

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Ecole Nationale Polytechnique

Département de Génie Chimique

*MEMOIRE DE
POST-GRADUATION SPECIALISEE
« Economie de l'Energie, Maîtrise et Applications »*

Intitulé :

**OPTIMISATION DE LA CHAINE DE TRANSPORT
MARITIME DE GNL DE L'ALGERIE**

Présenté par : Abdeldjalil CHABBI, Ingénieur IAP
Zine El Abidine BENTEBBA, Ingénieur INHC

Soutenu le 25 Novembre 2008 devant la commission d'examen :

Dr N. ABOUN
Dr. T. LAMRAOUI
Pr. T AHMED ZAÏD
Mr A. ZAIM SH DP HMD

Président
Examineur
Rapporteur
Invité

Année Universitaire 2007-2008

أمثلية سلسلة النقل البحري للغاز المميع بالجزائر

Optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL

LNG maritime transport network optimization

ملخص:

أمثلية سلسلة النقل البحري للغاز المميع بالجزائر
استعمال النماذج لدراسة الشبكات هي تقنية مطلوبة بكثرة في البحث المعلوماتي لحل العديد من مشاكل التوزيع وتقسيم المهام بالإضافة إلى التخطيط مما يجعل دراسة الشبكات أكثر من ضرورة و من هذه المشاكل هي تلك المتعلقة بالبرامج الخطية و الأكثر شيوعا هي مشكلة النقل التي يمكن اختزالها في البحث عن تخفيض الثمن من أجل توزيع سلعة إلى الكثير من الزبائن وهذا باحترام جميع الشروط الحدية هذا العمل المتواضع يدرس محاولة أمثلية سلسلة النقل البحري للغاز المميع بالجزائر

مفاتيح : النقل للغاز المميع, أمثلية, نمذجة

RESUME

Optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL

L'utilisation de models pour l'étude de réseaux est une technique très répandue en recherche opérationnelle. De nombreux problèmes de distribution, d'affectations de taches ou encore de planification donnent lieu à une analyse de réseaux. Parmi ces problèmes, nombreux sont ceux qui peuvent être considérés comme des cas particuliers de programmation linéaire. Le très classique et célèbre Problème de Transport peut ainsi être assimilé à celui qui consiste à rechercher le moindre coût pour distribuer une marchandise donnée à un ensemble de clients en respectant toutes sortes de contraintes. La présente étude vise l'optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL algérien.

Mots-clés : Transport GNL ; modélisation ; optimisation

ABSTRACT

LNG maritime transport network optimization

The use of models involving networks is very widespread in operational research. Problems involving distribution, assignment and planning frequently give rise to the analysis of networks. Many of the resultant problems can be regarded as special types of linear programming problem. A famous type of such problems is known as the Transportation problem which is usefully regarded as one of obtaining the minimum cost flow through a special type of network. The present work deals with the optimization of the Transportation network applied to the case of the Algerian Liquefied natural gas.

Key-words: LNG Tansportation; modelling; optimization

REMERCIEMENTS

Toute la gratitude et le merci à dieu notre créateur qui nous a donné la force pour effectuer ce travail.

Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à notre professeur consultant Mr T. AHMED ZAID pour ces conseils et ces critiques constructives.

A Mr le professeur C. E. CHITOUR pour ses conseils et l'aide qu'il nous a apporté.

*Nous présentons nos chaleureux remerciements à :
A tous les enseignants de l'Ecole Nationale Polytechnique.*

Aux doctorants et doctorantes du groupe PGS 2007

A tous les responsables de SH/DP de Hassi R'mel.

A tous les responsables de SH/DP de In Amenas.

A tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à finaliser ce travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chères parents

A ma chère femme

A ma petite Rihem

A ma sœur et mon frère

A mes familles BENTEBBA et

BOUROUGAA

et

A tous mes amis en particulier

Fouzi

Zine. BENTEBBA

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

À mes chères parents

A mes sœurs et mes frères et

*A tous mes amis de travail en
particulier Saïd et Tahar*

Abdeldjallil CHABBI

SOMMAIRE

Introduction	1
Chapitre I : Le marché international du gaz naturel	3
I.1 Les réserves de gaz naturel	3
I.2 La production de gaz naturel	3
I.3 La consommation de gaz naturel	6
I.4 Le commerce international du gaz naturel	7
I.5 Le commerce international de GNL:	8
I.6 Les contrats de vente	11
I.7 Les principaux marchés	14
I.8 Les Prix du gaz naturel sur les marchés internationaux	16
I.9 Prix, arbitrage et volatilité du GNL	17
Chapitre II : Aspect technico-économique des chaînes de GNL	
II.1 Aspects techniques des chaînes de GNL	18
II.2. Aspects économiques	26
II.3 Description technique des chaînes GNL Algériennes	32
Chapitre III : Formulation du modèle d'optimisation de la chaîne de transport maritime	38
III.1 Introduction	38
III.2 Les méthodes linéaires en sciences de gestion	38
III.3 Formulation d'un problème linéaire	39
III.4 Formulation du modèle d'optimisation de la chaîne de GNL	42
III.5 Représentation graphique de problème	45
Chapitre IV : Résolution du modèle et analyse de quelques scénarios possibles	47
IV.1. Présentation des résultats (Année 2008)	47
IV.2. Analyse des résultats	52
IV. 3 Analyse et simulation de quelques scénarios possibles	52
L'année 2009	52
L'année 2010	56
L'année 2012	59
Scénario de l'augmentation des coûts de 2% chaque année	61
Scénario de l'augmentation des capacités de chargement des ports d'Arzew Et de Skikda (Investissement)	62
Conclusion	66
Bibliographie	68
Annexes	69

INTRODUCTION

L'Algérie est classée parmi les pays grands exportateurs de gaz naturel grâce à l'importance et la disponibilité de ses réserves. Sa volonté de mettre en valeur d'une manière optimale toutes ses potentialités constitue néanmoins un défi majeur qu'il convient de relever.

Afin de préserver sa part acquise sur le marché du gaz naturel et de conquérir de nouveaux clients, l'Algérie est appelée à développer ses capacités d'évacuation destinées à assurer la couverture des besoins nationaux et l'exportation de quantités importantes de gaz naturel par la mise en place de réseaux complexes de canalisations, d'usines de liquéfaction, d'infrastructures portuaire et de navires méthaniers permettant d'acheminer le gaz naturel sous forme de gaz comprimé ou liquéfié, depuis les zones de production jusqu'aux consommateurs.

L'approvisionnement en gaz naturel des marchés européens et américain a nécessité la construction des chaînes de liquéfaction du gaz naturel, reliant le champ de production et les ports des clients. Le transport maritime de GNL est une partie importante de ces chaînes.

L'objectif recherché à travers le thème de ce mémoire consiste à concevoir un modèle permettant d'optimiser le transport maritime de GNL en Algérie par l'exploitation optimale des installations réalisées (ports, usines de liquéfaction) et de la flotte disponible.

Face à un marché faiblement rémunérateur et fortement compétitif et devant les difficultés de maîtrise des variables exogènes du processus de décision (fixation de prix du gaz sur le marché international), la réponse la plus adéquate consiste à disposer de variables endogènes de décision afin de rationaliser au mieux l'utilisation des chaînes de GNL.

Cette approche passera, nécessairement par la formalisation mathématique du système réel et par conséquent l'obtention d'un modèle d'optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL aussi fidèle que possible. C'est l'objectif central assigné à ce travail qui comporte donc une bonne partie consacrée à l'acquisition d'informations auprès des différentes structures de notre Entreprise.

Notre mémoire comportera les parties suivantes :

- Chapitre I : Le marché mondial du gaz naturel
- Chapitre II : Les aspects technico-économiques des chaînes GNL
- Chapitre III : Formulation du modèle d'optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL
- Chapitre IV : Résolution du modèle et analyse de quelques scénarios possibles.

I.1 Les réserves de gaz naturel :

Bien que limitées, ces réserves sont très importantes et les estimations concernant leur taille continuent de progresser à mesure que de nouvelles techniques d'exploration ou d'extraction sont découvertes. Les ressources de gaz naturel sont abondantes et très largement distribuées à travers le monde. On estime qu'une quantité significative de gaz naturel reste encore à découvrir.

Les réserves prouvées sont celles qui peuvent être produites avec la technologie actuelle. Les pays de l'Ex Union soviétique et du Moyen-Orient se partagent plus de 70% des réserves mondiales de gaz naturel (respectivement 32% et 40% en 2006).

Les réserves mondiales de gaz naturel ont plus que doublé au cours des vingt dernières années et s'élevaient à 181.5 milliers de milliards de mètres cubes fin 2006.

Le ratio mondial des réserves prouvées de gaz naturel par rapport à la production à son niveau actuel était supérieur à 63 ans en 2006. Ceci représente le temps restant avant l'épuisement des réserves en supposant que les taux actuels de production soient maintenus.

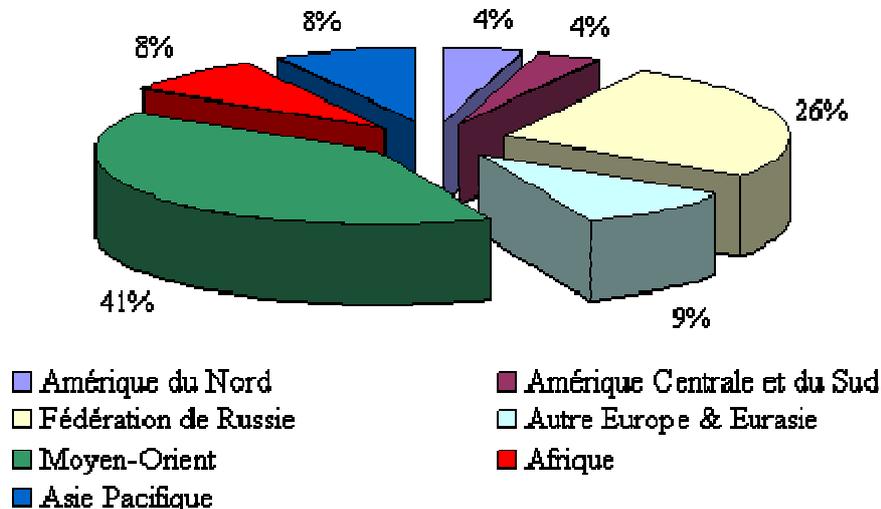


Fig 1. Répartition des réserves de gaz naturel en 2006

Source : BP , Statistical Review of World Energy 2007

I.2 La production de gaz naturel

La production mondiale totale en 2006 était de 2865 milliards de mètres cubes en croissance de 3% par rapport à l'année précédente. Une croissance supérieure à la moyenne annuelle sur la période 1990-2006 (2,3%).

Les principaux pays producteurs en 2006 étaient la Fédération de Russie et les Etats-Unis avec respectivement 21,3 % et 18,5% de la production mondiale. A noter que l'Amérique du Nord et l'ex-Union soviétique ont produit 53,6% de la production globale en 2006. D'autres Etats affichent également une production notable. C'est le cas, par exemple, du Canada (6,5%), de l'Iran (3,7%), de la Norvège (3%), de l'Algérie (2,9%), du Royaume-Uni (2,8%), de l'Indonésie (2,6%), de l'Arabie Saoudite (2,6%) et des Pays-Bas (2,2%)*. Ces dix pays ont représenté ensemble les deux tiers de la production mondiale de gaz naturel en 2006.

Une hausse de la production de gaz naturel dans le monde est attendue en raison des projets d'exploration et d'expansion planifiés en anticipation d'une demande future haussière.

* Chiffres pour 2006 extraits du Statistical Review of World Energy 2007, BP Amoco

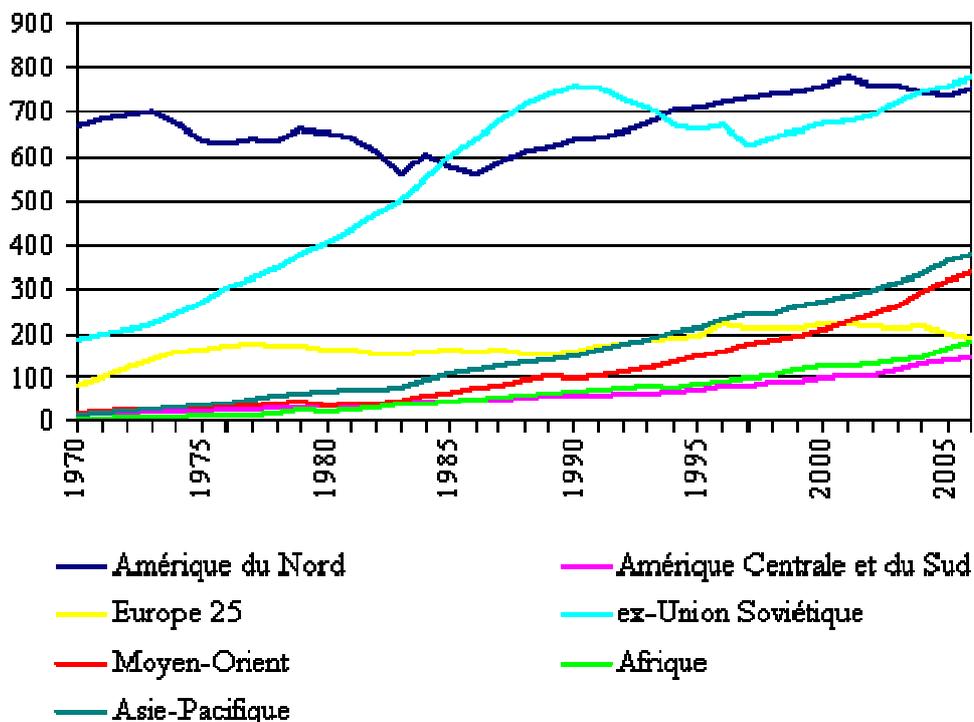


Fig 2. Production de gaz naturel en milliards de mètres cubes sur la période 1970-2006

Source : BP Amoco, Statistical Review of World Energy 2007

I.2.1 Chiffres

En 2005, selon BP, le monde a produit 2743 milliards de mètres cubes de gaz naturel, en hausse de 2,5% par rapport à l'année précédente (alors que la production de pétrole n'a augmenté que de 1%). La Russie représente 22% de la production mondiale.

Les chiffres de production de gaz naturel sont assez complexes à interpréter, selon les modes de calcul on peut ou non compter le gaz associé brûlé en torchère, compter les volumes de gaz avant ou après extraction des polluants, etc. Les chiffres de l'AIE (Agence Internationale de l'Energie) sont d'ailleurs différents de ceux de BP, avec une production mondiale de 2871 Gm³ pour la même année, soit près de 5% plus que BP.

Tableau 1. Les Pays producteurs du Gaz Naturel

	Pays	Production (Gm3)	Production (Mtep)
1	Russie	598	540
2	Etats-Unis	525	473
3	Canada	185	167
4	Algérie	88	79
4	Royaume-Uni	88	79
6	Iran	87	78
7	Norvège	85	76
8	Indonésie	76	68
9	Arabie Saoudite	70	62
10	Pays-Bas	62	57
11	Malaisie	60	54
12	Turkmenistan	59	53
13	Ouzbékistan	56	50
14	Chine	50	45
15	Emirats	47	42

16	Argentine	46	41
	TOTAL MONDIAL	2763	2486

I.3 La consommation de gaz naturel

Le gaz naturel représente près du quart de la consommation énergétique mondiale. Comme le montre clairement le graphique ci-après, cette consommation a considérablement augmenté au cours des 40 dernières années.

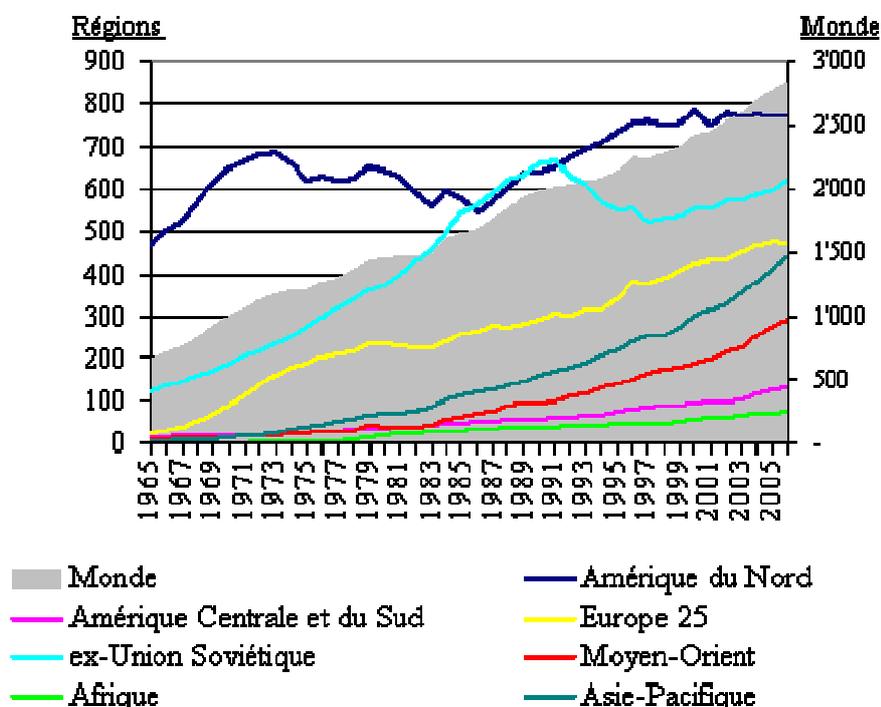


Fig .3 Consommation de gaz naturel de 1965 à 2006

Source : Secrétariat de la CNUCED selon les données de BP Amoco, Statistical Review of World Energy 2007

La consommation mondiale totale a représenté environ 2850 milliards de mètres cubes en 2006.

Les principaux pays consommateurs de gaz naturel en 2006 étaient les Etats-Unis avec 22% de la consommation totale et la Fédération de Russie, avec 15.1%. L'Amérique du Nord et l'ex Union soviétique ont consommé ensemble environ 49% du gaz naturel. La part de l'Europe (UE 25) dans la consommation totale de gaz naturel était de 16.3%. Ces

trois zones ont compté à elles seules pour près des deux tiers de la consommation globale en 2006.

La croissance de la consommation a été de 2.5% entre 2005 et 2006, avec des taux plus élevés en Asie/Pacifique (6.5%) et en Afrique (5.5%).

Les principales agences énergétiques mondiales prévoient une progression importante de la demande à travers le monde au cours des vingt prochaines années, croissance qui devrait principalement avoir lieu au sein des pays en développement

Tableau 2. Bilan de la consommation de gaz naturel dans le monde en 2006 – (Gm³)

	Production Commercialisée	Exportations	Importations	Consommation
AMERIQUE DU NORD	754,0	120,8	137,5	770,7
AMERIQUE LATINE	143,3	33,2	16,9	127,0
EUROPE	291,9	169,6	419,6	541,9
EUROPE CENTRALE	14,3	-	12,9	27,2
CEI	830,9	290,4	128,1	668,6
AFRIQUE	190,5	104,7	1,5	87,3
MOYEN- ORIENT	328,2	66,5	18,8	280,6
ASIE- OCÉANIE	377,0	101,0	150,8	426,7
TOTAL MONDE	2 930,0	886,1	886,1	2 930,0

Source : CEDIGAZ 2007

I.4 Le commerce international du gaz naturel

En règle générale, le gaz naturel fait l'objet d'un commerce international réglé par des contrats à long terme. Les contrats de livraison sont souvent signés pour 20 à 25 ans, car ces durées sont nécessaires pour amortir les milliards investis dans la prospection, l'extraction, les installations de transport et de distribution. La convergence qui en résulte

entre les intérêts des producteurs et des acquéreurs contribue énormément à la sécurité d'approvisionnement.

L'accroissement de la demande mondiale, la découverte constante de nouveaux gisements partout dans le monde et l'extension des systèmes de transport entraînent une mondialisation du marché de plus en plus poussée. Depuis quelque temps, le marché européen du gaz naturel est l'objet d'importants changements, liés directement notamment aux efforts de libéralisation de l'Union européenne

Selon les statistiques publiées par BP, seuls 26,1% de la production commercialisée en 2006 a fait l'objet d'échanges internationaux. Le commerce mondial de gaz naturel se fait essentiellement par le biais du réseau de gazoducs (71.8% en 2006) contre 28.2% pour le transport par tankers de GNL (gaz naturel liquéfié).

La proportion faible des échanges internationaux s'explique notamment par l'éloignement des sites de production par rapport aux lieux de consommation et aux coûts élevés du transport. C'est un secteur qui exige des investissements importants, la construction et l'exploitation de gazoducs et qui posent également de nombreux problèmes juridiques et logistiques.

Les principaux pays exportateurs qui ont utilisé les gazoducs comme mode de distribution en 2006 ont été :

- la Fédération de Russie (28.2% des exportations mondiales),
- le Canada (18.6%),
- la Norvège (15.6%),
- les Pays-Bas (9%)
- l'Algérie (6.9%).

Les principales zones d'importation par gazoduc sont :

- l'Union européenne (15) (53.9%),
- les Etats-Unis (18.6%) qui absorbent traditionnellement l'intégralité des exportations canadiennes.

I.5 Le commerce international de GNL:

Quand il est fait allusion au marché du GNL, il s'agit du transport de gaz naturel sous forme de liquide c'est-à-dire des chaînes de GNL. Dans le cadre de ces chaînes de GNL des acheteurs et des vendeurs sont liés par des contrats à long terme pourtant sur des quantités définies à l'avance, produites dans une usine de liquéfaction donnée et reçues

dans un terminal méthanier donné. Ainsi, le mot chaîne évoque-t-il non seulement les différentes phases techniques du transport mais encore le lien indissoluble entre l'acheteur et le vendeur.

Le GNL n'étant une solution de transport économique que sur longue distance, le marché du GNL est évidemment partie intégrante du commerce international du gaz naturel.

L'augmentation des consommations de gaz naturel dans le monde accompagnée d'un accroissement des distances entre régions consommatrices et productrices favorise le commerce de gaz naturel entre ces régions et plus particulièrement sous forme de GNL.

Aussi le marché du GNL a-t-il augmenté plus vite que la production et le commerce international de gaz naturel. Les experts prévoient un prolongement de cette tendance pour les années à venir, même si il faut relativiser cette progression spectaculaire en ayant à l'esprit que le GNL ne représente actuellement que 5,1% de la consommation mondiale de gaz naturel et seulement 21% du commerce international du gaz naturel.

1.5.1 Transport maritime

Le transport est assuré par des navires appelés méthaniers, qui emmagasinent le liquide dans des réservoirs adiabatiques. L'isolation n'étant pas parfaite, du méthane liquide s'évapore pendant la traversée, il est récupéré par un petit compresseur et utilisé dans la propulsion du navire, qui est en général constitué de chaudières à vapeur mélangeant ce gaz et du fioul. La plupart des méthaniers ont une capacité de l'ordre de 140 000 m³ de GNL (70 000 tonnes environ), ce qui correspond à 87 millions de m³ de gaz dans les conditions standards. Ce sont des navires très coûteux, les plus chers navires non militaires par tonne de déplacement.

Les terminaux de regazéification reçoivent les méthaniers et transfèrent leur cargaison dans des réservoirs à terre. Le méthane liquide est regazéifié au fur et à mesure de la demande du réseau de gaz naturel du pays demandeur. En plus de servir à l'importation du gaz, ces terminaux offrent également la possibilité de réguler le réseau de transport de gaz du pays récepteur.

1.5.2 Le commerce par méthaniers

L'industrie du GNL connaît un très fort développement, les opérateurs étant actuellement en train de construire de nouvelles infrastructures pour satisfaire la croissance attendue de la demande. En 2006, le commerce mondial de GNL s'est accru fortement de 11,7 % à 211

Gm³ (158,7 Mt), un taux nettement supérieur à la moyenne annuelle de 7,7 % enregistrée au cours de cette dernière décennie. Toutefois, on peut observer des tendances assez contrastées selon les régions en 2006. Par ailleurs, la mise en service des terminaux de réception et de regazéification de GNL d'Altamira au Mexique, de Guangdong-Dapeng en Chine et de Sagonte en Espagne a ouvert de nouvelles routes au commerce du GNL.

En Europe et en Asie, les importations de GNL se sont accrues de manière sensible, enregistrant des taux de croissance de 20,4 % et de 10,4 % respectivement. En Amérique du Nord, les importations de GNL sur le marché américain ont diminué de 7,3 % à 16,6 Gm³ en 2006.

