



et populaire الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique

العلمي والبحث العالي التعليم وزارة



Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

بومرداس بوقرة أمحمد جامعة

Université M'hamed Bougara de Boumerdes

Faculté des Sciences

Département De Mathématique

Mémoire :

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master en Mathématique

Financière

Spécialité : Mathématique Financière

Thème :

**OPTIMISATION DANS LA GESTION DE  
PORTEFEUILLE  
CAS SONATRACH**

Présenté par :

- ZEMMOURI YASMINA
- SMARA FIFI

promotrice:

- MME GUEHEM ASSIA

Année universitaire 2020 / 2021

# Sommaire

Introduction Générale .....	1
Présentation de la société.....	5
<b>Chapitre 01 : Le cadre de la gestion de portefeuille .....</b>	
Introduction .....	20
<b>1-Évaluation des projets d'investissement. ....</b>	<b>20</b>
1.1 Définition d'investissement.....	20
1.2 Typologie des investissements .....	22
1.3 Définition de budget .....	23
1.4 Les critères d'évaluation des projets d'investissement .....	24
1.4.1 La Valeur Actuelle Nette VAN .....	24
1.4.2 L'Indice de Profitabilité IP .....	26
1.4.3 Le Taux de Rendement Interne TRI.....	27
1.4.4 Le Délai de Récupération DR.....	28
<b>2-Gestion de portefeuille de projets .....</b>	<b>28</b>
2.1 Qu'est-ce que la gestion de portefeuille. ....	28
2.2 Les caractéristiques de gestion de portefeuille .....	28
2.3 La mise en œuvre de la gestion de portefeuille .....	29
2.4 L'origine de la gestion de portefeuille.....	30
2.5 Définition du portefeuille .....	30
2.6 Définition du projet .....	31
2.7 Pourquoi utiliser la gestion de portefeuille.....	32
2.8 Les éléments de gestion de portefeuille.....	33
2.8.1 Le rendement d'un portefeuille .....	33
2.8.2 Le risque d'un portefeuille .....	34
2.8.3 La volatilité dans la mesure de risque .....	34
2.8.4 La variance de portefeuille .....	35
2.8.5 La diversification.....	35
2.8.6 Frontière efficiente .....	36
<b>3- l'analyse de risque et de gestion de portefeuille .....</b>	<b>37</b>

3.1 Mesure de risque d'un portefeuille .....	37
3.1.1 La variance .....	37
3. 1.2 La valeur à risque .....	38
3.1.3 La semi variance .....	39
<b>Chapitre 02 : Problème Combinatoire Multi Objectif Et Methode De</b>	
<b>Markowitz .....</b>	<b>43</b>
Introduction .....	43
<b>4. Optimisation combinatoire .....</b>	<b>43</b>
4. 1 Définition préliminaires.....	43
4. 1.1 Configuration valide et complète .....	44
4. 2 Notions sur la théorie de complexité.....	45
4. 2.1 Classe P.....	45
4. 2.2 Classe NP.....	46
4. 2.3 Classe NP - complet .....	46
4. 2.4 Classe de complexité .....	46
<b>5. optimisation combinatoire multi-objectif.....</b>	<b>47</b>
5.1 Les méthodes de résolution .....	51
5.1.1 Les méthodes exactes.....	51
5.1.1.1 La programmation linéaire.....	51
5.1.1.2 La programmation dynamique .....	52
5.1.1.3 La méthode des plans récents .....	52
5.1.1.4 Technique Séparation et Évaluation << Branch and Bound >> .....	52
5.1.2 Les méthodes de résolution approchées.....	53
5.1.2.1 Heuristique Constructives .....	54
5.1.2.2 Heuristique d'amélioration itérative (recherche locale) .....	54
<b>6. La théorie de markowitz.....</b>	<b>57</b>
6.1. La théorie moderne du portefeuille .....	58
6.2. Les Hypothèses Relatives aux Comportements des Investisseurs .....	59
6.3. Portefeuille de projets d'E&P: .....	61

6.3-1-Le fonctionnement du modèle pour l'ensemble de la procédure:.....	62
6.3.2 Modèles de calcul : .....	63
6.4 Analogie entre un portefeuille d'actions et un portefeuille de projets pétroliers	65
6.5 Type d'incertitudes.....	65
6.6. Mesures de risque .....	66
6.7. Effets budgétaires .....	67
6.8. Les risques dans l'activitéE&P et ses sources .....	67
<b>Chapitre 03 : Modélisation mathématique du problème</b> .....	
Introduction .....	70
Présentation du problème .....	70
<b>7. Modélisation mathématique</b> .....	72
7.1 Le processus d'évaluation : .....	72
7.2. Modélisation de portefeuille : .....	73
7.3 : Applications: .....	73
7-3-1- Analyse des résultats relatifs a chaque cas: .....	73
7-3-1-1-Cas 1 : Fonction objectif avec deux (2) contraintes .....	76
7-3-1-2-Cas 2 : Fonction objectif avec trois (3) contraintes .....	80
7-3-1-3-Cas 3 : Fonction objectif avec quatre (4) contraintes.....	84
7-3-1-4-Cas 4 : Fonction objectif avec cinq (5) contraintes.....	87
7-3-2-Analyse des résultats relatifs à chaque modèle : .....	87
7-3-2-1-Le modèle Max. (STD).....	91
7-3-2-2-Le modèle Max.U(S-STD) .....	91
7-3-2-3-Le modèle Min.R(STD) .....	92
7-3-3-Interprétation et analyse globale des résultats : .....	97

7.4. Résolution à l'aide du logiciel Microsoft Excel :.....	97
7.4.1. Le choix d'Excel.....	98
<b>Conclusion.....</b>	<b>100</b>
<b>Références.....</b>	<b>103</b>

## *Remerciements*

Nous tenons à exprimer toute nos gratitude envers notre promotrice M<sup>me</sup> GUEHAM Assia pour le soutien, l'aide et les conseils qu'elle nous a dispensé pour l'élaboration du présent mémoire de Master.

Nous remercions le président et les membres du jury qui nous feront l'honneur

De juger notre travail.

Nous remercions respectueusement les cadres SONATRACH

Et nous voudrions aussi remercier l'ensemble des enseignants de la faculté de sciences pour avoir veiller à notre formation.

Un grand merci tout spécial à nos famille, à nos parents qui qui nous ont permis de poursuivre nos études et à tous nos amis (es) qui n'ont cessé de nous soutenir et de nous encourager tout au long de nos années d'études.

# *Dédicac*

Je dédie les résultats de ce mémoire

A mes parents qui me sont très chers, qui m'ont toujours donné espoir dans cette vie et qui m'ont entouré de leur soutien et leur affection, que dieu me les garde ;

A mes sœurs : Yamina , Malak , Kamilia , a mes frères : Anis , Ghoulem , Allae , Nazim

A mon binôme ;

A tous mes amis de l'UMBB ;

A toute la promotion 2020\_2021 de mathématique financière ;

**SMARA.F**



# *Dédicac*

*Je dédie ce travail :*

*A mes très chers parents ma mère et mon père  
pour leur patience, leur amour, leur soutien, et leur  
Encouragement durant mes années d'étude*

*A mon frère: MEHDI*

*A Ma petite sœur :lilya*

*A tous qui m'ont encouragé à poursuivre mes études de  
master*

*A ma chère binôme*

*A toute ma famille*

*A tous mes amis*

**ZEMMOURI Y**

# **Introduction général**

## Introduction général

Le patrimoine énergétique de l'Algérie ou prédominant des hydrocarbures constitue le moteur de son développement économique.

En dehors des activités de transport, transformation et commercialisation des hydrocarbures, La SONATRACH s'occupe en premier lieu de l'exploration et de la production qui constitue ses activités de base.

L'investissement dans l'industrie pétrolière entraîne pour toute entreprise une décision de grande importance.

