Résultat d'exploitation + Les dotations aux amortissements - L'impôt sur les bénéfices

Le résultat obtenu sur EXCEL :

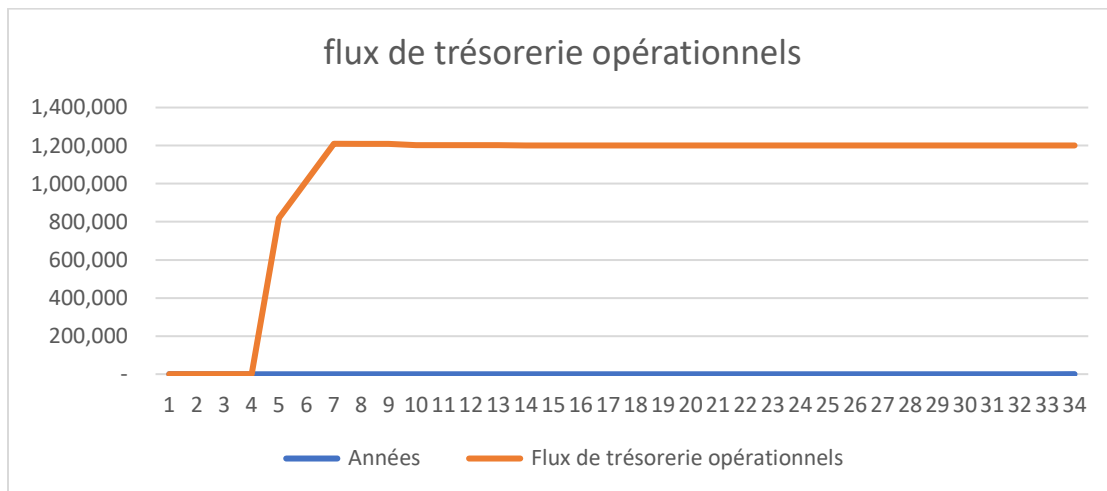


Figure 35. Flux de trésorerie opérationnels.

Free cash-flow :

Free cash-flow ou flux de trésorerie disponible désigne l'argent généré par l'entreprise une fois qu'elle a payé les investissements nécessaires à son développement. Il mesure la capacité d'une société à dégager de l'argent pour investir ou afin de distribuer des dividendes aux actionnaires. Le Free cash-flow est la somme disponible une fois que les investissements nécessaires au bon développement de l'activité et de l'outil de production ont été effectués. Dans notre cas, nous calculons les free cash-flow annuels par la formule suivante :

$$\text{Flux de trésorerie opérationnels} - \text{OPEX annuels}$$

Nous avons obtenu les résultats de free cash-flow annuels en utilisant EXCEL :

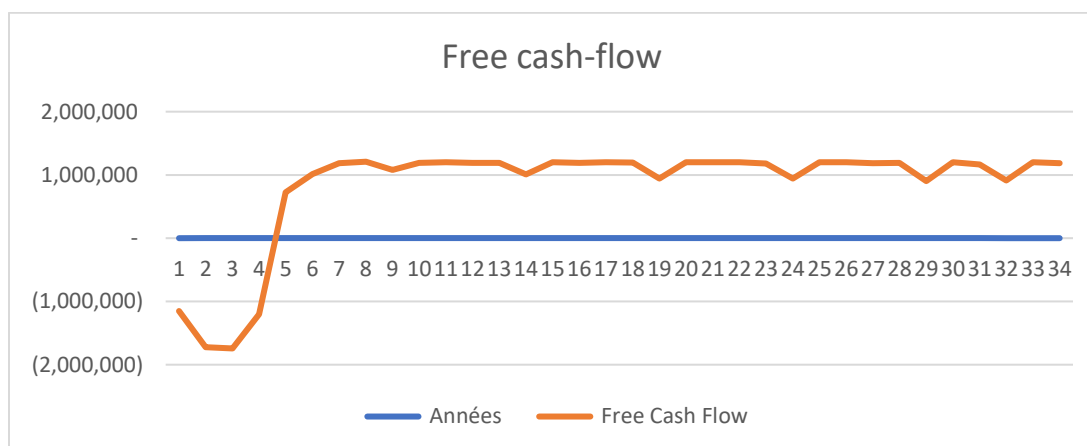


Figure 36. Free cash-flows

Nous constatons que les cash-flows sont négatifs au début des premières quatre années car l'exploitation de projet n'est pas encore mise en vigueur, à partir de la cinquième année, le projet commence à générer de l'argent, nous constatons une augmentation des cash-flows, nous remarquons aussi parfois des régressions après la cinquième année, cela est dû à une implication des coûts d'investissement après le début d'exploitation du projet.