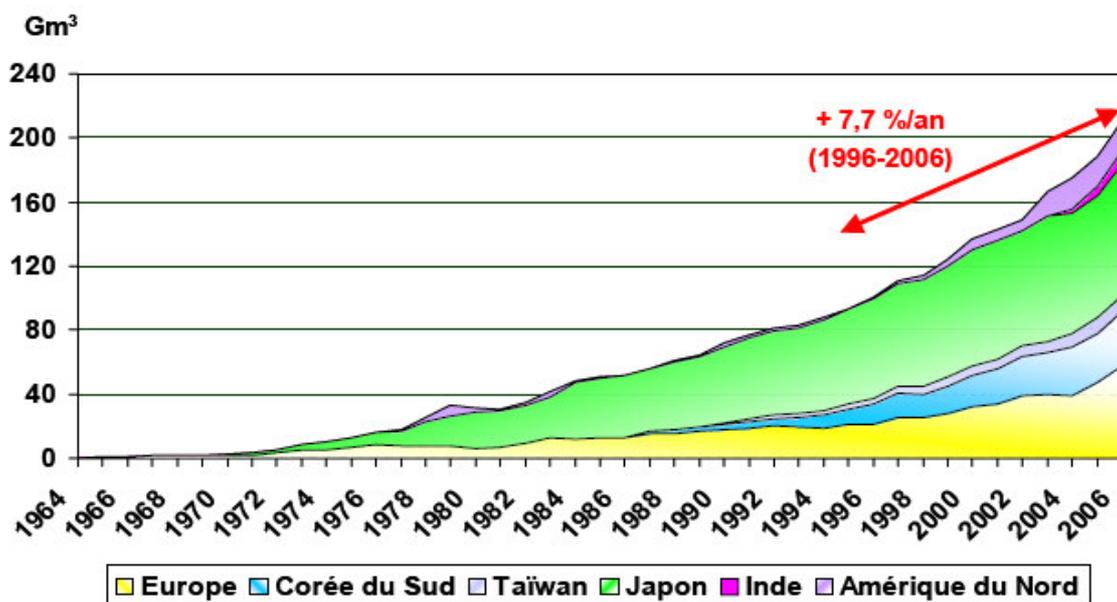


Fig 4. Evolution du commerce de GNL

1.5.3 Les différents types de contrats qui régissent une transaction:

L'éloignement entre centres de production et consommation donne un poids extraordinaire aux échanges internationaux dans l'industrie pétrolière et gazière.

Les contrats internationaux de gaz naturel portent sur:

- l'achat et la vente de GNL;
- le transport qui est un maillon essentiel de la chaîne GNL;
- l'affrètement de méthaniers.

I.6 Les contrats de vente:

Il définit les éléments d'une relation commerciale entre un vendeur et acheteur, et détermine la quantité et la qualité des marchandises, elle est définie par l'incoterm qui régit le contrat.

Les principaux incoterms du transport maritime de GNL sont:

- FOB (free on bord)
- CIF (coût, assurance et fret)
- DES (rendu Ex-Ship)

I.6.1 Les contrats à court terme de GNL :

Ce type de contrat s'est notablement développé depuis le début des années 1990, en profitant de trois éléments simultanés:

- L'existence de capacités de protection additionnelles imprévues suites à des opérations de dégoullottage ou à la mise en service de nouveaux trains;
- L'incapacité temporaire des acheteurs habituels d'absorber ces quantités;
- L'existence de capacités de transport inutilisées.

Ce commerce de court terme permet de valoriser des quantités supplémentaires marginales; il ne remet cependant pas en cause la base du commerce du GNL, à savoir des contrats à long terme qui seuls permettent d'engager les investissements nécessaires.

Le marché à court terme du GNL a continué d'augmenter et de se morceler en 1999, confirmant des tendances observées ces dernières années. Le nombre de contrats à court terme (spot +swap +court terme) s'est multiplié, atteignant 25, comparé à 17 en 1998. Le volume moyen de GNL échangé par contrat a encore diminué, à 0.41Gm³. Par contre, le volume global couvert par les transaction de court terme a atteint 10.5 Gm³, soit une croissance de 30.1% en un an. Ainsi les contrats à court terme ont représenté 8.8% du commerce international de GNL en 1999, contre 7.3% 1998. Une partie importante de cette croissance peut être imputée au commerce spot (y compris les swaps), qui s'est élevé à 4.7 Gm³ ou 44.7% des transactions de court terme.

Traditionnellement, le vendeur de GNL contrôlait la destination des cargaisons et aucun acheteur de fret à court terme n'avait le droit de décharger la cargaison ailleurs que dans le port mentionné dans le contrat. Avec l'augmentation du nombre de cargaisons transportées, une plus grande flexibilité a été exigée. Aujourd'hui, les trois principaux acheteurs spot de GNL (CMS, Duke Energy et Enron) ont négocié des contrats

d'affrètement standard qui les autorisent à détourner une cargaison de sa destination initiale. Ceci n'est que pur bon sens quand on sait que toutes les cargaisons à destination des Etats-Unis, chargées au Moyen-Orient, passeront par tous les principaux marchés européens.

Le spot est ainsi devenu une activité à part entière, offrant aux échanges de GNL une souplesse qui se traduit par de la valeur ajoutée mais aussi par un supplément de capacité. On assiste ainsi peu à peu à une optimisation du trafic maritime qui crée des capacités d'échange sans investissements nouveaux. Mais les lourdeurs de nombreux contrats GNL de long terme imposent encore aux méthaniens un sous-emploi. Cette situation est d'autant plus paradoxale que plusieurs usines d'exportations de GNL disposent, de leur côté, de capacités non exploitées.

1.6.2 Les contrats d'affrètement :

En matière de transport maritime, les contrats, dits de transport ou d'affrètement suivant le cas, lient un armateur ou fréteur et un affréteur; le premier met à la disposition du second un navire ou une certaine capacité du transport. Les contrats d'affrètement sont appelés « chartes-parties ».

L'armateur est celui qui (arme) le navire, c'est-à-dire qui le pourvoit en matériel et équipage et en assure l'exploitation; l'armateur est souvent, mais pas toujours, le propriétaire du navire, lorsqu'il l'est on peut parler d'armateur propriétaire, dans le cas contraire on parle d'armateur disposant.

L'affréteur est celui qui prend en location le navire; il peut être lui-même disposant vis-à-vis d'un autre affréteur, dans le cas d'affrètement en chaîne.

Parfois l'exploitation du navire (mise à disposition de l'équipage, réalisation de l'entretien, gestion nautique) est confiée par l'affréteur à un tiers, désigné sous le nom de gérant.

1.6.3 Des contrats d'affrètement ou de transport nécessaires:

Une chaîne de transport maritime de GNL est composée de trois maillons bien distincts: l'usine de liquéfaction, le navire et le terminal de réception. Pour le transport maritime, il est quasiment nécessaire qu'un propriétaire ou un armateur, distinct des sociétés gazières, intervienne, les sociétés gazières possèdent des filiales spécialisées dans l'armement et l'exploitation de navires méthaniens.

La société gazière qui assure, avec le concours d'un armateur le transport du GNL peut être:

- Le vendeur dans le cadre d'un contrat CAF (coût – assurance – fret ou CIF); dans ce type de contrat le gaz appartient à l'acheteur dès le départ de l'usine mais le transport est assuré par le vendeur ou par un tiers;
- Le vendeur dans le cadre d'un contrat Ex- Ship; le gaz appartient à l'acheteur au terminal de réception
- Le vendeur dans le cadre d'un contrat FOB (free on bord ou franco de bord) où le gaz est acheté à l'usine de chargement de navire.

1.6.3.1 Les différents types de contrats d'affrètement rencontrés:

** l'affrètement coque-nue:*

Par l'affrètement coque-nue, le frèteur s'engage, contre paiement d'un loyer, à mettre, pour un temps défini, à la disposition d'un affréteur un navire déterminé, sans armement ni équipement, ou avec un équipement et un armement incomplet.

** l'affrètement à temps:*

Par une « charte-partie » le frèteur met à la disposition de l'affréteur un navire armé, pour un temps défini, avec remise ou partage de la gestion de navire.

** l'affrètement au voyage:*

Par l'affrètement au voyage, le frèteur met, un navire à la disposition de l'affréteur en vue d'accomplir un ou plusieurs voyages déterminés, le frèteur assurant la gestion totale du navire.

1.6.4 Le contrat de transport:

Les trois types de contrat d'affrètement exposés ci-dessus ont pour caractéristiques communes d'être de location de navire, c'est-à-dire des mises à disposition d'un certain volume utilisable.

A l'inverse, par "un contrat de transport", l'armateur garantit au client la livraison, dans des conditions déterminées, de quantités données de cargaison sur un trafic défini. Il ne

délègue en aucune manière à l'affréteur le droit à l'utilisation du navire. Il ne garantit pas la mise à disposition du navire, mais seulement la livraison des marchandises prévues.

Le taux de fret est donc basé non plus, sur la capacité du transport, mais sur un volume effectivement transporté.

I.7 Les principaux marchés:

On peut diviser les pays importateurs de GNL en 2 marchés : le marché du Bassin Atlantique et celui du Bassin Pacifique, c'est à dire l'ancien et le nouveau marché. Le Bassin Pacifique inclut les pays en bordure du Pacifique et de l'Asie du Sud (dont l'Inde). Le Bassin Atlantique comprend l'Europe, l'Afrique du Nord et de l'Ouest et l'hémisphère ouest à l'exclusion de l'Alaska.

Le marché du Bassin Pacifique est apparu dans les années 1980-90 dans les pays asiatiques qui manquaient cruellement de ressources naturelles, tels que le Japon ou la Corée du Sud. Le GNL représentait alors une alternative au pétrole, l'objectif était de sécuriser les approvisionnements même à un coût relativement élevé. Le marché du Bassin Atlantique est apparu plus tard car, jusqu'au début des années 1990, grâce à leurs réserves domestiques ou à leurs importations via pipelines, ces pays avaient des approvisionnements abondants en gaz naturel. Ce qui explique le fait que sur la période s'étalant de 1995 à 2003, le taux de croissance soit de 4,9% pour le Bassin Pacifique et de 12,5% pour le Bassin Atlantique.

a. Le bassin Pacifique

Concernant le Bassin Pacifique, le Japon, avec ses 26 terminaux (3 de plus qu'en 2003), demeure de loin le principal importateur mondial de GNL. Le Japon (56,17 mt), la Corée du Sud (21,81 mt) et Taiwan (6,7 mt) représentaient à eux trois 65% des importations mondiales de GNL en 2004 (BP). Ces pays sont dépendants du GNL à 90% en ce qui concerne leur consommation de gaz. Le gaz représente 12% de la palette énergétique du Japon, il est essentiellement utilisé pour la production d'électricité (DOE). Les fournisseurs du Japon sont l'Indonésie, la Malaisie, ainsi que l'Australie et le Qatar qui prennent de plus en plus de place, et pour finir Brunei, les Émirats Arabes Unis, l'Oman. La Corée du Sud est le deuxième importateur de GNL de la planète; elle importe la plupart de son GNL du Qatar, de l'Indonésie, de la Malaisie et d'Oman (*British Petroleum*).

b. Le marché atlantique

En 2010, selon le *LNG Observer*, le marché atlantique représentera 117 mt, dont 60,6 mt pour les États-Unis et 57 mt pour l'Europe. En 2003, les États-Unis ont doublé leurs importations de GNL par rapport à 2002, passant de 4,8 mt à 11 mt et ce n'est qu'un début puisque les importations canadiennes ne suffiront plus à répondre à la demande américaine d'ici 2010. D'ailleurs le Canada a lui-même décidé de se lancer sur le marché du GNL comme le confirme la récente déclaration du Président en Chef de la Direction de Petro-Canada, Ron Brenneman, à propos de la signature d'un accord entre Petro-Canada et Gazprom (3,65 mt).

Les États-Unis sont donc appelés à devenir un importateur majeur de GNL dans l'avenir. D'après le DOE, leurs importations devraient être multipliées par 10 en moins de 10 ans, avec une augmentation de 42 mt. Le GNL représenterait 39% des importations de gaz en 2010 contre 5% en 2002 (et 12,7% en 2003 - *Cedigaz*).

La moitié des importations américaines proviennent de Trinidad et Tobago qui a supplanté l'Algérie en tant que premier fournisseur de ces derniers.

Les États-Unis importent 4,8 mt de GNL mais possèdent 4 terminaux avec une capacité 5 fois supérieure (26 mt). Quatre terminaux supplémentaires d'une capacité de 17 mt devraient être construits entre 2007 et 2010 (DOE).

Si l'attention s'est majoritairement tournée vers le marché américain ces dernières années, l'intégration du marché énergétique européen, sa dépendance croissante en matière de gaz (45-50%) et ses besoins à court terme en font un marché attractif pour le GNL. Comme en témoignent d'ailleurs, les « détournements » (diversions) européens de GNL, notamment ceux de 2006 qui résultent directement d'une augmentation des importations de 25%, et la multiplication de ses capacités de regazéification par 2,5.

Les importations européennes de GNL s'élevaient à 29,2 mt en 2004 représentant 17% des importations de gaz. La France, avec 5,6 mt, était le plus gros importateur d'Europe en 2003, aujourd'hui c'est l'Espagne qui est le marché montant en Europe avec 12,8 mt.

Les principaux fournisseurs de gaz de l'Europe sont la Russie pour une quantité de 102 mt et l'Algérie pour une part de 25,55 mt. Ses fournisseurs traditionnels de GNL sont l'Algérie (16 mt) et le Moyen Orient mais d'autres sont récemment venus les rejoindre

comme le Nigeria (8,6 mt) l'Égypte et Trinidad et Tobago - « chasse gardée » des États-Unis (Chris Holmes / Colleen Taylor Sen, *OG* et *BP*).

c. Nouveaux et futurs importateurs:

L'Italie, la Turquie, la Belgique, Puerto Rico, la Grèce, le Portugal, la République Dominicaine et l'Inde sont récemment devenus des importateurs de GNL; les 3 premiers prévoient déjà d'augmenter leurs capacités, alors que les autres commencent tout juste à importer. La Grande Bretagne et la Chine sont en train de construire des terminaux de regazéification mais sept autres pays prévoient d'en faire autant: les Bahamas, l'Indonésie, la Jamaïque, le Mexique, les Pays Bas, la Nouvelle Zélande et les Philippines (DOE).

La Chine, qui traite avec l'Australie et l'Indonésie, est à la traîne en matière de GNL avec seulement deux terminaux en construction, surtout face aux demandes américaine, japonaise et sud coréenne. Malgré tout, *Wood Mackenzie* compte sur la construction de huit terminaux supplémentaires en Chine pour 2020 (*OG Journal*).

1.8 Les Prix du gaz naturel sur les marchés internationaux :

Les prix élevés du gaz et des conditions climatiques clémentes ont eu un impact significatif sur le développement des marchés gaziers dans les pays de la zone OCDE. Par ailleurs, une croissance économique soutenue couplée à des besoins en gaz plus importants pour satisfaire la demande des marchés locaux (production d'électricité en particulier) expliquent l'augmentation sensible de la consommation dans la plupart des pays de la zone non-OCDE. Compte tenu de ces évolutions contrastées, la consommation apparente a progressé de 2,9 % à 2 930 Gm³ en 2006.

Selon les données publiées par l'Energy Information Administration, la consommation de gaz naturel aux États-Unis s'est affichée en recul de 1,7 % à 619 Gm³ (y compris les variations de stocks) en 2006. Au Canada, pour la troisième année consécutive, les ventes de gaz sur le marché local ont chuté de 1,7 % par rapport à l'année 2005.

En Europe, les prix élevés du gaz stimulant la compétition des autres énergies (le charbon en particulier), la mise en oeuvre de mesures d'économie d'énergie, les politiques motivant une utilisation plus large des énergies renouvelables, et la clémence des températures sont

les facteurs qui ont influencé l'évolution de la demande de gaz en 2006. La consommation apparente (variations de stocks non-comprises) dans la région (UE-25, Norvège, Suisse et Turquie) a augmenté légèrement de 0,7 % à 541,9 Gm³ en 2006.

1.9 Prix, arbitrage et volatilité du GNL:

Il existe 3 systèmes de prix différents pour le GNL. En Asie, les prix sont liés à ceux du pétrole brut. Depuis dix ans, les prix sont généralement plus élevés dans le Bassin Pacifique que dans le Bassin Atlantique. Mais le prix du GNL est en hausse aux États-Unis car il est indexé sur celui du gaz naturel, ce qui rend par ailleurs le marché américain très volatile. Aux États-Unis, on utilise comme prix de référence soit le prix d'un marché spécifique pour les contrats à long terme soit le prix du *Henry Hub* pour les contrats à court terme (spot prices). En Europe, le prix est indexé sur les fuels résiduels à faible taux de soufre notamment utilisés pour la production d'électricité. On voit apparaître des *gas hubs* (plaques tournantes commerciales du gaz) aux États-Unis, en Belgique et au Royaume-Uni. Ces *hubs* autorisent des arbitrages de prix, c'est-à-dire une concurrence entre les différents systèmes de prix, et vont sans doute permettre d'aboutir à une éventuelle convergence entre les différents bassins (DOE).

Selon les modes d'arbitrage, James T. Jensen (*OG*) confirme que le prix japonais est plus élevé que le prix espagnol et que les États-Unis représentent un marché attractif quand les prix sont élevés. Par contre, quand le prix du gaz s'est effondré en 2000-2001 aux États-Unis, les cargos ont été redirigés vers l'Europe. Il s'est produit la même chose en 2002 quand les Européens ont eu un hiver particulièrement froid ou que Tokyo a éprouvé des difficultés avec sa centrale électrique. Flexibilisation des contrats et volatilité des prix se traduisent donc par une augmentation de la concurrence.

II. Aspect technico-économique des chaînes de GNL

II.1 Aspects techniques des chaînes de GNL :

Le GNL, c'est quoi?

Le GNL est du gaz naturel liquéfié, c'est-à-dire du gaz naturel refroidi à une température de -160° Celsius, température à laquelle il devient liquide. Le GNL n'occupe que le $1/600^{\circ}$ du volume requis pour une même quantité d'énergie lorsque comparé à son état gazeux. Cette économie de volume permet de transporter économiquement de grandes quantités de gaz naturel sur de longues distances au moyen de navires conçus spécialement à cette fin et qu'on appelle des méthaniers.

II.1.1 L'industrie gazière :

II.1.1.1 La définition du gaz naturel :

L'expression du gaz naturel a été imposé en 1795 par le savant Italien Lazzaro Spallanzani, c'est une énergie constituée principalement de Méthane (CH_4), avec une petite quantité d'hydrocarbures gazeux paraffiniques tels que :

- L'éthane (C_2H_6);
- Le propane (C_3H_8);
- Le butane (C_4H_{10})

Ainsi que d'autres constituants non hydrocarbures sont inclus avec des pourcentages variables, par exemple :

- Azote (N_2);
- Hydrogène sulfureux (H_2S);
- Dioxyde de carbone (CO_2);
- Hélium (He) et la vapeur d'eau.

II.1.2 La production du gaz naturel :

La production consiste à faire remonter les hydrocarbures contenus dans le sous-sol vers la surface. Pour cela, on utilise des forages en grand nombre. Un gisement, c'est très vaste, au moins plusieurs kilomètres carrés et parfois au-delà de 100 kilomètres carrés. Un puits traditionnel (vertical ou faiblement dévié) ne draine du pétrole ou du gaz que sur une distance radiale de quelques dizaines de mètres. De plus ces puits ne traversent le réservoir producteur que sur une faible hauteur. Il faut donc un grand nombre de puits verticaux pour drainer un réservoir dans sa totalité. La technique des puits horizontaux a complètement révolutionné

l'industrie puisque ces puits présentent une longueur beaucoup plus importante de contact avec les réservoirs. Elle a donc permis de notablement réduire le nombre de puits nécessaires pour un développement donné. Les forages de production présentent certaines particularités.

QUEL EST LE PRINCIPE DE LA PRODUCTION ?

Il s'agit de générer au fond des puits de pétrole ou de gaz une pression inférieure à la pression du réservoir. Ainsi, sous l'effet de la différence de pression, les hydrocarbures vont se diriger vers le puits et remonter vers la surface. Pratiquement, le puits est entièrement coffré par un tubage jusqu'au réservoir. Ce tubage, difficilement amovible lorsqu'il est cimenté, assure l'intégrité du puits tout au long de son exploitation. Le pétrole et le gaz remontent par un autre tubulaire, le tube de production, *tubing* en anglais, placé dans le cuvelage. Ce dernier est amovible et peut être changé quand apparaissent corrosion ou dépôts.

Parfois, la pression du gisement est suffisante pour que les hydrocarbures remontent d'eux-mêmes jusqu'à la surface, les puits sont alors dits « éruptifs ». Dans d'autres cas, les puits ne sont jamais éruptifs. De toute façon, dans tous les cas, la pression du gisement diminue au fur et à mesure que l'on produit. Au bout d'un temps, elle ne suffit plus à produire de façon éruptive. Il faut alors stimuler la production. C'est ce qu'on appelle la récupération assistée.

En arrivant à la surface, les effluents des puits de production vont commencer leur circuit dans les installations de surface.

II.1.3 Le transport terrestre:

Les ouvrages de transport ont pour vocation d'acheminer du gaz sous haute pression entre un (ou plusieurs) point(s) source(s) et un (ou plusieurs) point(s) de livraison. Sur ces artères de transport, entre les deux points d'extrémité, des prélèvements de gaz en nombre restreint peuvent être effectués, dans le but d'assurer une alimentation en gaz d'une zone déterminée. L'ensemble du réseau de transport met à disposition de sa clientèle (clients industriels et distributions publiques) du gaz provenant, soit des gisements nationaux, soit des points de réception des importations, dans les meilleures conditions de sécurité, de continuité et de coût. Mais le coût du transport du gaz naturel pèse de plus en plus lourd. Jusqu'à ces dernières années, les grandes zones consommatrices produisent la majorité de leurs besoins en gaz. Ce n'est plus le cas aujourd'hui : les pays industrialisés occidentaux ne disposent que de (10.88%)

des réserves prouvées de gaz naturel alors qu'ils représentent (51.12%) de la consommation mondiale.

Le transport du gaz sur des distances de plus en plus longues et dans des conditions de plus en plus sévères devient une nécessité impérieuse pour assurer son développement.

II.1.3.1 Les caractéristiques techniques du réseau de transport:

a) La structure du réseau et le tracé des canalisations:

la connaissance du tracé se traduit par la connaissance des points suivants :

- La longueur du transport,
- Le profil en long associé,
- Les conditions climatiques : température ambiante pour le calcul de la puissance des stations de compression,
- Les zones urbanisées rencontrées et leurs longueurs pour le calcul des épaisseurs (permet de calculer le prix des tubes et le diamètre intérieur),
- Les types de terrains rencontrés pour l'évaluation des coûts de pose.

b) La pression maximale de service (P.M.S):

le calcul économique montre que la sensibilité du coût de transport au choix de la PMS est très faible sur une large plage . Le calcul effectué pour la France a en effet, montré que la courbe du coût de transport en fonction de la pression maximale de service atteignait un palier pour des pressions voisines de 70bar et était relativement plate jusqu'à 100bar, ce qui conduit à retenir une PMS de 67.7bar (68.7 bar absolus) pour le réseau français.

c) Les pertes de charges :

L'étude du transport du gaz est, avant tout, un problème d'écoulement où la loi donnant la perte de charge en fonction du débit et du diamètre intérieur, doit être connue. La perte de charge dans une conduite horizontale est sous la forme

$$P_1^2 - P_2^2 = K.(Q^2 / D^5).L$$

Avec K constant

d) La localisation et la puissance des unités de compression:

Les transports de gaz peuvent être, souvent réalisés par des conduits ne nécessitant pas de recompression sur le trajet. Toutefois, l'utilisation d'unités de compression sur le

parcours apparaît nécessaire lorsque la longueur de la conduite de transport dépasse 100 à 200 km selon les données économiques retenues.

Le problème à résoudre comprend comme variables, outre le diamètre D et la pression maximale de service, le taux de compression r .

II. 1.4.1 La chaîne du GNL :

La livraison du GNL s'effectue en plusieurs étapes. D'abord, près des sites de production de gaz naturel, les usines de liquéfaction transforment le gaz naturel en gaz naturel liquéfié. Par la suite, le GNL est chargé dans des navires nommés méthaniers et transporté vers des terminaux d'importation des pays consommateurs. Le GNL est alors déchargé dans des réservoirs de stockage pour ensuite être regazéifié. Redevenu gazeux, le gaz naturel circulera dans les réseaux jusqu'aux clients. Tout le processus de production et de livraison du GNL est extrêmement rigoureux et la régularité des approvisionnements, des chargements et des déchargements est primordiale à une exploitation fiable et à un approvisionnement sécurisé. Dans ce contexte, la fiabilité des accès portuaires constitue la clé du succès pour la mise en place d'une chaîne de GNL.

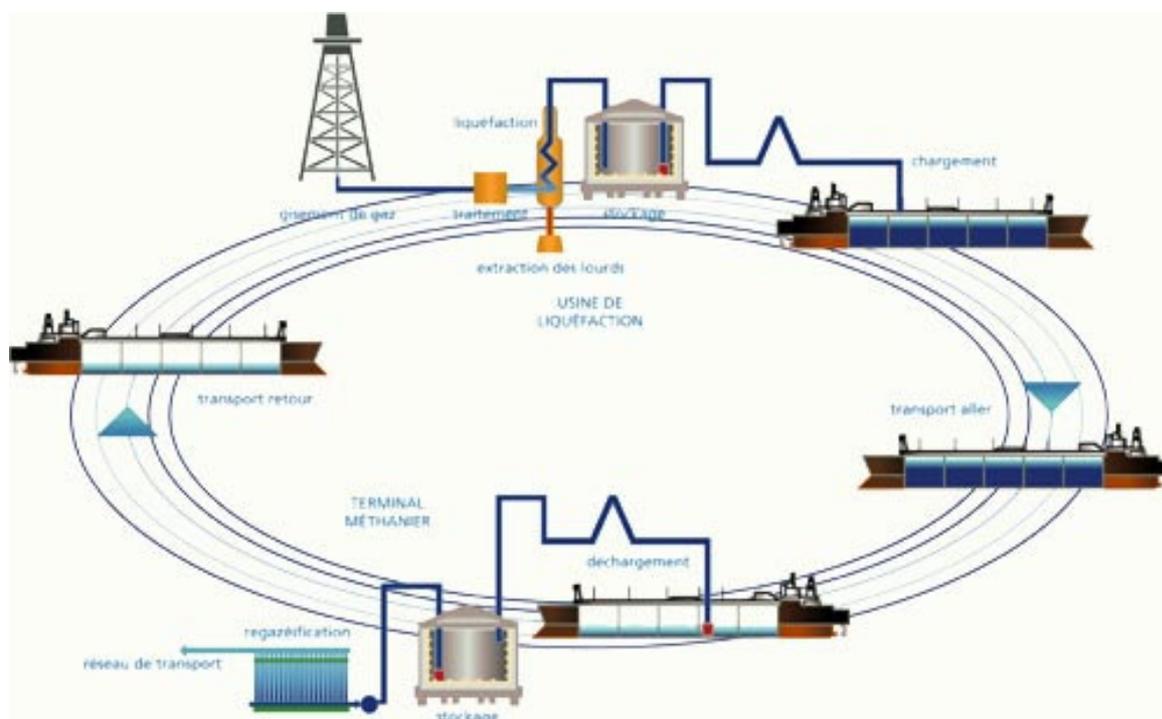


Fig 5. La chaîne de GNL

II. 1.4.2 Caractéristiques techniques d'un méthanier:

Le gaz naturel est transporté sous forme liquide à une pression proche de la pression atmosphérique et à une température voisine de -160°C , la masse volumique variant selon la composition du GNL de 420 à 480 Kg/m^3 et la vaporisation d'un mètre cube de liquide produisant 600 m^3 de gaz environ; d'où des contraintes particulières imposées au transport par méthanier du GNL.