La décision financière occupe une place importante dans les tâches des décideurs tant en entreprise privée ou dans un département de gouvernement (projet public), Ces décideurs ou managers ont la responsabilité d'évaluation et de sélection des projets car ils ont plus de projets potentiels à réaliser qu'ils ont de ressources pour les effectuer, donc ils doivent sélectionner des projets parmi les nombreux projets proposés.

Ce qui à mener les entreprises pétrolières à adopter une gestion de portefeuille pour résoudre les problèmes de choix de projets.

L'échec d'une sélection de projets Conduits à deux conséquences :

La première quand les ressources sont dépensées pour des projets Dits <<pauvre>> cela conduit alors à ne pas pouvoir affecter des ressources pour un peu ou pas de gain, cela conduit alors à ne pas pouvoir affecter des ressources sur des produits marginaux qui aurait pu réussir, ou conduit à ne pas prendre en compte des projets nouveaux intéressants par manque de ressource.

Consacrer des ressources sur des projets pauvres non seulement fait perdre des ressources mais aussi les bénéfiques qui pourraient avoir été réalisés si les ressources avaient été mise sur de bons projets, la sélection des meilleurs projets devient à cause de ces implications une décision critique pour le responsable .

A l'instant des grandes compagnies pétrolières, SONATRACH, établit annuellement un plan d'investissement.

La conception de ces derniers consiste à sélectionner et choisir un certain nombre de projets à réaliser, inhérents aux activités de l'entreprise.

La difficulté d'une prise de décision réside, essentiellement, dans la multitude et la complexité des facteurs et mobiles d'appréciation qui interviennent intrinsèquement dans un tel processus.

Ainsi, la réalisation de nouveaux projets, inscrits dans le cadre du développement à moyen et à long termes, requiert l'utilisation d'importantes ressources financières ou le grand nombre de ces projets et l'importance de leurs coûts de réalisation.

### **Méthodologie de travail :**

Dans le présent travail, nous appliquons la théorie moderne du portefeuille qui a été initialement conçue, par M. Markowitz pour des projets d'investissement en pétrole et gaz, et notamment aux projets d'exploration-production. Pour cela, nous adoptons le plan suivant :

Initialement, nous parlons de sonatrach précisément sur l'activité de l'Exploration - Production pétrolières. Et nous exposons ses caractéristiques, ses étapes, ses risques, enfin ses coûts.

Quant au premier chapitre, nous le consacrons pour la présentation de la notion d'investissement et de l'ensemble des critères d'évaluation des projets et ces risques et de la gestion de portefeuille

Nous présenterons dans le deuxième chapitre les concepts de base de l'optimisation combinatoire, et rappel de quelques notions de problème d'optimisation multi objectif ainsi que les approches de résolution.

Nous conservons le troisième chapitre pour mettre en évidence la théorie de portefeuille financière en introduisant la notion d'un portefeuille d'E&P.

Afin de toucher à l'aspect pratique des méthodes d'optimisation, nous consacrons le quatrième chapitre, pour effectuer une étude de cas.

Nous avons à déterminer le portefeuille optimal à partir d'un ensemble (seize(16)) de projets d'E&P selon l'objectif tracé et les contraintes imposées. Pour cela on a utilisé des modèles d'optimisation d'un portefeuille que nous avons adaptés aux besoins de notre étude. Les modèles que nous avons retenus sont issus du modèle de Markowitz : le modèle de maximisation de la fonction d'utilité et le modèle de minimisation du risque par la variance et la semi-variance.

Les quatre (04) modèles qui en résultent sont calculés avec une fonction objective et un ensemble de contraintes qui nous donnent quatre cas. Le passage d'un cas à autre se

traduit par l'ajout d'une contrainte supplémentaire. :

Des comparaisons entre les différents résultats ont permis de choisir la variance comme mesure de risque au lieu de la semi-variance. Enfin, on achève notre travail par une conclusion.

# **Présentation de la société**

### **Présentation de la société :**

Au lendemain de l'indépendance, l'État Algérien a pris la décision de s'approprier ses richesses pétrolières et gazières, et de doter d'un instrument de développement réunissant toutes les conditions de sa souveraineté, par la création de la SONATRACH (Société Nationale de Transport et Commercialisation des Hydrocarbures).

Ceci a été le 31/12/1963 par le décret N 63/491 paru dans le journal officiel le 10/01/1964, et à la nature de ses activités, la SONATRACH est placée sous tutelle du ministère de l'énergie et des industries pétrochimiques, et régie par le droit commercial Algérien.

En 1965, La SONATRACH a pu réaliser son premier défi qui était de concevoir et de poser le premier pipeline Algérien reliant le champ de HAUD EL HAMAR -ARZEW d'un diamètre de 28 pouces et d'une longueur de 810 Km;

Le 22 Septembre 1966, par le décret N 66/296, le gouvernement définit ainsi la nouvelle mission de SONATRACH d'une manière à élargir son domaine d'activité en industrie pétrolière, à savoir la recherche, la production, la transformation la commercialisation et le transport des hydrocarbures, en prenant des participations dans les concessions détenues par certaines sociétés étrangères telle que : ESSO, SHELL, SINCLAIR, MOBIL, ELF... etc.;

Le 24 février 1971, la SONATRACH a connu la plus grande et la plus importante transformation de son histoire, elle s'est vue confier la tâche de gérer et développer toutes les branches de l'industrie pétrolière et gazière algérienne après que le gouvernement a décidé la nationalisation des hydrocarbures;

En 1980, SONATRACH gérait 10 du pétrole et du gaz algériens;

En 1981; après sa restructuration, dix -sept nouvelles entreprises nationales ont vu le jour, dont : ASMIDAL, ANIP, EMPC, ENAFOR, NAFTAL, NAFTEC, KNPC...etc.;

En 1984, la SONATRACH a été immatriculée au registre de commerce sous le N 84B438;

En 1998, la SONATRACH s'est transformée en une société par actions (SPA), régie par la législation en vigueur sous réserve des dispositions des présents statuts, et en 1999, elle a lancé un emprunt obligataire au niveau de la bourse d'Alger ;

En 2001, le PDG de la SONATRACH a procédé à la signature de la décision définissant le schéma d'organisation de la macro structure de l'entreprise qui a connu un réaménagement le 30/01/2006 pour adapter et actualiser la mise en œuvre des missions;

Aujourd'hui la SONATRACH est la compagnie Algérienne de Recherche, d'Exploitation, de Transport par Canalisation des Hydrocarbures et leurs dérivés. Elle intervient également dans d'autres secteurs tels que la génération électrique, les énergies nouvelles et renouvelables et le dessalement d'eau de mer. Elle exerce ses activités en Algérie et partout dans le monde où des opportunités se présentent, elle est déjà présente dans plusieurs pays dans l'amont et l'aval, en Espagne, au Pérou, en Libye, en Afrique. Avec près de 120000 travailleurs, SONATRACH compte à ce jour 16 filiales nationales 24 filiales internationales dans l'exploitation, le raffinage, la commercialisation, le stockage, les services aux puits, etc.

Grâce à ces efforts fournis, la SONATRACH classé en 2013 :

- Première compagnie gazière en Méditerranée;
- 2eme exportateur de GNL dans le monde;
- 3eme exportateur du gaz naturel dans le monde;
- 12eme compagnie énergétique dans le monde.

### **1-Les principales missions de la SONATRACH**

Vu son rôle moteur dans la dynamique du développement de l'économie du pays, tant en Algérie qu'à l'étranger\*, SONATRACH assure :

- La prospection, la recherche et l'exploitation hydrocarbures;
- L'exécution au développement des gisements de pétrole et de gaz naturel;
- Contribution au développement national par la maximisation de la valeur à long terme des ressources hydrocarbures en Algérie;
- la construction et l'exploitation industrielle et commerciale de tous les moyens de transport des hydrocarbures par : voie terrestre, canalisation, voie maritime;

- Le traitement et la transformation des hydrocarbures et des produits dérivés, ainsi que leurs approvisionnements sur le marché national et international;
- La transformation, le raffinage et la commercialisation des hydrocarbures;
- La prise et la détention de tous portefeuilles d'actions, les prises de participations et autres valeurs mobilières dans toutes les sociétés existantes ou à créer en Algérie ou à l'étranger;
- La diversification des marchés et des produits à l'exploration;
- Le développement des techniques modernes de gestion par la formation de ses cadres;
- L'approvisionnement de l'Algérie en hydrocarbures à court, moyen et long terme.