4. Calcul des indicateurs économiques du projet avant l'optimisations des coûts de transports :

4.1. La valeur actuelle nette (VAN) :

La valeur actuelle nette est calculée par la formule suivante :

$$\text{VAN} = -I_0 + \text{flux de trésorerie opérationnels}$$

Dans notre cas, nous avons utilisé EXCEL pour calculer la valeur de la VAN en appliquant la formule dédiée.

Nous avons obtenu le résultat suivant :

$$\text{VAN} = 2\,003\,165 \text{ k\$}$$

$\text{VAN} > 0$, la valeur actuelle nette est positive, donc le projet peut être jugé rentable.

4.2. Le taux de rentabilité interne (TRI) :

Le calcul du taux de rentabilité interne consiste à trouver une équivalence entre les CAPEX et les cash-flows générés, cela nécessite l'application de la formule suivante :

$$\sum \frac{F_t}{(1+r)^t} - I_0 = 0$$

I_0 : investissement initial.

F_t : le flux d'exploitation périodique généré par l'investissement.

r : le taux de rentabilité interne recherché.

Dans notre cas, comme dans le calcul de la VAN, nous avons utilisé l'EXCEL pour calculer la valeur du TRI en appliquant la formule dédiée.

Nous avons obtenu le résultat suivant :

$$\text{TRI} = 13.791 \%$$

4.3. L'indice de profitabilité (IP) :

L'indice de profitabilité se calcule par la formule suivante :

$$\text{IP} = \frac{\sum \text{FNT actualisé}}{\text{Investissement initial}}$$

Le résultat obtenu sur l'EXCEL :

$$\text{IP} = 4.49.$$

Nous remarquons que l'indice de profitabilité est supérieur à 1 ce qui indique que le projet est rentable ainsi chaque dollar investi rapportera 4.51 \$ de gain.

5. Calcul des indicateurs économiques du projet après l'optimisations des couts de transports :

Le calcul de ces paramètres du projet après l'optimisations des couts de transports consiste à effectuer un nouveau calcul en remplaçant les couts de transport du calcul précédent par les couts de transport optimisés. Dans notre cas, il s'agit d'introduire les couts de transports optimaux à la place du cout de transport de calcul précédent (Annexe 1.11).

Nous avons obtenu les résultats suivants :

$$\text{VAN optimisée} = 2\,023\,170 \text{ k\$}.$$

$$\text{TRI optimisé} = 13.827\%.$$

$$\text{IP optimisé} = 4.51 \$.$$

6. Comparaison entre le projet avant et après l'optimisation des coûts de transports :

Afin de réaliser la comparaison entre le projet avant et après l'optimisation des coûts de transports, nous avons considéré ce projet comme deux projets d'investissement.

Avant d'entamer la comparaison, nous allons référer les indicateurs utilisés comme indicateur arrêté pour le projet avant l'optimisation des coûts de transports et indicateurs optimisés pour le projet après l'optimisation des coûts de transports.

6.1. Le calcul du Taux de rendement interne (TRI) :

$TRI_{\text{optimisé}} > TRI_{\text{arrêté}} > 10\%$ (Taux de rendement demandé par l'investisseur).

Il faut dire que le TRI ne permet pas encore de comparer les deux investissements, mais il permet de s'assurer de la qualité intrinsèque des deux investissements. Le TRI permet donc de juger de la pertinence du projet par rapport au taux de rendement demandé par l'investisseur « SONATRACH ».

Nous concluons donc que les deux investissements sont pertinents par rapport au taux de rendement demandé par l'investisseur, et que le projet d'investissement des coûts de transport optimisés est alors rentable intrinsèquement.

6.2. L'indice de profitabilité (IP) :

$IP_{\text{optimisé}} - IP_{\text{arrêté}} \approx 0$.

La différence entre les deux indices tend vers zéro, dans ce cas, l'indice de profitabilité n'est pas considéré comme un critère relativement important pour notre évaluation comme nous avons plusieurs critères à prendre en considération.

6.3. La Valeur actuelle Nette (VAN) pour comparer deux investissements rentables :

Après avoir effectué la comparaison entre les deux TRI des deux investissements, nous avons pu savoir que le projet d'investissement des coûts de transport optimisés est rentable intrinsèquement, mais nous ne sommes pas encore en capacité à faire notre choix entre les deux investissements car le taux de rendement interne ne permet pas lui seul de justifier un investissement.