La basse température et la faible masse volumique du produit transporté influent sur la conception des équipements de stockage et de manutention de cargaison:

- *Utilisation de matériaux cryogénique;
- *Mise en place d'une isolation thermique;
- *Dispositif de ballastage totalement séparé de la cargaison;
- *Installation cryogéniques pour l'exploitation de la cargaison.

II. 1.4.2.1 Différentes parties d'un méthanier:

- La partie "cargaison" avec tous les équipements liés au stockage et au traitement de GNL et de gaz d'évaporations, salle de contrôle cargaison.
- La partie "propulsion et puissance" comprenant les installations plus classiques assurant notamment la propulsion du navire et la production d'énergie électrique à bord.
- La partie "coque" comprenant la double coque, les dispositifs de ballastage, les dispositifs de d'amarrage et de mouillage.
- La partie "navigation –communication" avec les systèmes d'aide à la navigation et à la communication.
- La partie "sécurité" comprenant toutes les dispositions particulières retenues pour assurer la sécurité des navires et les moyens de prévention et de protection générale.
- La partie "emménagement -divers" avec les locaux d'habitation.

II. 1.4.2.2 Les installations de cargaison spécifiques au transport du GNL:

Comprenant les systèmes de stockage, de manutention, et de mesurage de la cargaison, complétés dans certains cas par des générateurs de gaz inerte, elles présentent toujours des caractéristiques essentielles:

- Elles sont constituées de matériaux exclusivement cryogéniques, qui ne se fragilisent pas aux basses températures, tels que certains aciers inoxydables et

alliage d'aluminium, l'acier à 9% de nickel et l'alliage fer-nickel (36% de nickel) appelé Invar;

- Elles sont isolées thermiquement du milieu extérieur pour minimiser les entrées de chaleur conduisant à:
 - La vaporisation du liquide à une pression constante;
 - A la montée de la pression et de la température d'équilibre à volume constant;
 - Les principaux isolants thermiques utilisés sont la silice expansées (perlite), le verre expansé (foam –glass), le PVC expansé (klégécel), la mousse de polyuréthane, la laine de verre et le bois.

L'isolation n'étant pas parfaite, les évaporations naturelles du GNL sont évacuées à l'extérieur des installations de cargaison de façon à maintenir la pression de la phase gaz des cuves sensiblement constantes (proche de la pression atmosphérique).

II. 1.4.2.2.1 Les cuves de stockage de GNL:

La classification des cuves de stockage d'un point de vue réglementaire définit deux grands types de cuve:

- Les cuves indépendantes autoporteuses qui assurent à la fois les fonctions d'étanchéité vis-à-vis du GNL et de résistances aux efforts mécaniques;
- Les cuves à membranes intégrées à la structure du navire, comportant une paroi mince étanche (membrane) qui contient le GNL et dont les contractions thermiques sont limitées ou composées; les efforts mécaniques sont transmis à la structure du navire au travers de l'isolation.

II. 1.4.2.2.2 Les principaux critères d'exploitation des cuves:

a) Le taux de remplissage des cuves :

Le taux maximal de remplissage des cuves est imposé par les sociétés de classification et correspond à 98% ou 98.5% du volume global cuve.

Un niveau haut minimal et un niveau bas maximal d'emplissage sont imposés pour les cuves à membrane, afin que les mouvements de liquide pendant la navigation ne provoquent pas de démarrage à la barrière primaire.

b) Le taux d'évaporation :

Le taux d'évaporation d'un navire méthanier est le pourcentage de sa capacité totale évaporé par jour sous l'effet des entrées de chaleur; il est en fonction de la géométrie de navire et des cuves de l'isolation et des conditions extérieures.

Pour les méthaniers de la première génération, les taux d'évaporation, navire chargé, sont compris entre 0.3 et 0.25%, par contre, les méthaniers récents ont des taux d'évaporation de l'ordre de 0.15%.

c) Le talon :

Le talon est la quantité minimale de GNL qui doit rester dans les cuves des navires, après déchargement de leur cargaison, pour permettre un maintien en froid jusqu'au chargement suivant (dans le cas assez général du retour en froid des navires) : quantité minimale avant le chargement, évaporation pendant le voyage, sécurité en cas de retard. Il est cependant à noter que lorsque le trajet est trop long, sur certaines chaînes GNL (moyen orient, Japon), les navires font le voyage retour sans talon et sans remis en froid avant chargement à l'usine de liquéfaction.

d) L'espace d'isolation :

La mise sous pression d'Azote des espaces d'isolation permet, selon les techniques de cuves :

- D'éviter toute entrée d'air et donc d'humidité, qui entrainerait la formation de ponts thermiques et la dégradation des caractéristiques de l'isolation;
- La surveillance de l'étanchéité de la barrière primaire par mesure de la teneur en gaz dans l'Azote.

II. 1.4.2.2.3 Les autres installations de cargaison d'un méthanier :**a) L'utilisation des évaporations :**

Une évaporation permanente de GNL est provoqué par l'apport de chaleur extérieur passant à travers les parois isolés des cuves ne pouvant pas supporter une augmentation importante de leur pression interne. Plusieurs alternatives se présentent, alors :

- L'évacuation du gaz à l'atmosphère : cette situation, extrême, est utilisé pour des raisons de sécurité, si les moyens normaux de récupération des évaporations sont inutilisables ou insuffisants;

- L'utilisation du gaz comme combustible pour la propulsion et la production d'énergie électrique, en substitution à une quantité de fioul équivalente en valeur calorifique. Cette possibilité existe sur pratiquement tous les méthaniers.
- La reliquéfaction totale ou partielle des évaporations: la reliquéfaction totale permet, grâce à un cycle de réfrigération, de liquéfier la totalité du débit d'évaporation, des installations de reliquéfaction partielle permettent de reliquéfier une partie seulement du débit, l'autre est utilisée pour la propulsion.

L'intérêt de la reliquéfaction dépend du coût de l'installation (coût d'investissement et coût d'exploitation élevés), des prix relatifs de gaz et du fioul et de la longueur des voyages. Seuls quelques méthaniers ont été équipés d'une reliquéfaction partielle.

b) Traitement de la cargaison et des évaporations :

- Les pompes de cargaison :

Chaque cuve de méthanier est équipée de pompe permettant le déchargement de GNL contenu à une pression de refoulement donnée et en un temps donné.

- Le compresseur de gaz :

Deux fonctions sont souvent assurées, le cas échéant, par le même compresseur de gaz d'évaporation (deux types de compresseurs adaptés à chacune des fonctions équipent les navires les plus récents), malgré des conditions de pression et de débit différentes:

- L'extraction de gaz d'évaporation des cuves pendant leurs remplissages à débits élevés, si les pertes de charge ne le permettent pas directement;
- L'envoi des évaporations vers les machines ou vers l'installation de reliquéfaction.

- Le regazéifieur :

Certains navires peuvent être équipés d'un regazéifieur de GNL, qui est un échangeur entre le GNL et le fluide caloporteur (vapeur) permettant d'obtenir de gaz supplémentaire par rapport aux évaporations normales

- Les circuits de cargaison :

Les circuits de cargaison, GNL et gaz disposés sur le pont principal de navire et réalisés en acier inoxydable cryogénique, permettent de relier les cuves à des circuits terrestres, les cuves entre elles, la phase gazeuse des cuves aux compresseurs et aux machines.

- ***L'instrumentation de mesure et contrôle :***

Une salle de contrôle de cargaison est situé soit sur le pont (dans la tranche cargaison), soit dans le château (sur la face avant, pour pouvoir aussi surveiller visuellement les opérations); les dispositifs de contrôle (mesures et alarmes) et de commandes (boutons marche / arrêt des pompes et compresseurs, boutons ouverture / fermeture de vannes réglage de régulateurs) y sont rassemblés, avec éventuellement des moyens de contrôle / commande.

II.1.5 Les installations de regazéification:

A l'issue du trajet maritime, le navire est déchargé dans un terminal méthanier où sa cargaison est à nouveau stockée avant d'être regazéifiée et émise dans un réseau de transport terrestre. Des techniques spécifiques ont dû être mise au point pour établir cette chaîne.

Un terminal méthanier est un ensemble relativement complexe où sont mises en œuvre les techniques cryogéniques les plus modernes.

Au terminal méthanier, on transfère le GNL des navires vers des réservoirs de stockage semblables à ceux des usines de liquéfaction. Les terminaux méthaniers étant construits en bord de mer, des échangeurs de température où circulent, d'une part le gaz naturel liquéfié, d'autre part de l'eau de mer assure la regazéification. Le GNL est ainsi refoulé sous forme gazeuse dans le réseau que le terminal alimente.

II.2. Aspects économiques:

II.2.1. Coût de production :

Les coûts de production du gaz naturel signifie le coût départ champs et comprend les coûts opératoires et les amortissements.

Le coût opératoire comprend: le coût du personnel, le coût des consommables, le coût de la maintenance, les assurances (production, Immobilisation et Personnel) les taxes & droits de douane ainsi que les frais financiers.

II.2.2 Les caractéristiques économiques du transport du gaz naturel par canalisation:

II.2.2.1 Estimation des investissements.

Parmi les outils dont on doit disposer pour effectuer une étude d'investissement en transport du gaz figure le catalogue des prix, qui revêt un caractère indispensable. Qu'il s'agisse des

canalisations ou des stations de compression, on doit tenir à jour les barèmes des prix correspondants.

La qualité des études et donc, les choix qui en résultent en dépend directement.

Investissements dans la canalisation:

Le coût d'une canalisation posée peut se décomposer en trois postes:

- La fourniture d'acier (tube nu) : ce poste est proportionnel au carré du diamètre car d'après les règlements de sécurité, l'épaisseur est proportionnel au diamètre, pour une pression maximale de service donnée.
- La poste (préparation de la prise, ouverture de la tranchée, bardage, mise en fouille, remblaiement, remise en état) est proportionnelle au diamètre.
- Le 3^{ème} poste rassemble les éléments suivants: revêtements extérieur et intérieur, postes de sectionnement et de coupure et matériels divers, charges de maître d'œuvre.

Les trois postes peuvent se formaliser comme suit:

$$I_{\text{can}} = a + b.D + c.D^2$$

Où : a : dépenses relatives au 3^{ème} poste

b : dépenses relatives au 2^{ème} poste

c : dépenses relatives au 1^{er} poste

II.2.2.2 Calcul des Charges annuelles d'exploitation :

✓ Frais d'entretien et de personnel :

Pour l'évaluation de ce poste, on retient la décomposition suivante

- Une part fixe estimée à un pourcentage fixe du montant de l'investissement
On considère de façon distincte la canalisation et les stations de compression.
Pour la première, on admet que les dépenses d'exploitation annuelles correspondent à 1 à 3% de l'investissement; pour les secondes, elles correspondent à 3 à 5% de l'investissement.
- Une part proportionnelle aux quantités pour les produits consommables.

✓ Dépenses d'énergie de compression :

Les dépenses d'énergie recouvrent essentiellement l'énergie consommée par les groupes de compression. Dans la plupart des cas (entraînement par moteurs ou turbines à gaz), cette énergie est constituée par du gaz prélevé de la canalisation.

L'énergie nécessaire à la recompression varie comme la puissance des stations mais elle dépend en plus des conditions d'exploitation et de la régularité du débit.

- ✓ On peut estimer en première approximation et en l'absence d'information sur la monotonie de débits envisagée que cette énergie varie approximativement comme le carré du coefficient de modulation (débit moyen annuel/débit maximal).

Notons que cette approximation est assez grossière et doit être affinée par une simulation des différents régimes d'écoulement envisageables.

L'évaluation des dépenses d'énergie consistera donc à calculer à partir du programme prévisionnel d'utilisation des stations de compression pour en déduire les quantités annuelles de gaz consommé.

Le calcul des coûts de transport n'est pas intégré dans le contexte de ce mémoire.

II.2.3 Coûts de liquéfaction :

Le coût de liquéfaction du gaz naturel n'est pas également intégré dans ce travail et constitue un travail à part vue l'ampleur et le contexte du calcul de ce coût; néanmoins.

II.2.4 Les résultats d'exploitation d'un méthanier :

II.2.4.1 Les dépenses sont de deux types :

- Des frais fixes qui sont couverts par les loyers d'affrètement dans le cas d'une charte-partie à temps:

L'amortissement de l'investissement correspondant à la construction des navires;

- L'armement;
- L'entretien;
- L'assurance
- Des frais proportionnels d'exploitation ;
- Le GNL utilisé ou perdu pendant le transport;
- Le fuel;
- Le gaz-oil (combustible des diesel-alternateurs);
- L'Azote;
- Les frais portuaires correspondant aux escales de chargement et de déchargement.

La répartition des frais, à titre indicatif, peut être la suivante:

Frais fixes d'affrètement : 60%;

- Frais d'escale : 20%;
- Consommation de fuel+GNL :15%;
- Divers:5%.

II.2.4.2 La consommation d'énergie:

Les consommations de combustible fuel et gaz représentent une part importante du coût du transport maritime. Pour des méthaniers équipés d'installations propulsives à vapeur, même si ces valeurs sont susceptibles de varier d'un navire à un autre suivant leurs équipements respectifs, on peut donner comme ordre de grandeur des consommations énergétiques:

- Pour un méthanier type de 40 000m³:
 - 100 t/j de fuel ou équivalent énergétique fuel et gaz;
 - Une vitesse moyenne de 17,5 nœuds
- Un méthanier type 125 000m³:
 - 180 t/J de fuel ou équivalent énergétique fuel et gaz;
 - Une vitesse moyenne de 17,5 nœuds.

Le remplacement éventuel sur des futurs méthaniers de la propulsion vapeur par des moteurs dual/fuel devrait permettre de réduire sensiblement ces consommations.

De même que la tendance pour les méthaniers de la nouvelle génération est de réduire la puissance installée; par exemple, pour les méthaniers de 130 000 m³, la puissance moyenne a été réduite de 40 000 à 25 000 chevaux, la vitesse maximale est également réduite à moins de 20 nœuds.

II.2.4.3 Calcul de la durée d'une rotation:

Une rotation de méthanier comprend chronologiquement les quatre phases suivantes:

- Le chargement de GNL;
- Le voyage chargé;
- Le déchargement du GNL;
- Le voyage léger (ou sur ballast).

$$D_r = (2 \cdot D / 24 \cdot V) + H$$

D_r : durée d'une rotation.

D : distance entre le port de chargement et le port de déchargement.

H : le temps de chargement et de déchargement.

V : La vitesse du méthanier

Dans le cas général le temps nécessaire pour charger et décharger un navire est de 2 jours.

II.2.4.4 Les coûts de transport:

Le coût de transport d'une rotation par navire et par destination est représenté par la somme de tous les frais nécessaires pour réaliser cette rotation.

II.2.4.4 .1 Les coûts de Boil-off :

Théoriquement l'évaporation de GNL pendant l'aller de navire est 0,3% de la capacité nominale de méthanier, et 0,15% pendant le retour. Mais réellement, chaque méthanier a un taux spécifique selon sa technologie et son réglage.

Tableau 3. Taux d'évaporation des méthaniers :

Les navires	35 325,335 m ³	125 000 m ³	129 750 m ³
Aller	0,265% / jour	0,25% / jour	0,24% / jour
Retour	0,352% / jour	0,15% / jour	0,14% / jour

Les coûts résultants de Boil-Off sont calculés de la façon suivante :

$$C_{BO} = (BO_{\text{aller}} + BO_{\text{retour}}) * \text{prix de GNL} * 23,4$$

C_{BO} : le coût résultant du boil off

BO_{aller} : la quantité de GNL évaporé pendant l'aller

BO_{retour} : la quantité de GNL évaporé pendant le retour

$C_{te} = 23,4$ pour la conversion de cout de m³ en cout de MBtu

II.2.4.4 .2 Les coûts de fuel-oil :

La formule utiliser pour calculer le coût de fuel consommé au court d'une rotation est la suivante: $C_f = (F_{CP} + F_{CM}) * P_f$

C_f : coût total de fuel consommé pendant une rotation par navire.

F_{CP} : fuel consommé au port;

F_{CM} : fuel consommé en mer (pendant le transport)

P_f : prix de fuel oil.

$$F_{CP} = f_{CP} / J * 2$$

f_{CP} / J : la quantité de fuel consommé par jour .

On a multiplié par deux , car le temps de chargement = 2 jours

$$F_{CM} = f_{CM} / j * (Dr - 2)$$

f_{CM} / j : fuel consommé par jour pendant le voyage (en mer) par navire.

II.2.4.4.3 Les coûts résultants de la consommation d'azote:

La formule utilisée est la suivante:

$$C_A = A_C/j * P_A * D_r$$

C_A : le coût total d'azote consommé pendant une rotation par navire et par destination.

A_C/j : l'azote consommé par jour (m^3/J).

P_A : le prix d'azote.

II.2.4.4 Les frais portuaires:

Chaque port dispose de ces propres coûts

II.2.4.4.5 Les frais d'assurances:

Les assurances payées pendant un voyage, contiennent l'assurance du navire et l'assurance de la cargaison. L'assurance du navire dépend de sa taille.

L'assurance de la cargaison est calculée de la façon suivante:

$$AS_C = Q_{rst} \text{ en MBTU} * P_{GNL} * 0.165\%$$

AS_C : Assurance de cargaison .

Q_{rst} : capacité nominale de méthanier r qui transporte le GNL du port s vers le port t

0,165% : présente le pourcentage payé de la quantité transportée.

$$AS_T = AS_C + AS_M$$

AS_T : assurance total payée pendant une rotation

AS_M : assurance d'un méthanier

II.2.4.4.6 Loyer d'une rotation :

Le coût du loyer est égal au coût d'affrètement multiplié par la durée de rotation

$$\text{Coût du loyer} = \text{loyer} / J * D_r$$

Pour les méthaniers de capacité de plus de 125 000, le coût d'affrètement est égale à 50 000 \$ /J pour les méthaniers de taille inférieur à 125 000, le coût d'affrètement est de 20 000 \$/J.

II.2.4.4.7 Coût d'une rotation des navires :

Le coût d'une rotation n'intègre que les charges variables, directement proportionnelles à la rotation.

II.3 Description technique des chaînes GNL Algériennes :

L'Algérie possède quatre chaînes de GNL que nous allons examiner brièvement :

II.3.1 Champs de production :

Le champ de Hassi R'Mel reste le plus important avec une vaste étendue de 3500 km² (70km de longueur sur 50 km de large). Le développement de Hassi R'Mel s'est trouvé étroitement lié au développement de l'industrie du gaz dans le monde et les importantes réserves recelées par ce gisement, supérieures à 200 Milliards M³ ont constitué un atout important pour lancer une politique d'industrie gazière de grande envergure pour le pays.

Les champs de Gassi Touil, Alrar, In Amenas, Roud Ennousse et Hassi Messaoud représentent une production moins importante que celle de Hassi R'Mel où elle sera traitée avant d'être évacuée aux unités de liquéfaction par gazoducs.

II.3.2 Les gazoducs reliant le champ de production et les unités de liquéfaction en GN :

L'Algérie a réalisé six gazoducs, décrits dans le tableau suivant :

Tableau 4 . Fiche technique des différents gazoducs

Gazoduc	GZ0	GZ1	GZ2	GZ3	GZ1K
Origine	Hassi R'Mel				
Diamètre en pouces	24/20	40	40	42	40
Longueur en Km	509	507	511	512	573
Nombre de stations	4	5	5	5	5
Puissance installée(w)	45.10	29.10	21.71	29.10	21.71
Capacité	3.7	13.5	13.5	15.6	13.5
Année de mise en service	1961	1979	1986	1990	1978

II.3.3 les unités de liquéfaction et bacs de stockage :

Il existe quatre unités de liquéfaction dont trois se situent dans le pôle industriel d'Arzew (deux à Bethioua et une à Arzew) et une à Skikda ; la fiche technique de ces unités est donnée dans le tableau suivant :

Tableau 5. Fiche technique des unités de liquéfaction

Unités	GL4Z	GL1Z	GL2Z	GL1K
Localisation	Arzew	Bethioua	Bethioua	Skikda
Superficie	73 hectares	72 hectares	72 hectares	92 hectares
Objet	Traitement de 17 Gm3 de GN/an	Traitement de 10.5 Gm3 de GN/an	Traitement de 10.5 Gm3 de GN/an	Traitement de 7.8 Gm3 de GN/an
Produits	GNL, Butane	GNL, gazoline	GNL, butane, propane, gazoline	GNL, éthane, butane, propane, gazoline
Cap. de prod. (Mm3/an de GNL)	2	17	17.8	11.2
Nombre de train	3	6	6	6
Capacité de stockage	-3bacs GNL aérien de 1100m3 chacun - 1 bac GNL en excavatrice de 38000m3	-3bacs GNL aérien de 300000m3 chacun	-3bacs GNL aérien de 300000m3 chacun	-5bacs GNL aérien de 308000m3 chacu
Destination de la production	Europe	Europe et USA	Europe et USA	
Source d'approvisionnements	Hassi R'Mel	Hassi R'Mel	Hassi R'Mel	Hassi R'Mel
Date de mise en service	1° ligne 1964 2° ligne 1964 3° ligne 1965	20 février 1978	29 janvier 1981	1982

II.3.4 Port et installations de chargement :

Trois ports de chargement existent, ils sont situés respectivement à Skikda, Arzew et Béthioua, le tableau suivant représente de façon synthétique les caractéristiques de ces ports

Tableau 6. Caractéristiques techniques des ports :

	Nb de quais	Taille de méthaniers à recevoir (m3)	Nb de bras de charge	Débit chargé (10 ³ m ³ /h)	Tirant d'eau (m)	longueur
Béthioua	4	2 réceptions de 40 000 à 125 000 et 2 pour 50 000 à 125 000	4	4 à 10	13.5	Maximum
Arzew	1	25 000 à 50 000	4	Maximum 1	9.8	Maximum
Skikda	2	25 000 à 90 000	2	Maximum 1	9.8	Maximum

Le port de Bethioua reste le plus important relativement à sa capacité d'accueil et de chargement, par contre, les deux autres ne peuvent réceptionner que des méthaniers de taille moyenne.

II.3.5 La flotte Algérienne :

La flotte Algérienne compte actuellement dix navires méthaniers dont l'armateur est la Société Nationale de Transport Maritime des Hydrocarbures (SNTMH). Un tableau synthétique de la flotte représente les caractéristiques de ces méthaniers :

Tableau 7. Caractéristiques techniques des méthaniers :

Caractéristiques	Larbi Ben M'Hidi (M2)	Bachir Chihani (M 3)	Mustapha Ben Boulaid (M4)	Abane Ramdane (M6)	Didouche Mourad (M5)	Lalla Fatma Nsoumer (M10)	Isabela (M1)	Berge Arzew (M9)	Cheikh El Mokrani (M8)	Bouamama (M7)
Vitesse en Noeuds	16	16	16	18	16	19	16	19	16,5	16,5
Capacité (m3)	129 767	129 767	125 626	126 130	126 130	145 000	32 000	138 000	75 000	75 000
Date de démarrage	1977	1979	1976	1981	1980	2004	2006	2007	2007	2008

Source Sonatrach

1 noeud = 1Mile/heure

II.3.6 Les distances entre les ports de l'Algérie et ceux de ses clients :**Tableau 8. Distance ports acheteur vendeur:**

Port	Arzew (Km)	Bethioua (Km)	Skikda (Km)
Lake Charles (USA)	5894	5894	5307
Cove point (USA)	4581	4581	5013
Montoir (France)	1303	1303	1557
Isle of grain (UK)	1612	1612	1963
Bilbao (Espagne)	1154	1154	1586
Barcelone (Espagne)	343	343	349
Cartagène (Espagne)	113	113	387
Huelva (Espagne)	420	420	718
Sagunto (Espagne)	300	300	280
Marmara (Turkie)	1558	1558	1205
Aliaga /Izmir (Turkie)	1814	1814	1255
Rivathousa (Grece)	1649	1649	1090
La Spezia (Italie)	681	681	456

II.3.7 Les terminaux de nos Clients :

Une fiche technique des terminaux de regazéification est représentée par le tableau suivant :

Tableau 9. Les caractéristiques des terminaux des clients :

Pays	Nom du terminal	Localisation	Cap	Quai	L (m)	Draft (m)
Belgique	Distrigaz	Zeebregge	261	1	300	11.4
France	Gaz de France	Havre	36	1	230	10
France	Gaz de France	Montoire	360	2	320	11.5
France	Gaz de France	Fos Mer	150	1	340	11
Espagne	Enagaz	Huelva	65	1	240	10.8
Espagne	Enagaz	Carthagène	60	1	238	10.6
Espagne	Enagaz	Barcelone	240	2	230	10
Italie	Snam	La spezia	100	1	240	10.5
Grèce	DEPA	Pachi maghora	70	1	250	11
Turquie	Turkish	Marmara Erglis	85	1	260	11.2
USA	petroleum	Boston	156	1	290	11

USA	Distrigaz (Boston) Trunk line LNG	Lake charles	286	1	325	12
-----	---	--------------	-----	---	-----	----

III . Formulation du modèle d'optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL

III.1 Introduction :

Depuis le début de la production du gaz naturel et dès l'apparition du transport par canalisation, les professionnels de la filière se sont confrontés à plusieurs problèmes, d'ordre technico-économiques, et pour parvenir à des décisions rationnelles, la formalisation mathématique a été un apport incontestable en tant qu'instrument d'aide à la décision.