### **2-Les objectifs de la SONATRACH :**

La SONATRACH vise des objectifs, on va citer quelques-uns :

- Le développement international et le partenariat.
- La diversification de son portefeuille d'activité.
- La maîtrise continue de ses métiers de base.
- Le renforcement de ses capacités technologiques.
- La promotion et la valorisation de toute autre forme et source d'énergie.

### **3-Organisation de la macrostructure de l'entreprise SONATRACH :**

Le 06 mars 2012, la macrostructure de l'entreprise SONATRACH est constituée d'une direction générale, de quatre Activités Opérationnelles et onze Directions Fonctionnelles :

#### **Les Activités Opérationnelles :**

-L'activité Amont (AMT) (qui récupère la DCG AST) : L'activité Amont est chargée de la recherche, de l'exploitation et de la production des hydrocarbures. Elle a également pour mission de développement des gisements découverts, l'amélioration du taux de récupération et la mise à jour des réserves. L'activité Amont intègre dans sa stratégie opérationnelle des filiales qui lui sont rattachées à travers le holding services para pétroliers(SPP).

-L'activité Aval (AVL) (qui récupère la DCG PEC) :L'activité Aval est chargée du développement et l'exploitation de l'industrie du raffinage de pétrole brut et de la transformation du gaz naturel. Elle réunit cinq métiers majeurs : la liquéfaction naturel, la séparation des GPL, le raffinage, la pétrochimie, la production du gaz industriels (hélium et azote essentiellement). Elle intègre par ailleurs les filiales du holding Raffinage et Chimie des Hydrocarbures (RCH Holding).

-L'activité Transport Par Canalisation (TRC) :l'activité de transport par canalisation est chargée de développement, la gestion et exploitation du réseau de transport par canalisation, le stockage et le chargement des hydrocarbures au niveau des terminaux maritimes. Elle intègre dans sa stratégie opérationnelle des filiales qui lui sont rattachées à travers le holding SONATRACH investissements et participation (SIP).

-L'activité commercialisation (COM) :l'activité commercialisation est chargée du management des opérations de ventes des hydrocarbures sur les marchés national et international ainsi que du shipping. Elle intègre les filiales du holding SVH (Société de Valorisation des Hydrocarbures).

### **Les Directions Fonctionnelles :**

-Stratégie, Planification et Économie (SPE)

-Finance (FIN);

-Ressources Humaines(RHU)

-Filiales et Participations (FIP);

-Juridique (JUR) ;

-Marché et Logistique (MAC) : la direction MAC redéfinie en une direction d'achat et management de la chaine logistique;

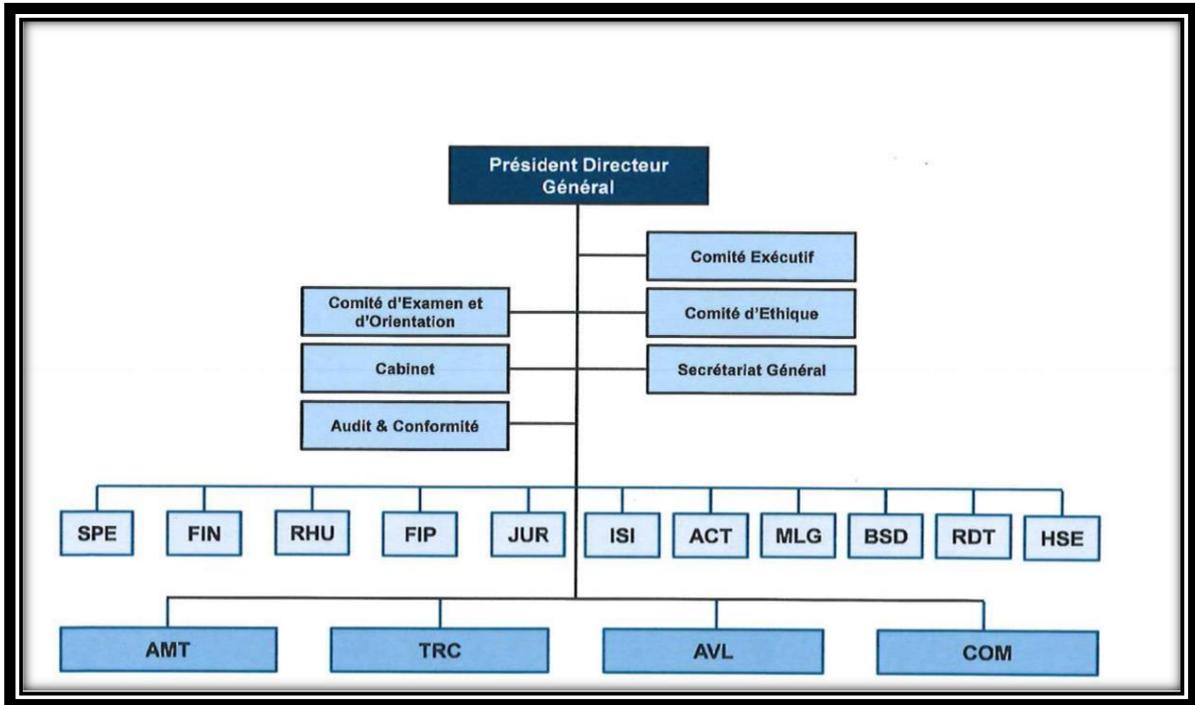
-Informatique & Système d'information (ISI) ;

-Santé, sécurité& environnement (HSE) ;

-Activités Centrales (ACT) ;

-Business Développement (BSD) : nouvelle direction chargée de détecter les opportunités de croissance, d'évaluer et de lancer des nouveaux projets dans les activités de base de l'entreprise ;

-Recherche & Développement (RDT) : nouvelle direction chargée de promouvoir et de mettre en œuvre la recherche appliquée et de développer des technologies dans les métiers de base de l'entreprise.



#### 4- Organigramme de l'activité Exploration – Production Pôle Exploration et Développement

Le Pôle Exploration et Développement a pour missions essentielles :

- La participation à l'élaboration et la mise en œuvre de la stratégie de la société en matière d'exploration ;
- La définition de la politique générale de la gestion, la planification et la programmation des opérations de forage ;
- La conception et la définition des plans de développement et d'exploitation des gisements, la préparation des programmes y afférents ainsi que la définition des options de développement de chaque champ ;
- La déclinaison de la stratégie et des politiques de SONATRACH relatives aux activités en association ainsi que la gestion des contrats d'Associations dans l'amont pétrolier et gazier en Algérie.

Le Pôle Exploration et Développement est composé de:

- Une Division Exploration ;
- Une Division Forage ;
- Une Division Pétroleur Engineering et Développement ;
- Une Division Associations ;
- Une Direction Projet Développement HMD et Périphéries ;
- Une Direction Projet Développement Sud -Ouest ;
- Une Direction Projet Stimulation et Évaluation des Puits d'Exploration ;
- Une Direction Projet Ressources Non Conventionnelles ;
- Un Coordonnateur SIE ;
- Des Assistants
- 

### **-La Division Exploration est organisée comme suit :**

- Une Direction Assets Est;
- Une Direction Assets Centre ;
- Une Direction Assets Ouest ;
- Une Direction Assets Nord ;
- Une Direction des Opérations d'Exploration ;
- Une Direction Data Management ;
- Une Direction Planification ;
- Une Direction Finances ;
- Une Direction Gestion Personnel ;
- Une Direction Logistique ;
- Un Département Juridique ;

Assets en Partenariat ;

- Une Direction Études et Synthèse:
- Une Direction
- Un Département HSE;
- Un Assistant SûretéInterne

### **5- La Division Exploration (EXP)**

C'est la première étape du processus de l'activité pétrolière, elle est un ensemble d'opérations préliminaires à l'exploitation dont le but est la découverte d'accumulation d'hydrocarbures liquides et gazeux éventuellement solide, techniquement et

économiquement exploitable. L'exploration constitue une phase particulière caractérisée par une prise de risque.