Le calcul de la VAN (Valeur actuelle Nette) est très proche du calcul du TRI (taux de rendement interne) car elle se calcule à partir des mêmes flux de trésorerie. Alors que le TRI recherche un taux, la VAN cherche à déterminer la valeur actuelle (valeur en date d'aujourd'hui) d'une série de flux futurs. De manière pragmatique, l'investisseur fixe un taux de rendement cible pour son investissement et cherche donc l'investissement qui générera le maximum de valeur. L'investisseur fixe le pourcentage comme étant son rendement cible et réalise l'actualisation de l'ensemble des flux en fonction de ce taux. La valeur ainsi obtenue est la valeur actuelle nette. L'investissement qui procure la valeur actuelle nette la plus importante sera l'investissement à privilégier. Dans notre cas, c'est le projet après l'optimisation des coûts de transport qui donne une valeur de VAN plus importante à celle du projet arrêté :

VAN optimisé > VAN arrêté

Donc, nous pouvons juger l'investissement des couts optimisés le projet le plus rentable pour l'investisseur « SONATRACH ».

Conclusion :

Le but de ce chapitre est de faire une évaluation économique afin de voir l'effet de l'optimisation effectuée dans le chapitre précédent sur les indicateurs économique (TRI, VAN, IP).

Effectivement, l'étude du cas pratique a été faite en procédant au calcul des données préliminaires (Chiffre d'affaire prévisionnels, revenu prévisionnel, Taxe sur l'activité, coûts opérationnels prévisionnels, Flux de trésorerie opérationnels, excédent brut d'exploitation (EBE), dotations aux amortissements, résultat de l'exploitation, impôt sur les bénéfices et Free cash-flows) afin de calculer les indicateurs économiques utilisés dans la comparaison entre le projet avant et après l'optimisation des coûts de transports. Sur la base de ces résultats et en effectuant la comparaison entre les deux projets, nous avons constaté un résultat légèrement meilleur du taux de rendement interne (TRI) et de la valeur actuelle nette (VAN) après l'optimisation. Ces résultats s'expliquent par le faible poids du coût de transport comparativement au coût global opérationnel.

Enfin, nous concluons que les résultats de l'optimisation trouvés sont économiquement rentables pour SONATRACH.

Conclusion générale

Le but de ce travail est de trouver une réponse à notre problématique qui consistait en la recherche d'une meilleure disposition des unités de production du projet phosphate intégré de manière à diminuer au maximum les coûts de transport.

Notre travail est constitué de cinq chapitres regroupés en deux parties essentielles : Un volet théorique qui comporte des définitions et des informations descriptives sur la chaîne de valeur et le marché des engrais, la description du méga projet (PIP) aussi des informations fondamentales des éléments relatifs à la recherche opérationnelle ainsi que l'évaluation de la rentabilité des projets. Le volet pratique consiste à utiliser les informations obtenues du groupe SONATRACH et à les traiter.

L'étude du cas pratique dans le chapitre quatre était basée sur la création et la résolution du modèle mathématique de notre projet. En effectuant, en premier lieu une modélisation des unités en blocs, puis d'essayer de faire une relocalisation des différentes unités de production. Ensuite, sur la base des résultats trouvés, nous avons terminé cette partie par une analyse et comparaison entre le schéma arrêté et le schéma optimisé où nous avons conclu que la localisation optimisée affectera effectivement le transport de plusieurs produits et engendrera une diminution des coûts de transport.

La suite de la partie pratique dans le chapitre cinq était concentrée sur l'évaluation économique du projet avant et après l'optimisation des coûts de transport. Nous avons considéré dans cette partie le projet (PIP) avec ses deux configurations des coûts de transport comme deux projets d'investissement. Ensuite nous avons déterminé les indicateurs économiques (TRI, VAN, IP) essentiels afin d'établir une comparaison consistante entre ces deux investissements. Les résultats de cette comparaison nous ont montré que les coûts de transport ont un poids relativement faible par rapport aux coûts du projet globale néanmoins les résultats trouvés des indicateurs économiques restent appréciables.

Dans ce travail, on a essayé de répondre à notre problématique de départ qui s'interroge sur l'optimalité de la disposition actuelle des unités de production et est-ce que nous pouvons trouver une disposition qui permettra de réduire les coûts de transport. Nous avons trouvé que la réponse pour la première est non, car nous avons créé une disposition optimale en diminuant largement les coûts de transports et cela répond aussi à la deuxième. En ce qui concerne l'impact des coûts de transports sur les indicateurs économiques, nous avons trouvé que cet impact est relativement faible par rapport aux coûts globaux.

En conclusion, à partir de l'évaluation réalisée et d'un point de vue purement économique, nous avons conclu qu'il existe un autre modèle plus optimal qui peut être plus rentable et économiquement profitable pour l'entreprise en réalisant de meilleurs profits en générant moins de coûts.

Bibliographie :

BAILLARGEON, Gérald. Introduction à la programmation linéaire [en ligne]. Paris : Méthodes quantitatives de gestion, Les éditions SMG, 1977, P 189. ISBN 978-2890940178.