Le calcul des réseaux nécessaires pour la liaison entre les centres de production et de consommation, l'établissement des programmes d'extension de la capacité de transport au fur et à mesure que la demande s'accroît et encore l'établissement d'un plan de transport à un coût minimum sont devenus possibles grâce à l'utilisation des techniques de la recherche opérationnelle, et en l'occurrence, la programmation linéaire.

Dans ce chapitre, nous présenterons succinctement les principes de la programmation linéaire et nous essayerons de formaliser le problème de transport des chaînes de GNL.

III.2 Les méthodes linéaires en science de gestion

a- Définition :

Un modèle est un moyen permettant de mieux comprendre la réalité; il est utilisé pour représenter les propriétés fondamentales d'un phénomène. Il permet de simuler une situation réelle pour mieux la connaître et l'analyser.

Pour qu'un modèle soit complet, il doit refléter d'une façon aussi fidèle que possible le comportement et les composants du phénomène étudié.

La recherche opérationnelle est un ensemble de méthodes et de techniques rationnelles d'analyse et de synthèse des phénomènes de gestion utilisables pour prendre les meilleures décisions.

Les modèles de recherche opérationnelle sont classés en deux grandes catégories : méthode déterministes et méthodes stochastiques ou probabilistes.

Certains modèles sont traités de façon plus appropriée comme modèles hybrides, modèles comportant des éléments des deux catégories (déterministes et stochastiques ou probabilistes).

b- Domaines d'utilisation de la programmation linéaire :

La programmation linéaire trouve de larges applications dans le domaine industriel notamment, l'industrie pétrolière. Parmi ses usages, la programmation linéaire permet de traiter divers problèmes :

- Définition des alliages dans l'industrie métallurgique.
- Optimisation des mélanges dans l'industrie alimentaire, par exemple : fabrication des aliments pour animaux à partir de plusieurs composants de coûts différents et en respectant des contraintes de qualité (valeur nutritive par exemple).
- Optimisation du cru dans l'industrie du ciment.
- Mise au point des plannings (rotation d'équipage dans les compagnies de transport aérien).
- Optimisation des fabrications dans l'industrie automobile.
- Optimisation des approvisionnements, production transport et distribution dans l'industrie pétrolière

Concernant le transport des hydrocarbures, on peut résoudre une large gamme de problèmes qui peuvent être classés comme suit :

- L'établissement et l'extension des réseaux à long terme pour adapter la capacité de transport aux besoins sur la base des prévisions d'évolution de la demande et des disponibilités des hydrocarbures.
- Le contrôle des mouvements de gaz à court terme qui a pour but de déterminer si le système est en mesure de satisfaire la demande, respectant les contraintes auxquels il est soumis et par ailleurs optimiser les conditions de fonctionnement qui peuvent être économique ou technique.
- La gestion en ligne du réseau qui permet d'élaborer un guide opérateur fonctionnant en temps réel et servant à orienter la gestion des réseaux.

III.3 Formulation d'un problème linéaire :

La formalisation d'un programme linéaire est la phase essentielle du processus de modélisation, qui consiste à traduire une réalité complexe et difforme en un modèle mathématique. Cette phase est délicate car elle conditionne la découverte ultérieure de la bonne solution. Elle comporte les mêmes étapes quelles que soient les techniques de résolution requises.

III.3.1 Détection du problème et identification des variables :

Les variables du programme linéaire doivent correspondre exactement aux préoccupations du décideur. Ces variables sont appelées variables décisionnelles ou structurelles. Pour qu'un problème relève de la programmation linéaire, il faut que la fonction- objectif et les

contraintes associées soient linéaires. Dans le cas contraire, il convient de recourir aux techniques de programmation non linéaire : le choix de la technique de résolution ne peut s'opérer qu'une fois le programme formulé.

a- Formulation de la fonction - objectif :

La programmation linéaire peut se définir comme un outil mathématique qui permet d'analyser divers types de situations, exprimées par une fonction linéaire (d'un certain nombre de variables) appelée fonction objectif (fonction économique) que l'on désire optimiser, c'est-à-dire, maximiser ou minimiser. Ces variables appelées variables de décision, dont on veut en déterminer les valeurs optimales, sont soumises à des restrictions et contraintes imposées par des ressources limitées de la situation que l'on veut analyser.

Les restrictions imposées prennent la forme d'équations ou d'inéquations linéaires dans la formulation mathématique d'un modèle de programmation linéaire.

Le modèle mathématique de programmation linéaire est présenté habituellement sous la forme suivante :

Maximiser (ou minimiser selon l'objectif poursuivi) la fonction :

$$\text{Max (Min)} Z = \sum C_j X_j$$

Z : Représente la valeur de la fonction objectif (ou fonction économique). Cette quantité représente habituellement une valeur monétaire.

$$Z = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + \dots + C_n X_n$$

$X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ les variables de décision du modèle (inconnues)

$C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ les coefficients des variables de la fonction objectif.

b- Formulation des contraintes :

Il est exceptionnel qu'un décideur dispose de toute liberté d'action. Le plus souvent, il existe des limites à ne pas dépasser (limitation des capacités de production, de stockage, capacité d'absorption du marché.....). Ces contraintes revêtent la forme d'équations ou d'inéquations mathématiques, comme suit,

$$\sum A_{ij} * X_{ij} \leq B_i \quad i=1 \text{ à } m$$

Et aux contraintes de non négativité

$$X_1 \geq 0, X_2 \geq 0, X_3 \geq 0, \dots, X_n \geq 0$$

L'ensemble des contraintes constitue le cadre dans lequel devra se situer la solution et conditionne les valeurs que peuvent prendre les variables.

$A_{11}, A_{12}, \dots, A_{mn}$, les coefficients des variables de décision (appelés parfois coefficients technologiques) des diverses contraintes. Les A_{ij} représentent la quantité de la ressource i requise par unité X_j

B_1, B_2, \dots, B_n , sont les seconds membres des contraintes et représentent fréquemment les quantités des diverses ressources disponibles.

La notation ($\geq \leq =$) qui est indiquée à la gauche de chaque B_i signifie que chaque contrainte possède l'un des trois signes mentionnés.

En général, un problème à m contraintes et n variables s'écrit :

$$\text{Maximiser } Z = \sum C_j X_j \dots \dots \dots (1-1)$$

$$\text{Avec : } \quad \sum A_{ij} X_j \leq B_j \quad i=1 \text{ à } m \dots \dots \dots (1-2)$$

Bien entendu, on peut avoir d'autres cas de contraintes :

$$\text{Minimiser } Z = \sum C_j X_j$$

$$\text{Avec : } \quad \sum A_{ij} X_j \geq B_j \quad i=1 \text{ à } m \dots \dots \dots (1-3)$$

On peut remarquer que maximiser Z revient à minimiser $-Z$

D'autre part, dans les problèmes courants on rencontre simultanément des contraintes supérieures ou égales, des contraintes inférieures ou égales et des contraintes en égalité.

Optimiser un modèle de programmation linéaire, c'est déterminer les valeurs des diverses variables de décision X_i devant respecter les contraintes (1-2) et (1-3) qui maximisent (ou minimisent) la fonction objectif (1-1).

III.4 Formulation du modèle d'optimisation de la chaîne de GNL

III.4.1 Détection du problème :

L'approvisionnement en gaz naturel des marchés européens et américain a nécessité la construction de quatre chaînes de liquéfaction du gaz (GNL) reliant le champ de production aux ports d'exportation. Ces infrastructures ont été installées dans l'objectif de valoriser les ressources énergétiques disponibles et permettre le développement socio-économique du pays.

Une chaîne de GNL est constituée essentiellement par :

- Des installations de production de gaz naturel
- Un gazoduc reliant ces installations à l'usine de liquéfaction du gaz naturel
- Un terminal d'expédition constitué d'un parc de stockage de GNL et des postes de chargement
- Une flotte de méthaniers assurant le transport du GNL entre le port d'expédition et le port de déchargement, situé dans un pays consommateur.
- Un terminal de réception équipé d'installations de stockage et d'usine de regazéification.

L'Algérie dispose de quatre chaînes de GNL caractérisées par :

- Un champ de production de gaz naturel situé à Hassi R'mel.
- Cinq Gazoducs de capacité unitaire entre 3.6 G m³ et 15.66 Gm³ reliant les champs de production et les usines de GNL
- Quatre usines de GNL dont 3 sont situées à Arzew (GL4Z :2.76 millions de M³/an, GK1Z 17.56 Mm³/an, GL2Z 17.82Mm³/an) et une à Skikda (GL1K :13.2Mm³/an)
- Trois ports d'expédition situés à Béthioua (02 quais, 04 postes de chargement) à Arzew (02quais, 04 postes de chargement) et Skikda (01 quai et 02 postes de chargement)
- Une flotte de 10 méthaniers de capacités unitaires comprises entre 32 000 et 145000 M³ de GNL.

La configuration des chaînes de GNL reliant les champs de production aux zones de consommation est schématisée sur la figure 6.

III.4.2 Formulation de problème :

Le problème à résoudre consiste à transporter par voie maritime le GNL au moindre coût et ce pour rentabiliser les investissements consentis depuis, pratiquement trois décennies, investissements qui se sont matérialisés par la réalisation des infrastructures que nous venons d'exposer.

Face à un marché faiblement rémunérateur et fortement compétitif et devant des difficultés de maîtriser des variables exogènes du processus de décision (fixation du prix du gaz sur le marché international). La solution la plus adéquate consiste à disposer des variables endogènes de décision afin de rationaliser l'utilisation des chaînes GNL.

Cette rationalisation nécessite tout d'abord, l'analyse du réseau d'exportation du GNL en tant que système global.

L'approche systématique permet l'analyse des chaînes de GNL en tant que système cohérent dans sa conception et diversifié dans sa composition sous forme de sous systèmes interdépendants (production, transport terrestre, liquéfaction, transport maritime). Ceci permet la recherche de l'optimum globale du modèle et d'éviter de se contenter d'optimums locaux (par sous système) qui pourraient compromettre la prise de décision.

Cette approche passera nécessairement par une formalisation mathématique du système réel et par conséquent l'élaboration d'un modèle d'optimisation des chaînes de GNL.

Remarque : Par manque des données nous optimiserons seulement la phase de transport maritime de la chaîne de GNL de l'Algérie.

III.4.3 Formulation du modèle :

Le modèle détermine le nombre des rotations effectuées par chaque méthanier et pour chaque destination en respectant les contraintes de : limitation des capacités des ports d'expédition, la disponibilité des méthaniers et des limitations de capacités d'absorption des marchés....

Une rotation est caractérisée par trois éléments :

- Port de l'Algérie.
- Le méthanier utilisé.
- Le port du client.

La fonction objectif est constituée par l'ensemble des coûts des toutes les rotations effectuées. L'objectif recherché est de transporter le GNL aux moindres coûts. Cela revient à minimiser la fonction objectif

- Constantes du modèle :

i : indice des ports de chargement en Algérie i= 1 à 3

j : indice représente le méthanier utilisé j= 1 à 10

k : indice des marchés de consommation "ports du clients" k= 1 à 13

-Paramètres du modèle :

Rijk : nombre des rotations effectuées par le navire j entre le port de chargement i et le port de destination k (paramètres à optimisés).

Cijk : coûts de transport du GNL entre le port d'expédition i et le port de réception k par le méthanier j.

Cj: Capacité de méthanier j.

Li : capacité de chargement de port d'expédition i.

Qk :quantité contractuelle de gaz demandé par le port client k

DRijk : durée de rotation du navire j entre le port d'expédition i et le port de réception k

-Fonction objectif :

Minimiser Z (Coût de Transport Maritime)

$$\text{Minimiser } Z (\text{Coût}) = \sum \sum \sum C_{ijk} * C_j * R_{ijk}$$

- Les paramètres à optimiser :

Rijk nombre des rotations effectuées par le navire j entre le port de chargement i et le port de destination k

Contraintes :

-Limitation des capacités de chargement des ports d'expéditions:

$$\sum \sum \sum C_j * R_{ijk} \leq Li .$$

-Limitation de marché et les exigences du contrat d'exportation de gaz :

$$\sum \sum \sum C_j * R_{ijk} \geq Q_k$$

-La disponibilité des méthaniers

$$\sum \sum \sum R_{ijk} * DR_{ijk} \leq 340 \text{ (jours)}$$

III.5 Représentation graphique de problème

La formulation de notre modèle est une phase très importante du processus de modélisation. Cette phase nous permet de passer à la phase suivante du processus qui est la résolution du modèle et l'analyse de ses résultats en utilisant un logiciel spécifique.

Notre modèle de transport de GNL présente les caractéristiques suivantes :

Nombre des variables : 390

Nombre des contraintes : 26

Le modèle a été résolu en utilisant un logiciel de programmation linéaire. Le code, qui n'est pas reproduit ici a été écrit en langage Lindo (acronyme de Linear, Interactive, Discrete Optimizer).

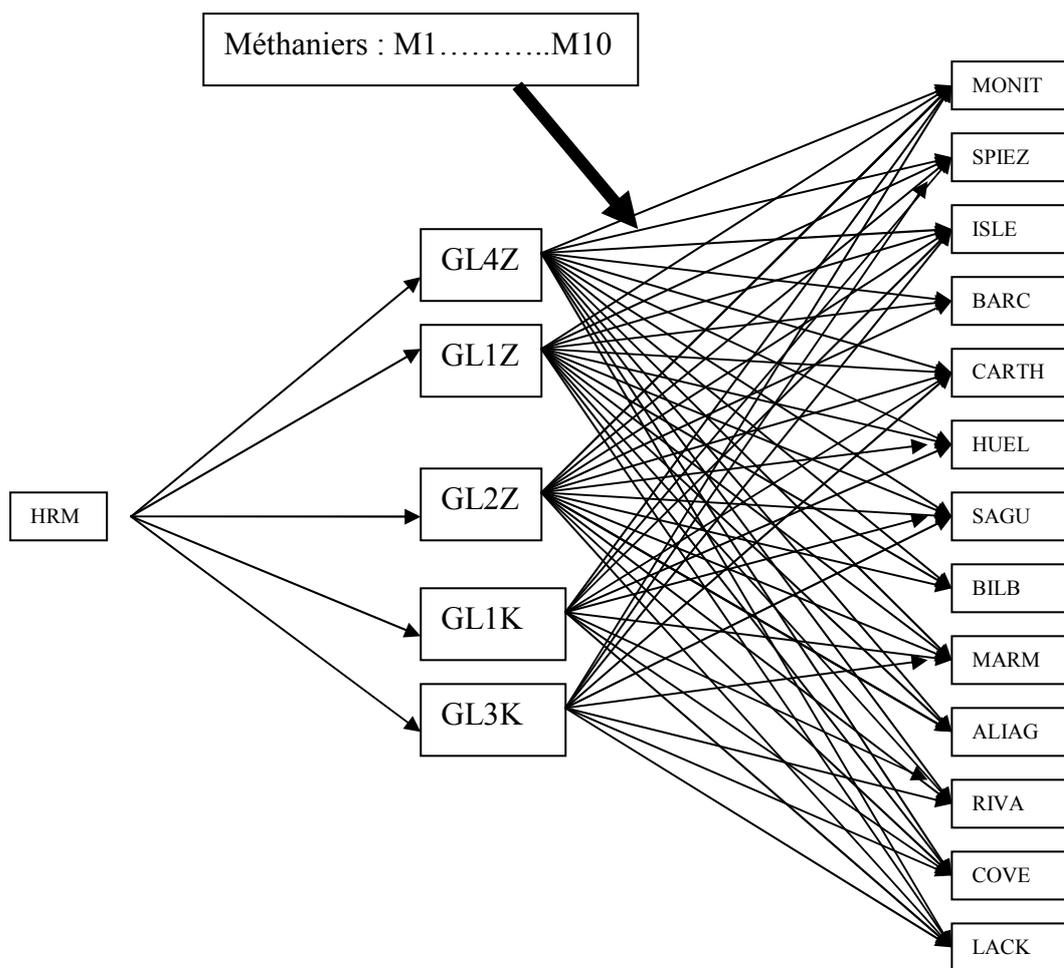


Fig 6. Représentation graphique de la chaîne GNL de l'Algérie

Taille des méthaniers : En M ³ GNL	M1	32 000
	M2	129 767
	M3	129 767
	M4	125 626
	M5	126 130
	M6	126 130
	M7	75 000
	M8	75 000
	M9	138 000
	M10	145 000

IV . Résolution du modèle et analyse de quelque scénarios possibles :**IV.1. Présentation des résultats (Année 2008) :**

La solution optimale est présentée dans les tableaux suivants, au vu de la longueur des fichiers, les listings détaillés sont donnés en annexe.

RESULTATS DU MODELE

Fonction objectif : Minimum des coûts de transport maritime

Min Z_{maritime} : 305,82 Millions de dollars

Tableau 10. Approvisionnement des marchés contractuels GNL (transport maritime)

Contrats	Ports de l'Algérie			Quantités contractuelles	
	Arzew	Bethioua	Skikda	Données	Res_modèle
Nombre de rotations	0	242	115		
1 Montoir		50M5+88M6		17405940	17533000
2 La Spezia			40M8	3000000	3000000
3 Isle		36M9		4947300	4948000
4 Barcelone		16M5		1999160	2000000
5 Cartagena		10M5		1300000	1300000
6 Huelva			17M7	1300000	1300000
7 Sagunto		8M5		1000000	1000000
8 Bilbao		8M5		1000000	1000000
9 Marmara		11M9	43M8	4667070	4667080
10 Aliaga		11M9+4M5		2000000	2000000
11 Rivitouza			15M8	1133000	1133000
TOTAL	0	242	115	39752470	39760000

Remarques :

* On remarque que le port d'Arzew n'est pas utilisé, en raison de la faible capacité de ce port ; seul le méthanier M1, de faible tonnage, peut pénétrer dans ce port, ce dernier n'est donc pas privilégié par le programme à cause de sa capacité réduite et de son coût d'exploitation relativement élevé..

*Le port de Skikda est utilisé uniquement pour les destinations Spiezia (Italie), Marmara (Turquie) et Rivatusa (Grèce) à cause de sa proximité de ces ports par rapport à ceux de Bethioua et d'Arzew.

* le port algérien le plus utilisé est celui de Bethioua, et ceci à cause de sa capacité de chargement et la possibilité de pénétration de tous les méthaniers dans ce port

* D'après nos résultats, on remarque que les exigences contractuelles de marché sont respectées, pour les ports Spezia, Isle, Cartagena, Huelva, Marmara, Aliaga, Riviatouza, Cove Point et Lake Charles, les variables d'écart sont nulles.

Pour les ports de Montoire, Barcelone, Sagunto et Bilbao, les variables d'écart sont positives mais proches de zéro, ce qui traduit l'efficacité de ce modèle.

Tableau 11. Utilisation de la flotte de navires par catégorie et destination

Désignation	Nombres de rotations										Total
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
Capacité (m3 GNL)	3200 0	1297 67	1297 67	1256 26	1261 30	1261 30	7500 0	7500 0	1380 00	1450 00	
1 Montoir					50	88					138
2 La Spezia								40			40
3 Isle									36		36
4 Barcelone					16						16
5 Cartagena					10						10
6 Huelva							17				17
7 Sagunto					8						8
8 Bilbao					8						8
9 Marmara								43	11		54
10 Aliaga					4				11		15
11 Riviatouza								15			15
12 Cove Point											0
13 Lake Charles											0
Total	0	0	0	0	96	88	17	98	58	0	357

Remarques :

*On remarque que le nombre de rotations vers le port Montoir est le plus élevé (138 rotations) et ceci à cause de la quantité contractuelle demandée pour ce port (17333000 M3/an)

*On remarque que le nombre de rotations par le méthanier M8 est le plus élevé (98 rotations), ce qui indique que ce dernier est le plus économique suivi par le méthanier M5 (96 rotations) puis M6 (88 rotations).

* On remarque que les méthaniers M1, M2, M3 et M4 ne sont pas utilisés, et ceci pour les raisons suivantes :

M1 : sa capacité de stockage est réduite (32 000 m3), (le coût d'utilisation de M5 pour une rotation est beaucoup plus faible que celui de quatre rotations en utilisant le méthanier M1. La capacité de stockage de M5 est quatre fois plus grande que celle de M1.

M2, M3, M4 : les vitesses de ces méthaniers sont basses et les coûts d'exploitation sont relativement élevés.

* Afin de satisfaire la demande contractuelle de GNL, le nombre total de rotations par an est de 357.

Tableau 12. Tableau représentant la durée d'utilisation de la flotte de navires

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Destination										
(ARZ, MONTOIR)										
(ARZ, SPIEZA)										
(ARZ, ISLE)										
(ARZ, BARC)										
(ARZ, CART)										
(ARZ, HUEL)										
(ARZ, SAGU)										
(ARZ, BILB)										
(ARZ, MARMA)										
(ARZ, ALIAGA)										
(ARZ, RIVA)										
(ARZ, COVE)										
(ARZ, LACK)										
(BET, MONTOIR)					50	88				
(BET, SPIEZA)										
(BET, ISLE)									36	
(BET, BARC)					16					
(BET, CART)					10					
(BET, HUEL)										
(BET, SAGU)					8					
(BET, BILB)					8					
(BET, MARMA)									11	
(BET, ALIAGA)					4				11	
(BET, RIVA)										
(BET, COVE)										
(BET, LACK)										
(SKIK, MONTOIR)										
(SKIK, SPIEZA)								40		
(SKIK, ISLE)										
(SKIK, BARC)										
(SKIK, CART)										
(SKIK, HUEL)							17			
(SKIK, SAGU)										
(SKIK, BILB)										
(SKIK, MARMA)								43		
(SKIK, ALIAGA)										
(SKIK, RIVA)								15		

(SKIK, COVE)										
SKIK, LACK)										
TOTAL JOUR	0	0	0	0	340	340	53.21	331 .6	246 .81	0

Remarques :

Les méthaniers M5 et M6 sont pleinement utilisés durant l'année (340 jours) ce qui implique que ce sont les méthaniers les moins couteux par contre les méthaniers M1, M2, M3 et M4 ne sont pas utilisés car leurs coûts d'exploitation sont plus élevés..

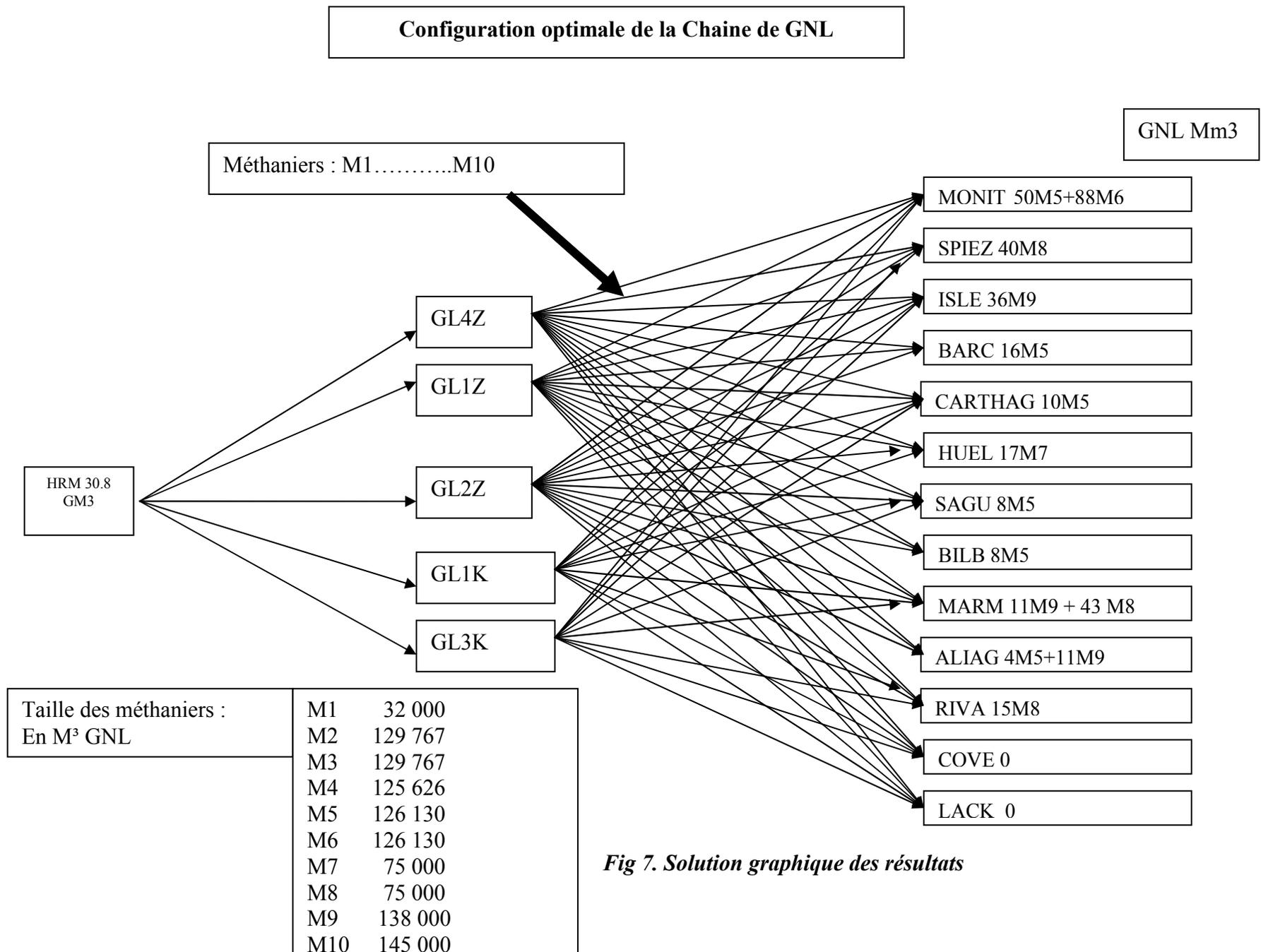


Fig 7. Solution graphique des résultats

IV.2. Analyse des résultats :

A. Analyse des variables réelles :

La solution optimale $Z = 305$ Millions de Dollars affecte aux variables réelles, les quantités optimales de gaz naturel liquéfié transporté par navire et ce, aux moindres coûts.