### **5.1 Présentation de la division Exploration Historique**

Créée en 1972, la direction est organisée sur la base de :

.La décision A -001 du 08 /08/ 1970 portant sur l'organisation générale de SONATRACH;

.La décision A -026 du 04/03/1972 portant sur l'organisation de Direction des hydrocarbures;

.La décision A -031 du 20/07/1972 portant sur l'organisation de la Direction Exploration;

Suite à l'organisation de SONATRACH en date de 04/04/1987, la direction Exploration est élevée au rang de la division, et son organigramme a été mis en place par la décision A -0-364 du 18/06/1988.

#### **La Division Exploration a pour missions essentielles :**

- La conduite et le développement des activités de prospection et de recherche des Hydrocarbures ;
  - La participation avec les autres Divisions aux appels d'offres d'exploration en Algérie et à l'étranger;
  - La participation à l'évaluation des offres de partenariat sur des projets d'exploration en Algérie et à l'étranger ;
  - La mise en œuvre de la stratégie de la Société en matière d'exploration ;
  - La préparation, l'établissement et la recommandation des programmes techniques D'exploration et leur suivi ;
- Le développement et la conduite des travaux d'analyse en matière de géologie et de Géophysique ;
- La gestion et le suivi des contrats en effort propre et en association ;
  - Le développement d'expertise dans le domaine de l'exploration.

### **5.2 - Direction Étude et Planification**

La direction Étude et Planification est organisé comme suit :

1. La direction Planification.
2. La direction Étude Économiques et statistiques.

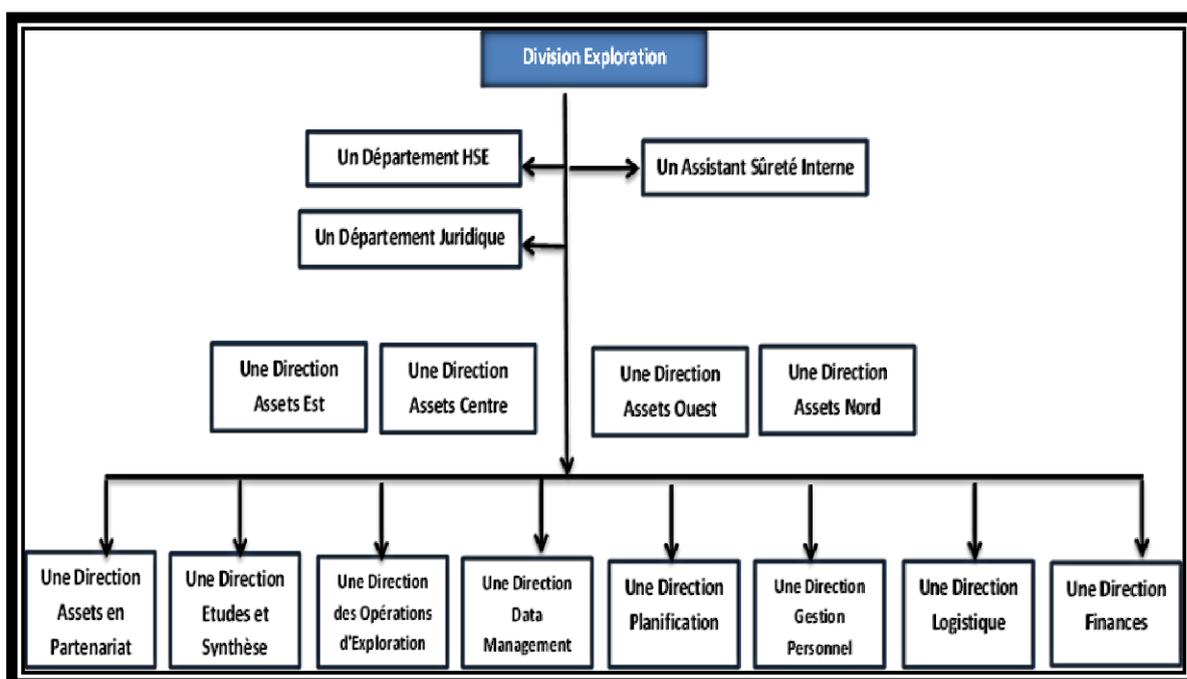
#### **La Direction Planification a pour missions :**

- La mise en œuvre des orientations stratégiques et directives arrêtées par le management en Matière d'élaboration des plans et budgets ;

- L'élaboration des projets de plans à court et moyen termes en collaboration avec les structures concernées et leur diffusion au sein de la Division ;
- L'analyse et l'évaluation des programmes d'activités et des budgets proposés ;
- Le suivi de la réalisation des plans et budgets arrêtés ;
- L'établissement des bilans d'exécution des plans ;
- La réalisation de toute évaluation technico-économique des projets d'exploration et Asset\*, en effort propre de SONATRACH;
- La consolidation et le reporting requis par le management et par les autorités compétentes conformément au nouveau cadre législatif.\*

### **La direction Étude Économiques et statistiques a pour missions :**

- La réalisation et la diffusion des études statistiques à caractère analytique descriptif pouvant contribuer à la rationalisation des décisions.
- La réalisation des études technico-économiques des projets d'investissement de la Division Production.
- L'évaluation financière des projets (cout, financement, chiffre d'affaires, consommation et les charges).
- L'analyse et le calcul de rentabilité des projets d'investissement (rendement des capitaux investis).
- La consolidation des statistiques relatives aux activités de la Division Production.



### **6. Généralités sur l'exploration –production pétrolière :**

L'industrie pétrolière évolue dans un environnement mondial turbulent, elle se définit par son caractère très capitalistique et risqué. Une étude économique rigoureuse doit être alors effectuée avant d'entreprendre tout projet pétrolier.

Un projet Exploration et production s'étale sur toutes les activités techniques nécessaire à la recherche et à l'exploitation des gisements. Il constitue alors le maillon essentiel dans la chaîne pétrolière.

### **6.1 Caractéristiques de l'activité exploration et Production :**

- . Le caractère international avec accès aux réserves régies par la réglementation du pays prospecté;
- . Un risque élevé (un puits d'exploration sur 3 à 5);
- . Elle est très capitalistique en couvrant plus de 60 pourcent des investissements de toute industrie pétrolière et gazière;
- . La rentabilité à long terme : la découverte et production s'étale sur plusieurs années, et les profils de production soient d'une durée supérieure à 10/15 années;
- . Elle est exposée aux événements politiques.

### **6.2 Les étapes de l'activité Exploration et production :**

On résume l'activité exploration et production comme suit :

#### **6.2.1 La phase –Exploration- :**

##### a- But :

C'est la première phase effectuée dans l'industrie pétrolière dont l'objectif est la définition des endroits susceptibles de contenir des hydrocarbures grâce à des éléments (ou des informations) collectés par les géologues et les géophysiciens.

Cette phase est sanctionnée par la trace des cartes sismiques reflétant l'évolution des couches dans le sous-sol.

Plusieurs formes peuvent y être rencontrées :

-Un lead : une simple fermeture, plus ou moins réelle, qui ne confirme pas la présence d'un piège. De nouvelles campagnes sismiques détaillées sont alors nécessaires pour obtenir des résultats fiables.

-Un prospect : c'est un lead confirmé avec une probabilité plus ou moins optimiste. Ce qui ouvre la voie à la découverte. Le risque est autant plus réduit que la probabilité de découverte est importante.