DEBOURSE, Jean Pierre. Principes d'analyse financière de projets d'investissement : Stratégies et projets. Paris : Harmattan.2012, P 192. ISBN 978-2336001586.

FAO. World fertilizer trends and outlook to 2022 : [en ligne]. Rome : FAO, 2019, P 40. [Consulté le 04/05/2020]. ISBN 978-92-5-131894-2. Disponible à l'adresse : <http://www.fao.org/3/ca6746en/ca6746en.pdf>

HRABLIK CHOVANOVÁ, Henrieta. USE OF OPERATIONAL RESEARCH METHODS IN LOGISTICS [en ligne]. Czech Republic: Slovak University of Technology Bratislava, 2015, P 6. [Consulté le 20/04/2020].Disponible sur [:https://www.researchgate.net/publication/314837783_USE_OF_OPERATIONAL_RESEARCH_METHODS_IN_LOGISTICS](https://www.researchgate.net/publication/314837783_USE_OF_OPERATIONAL_RESEARCH_METHODS_IN_LOGISTICS)

HOUDAYER, Robert. Evaluation financière des projets : ingénierie de projets et décision. Paris : 3^{eme} édition. Economica, 2008, P 431. ISBN 978-2717855197.

Jacquot, Michel. La fertilisation. In : Le Riz Pluvial. Paris : Le technicien agri tropicale, Maisonneuve & Larose, 1983, P 134. ISBN 2-7068-0841-1.

Kelly, Valerie. Expanding access to agricultural inputs in Africa: a review of recent market development experience.USA :4th Edition, Journal of food security. 2003, P 379.

MANDOU, Cyrille. Procédure de choix d'investissement : principes et applications avec exercices corrigés. Paris : Questions D'économie, De Boeck, 2009, P 168. ISBN 978-2804159825.

MEYE, Frank Olivier. Evaluation de la rentabilité des projets d'investissement : Méthodologie pratique. Paris : 3^{eme} édition. Harmattan, 2007, P 296. ISBN 978-2296039124.

MINOUX, M. Programmation mathématique Théorie et algorithmes. Paris : Tome I, Dunod, 1983. ISBN 978-2040154875.

MORRIS, Michael. Fertilizers use in africain agriculture. Washington DC : The world bank.2007, P 162. ISBN 978-0-8213-6880-0.

NORBERT, Y, OUELLET, R et PARENT, R. La recherche opérationnelle. Montréal, Paris : 3^{ème} édition. Gaëtan Morin, 1995, P 464. ISBN 978-2-89105-787-5.

PIRLO, Mark et TEGHEM, Jacques. Approximate optimization methods and matheuristics in operational research. Paris : Wiley. ISTE, 2010, P 416. ISBN 978-1847040138.

SADI, Bachir. Graphes, ordres & programmation linéaire. Paris : Ellipses, 2020, P 216. ISBN 978-2340036703.

SOLNIK, Bruno. Gestion financière. Paris : 6^{ème} édition. Dunod, 2005, P 288. ISBN 978-2100495498.

Mémoires :

BASTIN, Fabian. Modèles de recherche opérationnelle [en ligne]. Montréal : Université de Montréal, 2010, P 113. [Consulté le 20/04/2020]. Disponible sur : <https://www.iro.umontreal.ca/~bastin/Cours/IFT1575/IFT1575.pdf>

BWAKO WILONDJIA, Paul. Projet d'implantation d'une institution micro-finance en territoire de Fizi : Cas de BARAKA [en ligne]. Mémoire : Sciences économique et gestion. République démocratique du Congo : Université officielle de BUKAVO, 2012. [Consulté le 30 /03/ 2020]. Disponible sur : <https://www.institut-numerique.org/projet-dimplantation-dune-institution-micro-finance-en-territoire-de-fizi-cas-de-baraka-512cc3bbba227>.

KHALFI, Ryadh et MAKHLOUF, Amira. Reconfiguration de réseau de distribution et externalisation logistique : Développement d'outils d'aide à la décision par la modélisation mathématique et la méthode ANP. Mémoire : Génie industriel. Algérie : Ecole nationale polytechnique d'Alger, 2016. P 174.

MESSAOUDI, Faiza et REDJEDAL, Imene. CONTRIBUTION À L'OPTIMISATION DU RESEAU DE DISTRIBUTION. Mémoire : Génie industriel. Algérie : Ecole nationale polytechnique d'Alger, 2015. P 134.

Webographie :

BDC. Cout du capital : [en ligne]. [Consulté le 21/05/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.bdc.ca/fr/articles-outils/boite-outils-entrepreneur/gabarits-documents-guides-affaires/glossaire/pages/cout-du-capital.aspx>

Capital. Valeur résiduel : définition et calcul: [en ligne]. [Consulté le 21/05/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.capital.fr/votre-argent/valeur-residuelle-1356179>.