La quantité minimale de gaz naturel que Sonatrach doit produire pour satisfaire la demande contractuelle de GNL est de à 30,8 Gm³

Les contrats d'exportation de GNL sont respectés de part les quantités contractuelles. Il est à noter que les valeurs produites par le modèle coïncident avec les données introduites dans le modèle (les seconds membres des contraintes).

Les méthaniers les plus utilisés sont les catégories M5 et M6 et M8, M9, c'est-à-dire les méthaniers les moins coûteux

B. Analyse des variables d'écart :

Les valeurs prises par les variables d'écart fournissent des informations sur l'état résiduel des stocks, les taux de la capacité de transport, le degré de pénétration du marché, la durée d'utilisation des méthaniers.

Lorsqu'une variable d'écart prend une valeur nulle à l'optimum, cela signifie que la contrainte correspondant est saturée. Les contraintes saturées limitent l'activité de l'entreprise et par conséquent les gains réalisables.

Les contraintes relatives à la limitation des contrats d'approvisionnement en gaz sont également saturées, les exigences contractuelles sont bien satisfaites par conséquent les variables d'écart sont nulles.

Les contraintes relatives à la limitation de la durée d'utilisation des méthaniers par an sont nulles pour les méthaniers les plus utilisés (M5, M6, M8, M9).

IV. 3 Analyse et simulation de quelques scénarios possibles :

a. L'année 2009 :

On prend en considération les quantités contractuelles selon les engagements 2009 (Tableau 13).

Après le développement d'un nouveau programme qui tient compte de cette augmentation on obtient les résultats suivants :

Fonction objectif : Minimum des coût, transport maritime

Min Z_{maritime} : 395.12 Millions de Dollars

Soit une augmentation de 29.2 % par rapport au coût de 2008

Tableau 13. Approvisionnement des marchés contractuels GNL (transport maritime 2009)

Contrats	Ports de l'Algerie			Quantités contractuelles	
	Arzew GL4Z	Bethioua GL1Z & GL2Z	Skikda GL1K	Données	Res modèle
Nombre de rotations	35				
1 Montoir		61M5+57M6		14833000	14840000
2 La Spezia			40M7	3000000	3000000
3 Isle		37M9	37M8	7917000	7917000
4 Barcelone		15M5		1830000	1830000
5 Cartagena	35M1	1M5		1300000	1300000
6 Huelva		17M8		1300000	1300000
7 Sagunto		8M5		1000000	1000000
8 Bilbao		8M5		1000000	1000000
9 Marmara		3M8	59M7	4667000	4668000
10 Aliaga		16M6		2000000	2000000
11 Rivitouza			15M8	1133000	1135000
12 Cove Point		16M9+2M10		2500000	2500500
13 Lake Charles		5M9+4M6		1250000	1201000
TOTAL Rotations	35	250	151	43730000	43735000

Remarques :

*On remarque cette fois ci que le port d'Arzew « entre » en utilisation, et le méthanier M1 fait 35 rotations vers Cartagena , et ce pour satisfaire l'augmentation de la demande.

* On remarque que le port de Skikda est essentiellement utilisé pour les destinations de l'Est : Spezia (Italie), Marmara (Turquie) et Rivatusa (Grèce) à cause de sa proximité de ces ports.

* le port d'Algérie le plus utilisé reste toujours celui de Bethioua,

Tableau 14. Utilisation de la flotte de navires par catégorie et destination 2009

Désignation	Nombres de rotations										Total
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
Capacité (m3 GNL)	3200 0	1297 67	1297 67	1256 26	1261 30	1261 30	7500 0	7500 0	1380 00	1450 00	
1 Montoir					61	57					118
2 La Spezia							40				40
3 Isle								37	37		74
4 Barcelone					15						15
5 Cartagena	35				1						36
6 Huelva											17
7 Sagunto					8			17			8
8 Bilbao					8						8
9 Marmara							59	3			62
10 Aliaga						16					16
11 Rivitouza								15			15
12 Cove Point									16	2	18
13 Lake Charles						4			5		9
Total	35	0	0	0	93	77	99	72	58	2	436

Remarques :

*On remarque que cette fois le méthaniers M1 est utilisé avec 35 rotations et ce pour satisfaire l'augmentation de la demande contractuelle.

* Le nombre de rotations vers le port Montoir reste toujours le plus élevé

* Le nombre de rotations par le méthanier M7 est le plus élevé, ce qui implique que ce dernier est le plus économique suivi par le méthanier M5 puis M8.

* Les méthaniers M2,M3 et M4 ne sont pas utilisés.

* A fin de satisfaire l'augmentation de la demande contractuelle du GNL, le nombre total des rotations par an atteint le chiffre de 436 rotations soit une augmentation de 79 rotations par rapport à l'année 2008.

Tableau 15. Tableau représente la durée d'utilisation de la flotte de navires 2009

Destination	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
(ARZ, MONTOIR)										
(ARZ, SPIEZA)										
(ARZ, ISLE)										
(ARZ, BARC)										
(ARZ, CART)	35									
(ARZ, HUEL)										
(ARZ, SAGU)										
(ARZ, BILB)										
(ARZ, MARMA)										
(ARZ, ALIAGA)										
(ARZ, RIVA)										
(ARZ, COVE)										
(ARZ, LACK)										
(BET, MONTOIR)					61	57				
(BET, SPIEZA)										
(BET, ISLE)									37	
(BET, BARC)					15					
(BET, CART)					1					
(BET, HUEL)								17		
(BET, SAGU)					8					
(BET, BILB)					8					
(BET, MARMA)								3		
(BET, ALIAGA)						16				
(BET, RIVA)										
(BET, COVE)									16	2
(BET, LACK)						4			5	
(SKIK, MONTOIR)										
(SKIK, SPIEZA)							40			
(SKIK, ISLE)								37		
(SKIK, BARC)										
(SKIK, CART)										
(SKIK, HUEL)										
(SKIK, SAGU)										
(SKIK, BILB)										
(SKIK, MARMA)							59			
(SKIK, ALIAGA)										
(SKIK, RIVA)								15		
(SKIK, COVE)										
SKIK, LACK)										
Totale jours	75.25	0	0	0	340	340	339	340	338	16.52

-Les méthaniers M5, M6, M7, M8 et M9 sont pleinement utilisés durant l'année (340 jours), du fait que ce sont les méthaniers les moins coûteux. Par contre, les méthaniers, M2, M3 et M4 ne sont pas utilisés car ce sont les méthaniers les plus coûteux.

b. L'année 2010

a. On prend en considération les quantités contractuelles selon les engagements 2010

Après le développement d'un nouveau programme qui tient compte de cette augmentation on obtient les résultats suivants :

Fonction objectif : Minimum des coût, transport maritime

Min Z_{maritime} : 424.02 Millions de Dollars

Soit une augmentation de 38.65 % par apport au cout l'année 2008

Tableau 16. Approvisionnement des marchés contractuels GNL (transport maritime 2010)

Contrats	Ports de l'Algerie			Quantités contractuelles	
	Arzew	Bethioua	Skikda	Données	Res modèle
Nombre de rotations	51	246	154		
1 Montoir		70M5+54M6		13117520	15665346
2 La Spezia	2M1		39M7	2989000	2999540
3 Isle		37M9	38M7	7956000	7916340
4 Barcelone	40M1			1280000	1283840
5 Cartagena	9M1			288000	299840
6 Huelva		15M7+2M8		1275000	1299750
7 Sagunto		8M5		1009040	998949,6
8 Bilbao		8M5		1009040	998949,6
9 Marmara			62M8	4650000	4666500
10 Aliaga		16M6		2018080	1999160,5
11 Rivitouza			15M8	1125000	1132500
12 Cove Point		14M9+10M10		3382000	3332020
13 Lake Charles		5M6+7M9		1596650	1665472,4
TOTAL Rotations	51	246	154	41695330	44258208,1

Remarques :

*On remarque cette fois ci que le port d'Arzew est toujours en utilisation, c'est le méthanier M1 qui fait : 2 rotations vers Spezia, 40 rotations vers Barcelone et 9 rotations vers le port de Cartagena et ce pour satisfaire l'augmentation de la demande.

* On remarque que le port de Skikda est toujours utilisé pour les destinations de l'Est : Spezia (Italie), Marmara (Turquie) et Rivatusa (Grèce) à cause de sa proximité de ces ports.

* le port d'Algérie le plus utilisé reste toujours celui de Bethioua.

Tableau 17. Utilisation de la flotte de navires par catégorie et destination 2010

Désignation	Nombres de rotations										Total
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
Capacité (m3 GNL)	3200 0	1297 67	1297 67	1256 26	1261 30	1261 30	7500 0	7500 0	1380 00	1450 00	
1 Montoir					70	54					124
2 La Spezia	2						39				41
3 Isle							38		37		75
4 Barcelone	40										40
5 Cartagena	9										9
6 Huelva							15	2			17
7 Sagunto					8						8
8 Bilbao					8						8
9 Marmara								62			62
10 Aliaga						16					16
11 Rivitouza								15			15
12 Cove Point									14	10	24
13 Lake Charles						5			7		12
Total Rotations	51	0	0	0	86	75	92	79	58	10	451

*On remarque que cette fois le méthaniers M1 est utilisé avec 51 rotations et ce pour satisfaire l'augmentation de la demande contractuelle.

*On remarque que le nombre de rotations vers le port Montoir est le plus élevé et cela en raison de la quantité contractuelle importante demandée pour ce port (15666000M³/an)

*On remarque que le nombre de rotations par le méthanier M7 est le plus élevé, ce qui implique que ce dernier est le plus économique suivi par le méthanier M5 puis M8.

* On remarque que les méthaniers M2,M3 et M4 ne sont pas utilisés.

* A fin de satisfaire l'augmentation de la demande contractuelle du GNL, le nombre total des rotations par an atteint le chiffre de 451 rotations soit une augmentation de 15 rotations par rapport à l'année 2009.

Tableau 18. Tableau représente la durée d'utilisation de la flotte de navires 2010

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Destination										
(ARZ, MONTOIR)										
(ARZ, SPIEZA)	2									
(ARZ, ISLE)										
(ARZ, BARC)	40									
(ARZ, CART)	9									
(ARZ, HUEL)										
(ARZ, SAGU)										
(ARZ, BILB)										
(ARZ, MARMA)										
(ARZ, ALIAGA)										
(ARZ, RIVA)										
(ARZ, COVE)										
(ARZ, LACK)										
(BET, MONTOIR)					70	54				
(BET, SPIEZA)										
(BET, ISLE)									37	
(BET, BARC)										
(BET, CART)										
(BET, HUEL)							15	2		
(BET, SAGU)					8					
(BET, BILB)					8					
(BET, MARMA)										
(BET, ALIAGA)						16				
(BET, RIVA)										
(BET, COVE)									14	10
(BET, LACK)						5				
(SKIK, MONTOIR)										
(SKIK, SPIEZA)							39			
(SKIK, ISLE)							38			
(SKIK, BARC)										
(SKIK, CART)										
(SKIK, HUEL)										
(SKIK, SAGU)										
(SKIK, BILB)										
(SKIK, MARMA)								62		
(SKIK, ALIAGA)										
(SKIK, RIVA)								15		
(SKIK, COVE)										
SKIK, LACK)										
Totale jours	131	0	0	0	340	340	340	305	340	81

-Les méthaniers M5, M6, M7 et M9 sont pleinement utilisés durant l'année (340 jours) ce qui implique que ce sont les méthaniers les moins coûteux. Par contre, les méthaniers, M2, M3 et

M4 ne sont pas utilisés car ce sont les méthaniers les plus coûteux en raison de leurs faibles capacités.

- Le méthanier M1 est utilisé 131 jour /an.

c- L'année 2012 :

a. On prend en considération les quantités contractuelles selon les engagements 2012.

Après le développement d'un nouveau programme qui tient compte de cette augmentation on obtient les résultats suivants :

Fonction objectif : Minimum des coût, transport maritime

Min Z_{maritime} : 426.75 Million de Dollars

Soit une augmentation de 39.5 % par apport au cout de l'année 2008

Tableau 19. Approvisionnement des marchés contractuels GNL (transport maritime 2012)

Contrats	Ports de l'Algerie			Quantités contractuelles	
	Arzew	Bethioua	Skikda	Données	Res modèle
Nombre de rotations	72	237	154		
1 Montoir		74M5+56M6		16396900	16499065,3
2 La Spezia			40M7	3000000	2970750
3 Isle		37M9	37M7	7881000	7916520
4 Barcelone	31M1			992000	1000000
5 Cartagena	41M1			1312000	1299840
6 Huelva		17M8		1275000	1299750
7 Sagunto		4M5		504520	499474,8
8 Bilbao		6M5		756780	782006
9 Marmara			62M8	4650000	4666500
10 Aliaga		16M6		2018080	1999160,5
11 Rivitouza			1M7+14M8	1050000	1132500
12 Cove Point		14M9+2M10		2222000	2215500
13 Lake Charles		4M6+7M9		1470520	1494707,6
TOTAL	72	237	154	43528800	43775774,2

*On remarque que le port d'Arzew est toujours en utilisation, c'est le méthanier M1 qui fait 31 rotations vers Barcelone et 41 rotations vers le port de Cartagena et ce pour satisfaire l'augmentation de la demande.

Tableau 20. Utilisation de la flotte de navires par catégorie et destination 2012

Désignation	Nombres de rotations										Total
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
Capacité (m3 GNL)	3200 0	1297 67	1297 67	1256 26	1261 30	1261 30	7500 0	7500 0	1380 00	1450 00	
1 Montoir					74	56					130
2 La Spezia							40				40
3 Isle							37		37		74
4 Barcelone	31										31
5 Cartagena	41										41
6 Huelva								17			17
7 Sagunto					4						4
8 Bilbao					6						6
9 Marmara								62			62
10 Aliaga						16					16
11 Rivitouza							1	14			15
12 Cove Point									14	2	16
13 Lake Charles						4			7		11
Total	72	0	0	0	84	76	78	93	58	2	463

*On remarque que le nombre de rotations vers le port Montoir est toujours le plus élevé et cela en raison de la quantité contractuelle demandée pour ce port (16 500 000 M³/an)

*On remarque que le nombre de rotations par le méthanier M8 est le plus élevé, ce qui implique que ce dernier est cette fois le plus économique suivi par le méthanier M5 puis M7.

* On remarque que le méthanier M1 est également utilisé avec 72 rotations.

* En définitive, pour satisfaire la demande contractuelle du GNL, le nombre optimal de rotations par an est de 463 rotations, soit une augmentation de 12 rotations par rapport à l'année 2010.

Tableau 21. Tableau représente la durée d'utilisation de la flotte de navires 2012

Destination	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
(ARZ, MONTOIR)										
(ARZ, SPIEZA)	1									
(ARZ, ISLE)										
(ARZ, BARC)	31									
(ARZ, CART)	41									
(ARZ, HUEL)										
(ARZ, SAGU)										
(ARZ, BILB)										
(ARZ, MARMA)										
(ARZ, ALIAGA)										
(ARZ, RIVA)										
(ARZ, COVE)										
(ARZ, LACK)										

(BET, MONTOIR)					74	56				
(BET, SPIEZA)										
(BET, ISLE)									37	
(BET, BARC)										
(BET, CART)										
(BET, HUEL)								17		
(BET, SAGU)					4					
(BET, BILB)					6					
(BET, MARMA)										
(BET, ALIAGA)						16				
(BET, RIVA)										
(BET, COVE)									14	2
(BET, LACK)						5			7	
(SKIK, MONTOIR)										
(SKIK, SPIEZA)							40			
(SKIK, ISLE)							37			
(SKIK, BARC)										
(SKIK, CART)										
(SKIK, HUEL)										
(SKIK, SAGU)										
(SKIK, BILB)										
(SKIK, MARMA)								62		
(SKIK, ALIAGA)										
(SKIK, RIVA)							1.3	14		
(SKIK, COVE)										
SKIK, LACK)										
Totale jours	172	0	0	0	340	340	303	340	340	15

Les méthaniers M5, M6, M7 et M9 sont pleinement utilisés durant l'année (340 jours) ce qui indique que ce sont les méthaniers les moins coûteux ; par contre les méthaniers M2, M3, M4 ne sont pas utilisés en raison de leurs coûts d'exploitation élevés.

d- Scénario de l'augmentation des coûts de 2% chaque année :

Après le développement d'un nouveau programme qui tient compte de cette augmentation en obtient :

**** En 2010***

Fonction objectif : Minimum des coût, transport maritime

Min Z_{maritime} : 449.46 Millions de dollars

Soit une augmentation de 50% par apport au 2008

*** En 2020**

Fonction objectif : Minimum des coût, transport maritime

$$\text{Min } Z_{\text{maritime}} : 550.51 \text{ Millions de dollars}$$

Soit une augmentation de 80% par apport au 2008

*** En 2030**

Fonction objectif : Minimum des coût, transport maritime

$$\text{Min } Z_{\text{maritime}} : 670 \text{ Millions de dollars}$$

Soit une augmentation de 119% par apport au 2008

Comme conclusion, l'augmentation des couts unitaire de transport de GNL nous donne une augmentation de coût optimal sans influence sur les rotations à cause du fait que nous considérons que cette augmentation est uniforme pour toutes les rotations.

e- Scénario de l'augmentation des capacités de chargement des ports Arzew et Skikda (Investissement) .

On suppose qu'un investissement d'augmentation de capacité de chargement des port Arzew et Skikda est réalisé afin d'avoir la même capacité et caractéristique que le port de Béthioua.

Ainsi, dans l'hypothèse que les capacités des ports de Skikda et d'Arzew puissent être portées à 31028000 m³, et que tous les méthaniers peuvent pénétrer dans ces ports, on obtient le résultat suivant :

Fonction objectif : Minimum des coûts, transport maritime

$$\text{Min } Z_{\text{maritime}} : 275.7$$

Avec une baisse de 9.8% par rapport au coût initial de la fonction objectif donc on gagne 30 Millions de dollars pour l'année 2008

Tableau 22. Approvisionnement des marchés contractuels GNL (transport maritime)

Contrats	Ports de l'Algerie			Quantités contractuelles	
	Arzew	Bethioua	Skikda	Données	Res modèle
Nombre de rotations	51	100	158		
1 Montoir		57M5	80M6	17279810	17332784,6
2 La Spezia			4M5+17M10	2969520	2998917,2
3 Isle	36M9			4968000	4916940
4 Barcelone	15M2			1946505	1999709,47
5 Cartagena		10M5		1261300	1299139
6 Huelva		17M8		1275000	1299750
7 Sagunto		8M5		1009040	998949,6
8 Bilbao		8M5		1009040	998949,6
9 Marmara			34M9	4692000	4664400
10 Aliaga			14M9	1932000	1999620
11 Rivitouza			5M5+4M9	1182650	1131397
12 Cove Point					
13 Lake Charles					
TOTAL	51	100	158	39524865	39640556,5

Remarque :

On remarque que le port de Skikda est le plus utilisé : étant le seul port de l'Est du Pays, il est naturellement favorisé pour les destinations de l'Est ; par contre les destinations vers l'ouest sont partagées entre les 2 ports Arzew et Béthioua.

Tableau 23. Utilisation de la flotte de navires par catégorie et destination

Désignation	Nombres de rotations										Total
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	
Capacité (m3 GNL)	3200 0	1297 67	1297 67	1256 26	1261 30	1261 30	7500 0	7500 0	1380 00	1450 00	
1 Montoir					57	80					137
2 La Spezia					4					17	21
3 Isle									36		36
4 Barcelone		15									15
5 Cartagena					10						10
6 Huelva								17			17
7 Sagunto					8						8
8 Bilbao					8						8
9 Marmara									34		34
10 Aliaga									14		14
11 Rivitouza					5				4		9
12 Cove Point											0
13 Lake Charles											0
Total	0	15	0	0	92	80	0	17	88	17	309

Remarques :

- Les méthaniers M1, M3, M4 et M7 ne sont pas utilisés.
- M7 était le méthanier le plus utilisé mais cette fois-ci il est carrément « mis à l'arrêt ».
- Le nombre total des rotations est réduit à 309 (de 357 on passe à 309) au vu de l'utilisation du méthanier M10 (de plus grande capacité) 17 rotations par rapport à 0 rotation dans le scénario initial.

Tableau 24. Tableau représente la durée d'utilisation de la flotte de navires

	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10
Destination										
(ARZ, MONTOIR)										
(ARZ, SPIEZA)										
(ARZ, ISLE)									36	
(ARZ, BARC)		15								
(ARZ, CART)										
(ARZ, HUEL)										
(ARZ, SAGU)										
(ARZ, BILB)										
(ARZ, MARMA)										
(ARZ, ALIAGA)										
(ARZ, RIVA)										
(ARZ, COVE)										
(ARZ, LACK)										
(BET, MONTOIR)					57					
(BET, SPIEZA)										
(BET, ISLE)										
(BET, BARC)										
(BET, CART)					10					
(BET, HUEL)								17		
(BET, SAGU)					8					
(BET, BILB)					8					
(BET, MARMA)										
(BET, ALIAGA)										
(BET, RIVA)										
(BET, COVE)										
(BET, LACK)										
(SKIK, MONTOIR)						80				
(SKIK, SPIEZA)					4					17
(SKIK, ISLE)										
(SKIK, BARC)										
(SKIK, CART)										
(SKIK, HUEL)										
(SKIK, SAGU)										
(SKIK, BILB)										

(SKIK, MARMA)									34	
(SKIK, ALIAGA)									14	
(SKIK, RIVA)					5				4	
(SKIK, COVE)										
SKIK, LACK)										
Totale jours	0	39	0	0	340	340	0	46	340	44

Remarques :

Le Méthanier M2 est utilisé cette fois avec 39 jours/an ;

Les Méthaniers M5 , M6, M9, sont pleinement utilisés ;

Le Méthanier M10 est beaucoup plus utilisé cette fois : 44 jours comparés à 0 jours dans le scénario de base.