- Une structure : un lead devient une structure après avoir fait l'objet d'une présentation d'une implantation ou d'un forage.
  - Un gisement : au cas où la structure s'avère positive, elle est appelée un gisement .Celui - ci peut être constitué d'un ou de plusieurs réservoirs superposés ou proches latéralement.
  - Un champ : il est constitué par plusieurs couches.
- b- Les méthodes d'exploration :

### b-1. Méthodes géologiques :

On distingue plusieurs disciplines : la tectonique, la paléontologie, la stratigraphie, la pétrographie, sédimentologie...etc.

Les études géologiques sont dictées par le degré de connaissance du bassin sédimentaire.

Plus le site est exploré, plus est affinée la prospection.

### b-2. Méthode géophysiques :

Comme les informations sont collectées par les méthodes géologiques ne concernent que la surface du terrain, elles sont alors complétées par d'autres techniques relatives à la subsurface. Et ce, par le biais des méthodes géophysiques, on revient essentiellement :(la magnétométrie, la gravimétrie, les méthodes électriques et les méthodes sismiques).

## 6.2.2 La phase –Production- :

### a- Le forage :

Les informations géologiques et géographiques évaluent globalement l'intérêt d'un prospectent sans pour autant confirmer la présence d'un gisement. Seul l'accès direct au sous-sol via le forage permet de se prononcer sur l'existence du gisement.

Pour extraire le pétrole que ça soit sur terre (exploration onshore), ou en mer (exploration offshore) un processus de forage est nécessaire.

Pour parvenir aux réservoirs susceptibles de contenir du pétrole, ils usent de différentes techniques de forage qui ont évolué en fonction de la demande du pétrole. La plus répandue est celle du forage Rotary. Cette méthode consiste à utiliser des trépan à dents type tricônes ou des trépan monoblocs comme les outils diamant ou PDC. Sur lesquels on applique une force procurée par un poids tout en les entraînant en rotation. L'avantage de cette technique est de pouvoir injecter en continu un fluide au niveau de l'outil destructif de la formation pour emporter les débris hors du trou grâce au courant ascensionnel de ce fluide vers la surface.

### b- Les diagraphies :

Ce sont des enregistrements en profondeur des paramètres physiques relatifs aux couches traversées par le forage. Qui sont (les diagraphies instantanées (mud-loggings) et les diagraphies différées).

### **c- Le développement :**

Une fois une découverte est mise en évidence par la phase d'exploration, on passe à la délimitation et l'appréciation du gisement.

A ce stade, sous les moyens nécessaires (études et travaux relatifs au gisement en question) sont regroupés afin de se prononcer sur la commercialisation de la découverte en tenant compte d'une valorisation précise des réserves en place et des conditions de production.

Alors, dans ce contexte, les études techniques et économiques sont indispensables. Et la décision de développement appartient aux ingénieurs de 3G : géologie, géophysiques et gisement.

Les études techniques s'occupent de mode de récupération, des méthodes de drainage, du nombre et de placement des puits...etc. Ce sont ces facteurs qui déterminent le volume d'hydrocarbures récupérables. Quant aux études économiques, elles prennent en considération le contexte économique général (prix, fiscalité, ...etc.) et celui de l'entreprise (disponibilités financières).

Lorsque la décision de mettre en production est arrêtée, un commerce pour développer le champ. Et ce, en forant des puits de production et en préparant des installations d'exploitation du gisement et des équipements de traitement et d'évacuation des hydrocarbures.

### **d- La production :**

Lorsque un gisement est découvert et une décision de mettre en production est envisagée, de nouveaux puits sont forés et les puits déjà forés peuvent être équipés pour être transformés en puits producteurs ou puits injecteurs.

Quand le gisement ne présente pas suffisamment d'énergie pour remonter le pétrole en quantité suffisantes depuis le fond jusqu' aux installations de surface, on va recourir à des méthodes d'activation de type injection de gaz (Gaz lift) ou de pompage.

A cause des forces capillaires dans le réservoir, les hydrocarbures présents au fond d'un gisement ne sont jamais récupérés en totalité (80 -90 pourcent pour le gaz contre 30-40 pourcent pour le pétrole).

La production est effectuée suivant un profil de production bien adapté caractérisé par : un build-up (une montée en puissance), un plateau s'étalant sur une durée de quelques mois à

2-3 ans (voire plus pour les grands gisements) et un déclin jusqu' à la fin de la vie de gisement, la récupération primaire moyenne varie entre 25 et 30 pourcent.

Généralement, les méthodes de récupération primaire ne se permettent pas d'extraire des quantités suffisantes de pétrole. A cet effet, on fera recours à la récupération secondaire basée sur le maintien de pression de gisement assurant un déplacement meilleur d'huile. Donc, une récupération améliorée (40 -60 pourcent).

Enfin, la récupération tertiaire fondée sur des procédés chimiques ou thermiques dont la finalité est la réduction des forces capillaires par l'obtention de la miscibilité des fluides ou par l'amélioration de leur mobilité. Elle peut apporter une récupération additionnelle de 5 à 10 pourcent de l'huile en place.

### **6.3 Les risques en Exploration-Production pétrolière :**

#### **6.3.1 -Définition :**

L'exploitation pétrolière est une activité à forte intensité en capital dont le niveau de risque est élevé. Le risque est défini comme étant la possibilité qu'un fait ayant des conséquences non souhaitables se produise.

Le risque est défini aussi comme étant la possibilité qu'un projet ne se déroule pas conformément aux prévisions.

Les écarts qui peuvent survenir dans les coûts, par exemple, ou les dates d'achèvement par rapport aux prévisions étant considérés comme inacceptables.

#### **6.3.2- Types de risques :**

##### **1- Le risque géologique :**

C'est le risque inhérent à la nature du sous-sol, c'est-à-dire à la disposition des couches souterraines. C'est possible que les études géologiques et géophysiques s'entendent sur l'existence des hydrocarbures et qu'après le forage on ne trouve rien, on évoque dans ce cadre, l'aspect aléatoire caractérisant l'existence des hydrocarbures dans le site prospecté.

Dans le cas d'un puits positif, il reste à savoir si le volume d'accumulation d'hydrocarbures est suffisant pour que son exploitation soit économiquement rentable. Un autre facteur qui s'inscrit dans la même logique du risque géologique est la nature des hydrocarbures en place (huile, gaz ou condensat) et leur qualité (léger ou lourd ; gaz humide ou sec) ; c'est la nature qui détermine le prix de ces produits sur le marché.

### **2- Le risque économique :**

L'évaluation de la rentabilité des projets d'investissement repose essentiellement sur le prix de vente du pétrole, c'est le facteur déterminant les recettes procurées par l'exploitation du gisement.

Comme le prix est sujet à plusieurs facteurs, il n'est pas déterminé seulement par la simple superposition de l'offre et de la demande mais également par la prise en considération des paramètres politico-économiques (choc pétrolier...). D'où la difficulté de l'estimer d'une manière déterministe.

A cela s'ajoute le risque d'évaluation des investissements et des frais opératoires. Cette évaluation se trouve biaisée par l'inflation.

### **3- Le risque pays :**

Ce risque est d'ordre politique. Il englobe les éléments suivant :

- Risque de souveraineté : l'existence d'une loi claire et bien déterminée.  
Stabilité politique et fiscale (changement de régime, décision de nationalisation...etc.) ;
- Nature des relations internationales.

### **4- Le risque associé :**

C'est le risque relatif au partenaire choisi en fonction de ses compétences pour l'accomplissement des tâches. Parfois, on se trouve face à des situations où les envergures technologiques et financières sont limitées. Ce qui joue à la défaveur de la rentabilité du projet.

### **5- Le risque du marché :**

En ce qui concerne le pétrole, le risque de marché est pratiquement inexistant, car le pétrole est un produit qui se vend relativement très bien sur le marché et quel que soit son prix. Mais ce n'est pas le cas pour le gaz, où le risque du marché est tout à fait réel, du fait de la nature du produit qui pose des problèmes de transport.