Classesbilingueslpb. Industrie des engrais [en ligne]. Laos : Lycée Pasathipatay, 2018, P 5. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible sur : <https://lewebpedagogique.com/classesbilingueslpb/files/2018/06/Le%C3%A7on-34.pdf>.

Compta online. Le délai de récupération : [en ligne]. [Consulté le 20/05/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.compta-online.com/le-delai-de-recuperation-mesurer-le-risque-de-liquidite-un-investissement-ao3119>.

Contributeurs Wikipédia. Engrais [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible sur : <https://fr.wikipedia.org/wiki/Engrais>.

Cours et exercices. Cours de la recherche opérationnelle : [en ligne]. [Consulté le 20/04/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.cours-et-exercices.com/2016/03/cours-de-la-recherche-operationnelle.html>

EVALOR. Le taux d'actualisation notions et calcul : [en ligne]. [Consulté le 23/05/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.evaluation-valorisation-entreprises.fr/le-taux-dactualisation-notion-et-calcul/>.

Fertilizers Europe. Types of fertilizers: [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.fertilizerseurope.com/fertilizers-in-europe/types-of-fertilizer/>.

Guichon valves. Process de fabrication des engrais azotés: [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible à l'adresse : <https://guichon-vannes.com/faqs/engrais-azotes-process-de-fabrication-des-engrais-azotes/>. <https://fertilisation-edu.fr/production-ressources/engrais-azotes.html>.

Izquierdo Granja, Daniel et José Ruiz, Juan. PHP simplexe : [en ligne]. [Consulté le 13/05/2020]. Disponible à l'adresse : http://www.phpsimplex.com/investigacion_operativa.htm

Le CFO Masqué. Calculer le TRI et le délai de récupération d'un projet d'investissement : [en ligne]. [Consulté le 13/04/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.lecfomasque.com/tri-delai-recuperation-projet-investissement/>.

Manager GO. Analysé ses capacités stratégique grâce à la méthode VRIO : [en ligne]. [Consulté le 05/06/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.manager-go.com/strategie-entreprise/dossiers-methodes/utiliser-la-methode-vrio#:~:text=L'une%20des%20phases%20du,capacit%C3%A9s%20strat%C3%A9giques%20de%20l'entreprise.>

Mowbot . Organic fertilizer vs inorganic: [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible à l'adresse : [https://www.mowbot.com/blog/organic-fertilizer-vs-inorganic/.](https://www.mowbot.com/blog/organic-fertilizer-vs-inorganic/)

OPENCLASSROOMS. Calculez les valeurs de la capitalisation et d'actualisation: [en ligne]. [Consulté le 30/03/2020]. Disponible à l'adresse : <https://openclassrooms.com/fr/courses/5481101-calculez-et-utilisez-les-taux-d-interet/5599181-calculez-les-valeurs-de-capitalisation-et-dactualisation.>

The express wire. Global Fertilizer Market 2020-2024 : [en ligne]. [Consulté le 13/05/2020]. Disponible à l'adresse : https://www.theexpresswire.com/pressrelease/Global-Fertilizer-Market-2020-2024-Industry-Analysis-by-Growth-Potential-Types-Applications-Rising-Trends-and-Forecast-to-2024-Industry-Researchco_10660317

THE FERTILIZER INSTITUTE. Fertilizer 101: The Big 3- Nitrogen, Phosphorus and Potassium: [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.tfi.org/the-feed/fertilizer-101-big-3-nitrogen-phosphorus-and-potassium.>

TUOVILA, Alicia. Financial Analysis [en ligne]. In : Investopedia. [Consulté le 30 /03/ 2020]. Disponible sur : [https://www.investopedia.com/terms/f/financial-analysis.asp.](https://www.investopedia.com/terms/f/financial-analysis.asp)

Unifa. Engrais azotés : [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible à l'adresse : <https://fertilisation-edu.fr/production-ressources/engrais-azotes.html>

University of minnesota extension. Phosphorous and potassium : [en ligne]. [Consulté le 22/03/2020]. Disponible à l'adresse : <https://extension.umn.edu/nutrient-management/phosphorus-and-potassium.>

YARA. Yara fertilizers industry handbook: [en ligne]. [Consulté le 04/05/2020]. Disponible à l'adresse : <https://www.yara.com/siteassets/investors/057-reports-and-presentations/other/2018/fertilizer-industry-handbook-2018-with-notes.pdf/>

Annexes

Annexe 1.1. La distance entre les différents sites où nous devons localiser les blocs (km)

Distances	Bled El Hedba	Oued keberit	Hadjar Soud	Annaba
Bled El Hedba	0	170	370	340
Oued keberit	170	0	200	170
Hadjar Soud	370	200	0	50
Annaba	340	170	50	0