ANNEXES

1- La fonction objectif :

```

MIN      449920ROTATION( ARZ, M1, MONTOIR)
+ 271360ROTATION( ARZ, M1, SPIEZA)
+ 492800ROTATION( ARZ, M1, ISLE)
+ 228480ROTATION( ARZ, M1, BARC)
+ 178560ROTATION( ARZ, M1, CART)
+ 357120ROTATION( ARZ, M1, HUEL)
+ 256960ROTATION( ARZ, M1, SAGU)
+ 449920ROTATION( ARZ, M1, BILB)
+ 492800ROTATION( ARZ, M1, MARMA)
+ 428480ROTATION( ARZ, M1, ALIAGA)
+ 400000ROTATION( ARZ, M1, RIVA)
+ 1349760ROTATION( ARZ, M1, COVE)
+ 1528320ROTATION( ARZ, M1, LACK)
+ 449920ROTATION( BET, M1, MONTOIR)
+ 271360ROTATION( BET, M1, SPIEZA)
+ 492800ROTATION( BET, M1, ISLE)
+ 228480ROTATION( BET, M1, BARC)
+ 178560ROTATION( BET, M1, CART)
+ 357120ROTATION( BET, M1, HUEL)
+ 256960ROTATION( BET, M1, SAGU)
+ 449920ROTATION( BET, M1, BILB)
+ 492800ROTATION( BET, M1, MARMA)
+ 428480ROTATION( BET, M1, ALIAGA)
+ 400000ROTATION( BET, M1, RIVA)
+ 1349760ROTATION( BET, M1, COVE)
+ 1528320ROTATION( BET, M1, LACK)
+ 1881622ROTATION( BET, M2, MONTOIR)
+ 869438.9ROTATION( BET, M2, SPIEZA)
+ 2085356ROTATION( BET, M2, ISLE)
+ 578760.8ROTATION( BET, M2, BARC)
+ 550212.1ROTATION( BET, M2, CART)
+ 984931.5ROTATION( BET, M2, HUEL)
+ 782495ROTATION( BET, M2, SAGU)
+ 1881622ROTATION( BET, M2, BILB)
+ 2172300ROTATION( BET, M2, MARMA)
+ 1940017ROTATION( BET, M2, ALIAGA)
+ 1593539ROTATION( BET, M2, RIVA)
+ 3360965ROTATION( BET, M2, COVE)
+ 3765838ROTATION( BET, M2, LACK)
+ 1592241ROTATION( BET, M3, MONTOIR)
+ 1448200ROTATION( BET, M3, SPIEZA)
+ 1650636ROTATION( BET, M3, ISLE)
+ 1361256ROTATION( BET, M3, BARC)
+ 1215917ROTATION( BET, M3, CART)
+ 1506595ROTATION( BET, M3, HUEL)
+ 1419651ROTATION( BET, M3, SAGU)
+ 1592241ROTATION( BET, M3, BILB)
+ 1650636ROTATION( BET, M3, MARMA)
+ 1535144ROTATION( BET, M3, ALIAGA)
+ 1476748ROTATION( BET, M3, RIVA)
+ 3215626ROTATION( BET, M3, COVE)
+ 3593248ROTATION( BET, M3, LACK)
+ 1820321ROTATION( BET, M4, MONTOIR)
+ 1261285ROTATION( BET, M4, SPIEZA)
+ 2130617ROTATION( BET, M4, ISLE)
+ 1177116ROTATION( BET, M4, BARC)

```

+ 1065308ROTATION(BET, M4, CART)
+ 1317817ROTATION(BET, M4, HUEL)
+ 1233647ROTATION(BET, M4, SAGU)
+ 1878109ROTATION(BET, M4, BILB)
+ 2214786ROTATION(BET, M4, MARMA)
+ 1653238ROTATION(BET, M4, ALIAGA)
+ 1486156ROTATION(BET, M4, RIVA)
+ 3785111ROTATION(BET, M4, COVE)
+ 4205958ROTATION(BET, M4, LACK)
+ 956065.4ROTATION(BET, M5, MONTOIR)
+ 647046.9ROTATION(BET, M5, SPIEZA)
+ 1350852ROTATION(BET, M5, ISLE)
+ 505781.3ROTATION(BET, M5, BARC)
+ 422535.5ROTATION(BET, M5, CART)
+ 703805.4ROTATION(BET, M5, HUEL)
+ 445238.9ROTATION(BET, M5, SAGU)
+ 956065.4ROTATION(BET, M5, BILB)
+ 1350852ROTATION(BET, M5, MARMA)
+ 1069582ROTATION(BET, M5, ALIAGA)
+ 957326.7ROTATION(BET, M5, RIVA)
+ 2364938ROTATION(BET, M5, COVE)
+ 2648730ROTATION(BET, M5, LACK)
+ 956065.4ROTATION(BET, M6, MONTOIR)
+ 647046.9ROTATION(BET, M6, SPIEZA)
+ 1350852ROTATION(BET, M6, ISLE)
+ 505781.3ROTATION(BET, M6, BARC)
+ 422535.5ROTATION(BET, M6, CART)
+ 703805.4ROTATION(BET, M6, HUEL)
+ 445238.9ROTATION(BET, M6, SAGU)
+ 956065.4ROTATION(BET, M6, BILB)
+ 1350852ROTATION(BET, M6, MARMA)
+ 1069582ROTATION(BET, M6, ALIAGA)
+ 957326.7ROTATION(BET, M6, RIVA)
+ 2364938ROTATION(BET, M6, COVE)
+ 2648730ROTATION(BET, M6, LACK)
+ 820500ROTATION(BET, M7, MONTOIR)
+ 552750ROTATION(BET, M7, SPIEZA)
+ 870750ROTATION(BET, M7, ISLE)
+ 402000ROTATION(BET, M7, BARC)
+ 351000ROTATION(BET, M7, CART)
+ 384750ROTATION(BET, M7, HUEL)
+ 468750ROTATION(BET, M7, SAGU)
+ 820500ROTATION(BET, M7, BILB)
+ 870000ROTATION(BET, M7, MARMA)
+ 820500ROTATION(BET, M7, ALIAGA)
+ 736500ROTATION(BET, M7, RIVA)
+ 2460750ROTATION(BET, M7, COVE)
+ 2778750ROTATION(BET, M7, LACK)
+ 820500ROTATION(BET, M8, MONTOIR)
+ 552750ROTATION(BET, M8, SPIEZA)
+ 870750ROTATION(BET, M8, ISLE)
+ 402000ROTATION(BET, M8, BARC)
+ 351000ROTATION(BET, M8, CART)
+ 384750ROTATION(BET, M8, HUEL)
+ 468750ROTATION(BET, M8, SAGU)
+ 820500ROTATION(BET, M8, BILB)
+ 870000ROTATION(BET, M8, MARMA)
+ 820500ROTATION(BET, M8, ALIAGA)
+ 736500ROTATION(BET, M8, RIVA)
+ 2460750ROTATION(BET, M8, COVE)
+ 2778750ROTATION(BET, M8, LACK)

+ 1200600ROTATION(BET, M9, MONTOIR)
+ 770040ROTATION(BET, M9, SPIEZA)
+ 1293060ROTATION(BET, M9, ISLE)
+ 677580ROTATION(BET, M9, BARC)
+ 615480ROTATION(BET, M9, CART)
+ 1138500ROTATION(BET, M9, HUEL)
+ 738300ROTATION(BET, M9, SAGU)
+ 1200600ROTATION(BET, M9, BILB)
+ 1293060ROTATION(BET, M9, MARMA)
+ 1170240ROTATION(BET, M9, ALIAGA)
+ 1138500ROTATION(BET, M9, RIVA)
+ 2525400ROTATION(BET, M9, COVE)
+ 2833140ROTATION(BET, M9, LACK)
+ 1358650ROTATION(BET, M10, MONTOIR)
+ 849700ROTATION(BET, M10, SPIEZA)
+ 1715350ROTATION(BET, M10, ISLE)
+ 711950ROTATION(BET, M10, BARC)
+ 582900ROTATION(BET, M10, CART)
+ 906250ROTATION(BET, M10, HUEL)
+ 646700ROTATION(BET, M10, SAGU)
+ 1358650ROTATION(BET, M10, BILB)
+ 1715350ROTATION(BET, M10, MARMA)
+ 1455800ROTATION(BET, M10, ALIAGA)
+ 1294850ROTATION(BET, M10, RIVA)
+ 2879700ROTATION(BET, M10, COVE)
+ 3430700ROTATION(BET, M10, LACK)
+ 428480ROTATION(SKIK, M1, MONTOIR)
+ 214400ROTATION(SKIK, M1, SPIEZA)
+ 514240ROTATION(SKIK, M1, ISLE)
+ 192960ROTATION(SKIK, M1, BARC)
+ 207040ROTATION(SKIK, M1, CART)
+ 378560ROTATION(SKIK, M1, HUEL)
+ 285760ROTATION(SKIK, M1, SAGU)
+ 464000ROTATION(SKIK, M1, BILB)
+ 471360ROTATION(SKIK, M1, MARMA)
+ 414400ROTATION(SKIK, M1, ALIAGA)
+ 364160ROTATION(SKIK, M1, RIVA)
+ 1350080ROTATION(SKIK, M1, COVE)
+ 1528320ROTATION(SKIK, M1, LACK)
+ 837000ROTATION(SKIK, M7, MONTOIR)
+ 485250ROTATION(SKIK, M7, SPIEZA)
+ 853500ROTATION(SKIK, M7, ISLE)
+ 452250ROTATION(SKIK, M7, BARC)
+ 451500ROTATION(SKIK, M7, CART)
+ 502500ROTATION(SKIK, M7, HUEL)
+ 485250ROTATION(SKIK, M7, SAGU)
+ 837000ROTATION(SKIK, M7, BILB)
+ 837000ROTATION(SKIK, M7, MARMA)
+ 786750ROTATION(SKIK, M7, ALIAGA)
+ 686250ROTATION(SKIK, M7, RIVA)
+ 2460750ROTATION(SKIK, M7, COVE)
+ 2778750ROTATION(SKIK, M7, LACK)
+ 837000ROTATION(SKIK, M8, MONTOIR)
+ 485250ROTATION(SKIK, M8, SPIEZA)
+ 853500ROTATION(SKIK, M8, ISLE)
+ 452250ROTATION(SKIK, M8, BARC)
+ 451500ROTATION(SKIK, M8, CART)
+ 502500ROTATION(SKIK, M8, HUEL)
+ 485250ROTATION(SKIK, M8, SAGU)
+ 837000ROTATION(SKIK, M8, BILB)
+ 837000ROTATION(SKIK, M8, MARMA)

```

+ 786750ROTATION( SKIK, M8, ALIAGA)
+ 686250ROTATION( SKIK, M8, RIVA)
+ 2460750ROTATION( SKIK, M8, COVE)
+ 2778750ROTATION( SKIK, M8, LACK)

```

2-Contraintes :

2.1. Limitation des capacités de chargement des ports d'expéditions:

-Port d'Arzew

```

32000ROTATION( ARZ, M1, MONTOIR)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, SPIEZA)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, ISLE) + 32000ROTATION( ARZ, M1, BARC)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, CART) + 32000ROTATION( ARZ, M1, HUEL)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, SAGU) + 32000ROTATION( ARZ, M1, BILB)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, MARMA)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, ALIAGA)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, RIVA) + 32000ROTATION( ARZ, M1, COVE)
+ 32000ROTATION( ARZ, M1, LACK) <= 2396000

```

-Port de Bethioua

```

3] 32000ROTATION( BET, M1, MONTOIR)
+ 32000ROTATION( BET, M1, SPIEZA)
+ 32000ROTATION( BET, M1, ISLE) + 32000ROTATION( BET, M1, BARC)
+ 32000ROTATION( BET, M1, CART) + 32000ROTATION( BET, M1, HUEL)
+ 32000ROTATION( BET, M1, SAGU) + 32000ROTATION( BET, M1, BILB)
+ 32000ROTATION( BET, M1, MARMA)
+ 32000ROTATION( BET, M1, ALIAGA)
+ 32000ROTATION( BET, M1, RIVA) + 32000ROTATION( BET, M1, COVE)
+ 32000ROTATION( BET, M1, LACK)
+ 129767ROTATION( BET, M2, MONTOIR)
+ 129767ROTATION( BET, M2, SPIEZA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, ISLE)
+ 129767ROTATION( BET, M2, BARC)
+ 129767ROTATION( BET, M2, CART)
+ 129767ROTATION( BET, M2, HUEL)
+ 129767ROTATION( BET, M2, SAGU)
+ 129767ROTATION( BET, M2, BILB)
+ 129767ROTATION( BET, M2, MARMA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, ALIAGA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, RIVA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, COVE)
+ 129767ROTATION( BET, M2, LACK)
+ 129767ROTATION( BET, M3, MONTOIR)
+ 129767ROTATION( BET, M3, SPIEZA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, ISLE)
+ 129767ROTATION( BET, M3, BARC)
+ 129767ROTATION( BET, M3, CART)
+ 129767ROTATION( BET, M3, HUEL)
+ 129767ROTATION( BET, M3, SAGU)
+ 129767ROTATION( BET, M3, BILB)
+ 129767ROTATION( BET, M3, MARMA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, ALIAGA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, RIVA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, COVE)
+ 129767ROTATION( BET, M3, LACK)
+ 125626ROTATION( BET, M4, MONTOIR)
+ 125626ROTATION( BET, M4, SPIEZA)
+ 125626ROTATION( BET, M4, ISLE)
+ 125626ROTATION( BET, M4, BARC)

```

+ 125626ROTATION(BET, M4, CART)
+ 125626ROTATION(BET, M4, HUEL)
+ 125626ROTATION(BET, M4, SAGU)
+ 125626ROTATION(BET, M4, BILB)
+ 125626ROTATION(BET, M4, MARMA)
+ 125626ROTATION(BET, M4, ALIAGA)
+ 125626ROTATION(BET, M4, RIVA)
+ 125626ROTATION(BET, M4, COVE)
+ 125626ROTATION(BET, M4, LACK)
+ 126130ROTATION(BET, M5, MONTOIR)
+ 126130ROTATION(BET, M5, SPIEZA)
+ 126130ROTATION(BET, M5, ISLE)
+ 126130ROTATION(BET, M5, BARC)
+ 126130ROTATION(BET, M5, CART)
+ 126130ROTATION(BET, M5, HUEL)
+ 126130ROTATION(BET, M5, SAGU)
+ 126130ROTATION(BET, M5, BILB)
+ 126130ROTATION(BET, M5, MARMA)
+ 126130ROTATION(BET, M5, ALIAGA)
+ 126130ROTATION(BET, M5, RIVA)
+ 126130ROTATION(BET, M5, COVE)
+ 126130ROTATION(BET, M5, LACK)
+ 126130ROTATION(BET, M6, MONTOIR)
+ 126130ROTATION(BET, M6, SPIEZA)
+ 126130ROTATION(BET, M6, ISLE)
+ 126130ROTATION(BET, M6, BARC)
+ 126130ROTATION(BET, M6, CART)
+ 126130ROTATION(BET, M6, HUEL)
+ 126130ROTATION(BET, M6, SAGU)
+ 126130ROTATION(BET, M6, BILB)
+ 126130ROTATION(BET, M6, MARMA)
+ 126130ROTATION(BET, M6, ALIAGA)
+ 126130ROTATION(BET, M6, RIVA)
+ 126130ROTATION(BET, M6, COVE)
+ 126130ROTATION(BET, M6, LACK)
+ 75000ROTATION(BET, M7, MONTOIR)
+ 75000ROTATION(BET, M7, SPIEZA)
+ 75000ROTATION(BET, M7, ISLE) + 75000ROTATION(BET, M7, BARC)
+ 75000ROTATION(BET, M7, CART) + 75000ROTATION(BET, M7, HUEL)
+ 75000ROTATION(BET, M7, SAGU) + 75000ROTATION(BET, M7, BILB)
+ 75000ROTATION(BET, M7, MARMA)
+ 75000ROTATION(BET, M7, ALIAGA)
+ 75000ROTATION(BET, M7, RIVA) + 75000ROTATION(BET, M7, COVE)
+ 75000ROTATION(BET, M7, LACK)
+ 75000ROTATION(BET, M8, MONTOIR)
+ 75000ROTATION(BET, M8, SPIEZA)
+ 75000ROTATION(BET, M8, ISLE) + 75000ROTATION(BET, M8, BARC)
+ 75000ROTATION(BET, M8, CART) + 75000ROTATION(BET, M8, HUEL)
+ 75000ROTATION(BET, M8, SAGU) + 75000ROTATION(BET, M8, BILB)
+ 75000ROTATION(BET, M8, MARMA)
+ 75000ROTATION(BET, M8, ALIAGA)
+ 75000ROTATION(BET, M8, RIVA) + 75000ROTATION(BET, M8, COVE)
+ 75000ROTATION(BET, M8, LACK)
+ 138000ROTATION(BET, M9, MONTOIR)
+ 138000ROTATION(BET, M9, SPIEZA)
+ 138000ROTATION(BET, M9, ISLE)
+ 138000ROTATION(BET, M9, BARC)
+ 138000ROTATION(BET, M9, CART)
+ 138000ROTATION(BET, M9, HUEL)
+ 138000ROTATION(BET, M9, SAGU)
+ 138000ROTATION(BET, M9, BILB)

```

+ 138000ROTATION( BET, M9, MARMA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, ALIAGA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, RIVA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, COVE)
+ 138000ROTATION( BET, M9, LACK)
+ 145000ROTATION( BET, M10, MONTOIR)
+ 145000ROTATION( BET, M10, SPIEZA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, ISLE)
+ 145000ROTATION( BET, M10, BARC)
+ 145000ROTATION( BET, M10, CART)
+ 145000ROTATION( BET, M10, HUEL)
+ 145000ROTATION( BET, M10, SAGU)
+ 145000ROTATION( BET, M10, BILB)
+ 145000ROTATION( BET, M10, MARMA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, ALIAGA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, RIVA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, COVE)
+ 145000ROTATION( BET, M10, LACK) <= *****

```

-Port de Skikda

```

4] 32000ROTATION( SKIK, M1, MONTOIR)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, SPIEZA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, ISLE)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, BARC)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, CART)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, HUEL)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, SAGU)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, BILB)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, MARMA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, ALIAGA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, RIVA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, COVE)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, LACK)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, MONTOIR)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, SPIEZA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, ISLE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, BARC)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, CART)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, HUEL)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, SAGU)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, BILB)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, MARMA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, ALIAGA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, RIVA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, COVE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, LACK)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, MONTOIR)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, SPIEZA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, ISLE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, BARC)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, CART)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, HUEL)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, SAGU)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, BILB)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, MARMA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, ALIAGA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, RIVA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, COVE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, LACK) <= *****

```

2.2. Limitation de marché et les exigences du contrat d'exportation de gaz :

Monitoir

```

32000ROTATION( ARZ, M1, MONTOIR)
+ 32000ROTATION( BET, M1, MONTOIR)
+ 129767ROTATION( BET, M2, MONTOIR)
+ 129767ROTATION( BET, M3, MONTOIR)
+ 125626ROTATION( BET, M4, MONTOIR)
+ 126130ROTATION( BET, M5, MONTOIR)
+ 126130ROTATION( BET, M6, MONTOIR)
+ 75000ROTATION( BET, M7, MONTOIR)
+ 75000ROTATION( BET, M8, MONTOIR)
+ 138000ROTATION( BET, M9, MONTOIR)
+ 145000ROTATION( BET, M10, MONTOIR)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, MONTOIR)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, MONTOIR)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, MONTOIR) >= *****

```

Spieza

```

6] 32000ROTATION( ARZ, M1, SPIEZA)
+ 32000ROTATION( BET, M1, SPIEZA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, SPIEZA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, SPIEZA)
+ 125626ROTATION( BET, M4, SPIEZA)
+ 126130ROTATION( BET, M5, SPIEZA)
+ 126130ROTATION( BET, M6, SPIEZA)
+ 75000ROTATION( BET, M7, SPIEZA)
+ 75000ROTATION( BET, M8, SPIEZA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, SPIEZA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, SPIEZA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, SPIEZA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, SPIEZA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, SPIEZA) >= 3000000

```

Isle

```

7] 32000ROTATION( ARZ, M1, ISLE) + 32000ROTATION( BET, M1, ISLE)
+ 129767ROTATION( BET, M2, ISLE)
+ 129767ROTATION( BET, M3, ISLE)
+ 125626ROTATION( BET, M4, ISLE)
+ 126130ROTATION( BET, M5, ISLE)
+ 126130ROTATION( BET, M6, ISLE)
+ 75000ROTATION( BET, M7, ISLE) + 75000ROTATION( BET, M8, ISLE)
+ 138000ROTATION( BET, M9, ISLE)
+ 145000ROTATION( BET, M10, ISLE)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, ISLE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, ISLE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, ISLE) >= 4917000

```

Barcelone

```

8] 32000ROTATION( ARZ, M1, BARC) + 32000ROTATION( BET, M1, BARC)
+ 129767ROTATION( BET, M2, BARC)
+ 129767ROTATION( BET, M3, BARC)
+ 125626ROTATION( BET, M4, BARC)
+ 126130ROTATION( BET, M5, BARC)
+ 126130ROTATION( BET, M6, BARC)
+ 75000ROTATION( BET, M7, BARC) + 75000ROTATION( BET, M8, BARC)
+ 138000ROTATION( BET, M9, BARC)

```

```

+ 145000ROTATION( BET, M10, BARC)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, BARC)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, BARC)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, BARC) >= 2000000

```

Cartagena

```

9] 32000ROTATION( ARZ, M1, CART) + 32000ROTATION( BET, M1, CART)
+ 129767ROTATION( BET, M2, CART)
+ 129767ROTATION( BET, M3, CART)
+ 125626ROTATION( BET, M4, CART)
+ 126130ROTATION( BET, M5, CART)
+ 126130ROTATION( BET, M6, CART)
+ 75000ROTATION( BET, M7, CART) + 75000ROTATION( BET, M8, CART)
+ 138000ROTATION( BET, M9, CART)
+ 145000ROTATION( BET, M10, CART)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, CART)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, CART)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, CART) >= 1300000

```

Heulva

```

10] 32000ROTATION( ARZ, M1, HUEL) + 32000ROTATION( BET, M1, HUEL)
+ 129767ROTATION( BET, M2, HUEL)
+ 129767ROTATION( BET, M3, HUEL)
+ 125626ROTATION( BET, M4, HUEL)
+ 126130ROTATION( BET, M5, HUEL)
+ 126130ROTATION( BET, M6, HUEL)
+ 75000ROTATION( BET, M7, HUEL) + 75000ROTATION( BET, M8, HUEL)
+ 138000ROTATION( BET, M9, HUEL)
+ 145000ROTATION( BET, M10, HUEL)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, HUEL)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, HUEL)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, HUEL) >= 1300000

```

Saguanto

```

11] 32000ROTATION( ARZ, M1, SAGU) + 32000ROTATION( BET, M1, SAGU)
+ 129767ROTATION( BET, M2, SAGU)
+ 129767ROTATION( BET, M3, SAGU)
+ 125626ROTATION( BET, M4, SAGU)
+ 126130ROTATION( BET, M5, SAGU)
+ 126130ROTATION( BET, M6, SAGU)
+ 75000ROTATION( BET, M7, SAGU) + 75000ROTATION( BET, M8, SAGU)
+ 138000ROTATION( BET, M9, SAGU)
+ 145000ROTATION( BET, M10, SAGU)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, SAGU)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, SAGU)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, SAGU) >= 1000000

```

Bilbao :

```

12] 32000ROTATION( ARZ, M1, BILB) + 32000ROTATION( BET, M1, BILB)
+ 129767ROTATION( BET, M2, BILB)
+ 129767ROTATION( BET, M3, BILB)
+ 125626ROTATION( BET, M4, BILB)
+ 126130ROTATION( BET, M5, BILB)
+ 126130ROTATION( BET, M6, BILB)
+ 75000ROTATION( BET, M7, BILB) + 75000ROTATION( BET, M8, BILB)
+ 138000ROTATION( BET, M9, BILB)
+ 145000ROTATION( BET, M10, BILB)

```

```

+ 32000ROTATION( SKIK, M1, BILB)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, BILB)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, BILB) >= 1000000

```

Marmara :

```

13] 32000ROTATION( ARZ, M1, MARMA) + 32000ROTATION( BET, M1, MARMA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, MARMA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, MARMA)
+ 125626ROTATION( BET, M4, MARMA)
+ 126130ROTATION( BET, M5, MARMA)
+ 126130ROTATION( BET, M6, MARMA)
+ 75000ROTATION( BET, M7, MARMA)
+ 75000ROTATION( BET, M8, MARMA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, MARMA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, MARMA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, MARMA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, MARMA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, MARMA) >= 4667000

```

Aliaga :

```

14] 32000ROTATION( ARZ, M1, ALIAGA)
+ 32000ROTATION( BET, M1, ALIAGA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, ALIAGA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, ALIAGA)
+ 125626ROTATION( BET, M4, ALIAGA)
+ 126130ROTATION( BET, M5, ALIAGA)
+ 126130ROTATION( BET, M6, ALIAGA)
+ 75000ROTATION( BET, M7, ALIAGA)
+ 75000ROTATION( BET, M8, ALIAGA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, ALIAGA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, ALIAGA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, ALIAGA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, ALIAGA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, ALIAGA) >= 2000000

```

Rivathousa :

```

15] 32000ROTATION( ARZ, M1, RIVA) + 32000ROTATION( BET, M1, RIVA)
+ 129767ROTATION( BET, M2, RIVA)
+ 129767ROTATION( BET, M3, RIVA)
+ 125626ROTATION( BET, M4, RIVA)
+ 126130ROTATION( BET, M5, RIVA)
+ 126130ROTATION( BET, M6, RIVA)
+ 75000ROTATION( BET, M7, RIVA) + 75000ROTATION( BET, M8, RIVA)
+ 138000ROTATION( BET, M9, RIVA)
+ 145000ROTATION( BET, M10, RIVA)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, RIVA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, RIVA)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, RIVA) >= 1133000

```

Cove Point :

```

16] 32000ROTATION( ARZ, M1, COVE) + 32000ROTATION( BET, M1, COVE)
+ 129767ROTATION( BET, M2, COVE)
+ 129767ROTATION( BET, M3, COVE)
+ 125626ROTATION( BET, M4, COVE)
+ 126130ROTATION( BET, M5, COVE)
+ 126130ROTATION( BET, M6, COVE)
+ 75000ROTATION( BET, M7, COVE) + 75000ROTATION( BET, M8, COVE)
+ 138000ROTATION( BET, M9, COVE)

```

```

+ 145000ROTATION( BET, M10, COVE)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, COVE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, COVE)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, COVE) >= 0