### **6- Le risque de charge :**

Si la valeur du dollar US augmente par rapport aux devises de référence, cela favorise le secteur pétrolier (une hausse de 5p. 100 du dollar US a le même effet qu'une hausse du brut de 1 dollar le baril).

### **6.4- Évaluation des risques :**

Les géologues évaluent les risques à base des probabilités des différents événements supposés statiquement indépendants. La probabilité d'une découverte est alors calculée selon la formule suivante :  $PT=P1+P2+P3+P4$

Avec P1, P2, P3 et P4 les probabilités correspondantes respectivement à la présence d'une roche mère, d'une migration. Dun réservoir et d'un piège.

### **6.5- Analyse du risque en Exploration :**

L'exploration pétrolière est une activité qui s'inscrit dans le contexte d'incertitude.

Les décisions sont alors entrainés d'analyser le risque en étudiant la probabilité d'indice de chaque paramètre sur la décision. Cette analyse se compose de 03 phases, qui sont :

#### **a- La phase d'identification :**

Il s'agit d'identifier les différents paramètres économiques et les paramètres de risque influençant l'évaluation du prospect des décisions adéquates.

#### **b- La phase d'analyse :**

On analyse en détail les décisions, qui découlent des divers facteurs, en fonction de la richesse créée et du risque. On distingue les étapes suivantes :

##### **b-1- Analyse de sensibilité :**

C'est une analyse tenant compte du risque inhérent aux paramètres. On étudie la sensibilité d'un critère choisi aux paramètres du modèle en les faisant varier dans un intervalle de valeurs possibles.

Dans le cas des projets Exploration et Production, ces paramètres sont : le volume des hydrocarbures, les propriétés géologiques et physiques du gisement, les coûts des opérations pétrolières, les prix des hydrocarbures...etc. Cette étape permet alors de déterminer les éléments à force influence sur les résultats d'évaluation.

##### **b-2- L'approche probabilisable :**

A travers cette approche, on attribue à tous les paramètres leurs distributions de probabilités correspondantes. Le risque est alors bien caractérisé.

#### **c- La phase d'interprétation :**

Les résultats sont regroupés afin d'effectuer leur interprétation. A ce niveau deux types d'études peuvent être faite :

- Étude individuelle pour chaque projet.
- Étude globale de l'ensemble de projet.

**Chapitre 01 :**  
**Le cadre de la gestion de**  
**portefeuille**

## **Introduction**

Dans ce chapitre, nous consacrons la première partie pour présenter la notion d'investissements et l'ensemble des critères d'évaluation des projets, par la suite nous présentons les concepts de base de la gestion de portefeuille de projets et en fin, l'analyse de gestion de portefeuille.

## **I-Évaluation des projets d'investissement**

### **1.1-Définition d'investissement**

Investir revient à engager de l'argent dans un projet, en renonçant à une consommation immédiate et en acceptant un certain risque pour accroître ses revenus futurs, donc c'est une opération par laquelle une entreprise achète des moyens de production en vue de son exploitation pour en tirer un revenu.

L'investissement représente pour l'entreprise une dépense importante qui nécessite souvent des financements extérieurs.

Au sens de la comptabilité, l'investissement oblige les entreprises à pratiquer l'amortissement. Au sens plus courant, l'investissement est synonyme de placement (investir en achetant des titres à la bourse).

### **1.2-Typologie des investissements**

La définition d'une typologie des investissements n'est pas aisée, la problématique de l'investissement étant différente selon le secteur, la taille, la structure et la stratégie de l'entreprise.

Il est intéressant de les classer par grandes catégories :

**1-2-1 Selon leur nature** : Le premier critère de classement s'inspire de la comptabilité et se base sur la nature des actifs investis.

#### **1. Les investissements corporels**

Il correspondent à l'achat ou à la construction de biens d'équipements physiques, industriels ou commerciaux, ils permettent de renouveler le matériel vétuste ou obsolète ou aussi d'accroître le potentiel d'activité de l'entreprise, que ça soit dans les secteurs où elle opère traditionnellement ou dans de nouveaux secteurs.

**2. Les investissements incorporels ou immatériels**

Qui correspondent à l'acquisition de connaissances et/ou d'actifs incorporels (intellectuels) : achat de brevets et licences; réalisation des travaux de recherches scientifiques, action de formation du personnel ...etc.

**3. Les actifs financiers**

Ils sont sous forme de prêt à long et à court terme ou des titres de participation.

**1-2-2 Selon leurs objectifs** : Le second critère de classement s'appuie sur la stratégie de la firme et sur la validité du projet considéré.

**1. Investissements de remplacement (renouvellement)** : Ils ont pour objet le maintien d'un potentiel de production et de distribution. Ils contribuent à la continuité de l'activité de l'entreprise en assurant un renouvellement à l'identique de la capacité de production.

**2. Investissements de capacité (expansion)** : Ils contribuent à la croissance de l'entreprise lorsque celle-ci désire accroître ses parts de marchés.

**3. Investissements de productivité (modernisation)** : Ils permettent de faire des économies dans le processus de production visant à réduire les coûts ou à améliorer les produits existants.

**4. Investissements de diversification (innovation)**: Ils correspondent au développement d'activités nouvelles en liaison avec le lancement de nouveaux produits et la création de nouvelles marches.

**5. Investissements stratégiques** : Destinés à créer les conditions les plus favorables pour assurer l'avenir de l'entreprise. Ils ont comme but la réduction des risques résultants du progrès technique et de la concurrence.

**6. Investissements obligatoires** : Imposés par une réglementation d'ordre public. Ils peuvent concerner l'hygiène, la sécurité, et la lutte anti-pollution...etc.

### 1-2-3 Selon le critère risque

Cette classification permet d'attirer l'attention sur les différents niveaux de risques pouvant caractériser tel ou tel type d'investissement.

Les investissements de remplacement et ceux de modernisation comprennent peu de risque. En effet, pour les premiers, les caractéristiques et les effets sont connus et auront pour but de maintenir l'entreprise dans son état actuel. Les seconds dont l'effet est un progrès de productivité, serviront à produire plus avec un montant de consommation donné ou on consomme moins pour un volume de production donné.

Les investissements de capacité et ceux d'innovation sont les plus risqués ; Car ils sont destinés à modifier l'état actuel de l'entreprise, Ces investissements font passer l'entreprise du connu à l'inconnu, du présent sécurisant au futur incertain. [1]

#### 1.3-Définition de budget :

a). C'est un plan des activités futures d'une organisation. Il est exprimé principalement en termes financiers, mais il incorpore souvent beaucoup de mesures quantitatives non financières. [2/a]

b). Prévisions chiffrées de tous les éléments correspondant à une hypothèse d'exploitation donnée pour une période déterminée. [2/b]

c). Le budget peut être défini comme un plan annuel des activités futures établi sur la base d'hypothèses d'exploitation. Il est exprimé principalement en termes financiers (prévisions), mais il incorpore souvent beaucoup de mesures quantitatives non financières. [2/c]

#### -Caractéristiques d'un projet d'investissement :

Un projet d'investissement se caractérise par :

- . Une idée, une opportunité détectée ou un besoin.
- . Un facteur de risque, inhérent à tout projet d'investissement.
- . Le choix de l'investissement matériel et/ ou immatériel en lui-même.
- . Des dépenses d'exploitation à évaluer : coût des matières premières, personnel concerné, prestation de maintenance, etc.

. Le temps nécessaire à sa réalisation, afin d'évaluer la rentabilité du projet dans un délai donné.

. L'évaluation des résultats (ou recettes d'exploitation), qui doit être conforme aux prévisions.

Remarque :

L'évaluation d'un investissement permet à l'entreprise de voir si le projet étudié est rentable, et s'il est opportun à le réaliser. Par contre si l'entreprise hésite entre plusieurs projets, l'évaluation de chacun d'eux lui permet de choisir celui qui est le plus rentable.

Dans notre cas d'étude, on suppose que les projets :

-Indépendants : c'est à dire l'acceptation de l'un n'a aucun effet sur la rentabilité de l'autre, En d autre terme, les cash-flows de l'un ne sont pas modifiés par le fait que le second sera ou ne sera pas réaliser.