Annexe 1.2. Le cout unitaire de transport de chaque produit

Produit transporté	unité	Cout
Transport Phosphate e	DZD/Tonnes/km	3.50
Transport Soufre	DZD/Tonnes/km	5.00
Transport MAP	DZD/Tonnes/km	4.50
Transport DAP	DZD/Tonnes/km	4.50
Transport NP	DZD/Tonnes/km	4.50
Transport NPK	DZD/Tonnes/km	4.50
Transport CAN	DZD/Tonnes/km	4.50
Transport TAN	DZD/Tonnes/km	4.50
Transport AP	DZD/Tonnes/km	6.00
Transport AS	DZD/Tonnes/km	6.00
Transport NH3	DZD/Tonnes/km	6.00
Transport AN	DZD/Tonnes/km	5.00
Transport NA	DZD/Tonnes/km	6.00

Annexe 1.3. La quantité de produit annuel envoyé entre chaque bloc (KT)

Source/Destination	Total	AS	AP	AHF	MAP	DAP	TSP	NPK	NH3	NA	AN	TAN	CAN	Port Anna
Mine (Phosphate Enrichi)	6,059		6,059											
AS	4,999		4,889		10	48		52						
AP	1,686				312	1,116	181	77						
AHF	-													
MAP	600													600
DAP	2,400													2,400
TSP	500													500
NPK	500													500
NH3	1,066				88.8	530.4		50		201	196			
AN	709										709			
NA	893							100				200	593	
TAN	200													200
CAN	800													800
Port Annaba (Soufre)	1,618	1,618												

Annexe 1.4. Le cout total de transport de la quantité annuelle de produit entre les blocs par kilomètre (DZD/Km).

blocs	Bloc1	Bloc2	Bloc3	Bloc4	Bloc5	Bloc6	Bloc7	Bloc8
Bloc1	0.00	21,207,446.92	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bloc2	0.00	29,334,660.00	10,773,000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Bloc3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15,750,000.00
Bloc4	0.00	0.00	4,015,200.00	0.00	1,207,936.97	1,173,139.20	0.00	0.00
Bloc5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3,544,416.00	0.00	0.00
Bloc6	0.00	0.00	600.00	0.00	0.00	0.00	4,758,000.00	0.00
Bloc7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4,500,000.00
Bloc8	0.00	8,091,479.69	0.00	0.00	0.00		0.00	0.00

Annexe 1.5. Le code Implémenté :

```
//Variables
intLi=8;
intLj=4;
intLs=8;
intLn=4;
rangeI=1..Li;
rangeJ=1..Lj;
rangeS=1..Ls;
rangeN=1..Ln;
floatC[I][S]=...;
floatD[J][N]=...;
dvarintY[I][J]in0..1;
dvarintW[S][N]in0..1;

//fonction objective
minimizsum(iinI)sum(jinJ)sum(sinS)sum(ninN) (C[i][s] *Y[i][j] *D[j][n] *W[s][n]);
subjectto{
forall(iinI) {sum(jinJ)Y[i][j]==1; }
Y[8][4]==1;
Y[1][1]==1;
Y[2][4]==0;
Y[3][4]==0;
Y[4][4]==0;
Y[5][4]==0;
Y[6][4]==0;
Y[7][4]==0;

forall(sinS) {sum(ninN)W[s][n]==1; }
W[8][4]==1;
W[1][1]==1;
W[2][4]==0;
W[3][4]==0;
W[4][4]==0;
W[5][4]==0;
W[6][4]==0;
```

```

W[7][4]==0;

forall(iinI)forall(jinJ)forall(sinS)forall(ninN) {
if(i==s&& j==n)
Y[i][j]==W[s][n]

;}
}

```

Annexe 1.6. Résultat de l'optimisation :

PFE.mod PFE.dat PFE.ops Valeur de Y Valeur de W				
I (taille 8)	J (taille 4)			
	1	2	3	4
1	1	0	0	0
2	1	0	0	0
3	0	0	1	0
4	0	0	1	0
5	0	0	1	0
6	0	0	1	0
7	0	0	1	0
8	0	0	0	1

Annexe 1.7. tableau des CAPEX:

Capex- scénario de base																																					
Années	Total Capex	Capex Initial	Capex mainte	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
En k\$																																					
Siege social	50,000	50,000	0	7,500	15,000	17,500	10,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Mine	809,153	480,000	329,153	72,000	144,000	168,000	96,000	-	-	23,000	-	23,000	8,000	-	15,000	8,000	80,000	-	8,000	-	-	50,000	-	-	15,000	20,000	-	-	15,000	-	18,000	-	13,222	16,565	-	16,365	
Unité AS, AP, AHF	2,100,000	2,100,000	-	315,000	630,000	735,000	420,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Unité Ammoniac, AN, NA, TAN, CAN, MAP, DAP, TSP, NPK	2,200,000	2,200,000	-	330,000	660,000	770,000	440,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Annaba Port	210,000	210,000	-	31,500	63,000	73,500	42,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coût d'achat des équipements	10,000	10,000	-	1,500	3,000	3,500	2,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coûts de construction	5,379,153	5,050,000	329,153	757,500	1,515,000	1,767,500	1,010,000	-	-	23,000	-	23,000	8,000	-	15,000	8,000	80,000	-	8,000	-	-	50,000	-	-	15,000	20,000	-	-	15,000	-	18,000	-	13,222	16,565	-	16,365	
Terrain	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coût de l'ingénierie du management de la construction	150,000	150,000	-	22,500	45,000	52,500	30,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Installations temporaires	50,000	50,000	-	7,500	15,000	17,500	10,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Frais de préparation et d'administration	5,000	5,000	-	750	1,500	1,750	1,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coût de l'ingénierie du design	170,000	170,000	-	25,500	51,000	59,500	34,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coût de supervision de l'ingénierie de construction	60,000	60,000	-	9,000	18,000	21,000	12,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Assurance de l'ingénierie	27,000	27,000	-	4,050	8,100	9,450	5,400	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Coût de l'opération d'essai combiné	50,000	50,000	-	7,500	15,000	17,500	10,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Autres coûts	512,000	512,000	0	76,800	153,600	179,200	102,400	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Unité AHF	250,000	250,000	-	37,500	75,000	87,500	50,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Royalties	45,000	45,000	-	6,750	13,500	15,750	9,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Produit d'attribution (Permis minier)	40,000	40,000	-	6,000	12,000	14,000	8,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Intangible assets cost	85,000	85,000	-	12,750	25,500	29,750	17,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Production preparation cost	35,000	35,000	-	5,250	10,500	12,250	7,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Overseas travel cost	10,000	10,000	-	1,500	3,000	3,500	2,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Reception fee	2,800	2,800	-	420	840	980	560	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Drawings translation and reproduction cost	1,200	1,200	-	180	360	420	240	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Other assets cost	49,000	49,000	-	7,350	14,700	17,150	9,800	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Contingency	160,000	160,000	-	24,000	48,000	56,000	32,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tax fees	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Historical cost	20,000	20,000	-	3,000	6,000	7,000	4,000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
IDC	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Financing fees	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Total Capex	6,455,153	6,126,000	329,153	1,150,652	1,722,354	1,743,365	1,202,731	93,697	-	25,294	-	128,171	10,717	-	13,328	10,717	193,414	-	10,717	-	6,533	258,335	-	-	22,159	256,958	-	-	13,222	11,456	295,463	-	33,695	286,710	-	16,365	

Annexe 1.10:

Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	
Chiffre d'affaires					2,267,241	2,550,646	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	
TAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	
Revenu	-	-	-	-	2,267,241	2,550,646	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710
Coûts opérationnels	-	-	-	-	1,448,683	1,536,541	1,624,399	1,625,130	1,625,147	1,632,251	1,632,268	1,632,268	1,632,268	1,632,268	1,633,016	1,633,304	1,633,542	1,633,559	1,633,576	1,633,610	1,633,797	1,633,814	1,633,831	1,633,848	1,633,865	1,633,882	1,633,899	1,633,916	1,633,933	1,633,950	1,633,967	1,633,984	1,634,001	1,634,018	1,634,035
EBE	-	-	-	-	818,557	1,014,105	1,209,652	1,208,921	1,208,904	1,201,800	1,201,783	1,201,766	1,201,749	1,201,035	1,200,747	1,200,509	1,200,492	1,200,475	1,200,458	1,200,441	1,200,254	1,200,237	1,200,220	1,200,203	1,200,186	1,200,169	1,200,152	1,200,135	1,200,118	1,200,101	1,200,084	1,200,067	1,200,050	1,200,033	
Dotations aux amortissements	-	-	-	-	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	
Résultat d'exploitation	-	-	-	-	495,800	691,347	886,895	886,164	886,147	879,043	879,026	879,009	878,992	878,278	877,989	877,751	877,734	877,717	877,700	877,683	877,496	877,479	877,462	877,445	1,200,186	1,200,169	1,200,152	1,200,135	1,200,118	1,200,101	1,200,084	1,200,067	1,200,050	1,200,033	
Impôt sur les bénéfices	-	-	-	-	-	-	-	-	167,018	167,015	167,012	167,008	166,873	166,818	166,773	166,770	166,766	166,763	166,760	166,724	166,721	166,718	166,715	228,035	228,032	228,029	228,026	228,022	228,019	228,016	228,013	228,010	228,006		
Flux de trésorerie opérationnels	-	-	-	-	818,557	1,014,105	1,209,652	1,208,921	1,208,904	1,034,782	1,034,768	1,034,755	1,034,741	1,034,163	1,033,929	1,033,736	1,033,723	1,033,709	1,033,695	1,033,681	1,033,530	1,033,516	1,033,502	1,033,488	972,151	972,137	972,123	972,109	972,096	972,082	972,068	972,054	972,041		
Flux d'investissements	1,150,652	1,722,354	1,743,365	1,202,731	93,697	-	25,294	-	128,171	10,717	-	13,328	10,717	193,414	-	10,717	-	6,533	258,335	-	-	-	22,159	256,958	-	-	13,222	11,456	295,463	-	33,695	286,710	-	16,365	
Free Cash Flow	-	1,150,652	1,722,354	1,743,365	1,202,731	724,860	1,014,105	1,184,359	1,208,921	1,080,733	1,024,065	1,034,768	1,021,427	1,024,024	840,748	1,033,929	1,023,019	1,033,723	1,027,176	775,360	1,033,681	1,033,530	1,033,516	1,011,343	776,530	972,151	972,137	958,901	960,654	676,633	972,082	938,373	685,344	972,041	
IP		4.49																																	
TRI		13.791%																																	
VAN		2,003,170																																	