```

Lack Charles :

```

17] 32000ROTATION( ARZ, M1, LACK) + 32000ROTATION( BET, M1, LACK)
+ 129767ROTATION( BET, M2, LACK)
+ 129767ROTATION( BET, M3, LACK)
+ 125626ROTATION( BET, M4, LACK)
+ 126130ROTATION( BET, M5, LACK)
+ 126130ROTATION( BET, M6, LACK)
+ 75000ROTATION( BET, M7, LACK) + 75000ROTATION( BET, M8, LACK)
+ 138000ROTATION( BET, M9, LACK)
+ 145000ROTATION( BET, M10, LACK)
+ 32000ROTATION( SKIK, M1, LACK)
+ 75000ROTATION( SKIK, M7, LACK)
+ 75000ROTATION( SKIK, M8, LACK) >= 0

```

2.3. La disponibilité des méthaniers

Méthanier M1

```

4.12ROTATION( ARZ, M1, MONTOIR)
+ 3.11ROTATION( ARZ, M1, SPIEZA) + 4.61ROTATION( ARZ, M1, ISLE)
+ 2.56ROTATION( ARZ, M1, BARC) + 2.18ROTATION( ARZ, M1, CART)
+ 2.68ROTATION( ARZ, M1, HUEL) + 2.47ROTATION( ARZ, M1, SAGU)
+ 3.87ROTATION( ARZ, M1, BILB) + 4.53ROTATION( ARZ, M1, MARMA)
+ 4.95ROTATION( ARZ, M1, ALIAGA) + 4.68ROTATION( ARZ, M1, RIVA)
+ 9.44ROTATION( ARZ, M1, COVE) + 11.58ROTATION( ARZ, M1, LACK)
+ 4.11ROTATION( BET, M1, MONTOIR)
+ 3.11ROTATION( BET, M1, SPIEZA) + 4.62ROTATION( BET, M1, ISLE)
+ 2.58ROTATION( BET, M1, BARC) + 2.18ROTATION( BET, M1, CART)
+ 2.68ROTATION( BET, M1, HUEL) + 2.47ROTATION( BET, M1, SAGU)
+ 3.87ROTATION( BET, M1, BILB) + 4.53ROTATION( BET, M1, MARMA)
+ 4.95ROTATION( BET, M1, ALIAGA) + 4.68ROTATION( BET, M1, RIVA)
+ 9.44ROTATION( BET, M1, COVE) + 11.58ROTATION( BET, M1, LACK)
+ 4.53ROTATION( SKIK, M1, MONTOIR)
+ 2.74ROTATION( SKIK, M1, SPIEZA)
+ 5.19ROTATION( SKIK, M1, ISLE) + 2.57ROTATION( SKIK, M1, BARC)
+ 2.63ROTATION( SKIK, M1, CART) + 3.17ROTATION( SKIK, M1, HUEL)
+ 2.49ROTATION( SKIK, M1, SAGU) + 4.58ROTATION( SKIK, M1, BILB)
+ 3.96ROTATION( SKIK, M1, MARMA)
+ 4.04ROTATION( SKIK, M1, ALIAGA)
+ 3.78ROTATION( SKIK, M1, RIVA)
+ 10.15ROTATION( SKIK, M1, COVE)
+ 10.62ROTATION( SKIK, M1, LACK) <= 340

```

Méthanier M2

```

19] 4.12ROTATION( BET, M2, MONTOIR)
+ 3.11ROTATION( BET, M2, SPIEZA) + 4.61ROTATION( BET, M2, ISLE)
+ 2.56ROTATION( BET, M2, BARC) + 2.18ROTATION( BET, M2, CART)
+ 2.68ROTATION( BET, M2, HUEL) + 2.47ROTATION( BET, M2, SAGU)
+ 3.87ROTATION( BET, M2, BILB) + 4.53ROTATION( BET, M2, MARMA)
+ 4.95ROTATION( BET, M2, ALIAGA) + 4.68ROTATION( BET, M2, RIVA)
+ 9.44ROTATION( BET, M2, COVE) + 11.58ROTATION( BET, M2, LACK)
<= 340

```

Méthanier M 3

```

20] 4.12ROTATION( BET, M3, MONTOIR)

```

+ 3.11ROTATION(BET, M3, SPIEZA) + 4.62ROTATION(BET, M3, ISLE)
+ 2.56ROTATION(BET, M3, BARC) + 2.18ROTATION(BET, M3, CART)
+ 2.68ROTATION(BET, M3, HUEL) + 2.47ROTATION(BET, M3, SAGU)
+ 3.87ROTATION(BET, M3, BILB) + 4.53ROTATION(BET, M3, MARMA)
+ 4.95ROTATION(BET, M3, ALIAGA) + 4.68ROTATION(BET, M3, RIVA)
+ 9.44ROTATION(BET, M3, COVE) + 11.58ROTATION(BET, M3, LACK)
<= 340

Méthanier M4

21] 4.12ROTATION(BET, M4, MONTOIR)
+ 3.11ROTATION(BET, M4, SPIEZA) + 4.62ROTATION(BET, M4, ISLE)
+ 2.56ROTATION(BET, M4, BARC) + 2.18ROTATION(BET, M4, CART)
+ 2.68ROTATION(BET, M4, HUEL) + 2.47ROTATION(BET, M4, SAGU)
+ 3.87ROTATION(BET, M4, BILB) + 4.53ROTATION(BET, M4, MARMA)
+ 4.95ROTATION(BET, M4, ALIAGA) + 4.68ROTATION(BET, M4, RIVA)
+ 9.44ROTATION(BET, M4, COVE) + 11.58ROTATION(BET, M4, LACK)
<= 340

Méthanier M4

22] 4.12ROTATION(BET, M5, MONTOIR)
+ 3.11ROTATION(BET, M5, SPIEZA) + 4.62ROTATION(BET, M5, ISLE)
+ 2.56ROTATION(BET, M5, BARC) + 2.18ROTATION(BET, M5, CART)
+ 2.68ROTATION(BET, M5, HUEL) + 2.47ROTATION(BET, M5, SAGU)
+ 3.87ROTATION(BET, M5, BILB) + 4.53ROTATION(BET, M5, MARMA)
+ 4.95ROTATION(BET, M5, ALIAGA) + 4.68ROTATION(BET, M5, RIVA)
+ 9.44ROTATION(BET, M5, COVE) + 11.58ROTATION(BET, M5, LACK)
<= 340

Méthanier M6

23] 3.88ROTATION(BET, M6, MONTOIR)
+ 2.98ROTATION(BET, M6, SPIEZA) + 4.33ROTATION(BET, M6, ISLE)
+ 2.49ROTATION(BET, M6, BARC) + 2.16ROTATION(BET, M6, CART)
+ 2.6ROTATION(BET, M6, HUEL) + 2.41ROTATION(BET, M6, SAGU)
+ 3.67ROTATION(BET, M6, BILB) + 4.25ROTATION(BET, M6, MARMA)
+ 4.62ROTATION(BET, M6, ALIAGA) + 4.38ROTATION(BET, M6, RIVA)
+ 8.61ROTATION(BET, M6, COVE) + 10.51ROTATION(BET, M6, LACK)
<= 340

Méthanier M7

24] 4.05ROTATION(BET, M7, MONTOIR)
+ 3.07ROTATION(BET, M7, SPIEZA) + 4.54ROTATION(BET, M7, ISLE)
+ 2.54ROTATION(BET, M7, BARC) + 2.17ROTATION(BET, M7, CART)
+ 2.66ROTATION(BET, M7, HUEL) + 2.45ROTATION(BET, M7, SAGU)
+ 3.82ROTATION(BET, M7, BILB) + 4.45ROTATION(BET, M7, MARMA)
+ 4.85ROTATION(BET, M7, ALIAGA) + 4.6ROTATION(BET, M7, RIVA)
+ 9.22ROTATION(BET, M7, COVE) + 11.29ROTATION(BET, M7, LACK)
+ 4.45ROTATION(SKIK, M7, MONTOIR)
+ 2.72ROTATION(SKIK, M7, SPIEZA)
+ 5.09ROTATION(SKIK, M7, ISLE) + 2.55ROTATION(SKIK, M7, BARC)
+ 2.6ROTATION(SKIK, M7, CART) + 3.13ROTATION(SKIK, M7, HUEL)
+ 2.47ROTATION(SKIK, M7, SAGU) + 4.5ROTATION(SKIK, M7, BILB)
+ 3.9ROTATION(SKIK, M7, MARMA)
+ 3.99ROTATION(SKIK, M7, ALIAGA)
+ 3.71ROTATION(SKIK, M7, RIVA) + 9.9ROTATION(SKIK, M7, COVE)
+ 10.36ROTATION(SKIK, M7, LACK) <= 340

Méthanier M8

25] 4.05ROTATION(BET, M8, MONTOIR)
+ 3.07ROTATION(BET, M8, SPIEZA) + 4.54ROTATION(BET, M8, ISLE)
+ 2.54ROTATION(BET, M8, BARC) + 2.18ROTATION(BET, M8, CART)
+ 2.66ROTATION(BET, M8, HUEL) + 2.45ROTATION(BET, M8, SAGU)

+ 3.81ROTATION(BET, M8, BILB) + 4.45ROTATION(BET, M8, MARMA)
+ 4.86ROTATION(BET, M8, ALIAGA) + 4.6ROTATION(BET, M8, RIVA)
+ 9.22ROTATION(BET, M8, COVE) + 11.29ROTATION(BET, M8, LACK)
+ 4.45ROTATION(SKIK, M8, MONTOIR)
+ 2.71ROTATION(SKIK, M8, SPIEZA)
+ 5.09ROTATION(SKIK, M8, ISLE) + 2.55ROTATION(SKIK, M8, BARC)
+ 2.61ROTATION(SKIK, M8, CART) + 3.13ROTATION(SKIK, M8, HUEL)
+ 2.47ROTATION(SKIK, M8, SAGU) + 4.5ROTATION(SKIK, M8, BILB)
+ 3.9ROTATION(SKIK, M8, MARMA) + 4ROTATION(SKIK, M8, ALIAGA)
+ 3.72ROTATION(SKIK, M8, RIVA) + 9.9ROTATION(SKIK, M8, COVE)
+ 10.36ROTATION(SKIK, M8, LACK) <= 340

Méthanier M9

26] 3.78ROTATION(BET, M9, MONTOIR)
+ 2.93ROTATION(BET, M9, SPIEZA) + 4.2ROTATION(BET, M9, ISLE)
+ 2.47ROTATION(BET, M9, BARC) + 2.15ROTATION(BET, M9, CART)
+ 2.57ROTATION(BET, M9, HUEL) + 2.4ROTATION(BET, M9, SAGU)
+ 3.58ROTATION(BET, M9, BILB) + 4.13ROTATION(BET, M9, MARMA)
+ 4.48ROTATION(BET, M9, ALIAGA) + 4.26ROTATION(BET, M9, RIVA)
+ 8.27ROTATION(BET, M9, COVE) + 10.06ROTATION(BET, M9, LACK)
<= 340

Méthanier M10

27] 3.78ROTATION(BET, M10, MONTOIR)
+ 2.93ROTATION(BET, M10, SPIEZA)
+ 4.2ROTATION(BET, M10, ISLE) + 2.47ROTATION(BET, M10, BARC)
+ 2.15ROTATION(BET, M10, CART) + 2.57ROTATION(BET, M10, HUEL)
+ 2.4ROTATION(BET, M10, SAGU) + 3.58ROTATION(BET, M10, BILB)
+ 4.13ROTATION(BET, M10, MARMA)
+ 4.48ROTATION(BET, M10, ALIAGA)
+ 4.25ROTATION(BET, M10, RIVA) + 8.26ROTATION(BET, M10, COVE)
+ 10.06ROTATION(BET, M10, LACK) <= 340

- Les données du modèle :

Catégorie de Rotation	Cout unitaire \$/M3	Durée Du Rotation jours
ROTATION(ARZ, M1, MONTOIR)	14.06000	4.120000
ROTATION(ARZ, M1, SPIEZA)	8.480000	3.110000
ROTATION(ARZ, M1, ISLE)	15.40000	4.610000
ROTATION(ARZ, M1, BARC)	7.140000	2.560000
ROTATION(ARZ, M1, CART)	5.580000	2.180000
ROTATION(ARZ, M1, HUEL)	11.16000	2.680000
ROTATION(ARZ, M1, SAGU)	8.030000	2.470000
ROTATION(ARZ, M1, BILB)	14.06000	3.870000
ROTATION(ARZ, M1, MARMA)	15.40000	4.530000
ROTATION(ARZ, M1, ALIAGA)	13.39000	4.950000
ROTATION(ARZ, M1, RIVA)	12.50000	4.680000
ROTATION(ARZ, M1, COVE)	42.18000	9.440000
ROTATION(ARZ, M1, LACK)	47.76000	11.58000
ROTATION(BET, M1, MONTOIR)	14.06000	4.110000
ROTATION(BET, M1, SPIEZA)	8.480000	3.110000
ROTATION(BET, M1,	15.40000	4.620000
ROTATION(BET, M1, BARC)	7.140000	2.580000
ROTATION(BET, M1, CART)	5.580000	2.180000
ROTATION(BET, M1, HUEL)	11.16000	2.680000
ROTATION(BET, M1, SAGU)	8.030000	2.470000
ROTATION(BET, M1, BILB)	14.06000	3.870000
ROTATION(BET, M1, MARMA)	15.40000	4.530000

ROTATION(BET, M1, ALIAGA)	13.39000	4.950000
ROTATION(BET, M1, RIVA)	12.50000	4.680000
ROTATION(BET, M1, COVE)	42.18000	9.440000
ROTATION(BET, M1, LACK)	47.76000	11.58000
ROTATION(BET, M2, MONTOIR)	14.50000	4.120000
ROTATION(BET, M2, SPIEZA)	6.700000	3.110000
ROTATION(BET, M2,	16.07000	4.610000
ROTATION(BET, M2, BARC)	4.460000	2.560000
ROTATION(BET, M2, CART)	4.240000	2.180000
ROTATION(BET, M2, HUEL)	7.590000	2.680000
ROTATION(BET, M2, SAGU)	6.030000	2.470000
ROTATION(BET, M2, BILB)	14.50000	3.870000
ROTATION(BET, M2, MARMA)	16.74000	4.530000
ROTATION(BET, M2, ALIAGA)	14.95000	4.950000
ROTATION(BET, M2, RIVA)	12.28000	4.680000
ROTATION(BET, M2, COVE)	25.90000	9.440000
ROTATION(BET, M2, LACK)	29.02000	11.58000
ROTATION(BET, M3, MONTOIR)	12.27000	4.120000
ROTATION(BET, M3, SPIEZA)	11.16000	3.110000
ROTATION(BET, M3,	12.72000	4.620000
ROTATION(BET, M3, BARC)	10.49000	2.560000
ROTATION(BET, M3, CART)	9.370000	2.180000
ROTATION(BET, M3, HUEL)	11.61000	2.680000
ROTATION(BET, M3, SAGU)	10.94000	2.470000
ROTATION(BET, M3, BILB)	12.27000	3.870000
ROTATION(BET, M3, MARMA)	12.72000	4.530000
ROTATION(BET, M3, ALIAGA)	11.83000	4.950000
ROTATION(BET, M3, RIVA)	11.38000	4.680000
ROTATION(BET, M3, COVE)	24.78000	9.440000
ROTATION(BET, M3, LACK)	27.69000	11.58000
ROTATION(BET, M4, MONTOIR)	14.49000	4.120000
ROTATION(BET, M4, SPIEZA)	10.04000	3.110000
ROTATION(BET, M4,	16.96000	4.620000
ROTATION(BET, M4, BARC)	9.370000	2.560000
ROTATION(BET, M4, CART)	8.480000	2.180000
ROTATION(BET, M4, HUEL)	10.49000	2.680000
ROTATION(BET, M4, SAGU)	9.820000	2.470000
ROTATION(BET, M4, BILB)	14.95000	3.870000
ROTATION(BET, M4, MARMA)	17.63000	4.530000
ROTATION(BET, M4, ALIAGA)	13.16000	4.950000
ROTATION(BET, M4, RIVA)	11.83000	4.680000
ROTATION(BET, M4, COVE)	30.13000	9.440000
ROTATION(BET, M4, LACK)	33.48000	11.58000
ROTATION(BET, M5, MONTOIR)	7.580000	4.120000
ROTATION(BET, M5, SPIEZA)	5.130000	3.110000
ROTATION(BET, M5,	10.71000	4.620000
ROTATION(BET, M5, BARC)	4.010000	2.560000
ROTATION(BET, M5, CART)	3.350000	2.180000
ROTATION(BET, M5, HUEL)	5.580000	2.680000
ROTATION(BET, M5, SAGU)	3.530000	2.470000
ROTATION(BET, M5, BILB)	7.580000	3.870000
ROTATION(BET, M5, MARMA)	10.71000	4.530000
ROTATION(BET, M5, ALIAGA)	8.480000	4.950000
ROTATION(BET, M5, RIVA)	7.590000	4.680000
ROTATION(BET, M5, COVE)	18.75000	9.440000
ROTATION(BET, M5, LACK)	21.00000	11.58000
ROTATION(BET, M6, MONTOIR)	7.580000	3.880000
ROTATION(BET, M6, SPIEZA)	5.130000	2.980000
ROTATION(BET, M6,	10.71000	4.330000

ROTATION(BET, M6, BARC)	4.010000	2.490000
ROTATION(BET, M6, CART)	3.350000	2.160000
ROTATION(BET, M6, HUEL)	5.580000	2.600000
ROTATION(BET, M6, SAGU)	3.530000	2.410000
ROTATION(BET, M6, BILB)	7.580000	3.670000
ROTATION(BET, M6, MARMA)	10.710000	4.250000
ROTATION(BET, M6, ALIAGA)	8.480000	4.620000
ROTATION(BET, M6, RIVA)	7.590000	4.380000
ROTATION(BET, M6, COVE)	18.750000	8.610000
ROTATION(BET, M6, LACK)	21.000000	10.510000
ROTATION(BET, M7, MONTOIR)	10.940000	4.050000
ROTATION(BET, M7, SPIEZA)	7.370000	3.070000
ROTATION(BET, M7,	11.610000	4.540000
ROTATION(BET, M7, BARC)	5.360000	2.540000
ROTATION(BET, M7, CART)	4.680000	2.170000
ROTATION(BET, M7, HUEL)	5.130000	2.660000
ROTATION(BET, M7, SAGU)	6.250000	2.450000
ROTATION(BET, M7, BILB)	10.940000	3.820000
ROTATION(BET, M7, MARMA)	11.600000	4.450000
ROTATION(BET, M7, ALIAGA)	10.940000	4.850000
ROTATION(BET, M7, RIVA)	9.820000	4.600000
ROTATION(BET, M7, COVE)	32.810000	9.220000
ROTATION(BET, M7, LACK)	37.050000	11.290000
ROTATION(BET, M8, MONTOIR)	10.940000	4.050000
ROTATION(BET, M8, SPIEZA)	7.370000	3.070000
ROTATION(BET, M8,	11.610000	4.540000
ROTATION(BET, M8, BARC)	5.360000	2.540000
ROTATION(BET, M8, CART)	4.680000	2.180000
ROTATION(BET, M8, HUEL)	5.130000	2.660000
ROTATION(BET, M8, SAGU)	6.250000	2.450000
ROTATION(BET, M8, BILB)	10.940000	3.810000
ROTATION(BET, M8, MARMA)	11.600000	4.450000
ROTATION(BET, M8, ALIAGA)	10.940000	4.860000
ROTATION(BET, M8, RIVA)	9.820000	4.600000
ROTATION(BET, M8, COVE)	32.810000	9.220000
ROTATION(BET, M8, LACK)	37.050000	11.290000
ROTATION(BET, M9, MONTOIR)	8.700000	3.780000
ROTATION(BET, M9, SPIEZA)	5.580000	2.930000
ROTATION(BET, M9,	9.370000	4.200000
ROTATION(BET, M9, BARC)	4.910000	2.470000
ROTATION(BET, M9, CART)	4.460000	2.150000
ROTATION(BET, M9, HUEL)	8.250000	2.570000
ROTATION(BET, M9, SAGU)	5.350000	2.400000
ROTATION(BET, M9, BILB)	8.700000	3.580000
ROTATION(BET, M9, MARMA)	9.370000	4.130000
ROTATION(BET, M9, ALIAGA)	8.480000	4.480000
ROTATION(BET, M9, RIVA)	8.250000	4.260000
ROTATION(BET, M9, COVE)	18.300000	8.270000
ROTATION(BET, M9, LACK)	20.530000	10.060000
ROTATION(BET, M10, MONTOIR)	9.370000	3.780000
ROTATION(BET, M10, SPIEZA)	5.860000	2.930000
ROTATION(BET, M10,	11.830000	4.200000
ROTATION(BET, M10, BARC)	4.910000	2.470000
ROTATION(BET, M10, CART)	4.020000	2.150000
ROTATION(BET, M10, HUEL)	6.250000	2.570000
ROTATION(BET, M10, SAGU)	4.460000	2.400000
ROTATION(BET, M10, BILB)	9.370000	3.580000
ROTATION(BET, M10, MARMA)	11.830000	4.130000
ROTATION(BET, M10, ALIAGA)	10.040000	4.480000

ROTATION(BET, M10, RIVA)	8.930000	4.250000
ROTATION(BET, M10, COVE)	19.860000	8.260000
ROTATION(BET, M10, LACK)	23.660000	10.060000
ROTATION(SKIK, M1, MONTOIR)	13.390000	4.530000
ROTATION(SKIK, M1, SPIEZA)	6.700000	2.740000
ROTATION(SKIK, M1,	16.070000	5.190000
ROTATION(SKIK, M1, BARC)	6.030000	2.570000
ROTATION(SKIK, M1, CART)	6.470000	2.630000
ROTATION(SKIK, M1, HUEL)	11.830000	3.170000
ROTATION(SKIK, M1, SAGU)	8.930000	2.490000
ROTATION(SKIK, M1, BILB)	14.500000	4.580000
ROTATION(SKIK, M1, MARMA)	14.730000	3.960000
ROTATION(SKIK, M1, ALIAGA)	12.950000	4.040000
ROTATION(SKIK, M1, RIVA)	11.380000	3.780000
ROTATION(SKIK, M1, COVE)	42.190000	10.150000
ROTATION(SKIK, M1, LACK)	47.760000	10.620000
ROTATION(SKIK, M7, MONTOIR)	11.160000	4.450000
ROTATION(SKIK, M7, SPIEZA)	6.470000	2.720000
ROTATION(SKIK, M7,	11.380000	5.090000
ROTATION(SKIK, M7, BARC)	6.030000	2.550000
ROTATION(SKIK, M7, CART)	6.020000	2.600000
ROTATION(SKIK, M7, HUEL)	6.700000	3.130000
ROTATION(SKIK, M7, SAGU)	6.470000	2.470000
ROTATION(SKIK, M7, BILB)	11.160000	4.500000
ROTATION(SKIK, M7, MARMA)	11.160000	3.900000
ROTATION(SKIK, M7, ALIAGA)	10.490000	3.990000
ROTATION(SKIK, M7, RIVA)	9.150000	3.710000
ROTATION(SKIK, M7, COVE)	32.810000	9.900000
ROTATION(SKIK, M7, LACK)	37.050000	10.360000
ROTATION(SKIK, M8, MONTOIR)	11.160000	4.450000
ROTATION(SKIK, M8, SPIEZA)	6.470000	2.710000
ROTATION(SKIK, M8,	11.380000	5.090000
ROTATION(SKIK, M8, BARC)	6.030000	2.550000
ROTATION(SKIK, M8, CART)	6.020000	2.610000
ROTATION(SKIK, M8, HUEL)	6.700000	3.130000
ROTATION(SKIK, M8, SAGU)	6.470000	2.470000
ROTATION(SKIK, M8, BILB)	11.160000	4.500000
ROTATION(SKIK, M8, MARMA)	11.160000	3.900000
ROTATION(SKIK, M8, ALIAGA)	10.490000	4.000000
ROTATION(SKIK, M8, RIVA)	9.150000	3.720000
ROTATION(SKIK, M8, COVE)	32.810000	9.900000
ROTATION(SKIK, M8, LACK)	37.050000	10.360000
ROTATION(ARZ, M1, MONTOIR)	14.060000	4.120000
ROTATION(ARZ, M1, SPIEZA)	8.480000	3.110000
ROTATION(ARZ, M1,	15.400000	4.610000
ROTATION(ARZ, M1, BARC)	7.140000	2.560000
ROTATION(ARZ, M1, CART)	5.580000	2.180000
ROTATION(ARZ, M1, HUEL)	11.160000	2.680000
ROTATION(ARZ, M1, SAGU)	8.030000	2.470000
ROTATION(ARZ, M1, BILB)	14.060000	3.870000
ROTATION(ARZ, M1, MARMA)	15.400000	4.530000
ROTATION(ARZ, M1, ALIAGA)	13.390000	4.950000
ROTATION(ARZ, M1, RIVA)	12.500000	4.680000
ROTATION(ARZ, M1, COVE)	42.180000	9.440000
ROTATION(ARZ, M1, LACK)	47.760000	11.580000
ROTATION(BET, M1, MONTOIR)	14.060000	4.110000
ROTATION(BET, M1, SPIEZA)	8.480000	3.110000
ROTATION(BET, M1,	15.400000	4.620000
ROTATION(BET, M1, BARC)	7.140000	2.580000