-Mutuellement exclusifs : c'est à dire l'acceptation de l'un n'a aucun entraine automatique sur le rejet de l'autre. [3]

#### 1.4- Les critères d'évaluation des projets d'investissement :

Critères	Caractéristiques
<b>VAN</b>	. Mesure l'avantage absolu d'un projet . Ne permet pas de comparer des projets avec des capitaux investis différents.
<b>IP</b>	. Mesure de l'avantage relatif d'un projet . Convient aux projets avec des capitaux investis différents
<b>TRI</b>	. Mesure la rentabilité globale d'un projet
<b>DR</b>	. Permet de considérer le risque d'un projet . Favoriser le risque au détriment de la rentabilité

### 1.4.1 La valeur actuelle nette (VAN) (4)

Cette technique qui s'applique tant à l'investissement physique qu'aux placements financiers n'est qu'un indicateur qui permet de prendre la décision quant à la rentabilité ou pas d'un projet d'investissement. Le fonctionnement de la valeur actuelle nette consiste à comparer le gain d'un projet à son investissement initial. L'équation fondamentale de la valeur actuelle nette s'écrit comme suit :

$$VAN = - I_0 - CF_1 / (1+r) + CF_2 / (1+r)^2 + CF_3 / (1+r)^3 + \dots + CF_n / (1+r)^n$$

$$\text{D'où: } VAN = \sum CF_i / (1+r)^t - I_0$$

Avec :  $t = 1, \dots, n$

$CF_i$  : Flux monétaire

$r$  : le cout du capital, qui incorpore la prime de risque du projet ;

$I_i$  : l'investissement initial réalisé au temps 0.

#### 1.4.1.1. Critères de sélection des projets

Tel le souligne Harberger (1976), toutes les formes d'investissement devront être choisies selon le critère de la VAN pour pouvoir déterminer leur faisabilité. Pour qu'un projet d'investissement soit acceptable, sa VAN doit être strictement positif. Dans le cas où la VAN du projet est négative, c'est-à-dire que la valeur actualisée des bénéfices est inférieure à la valeur actualisée des coûts, le projet doit être rejeté. Ce projet est d'autant plus intéressant lorsque sa VAN est élevée. Entre plusieurs projets, on choisit celui qui possède la plus forte valeur actuelle nette. Ainsi, les investissements à VAN positive permettent de :

- Rembourser le capital initialement investi ( $I_0$ )
- Rémunérer les capitaux aux taux d'actualisation retenu ( $r$ )
- Dégager un surplus (égal à la VAN), contribuant à l'accroissement de la richesse des actionnaires.

#### 1.4.2 L'indice de profitabilité (IP)

La valeur actuelle nette fournit une valeur absolue, elle mesure l'avantage absolu susceptible d'être retiré d'un projet d'investissement. L'indice de profitabilité quant à lui, mesure l'avantage relatif, c'est-à-dire pour une unité monétaire de capital investi.

**1.4.2.1. Définition de l'IP**

L'indice de profitabilité ou de rentabilité mesure le nombre de fois que l'on récupère en recette le montant de l'investissement effectué. Il mesure donc l'efficacité du capital investi et permet de comparer des investissements de montant différents. L'indice de rentabilité est le rapport entre le cumul actualisé des flux de trésorerie et le capital investi.

La formule de l'indice de profitabilité est donc la suivante :

$$IP = \frac{\sum_{i=1}^n CF_i(1+t)^{-i}}{I}$$

**Avec :**

I: le montant de l'investissement

CF<sub>i</sub>: le montant des flux de trésorerie

r : le taux d'actualisation

Plus le nombre des cash-flows positifs futurs est important, plus l'indice de profitabilité de l'investissement sera élevé

**1.4.2.2 Critères de sélection des projets**

Selon ce critère, La règle de rentabilité et d'acceptabilité des projets d'investissement est comme suit :

Lorsque il est supérieur à 1, l'indice de profitabilité indique un investissement rentable financièrement, créateur de valeur.

Inversement, un indice de profitabilité inférieur à 1 indique un investissement financièrement non rentable, destructeur de valeur.

Dans le cas d'une multitude de projets, l'indice de profitabilité sert à établir une comparaison entre les différents projets d'investissement et à sélectionner celui qui maximise la création de valeur par unité monétaire investie. C'est-à-dire celui dont l'indice de profitabilité est le plus élevé.

### 1.4.3 Le Taux de rendement interne (TRI)

Le taux de rendement interne (TRI) est un autre critère couramment utilisé, il est un indicateur important qui permet de mesurer la pertinence d'un projet. Il consiste à déterminer le rendement fourni par l'investissement initial en considérant les flux monétaires que le projet génère.

Comme le mentionne Ross et Al (1999), dans la pratique traditionnelle de l'analyse coûts - bénéfiques, on calcule le taux de rentabilité économique, c'est-à-dire le taux d'actualisation pour lequel la valeur actuelle nette du projet est égale à zéro.

#### 1.4.3.1 Définition du TRI

Le taux de rentabilité interne est le taux  $t$  pour lequel il y'a équivalence entre le capital investi et les cash-flows générés par ce projet. Dans sa formulation mathématique, il ressemble à la VAN car le TRI est le taux d'actualisation qui annule la VAN car le TRI est le taux d'actualisation qui rend la VAN égal à zéro, comme le montre la formulation mathématique suivante :

$$-I + \sum_{n=1}^N \frac{CF_t}{(1+r)^t} = 0$$

$I_0$ : investissement initial

$CF_t$ : flux monétaire de la période  $t$

TRI : taux de rendement

#### 1.4.3.2 Critères de sélection des projets

Tout projet dont le taux de rendement interne est inférieur au taux de rentabilité minimum exigé par l'entreprise sera rejeté. Ce taux est appelé "taux de rejet". Entre plusieurs projets acceptables, le projet possédant le taux de rendement interne le plus élevé sera retenu.

Autrement dit, le taux de rendement interne correspond au taux d'intérêt maximum que peut supporter le projet. Si les taux d'intérêt en vigueur dans la société sont supérieurs à ce TRI, le projet sera considéré comme non rentable, car avec un tel taux d'intérêt le bénéfice actualisé du projet est négatif. Il est alors plus rémunérateur de placer ses capitaux sur le marché financier que d'entreprendre le projet en question. A l'inverse le projet sera considéré rentable si le taux de rendement interne est supérieur au taux d'intérêt qui prévalent dans la société, il est alors en effet plus rentable de réaliser le projet.

Néanmoins, les projets dont le taux de rendement interne est le plus élevé ne sont pas nécessairement ceux qui procurent les plus grands bénéfices actualisés. En effet, un TRI très élevé peut éventuellement signifier que sa rentabilité est insensible aux variations des taux d'intérêt avec parfois un bénéfice actualisé peu élevé.

#### 1.4.4 Délai de récupération (DR)

Cette méthode dans l'esprit est proche de la méthode du seuil de rentabilité utilisée en comptabilité analytique. Le délai de récupération correspond au nombre de périodes nécessaires pour récupérer la mise initiale.

##### 1.4.4.1 Définition du DR

Le délai de récupération est couramment appelé Play back, c'est le temps au bout duquel le montant cumulé des cash-flows actualisés est égal au montant du capital investi. Autrement dit, le délai de récupération est le nombre d'années nécessaires pour que l'investissement soit rentable.

Mathématiquement, le délai de récupération est obtenu en appliquant la formule :

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

Avec:

$I_0$  : l'investissement initial

$CF_t$  : cash flows

$i$  : taux d'actualisation

##### 1.4.4.2 Critères de sélections des projets

Plus le délai de récupération est court, plus le projet est supposé être intéressant, en raison :

- Du risque couru par l'entreprise (plus l'horizon est éloigné, moins les prévisions sont stables et plus l'environnement est incertain) ;
- De la rentabilité (en général, plus le délai de récupération est court plus le projet est rentable).