Annexe 1.11:

Années	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Chiffre d'affaires					2,267,241	2,550,646	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,834,051	
TAP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341	28,341
Revenu	-	-	-	-	2,267,241	2,550,646	2,834,051	2,834,051	2,834,051	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710	2,805,710
Coûts opérationnels	-	-	-	-	1,445,497	1,533,354	1,621,212	1,621,943	1,621,960	1,630,064	1,629,081	1,629,098	1,629,115	1,629,829	1,630,118	1,630,356	1,630,373	1,630,390	1,630,407	1,630,424	1,630,611	1,630,628	1,630,645	1,630,662	1,630,679	1,630,696	1,630,713	1,630,730	1,630,747	1,630,764	1,630,781	1,630,798	1,630,815	1,630,832
EBE	-	-	-	-	821,744	1,017,291	1,212,839	1,212,108	1,212,091	1,204,987	1,204,970	1,204,953	1,204,936	1,204,222	1,203,933	1,203,695	1,203,678	1,203,661	1,203,644	1,203,627	1,203,440	1,203,423	1,203,406	1,203,389	1,203,372	1,203,355	1,203,338	1,203,321	1,203,304	1,203,287	1,203,270	1,203,253	1,203,236	1,203,219
Dotations aux amortissements	-	-	-	-	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758	322,758
Résultat d'exploitation	-	-	-	-	498,986	694,534	890,081	889,350	889,333	882,229	882,212	882,195	882,178	881,464	881,176	880,938	880,921	880,904	880,887	880,870	880,683	880,666	880,649	880,632	1,203,372	1,203,355	1,203,338	1,203,321	1,203,304	1,203,287	1,203,270	1,203,253	1,203,236	1,203,219
Impôt sur les bénéfices	-	-	-	-	-	-	-	-	167,624	167,620	167,617	167,614	167,478	167,423	167,378	167,375	167,372	167,369	167,365	167,330	167,327	167,323	167,320	228,641	228,638	228,634	228,631	228,628	228,625	228,621	228,618	228,615	228,612	
Flux de trésorerie opérationnels	-	-	-	-	821,744	1,017,291	1,212,839	1,212,108	1,212,091	1,037,363	1,037,349	1,037,336	1,037,322	1,036,744	1,036,510	1,036,317	1,036,304	1,036,290	1,036,276	1,036,262	1,036,111	1,036,097	1,036,083	1,036,069	974,732	974,718	974,704	974,690	974,677	974,663	974,649	974,635	974,622	
Flux d'investissements	1,150,652	1,722,354	1,743,365	1,202,731	93,697	-	25,294	-	128,171	10,717	-	13,328	10,717	193,414	-	10,717	-	6,533	258,335	-	-	-	22,159	256,958	-	-	13,222	11,456	295,463	-	33,695	286,710	-	16,365
Free Cash Flow	-	1,150,652	1,722,354	1,743,365	1,202,731	728,047	1,017,291	1,187,545	1,212,108	1,083,919	1,026,646	1,037,349	1,024,008	1,026,605	843,329	1,036,510	1,025,600	1,036,304	1,029,757	777,941	1,036,262	1,036,111	1,036,097	1,013,924	779,111	974,732	974,718	961,482	963,235	679,214	974,663	940,954	687,925	974,622
IP		4.51																																
TRI		13.827%																																
VAN		2,003,170																																