ROTATION(BET, M1, CART)	5.580000	2.180000
ROTATION(BET, M1, HUEL)	11.160000	2.680000
ROTATION(BET, M1, SAGU)	8.030000	2.470000
ROTATION(BET, M1, BILB)	14.060000	3.870000
ROTATION(BET, M1, MARMA)	15.400000	4.530000
ROTATION(BET, M1, ALIAGA)	13.390000	4.950000
ROTATION(BET, M1, RIVA)	12.500000	4.680000
ROTATION(BET, M1, COVE)	42.180000	9.440000
ROTATION(BET, M1, LACK)	47.760000	11.580000
ROTATION(BET, M2, MONTOIR)	14.500000	4.120000
ROTATION(BET, M2, SPIEZA)	6.700000	3.110000
ROTATION(BET, M2,	16.070000	4.610000
ROTATION(BET, M2, BARC)	4.460000	2.560000
ROTATION(BET, M2, CART)	4.240000	2.180000
ROTATION(BET, M2, HUEL)	7.590000	2.680000
ROTATION(BET, M2, SAGU)	6.030000	2.470000
ROTATION(BET, M2, BILB)	14.500000	3.870000
ROTATION(BET, M2, MARMA)	16.740000	4.530000
ROTATION(BET, M2, ALIAGA)	14.950000	4.950000
ROTATION(BET, M2, RIVA)	12.280000	4.680000
ROTATION(BET, M2, COVE)	25.900000	9.440000
ROTATION(BET, M2, LACK)	29.020000	11.580000
ROTATION(BET, M3, MONTOIR)	12.270000	4.120000
ROTATION(BET, M3, SPIEZA)	11.160000	3.110000
ROTATION(BET, M3,	12.720000	4.620000
ROTATION(BET, M3, BARC)	10.490000	2.560000
ROTATION(BET, M3, CART)	9.370000	2.180000
ROTATION(BET, M3, HUEL)	11.610000	2.680000
ROTATION(BET, M3, SAGU)	10.940000	2.470000
ROTATION(BET, M3, BILB)	12.270000	3.870000
ROTATION(BET, M3, MARMA)	12.720000	4.530000
ROTATION(BET, M3, ALIAGA)	11.830000	4.950000
ROTATION(BET, M3, RIVA)	11.380000	4.680000
ROTATION(BET, M3, COVE)	24.780000	9.440000
ROTATION(BET, M3, LACK)	27.690000	11.580000
ROTATION(BET, M4, MONTOIR)	14.490000	4.120000
ROTATION(BET, M4, SPIEZA)	10.040000	3.110000
ROTATION(BET, M4,	16.960000	4.620000
ROTATION(BET, M4, BARC)	9.370000	2.560000
ROTATION(BET, M4, CART)	8.480000	2.180000
ROTATION(BET, M4, HUEL)	10.490000	2.680000
ROTATION(BET, M4, SAGU)	9.820000	2.470000
ROTATION(BET, M4, BILB)	14.950000	3.870000
ROTATION(BET, M4, MARMA)	17.630000	4.530000
ROTATION(BET, M4, ALIAGA)	13.160000	4.950000
ROTATION(BET, M4, RIVA)	11.830000	4.680000
ROTATION(BET, M4, COVE)	30.130000	9.440000
ROTATION(BET, M4, LACK)	33.480000	11.580000
ROTATION(BET, M5, MONTOIR)	7.580000	4.120000
ROTATION(BET, M5, SPIEZA)	5.130000	3.110000
ROTATION(BET, M5,	10.710000	4.620000
ROTATION(BET, M5, BARC)	4.010000	2.560000
ROTATION(BET, M5, CART)	3.350000	2.180000
ROTATION(BET, M5, HUEL)	5.580000	2.680000
ROTATION(BET, M5, SAGU)	3.530000	2.470000
ROTATION(BET, M5, BILB)	7.580000	3.870000
ROTATION(BET, M5, MARMA)	10.710000	4.530000
ROTATION(BET, M5, ALIAGA)	8.480000	4.950000
ROTATION(BET, M5, RIVA)	7.590000	4.680000

ROTATION(BET, M5, COVE)	18.75000	9.440000
ROTATION(BET, M5, LACK)	21.00000	11.58000
ROTATION(BET, M6, MONTOIR)	7.580000	3.880000
ROTATION(BET, M6, SPIEZA)	5.130000	2.980000
ROTATION(BET, M6,	10.71000	4.330000
ROTATION(BET, M6, BARC)	4.010000	2.490000
ROTATION(BET, M6, CART)	3.350000	2.160000
ROTATION(BET, M6, HUEL)	5.580000	2.600000
ROTATION(BET, M6, SAGU)	3.530000	2.410000
ROTATION(BET, M6, BILB)	7.580000	3.670000
ROTATION(BET, M6, MARMA)	10.71000	4.250000
ROTATION(BET, M6, ALIAGA)	8.480000	4.620000
ROTATION(BET, M6, RIVA)	7.590000	4.380000
ROTATION(BET, M6, COVE)	18.75000	8.610000
ROTATION(BET, M6, LACK)	21.00000	10.51000
ROTATION(BET, M7, MONTOIR)	10.94000	4.050000
ROTATION(BET, M7, SPIEZA)	7.370000	3.070000
ROTATION(BET, M7,	11.61000	4.540000
ROTATION(BET, M7, BARC)	5.360000	2.540000
ROTATION(BET, M7, CART)	4.680000	2.170000
ROTATION(BET, M7, HUEL)	5.130000	2.660000
ROTATION(BET, M7, SAGU)	6.250000	2.450000
ROTATION(BET, M7, BILB)	10.94000	3.820000
ROTATION(BET, M7, MARMA)	11.60000	4.450000
ROTATION(BET, M7, ALIAGA)	10.94000	4.850000
ROTATION(BET, M7, RIVA)	9.820000	4.600000
ROTATION(BET, M7, COVE)	32.81000	9.220000
ROTATION(BET, M7, LACK)	37.05000	11.29000
ROTATION(BET, M8, MONTOIR)	10.94000	4.050000
ROTATION(BET, M8, SPIEZA)	7.370000	3.070000
ROTATION(BET, M8,	11.61000	4.540000
ROTATION(BET, M8, BARC)	5.360000	2.540000
ROTATION(BET, M8, CART)	4.680000	2.180000
ROTATION(BET, M8, HUEL)	5.130000	2.660000
ROTATION(BET, M8, SAGU)	6.250000	2.450000
ROTATION(BET, M8, BILB)	10.94000	3.810000
ROTATION(BET, M8, MARMA)	11.60000	4.450000
ROTATION(BET, M8, ALIAGA)	10.94000	4.860000
ROTATION(BET, M8, RIVA)	9.820000	4.600000
ROTATION(BET, M8, COVE)	32.81000	9.220000
ROTATION(BET, M8, LACK)	37.05000	11.29000
ROTATION(BET, M9, MONTOIR)	8.700000	3.780000
ROTATION(BET, M9, SPIEZA)	5.580000	2.930000
ROTATION(BET, M9,	9.370000	4.200000
ROTATION(BET, M9, BARC)	4.910000	2.470000
ROTATION(BET, M9, CART)	4.460000	2.150000
ROTATION(BET, M9, HUEL)	8.250000	2.570000
ROTATION(BET, M9, SAGU)	5.350000	2.400000
ROTATION(BET, M9, BILB)	8.700000	3.580000
ROTATION(BET, M9, MARMA)	9.370000	4.130000
ROTATION(BET, M9, ALIAGA)	8.480000	4.480000
ROTATION(BET, M9, RIVA)	8.250000	4.260000
ROTATION(BET, M9, COVE)	18.30000	8.270000
ROTATION(BET, M9, LACK)	20.53000	10.06000
ROTATION(BET, M10, MONTOIR)	9.370000	3.780000
ROTATION(BET, M10, SPIEZA)	5.860000	2.930000
ROTATION(BET, M10,	11.83000	4.200000
ROTATION(BET, M10, BARC)	4.910000	2.470000
ROTATION(BET, M10, CART)	4.020000	2.150000

ROTATION(BET, M10, HUEL)	6.250000	2.570000
ROTATION(BET, M10, SAGU)	4.460000	2.400000
ROTATION(BET, M10, BILB)	9.370000	3.580000
ROTATION(BET, M10, MARMA)	11.830000	4.130000
ROTATION(BET, M10, ALIAGA)	10.040000	4.480000
ROTATION(BET, M10, RIVA)	8.930000	4.250000
ROTATION(BET, M10, COVE)	19.860000	8.260000
ROTATION(BET, M10, LACK)	23.660000	10.060000
ROTATION(SKIK, M1, MONTOIR)	13.390000	4.530000
ROTATION(SKIK, M1, SPIEZA)	6.700000	2.740000
ROTATION(SKIK, M1,	16.070000	5.190000
ROTATION(SKIK, M1, BARC)	6.030000	2.570000
ROTATION(SKIK, M1, CART)	6.470000	2.630000
ROTATION(SKIK, M1, HUEL)	11.830000	3.170000
ROTATION(SKIK, M1, SAGU)	8.930000	2.490000
ROTATION(SKIK, M1, BILB)	14.500000	4.580000
ROTATION(SKIK, M1, MARMA)	14.730000	3.960000
ROTATION(SKIK, M1, ALIAGA)	12.950000	4.040000
ROTATION(SKIK, M1, RIVA)	11.380000	3.780000
ROTATION(SKIK, M1, COVE)	42.190000	10.150000
ROTATION(SKIK, M1, LACK)	47.760000	10.620000
ROTATION(SKIK, M7, MONTOIR)	11.160000	4.450000

Les données contractuelles :

L'année 2008 :

port	Mont	SPI	ISLE	BARC	CART	HUEL	SAGU	BILB	MARMA	ALIA	RIVA	COVE	LACK
Qté	17333000	3000000	4917000	2000000	1300000	1300000	1000000	1000000	4667000	2000000	1133000	0	0

Source Sonatrach

La solution optimal du modèle 2008 :

ROTATION(ARZ, M1, MONTOIR)	0.000000	150080.0
ROTATION(ARZ, M1, SPIEZA)	0.000000	64320.00
ROTATION(ARZ, M1, ISLE)	0.000000	135680.0
ROTATION(ARZ, M1, BARC)	0.000000	42880.00
ROTATION(ARZ, M1, CART)	0.000000	14080.00
ROTATION(ARZ, M1, HUEL)	0.000000	142720.0
ROTATION(ARZ, M1, SAGU)	0.000000	86720.00
ROTATION(ARZ, M1, BILB)	0.000000	150080.0
ROTATION(ARZ, M1, MARMA)	0.000000	135680.0
ROTATION(ARZ, M1, ALIAGA)	0.000000	99840.00
ROTATION(ARZ, M1, RIVA)	0.000000	107200.0
ROTATION(ARZ, M1, COVE)	0.000000	1349760.
ROTATION(ARZ, M1, LACK)	0.000000	1528320.
ROTATION(BET, M1, MONTOIR)	0.000000	207360.0
ROTATION(BET, M1, SPIEZA)	0.000000	121600.0
ROTATION(BET, M1, ISLE)	0.000000	192960.0
ROTATION(BET, M1, BARC)	0.000000	100160.0
ROTATION(BET, M1, CART)	0.000000	71360.00
ROTATION(BET, M1, HUEL)	0.000000	200000.0
ROTATION(BET, M1, SAGU)	0.000000	144000.0
ROTATION(BET, M1, BILB)	0.000000	207360.0
ROTATION(BET, M1, MARMA)	0.000000	192960.0
ROTATION(BET, M1, ALIAGA)	0.000000	157120.0
ROTATION(BET, M1, RIVA)	0.000000	164480.0
ROTATION(BET, M1, COVE)	0.000000	1407040.
ROTATION(BET, M1, LACK)	0.000000	1585600.
ROTATION(BET, M2, MONTOIR)	0.000000	897987.6
ROTATION(BET, M2, SPIEZA)	0.000000	262129.3
ROTATION(BET, M2, ISLE)	0.000000	869438.9
ROTATION(BET, M2, BARC)	0.000000	58395.15
ROTATION(BET, M2, CART)	0.000000	115492.6
ROTATION(BET, M2, HUEL)	0.000000	347775.6
ROTATION(BET, M2, SAGU)	0.000000	324417.5
ROTATION(BET, M2, BILB)	0.000000	897987.6
ROTATION(BET, M2, MARMA)	0.000000	956382.8
ROTATION(BET, M2, ALIAGA)	0.000000	839592.5
ROTATION(BET, M2, RIVA)	0.000000	638453.6
ROTATION(BET, M2, COVE)	0.000000	3593248.
ROTATION(BET, M2, LACK)	0.000000	3998121.
ROTATION(BET, M3, MONTOIR)	0.000000	608607.2
ROTATION(BET, M3, SPIEZA)	0.000000	840890.2
ROTATION(BET, M3, ISLE)	0.000000	434719.4
ROTATION(BET, M3, BARC)	0.000000	840890.2
ROTATION(BET, M3, CART)	0.000000	781197.3
ROTATION(BET, M3, HUEL)	0.000000	869438.9
ROTATION(BET, M3, SAGU)	0.000000	961573.5
ROTATION(BET, M3, BILB)	0.000000	608607.2
ROTATION(BET, M3, MARMA)	0.000000	434719.4
ROTATION(BET, M3, ALIAGA)	0.000000	434719.5
ROTATION(BET, M3, RIVA)	0.000000	521663.3
ROTATION(BET, M3, COVE)	0.000000	3447909.
ROTATION(BET, M3, LACK)	0.000000	3825531.
ROTATION(BET, M4, MONTOIR)	0.000000	868075.7
ROTATION(BET, M4, SPIEZA)	0.000000	673355.4
ROTATION(BET, M4, ISLE)	0.000000	953501.3
ROTATION(BET, M4, BARC)	0.000000	673355.4
ROTATION(BET, M4, CART)	0.000000	644461.4
ROTATION(BET, M4, HUEL)	0.000000	700993.1
ROTATION(BET, M4, SAGU)	0.000000	790187.5
ROTATION(BET, M4, BILB)	0.000000	925863.6

ROTATION(BET, M4, MARMA)	0.000000	1037671.
ROTATION(BET, M4, ALIAGA)	0.000000	587929.7
ROTATION(BET, M4, RIVA)	0.000000	561548.2
ROTATION(BET, M4, COVE)	0.000000	4009982.
ROTATION(BET, M4, LACK)	0.000000	4430829.
ROTATION(BET, M5, MONTOIR)	50.0000	0.000000
ROTATION(BET, M5, SPIEZA)	0.000000	56758.50
ROTATION(BET, M5, ISLE)	0.000000	169014.2
ROTATION(BET, M5, BARC)	16.00000	0.000000
ROTATION(BET, M5, CART)	10.00000	0.000000
ROTATION(BET, M5, HUEL)	0.000000	84507.10
ROTATION(BET, M5, SAGU)	8.0000	0.000000
ROTATION(BET, M5, BILB)	8.0000	0.000000
ROTATION(BET, M5, MARMA)	0.000000	169014.2
ROTATION(BET, M5, ALIAGA)	4.000	0.000000
ROTATION(BET, M5, RIVA)	0.000000	29009.90
ROTATION(BET, M5, COVE)	0.000000	2590710.
ROTATION(BET, M5, LACK)	0.000000	2874503.
ROTATION(BET, M6, MONTOIR)	88.000	0.000000
ROTATION(BET, M6, SPIEZA)	0.000000	56758.50
ROTATION(BET, M6, ISLE)	0.000000	169014.2
ROTATION(BET, M6, BARC)	0.000000	0.000000
ROTATION(BET, M6, CART)	0.000000	0.000000
ROTATION(BET, M6, HUEL)	0.000000	84507.10
ROTATION(BET, M6, SAGU)	0.000000	0.000000
ROTATION(BET, M6, BILB)	0.000000	0.000000
ROTATION(BET, M6, MARMA)	0.000000	169014.2
ROTATION(BET, M6, ALIAGA)	0.000000	0.000000
ROTATION(BET, M6, RIVA)	0.000000	29009.90
ROTATION(BET, M6, COVE)	0.000000	2590710.
ROTATION(BET, M6, LACK)	0.000000	2874503.
ROTATION(BET, M7, MONTOIR)	0.000000	252000.0
ROTATION(BET, M7, SPIEZA)	0.000000	201750.0
ROTATION(BET, M7, ISLE)	0.000000	168000.0
ROTATION(BET, M7, BARC)	0.000000	101250.0
ROTATION(BET, M7, CART)	0.000000	99750.00
ROTATION(BET, M7, HUEL)	0.000000	16500.00
ROTATION(BET, M7, SAGU)	0.000000	204000.0
ROTATION(BET, M7, BILB)	0.000000	252000.0
ROTATION(BET, M7, MARMA)	0.000000	167250.0
ROTATION(BET, M7, ALIAGA)	0.000000	184500.0
ROTATION(BET, M7, RIVA)	0.000000	184500.0
ROTATION(BET, M7, COVE)	0.000000	2595000.
ROTATION(BET, M7, LACK)	0.000000	2913000.
ROTATION(BET, M8, MONTOIR)	0.000000	252000.0
ROTATION(BET, M8, SPIEZA)	0.000000	201750.0
ROTATION(BET, M8, ISLE)	0.000000	168000.0
ROTATION(BET, M8, BARC)	0.000000	101250.0
ROTATION(BET, M8, CART)	0.000000	99750.00
ROTATION(BET, M8, HUEL)	0.000000	16500.00
ROTATION(BET, M8, SAGU)	0.000000	204000.0
ROTATION(BET, M8, BILB)	0.000000	252000.0
ROTATION(BET, M8, MARMA)	0.000000	167250.0
ROTATION(BET, M8, ALIAGA)	0.000000	184500.0
ROTATION(BET, M8, RIVA)	0.000000	184500.0
ROTATION(BET, M8, COVE)	0.000000	2595000.
ROTATION(BET, M8, LACK)	0.000000	2913000.
ROTATION(BET, M9, MONTOIR)	0.000000	154560.0
ROTATION(BET, M9, SPIEZA)	0.000000	124200.0
ROTATION(BET, M9, ISLE)	36.0000	0.000000
ROTATION(BET, M9, BARC)	0.000000	124200.0

ROTATION(BET, M9, CART)	0.000000	153180.0
ROTATION(BET, M9, HUEL)	0.000000	460920.0
ROTATION(BET, M9, SAGU)	0.000000	251160.0
ROTATION(BET, M9, BILB)	0.000000	154560.0
ROTATION(BET, M9, MARMA)	11.0000	0.000000
ROTATION(BET, M9, ALIAGA)	11.0000	0.000000
ROTATION(BET, M9, RIVA)	0.000000	122820.0
ROTATION(BET, M9, COVE)	0.000000	2772420.
ROTATION(BET, M9, LACK)	0.000000	3080160.
ROTATION(BET, M10, MONTOIR)	0.000000	259550.0
ROTATION(BET, M10, SPIEZA)	0.000000	171100.0
ROTATION(BET, M10, ISLE)	0.000000	356700.0
ROTATION(BET, M10, BARC)	0.000000	130500.0
ROTATION(BET, M10, CART)	0.000000	97150.00
ROTATION(BET, M10, HUEL)	0.000000	194300.0
ROTATION(BET, M10, SAGU)	0.000000	134850.0
ROTATION(BET, M10, BILB)	0.000000	259550.0
ROTATION(BET, M10, MARMA)	0.000000	356700.0
ROTATION(BET, M10, ALIAGA)	0.000000	226200.0
ROTATION(BET, M10, RIVA)	0.000000	227650.0
ROTATION(BET, M10, COVE)	0.000000	3139250.
ROTATION(BET, M10, LACK)	0.000000	3690250.
ROTATION(SKIK, M1, MONTOIR)	0.000000	128640.0
ROTATION(SKIK, M1, SPIEZA)	0.000000	7360.000
ROTATION(SKIK, M1, ISLE)	0.000000	157120.0
ROTATION(SKIK, M1, BARC)	0.000000	7360.000
ROTATION(SKIK, M1, CART)	0.000000	42560.00
ROTATION(SKIK, M1, HUEL)	0.000000	164160.0
ROTATION(SKIK, M1, SAGU)	0.000000	115520.0
ROTATION(SKIK, M1, BILB)	0.000000	164160.0
ROTATION(SKIK, M1, MARMA)	0.000000	114240.0
ROTATION(SKIK, M1, ALIAGA)	0.000000	85760.00
ROTATION(SKIK, M1, RIVA)	0.000000	71360.00
ROTATION(SKIK, M1, COVE)	0.000000	1350080.
ROTATION(SKIK, M1, LACK)	0.000000	1528320.
ROTATION(SKIK, M7, MONTOIR)	0.000000	134250.0
ROTATION(SKIK, M7, SPIEZA)	0.000000	0.000000
ROTATION(SKIK, M7, ISLE)	0.000000	16500.00
ROTATION(SKIK, M7, BARC)	0.000000	17250.00
ROTATION(SKIK, M7, CART)	0.000000	66000.00
ROTATION(SKIK, M7, HUEL)	17.00000	0.000000
ROTATION(SKIK, M7, SAGU)	0.000000	86250.00
ROTATION(SKIK, M7, BILB)	0.000000	134250.0
ROTATION(SKIK, M7, MARMA)	0.000000	0.000000
ROTATION(SKIK, M7, ALIAGA)	0.000000	16500.00
ROTATION(SKIK, M7, RIVA)	0.000000	0.000000
ROTATION(SKIK, M7, COVE)	0.000000	2460750.
ROTATION(SKIK, M7, LACK)	0.000000	2778750.
ROTATION(SKIK, M8, MONTOIR)	0.000000	134250.0
ROTATION(SKIK, M8, SPIEZA)	40.00000	0.000000
ROTATION(SKIK, M8, ISLE)	0.000000	16500.00
ROTATION(SKIK, M8, BARC)	0.000000	17250.00
ROTATION(SKIK, M8, CART)	0.000000	66000.00
ROTATION(SKIK, M8, HUEL)	0.000000	0.000000
ROTATION(SKIK, M8, SAGU)	0.000000	86250.00
ROTATION(SKIK, M8, BILB)	0.000000	134250.0
ROTATION(SKIK, M8, MARMA)	43.000	0.000000
ROTATION(SKIK, M8, ALIAGA)	0.000000	16500.00
ROTATION(SKIK, M8, RIVA)	15.00000	0.000000
ROTATION(SKIK, M8, COVE)	0.000000	2460750.
ROTATION(SKIK, M8, LACK)	0.000000	2778750.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] le Monde, La nouvelle ruée vers "l'or bleu", 5 Janvier 2006
- [2] CEDIGAZ *Panorama de l'industrie gazière en 2006*
- [3] Céline DELALANDRE "*Le MAINTIEN DE LA PAIX*" Bulletin N°80 Avril 2006
- [4] CNUCED : INFO COMM 2007
- [5] Manuel pour le transport et distribution du gaz : Association Technique de l'industrie du gaz en France"
- [6] ROYAL HASKONING "Projet de Terminal Méthanier du VERDON"
- [7] SERIGNE GUEYE, Optimisation de réseaux de transport, Université du Havre
- [8] KAUFMANN, Méthodes et Modèles de la Recherche Opérationnelle, Tome II
- [9] Alain Martel, Technique et applications de la Recherche Opérationnelle, 2^e édition

Documents de Sonatrach :

- [10] Brochure Transport Maritime Sonatrach Commercialisation May 2001
- [11] Sonatrach Gas marketing & international development
- [12] Rapports annuel de Sonatrach 2006 et 2007
- [13] Répartition des volumes selon les engagements contractuels « source Act. Aval PMT 2008/2012 »
- [14] Sonatrach "ENERGY MAP OF ALGERIA" Edition 2007

Sites Internet :

www.energieinfluence.info
www.unctad.org
www.planet-energie.com
www.sonatrach-dz.com
fr.wikipedia.org

CONCLUSION

Les entreprises du secteur de l'Énergie contrainte à s'adapter aux évolutions des progrès technologique et scientifique, sont résolues à rentabiliser les énormes capitaux engagés dans la réalisation et l'exploitation des infrastructures énergétiques.

Cet objectif capital pour l'économie du pays peut être concrétisé en généralisant les outils et méthodes fiables de la recherche opérationnelle

En nous inscrivant dans cette démarche, nous avons réalisé un modèle qui a permis l'optimisation de la chaîne de transport maritime de GNL vers les marchés européens et américains.

Les résultats obtenus sont très prometteurs méritent d'être portés à la connaissance des décideurs de la Direction Transport des Hydrocarbures afin de comparer les ordres de grandeurs des coûts actuels par rapport à ceux issus de nos diverses simulations.

Ce travail est une initiative pour aider les décideurs à prendre les décisions les mieux élaborées pour faire face à un environnement dynamique et complexe.

Cet environnement dynamique et complexe (fluctuations des prix, amenuisement des ressources) peuvent être pris en charge par le développement de modèles plus élaborés en introduisant de nouvelles contraintes.

- Notre modèle qui a été écrit sous forme matricielle est d'une grande souplesse, ce qui veut dire que nous pouvons introduire toutes sortes de nouvelles contraintes ou de variables sans changer la structure globale du programme.
- Nous pouvons ainsi utiliser ce programme pour l'exploitation de la chaîne de transport maritime de GNL (court terme) et comme outil de planification de moyen et long terme, intégrer la dimension temporaire (traité au chapitre IV).
- Notre modèle peut être étendu pour s'intégrer dans un projet de planification et de gestion stratégique du transport maritime GNL.
- L'analyse des résultats générés par le programme a permis de faire des diagnostics et de constater la sous utilisation, ou la sur exploitation des différents méthaniers de la flotte. En effet, certains d'entre-eux (à l'instar des méthaniers M2, M3 et M4) ont des frais d'exploitation trop élevés et ne sont pas rentables pour effectuer certaines rotations.

Ce modeste travail de recherche reste donc ouvert à d'importantes extensions qui peuvent être entreprises dans le cadre de recherches futures dans le domaine stratégique de la planification et de la gestion des rotations de la flotte.