L'intérêt de cette méthode permet à l'entreprise de se fixer arbitrairement un délai limite et éliminer par conséquent tout projet pour lequel le délai de récupération

est supérieur à cette date.

Bien que cette méthode tienne compte du temps et qu'elle utilise des cash-flows prévisionnels, elle souffre de plusieurs lacunes rendant ce critère moins intéressant à savoir :

- Ce critère n'accorde aucune importance aux cash-flows dégagés après le délai de récupération, ainsi plusieurs projets rentables à long terme ne seront pas considérés par l'entreprise ce qui biaise l'opération de sélection des projets. Il ne peut donc être utilisé pour mesurer la rentabilité ;
- L'établissement de la période limite après laquelle les investissements ne sont plus acceptés. C'est une période fixée arbitrairement par les gestionnaires ne laissant ainsi pas de place à l'objectivité.

Ce critère de sélection présente donc plusieurs déficiences et peut donc procurer des décisions sous optimales pour l'environnement.

Notons cependant, que si ce critère est critiqué par les théoriciens. Il est largement employé en pratique comme complément aux autres critères plus élaborés, car elle donne aux dirigeants une vision limitée du risque et de la liquidité du projet.

## **2- Gestion de portefeuille de projets**

### **2.1-Qu'est-ce que la gestion de portefeuille :**

La gestion de portefeuille projets est un processus décisionnel dans lequel la liste des projets actifs est constamment mise à jour et révisée. Durant ce processus de nouveaux projets sont évalués, sélectionnés et priorisés; des projets existants sont maintenus, dépriorisés ou arrêtés, et des ressources sont allouées ou déallouées des projets actifs. [5]

### **2.2- les caractéristiques de gestion de portefeuille de projets :**

La gestion de portefeuille de projets se caractérise par :

- Le caractère incertain d'information nécessaire à la décision, car portant sur des événements futurs.
- La composition nécessairement changeante du portefeuille compte tenu de l'évolution de l'information disponible et de l'environnement de l'entreprise.

-l'hétérogénéité du portefeuille ou des projets matures sont en compétition avec des idées de projet et ou la quantité et la qualité d'information disponible est très variable.

-Une disponibilité des ressources limitées (faire tous les projets n'est pas possible) et une réallocation des ressources parfois difficile (compétence, localisation, etc..).

-Un alignement avec la vision, la stratégie, les objectifs et la culture de l'entreprise, ainsi que le niveau de risque et de bénéfice que l'entreprise ou l'organisation est prête à accepter. [6]

### 2.3-La mise en œuvre de la gestion de portefeuille :

Avant de démarrer une fonction de gestion de portefeuille, il faut s'assurer que l'organisation dispose de compétences en gestion et en gouvernance de projets.

La gestion de portefeuille s'effectue en cinq phases :

#### 1. Cumuler l'information clé :

. L'information au sujet des projets : titre, responsables et partenaires clés; niveau de priorité (critique, très souhaitable, souhaitable) et objectifs; niveau général du risque et impact en cas d'annulation du projet, jalons clés avec dates indicatives; interdépendances avec d'autres projets ou programmes budget.

.. L'information qui doit régulièrement être mise à jour : évaluation de l'État d'avancement du projet et de sa probabilité de succès ; étape du cycle de vie du projet (conception, démarrage, développement, etc..) : risques associés aux objectifs de performance.

#### 2. Catégoriser et analyser :

.Catégoriser chaque projet et programme selon des critères établis. Par exemple, les projets peuvent être catégorisés comme étant impératifs, expérimentaux, projets d'infrastructure, etc.

..Analyser le portefeuille : les projets sont-ils réalisables? Sont-ils pertinents? Quels sont les liens avec les objectifs prioritaires de l'organisation ? Quels sont les bénéfices relatifs de chaque projet?

Quels sont leurs impacts sur les ressources disponibles (ressources humaines, disponibilité des matières premières, ressources financières, fournitures, etc.)?

#### 3. Hiérarchiser et prendre les décisions :

.La hiérarchisation établit l'importance relative des projets, selon leurs contributions aux objectifs stratégiques .La hiérarchisation peut être influencée, entre autres, par l'impact en cas d'annulation du projet, l'échéancier, les risques et les impacts potentiels sur l'organisation.

..La prise de décision se fait après avoir réévalué la hiérarchisation.

4. Effectuer le suivi du progrès réalisé et mettre en action les aspects à surveiller durant le suivi, dont :

.la qualité des outputs clés;

.la réalisation des jalons principaux;

.les risques clés;

.la réalisation des bénéfices;

.la concordance des estimés et de l'échéancier;

.l'utilisation des ressources et les changements.

5. Réviser et planifier :

.La révision de l'analyse d'activités, des facteurs de succès, de la disponibilité des ressources, etc..., devrait être faite régulièrement.

..Revoir la planification permet de réorienter le portefeuille si cela est nécessaire. Les données sur les engagements et projets en cours permettent de prendre des décisions éclairées, en s'assurant que les nouveaux projets ne créent pas de pénurie de ressources (sur engagement). [7]

#### **2.4- L'origine de la gestion de portefeuille :**

L'origine de la gestion de portefeuille revient à un article (portfolio sélection) paru en 1952 dans le journal de finance, Harry Markowitz est considéré comme le père de la théorie moderne du portefeuille, Cela lui valut le prix Nobel d'économie en 1990. Fondamentalement : Markowitz va introduire et détailler la notion de diversification et d'équilibre en risque et valeur. Ces deux notions restent la base de la gestion de portefeuille.

#### **2.5-Définition du portefeuille :**

. Un portefeuille se définit comme un regroupement d'actifs ou de ressources qui se construit en fonction de l'aversion au risque de l'investisseur, sa fonction d'utilité et compte tenu de ses contraintes budgétaires ainsi que l'ensemble d'informations dont il dispose. Le gestionnaire d'un portefeuille est amené à faire des anticipations sur l'évolution du marché afin de classer au mieux les titres suivant différents critères de choix après les avoir analysés. Généralement, ces critères de choix sont liés au rendement espéré, le risque mesuré généralement par la variance, et la dispersion des distributions des rendements.

Cette notion regroupe diverses définitions dont la plupart exprime une convergence marquée, durant ces vingt dernières années. Ainsi, les trois acceptions suivantes ont été retenues à titre d'illustration :

-Premièrement, un portefeuille est défini comme (Un regroupement des projets de l'entreprise permettra la mise en œuvre de méthodes de recherche opérationnelles pour optimiser l'affectation des ressources entre les différents projets et / ou de méthodes d'évaluation financière des projets d'investissements pour l'établissement des priorités) . [8]

-Deuxièmement, un portefeuille est vu comme (Une collection de projets ou de programmes et d'autres travaux qui sont regroupés pour faciliter une gestion efficace en vue d'atteindre les objectifs stratégiques de l'entreprise), [9]

-Troisièmement, un portefeuille, c'est (Un ensemble de projets et de programmes sélectionnés en vue de l'atteinte d'objectifs stratégiques et spécifiques d'une organisation), [10]

- Quatrièmement, un portefeuille de projets est (Un ensemble de projets sélectionnés d'après un ou plusieurs critères, par exemple la valeur du projet et son risque. La gestion de portefeuille systématise le choix et la conduite des investissements sur cet ensemble de projets ou de programmes. Les arbitrages effectués sont sous-tendus par le plan stratégique de l'organisation et les ressources disponibles), [11]

## 2.6-Définition du projet :

Selon le Project Management Institut (PMI), le projet est toute activité réalisée une seule fois, doté d'un début et d'une fin déterminée et qui vise à créer un produit ou un savoir unique. Il peut nécessiter la participation d'une seule ou de milliers de personnes. Sa durée peut être de quelques jours ou de plusieurs années. Il peut s'agir de quelque chose d'aussi simple que l'organisation d'un événement d'une journée ou d'aussi complexe que la construction d'un barrage sur une rivière.

.(Le projet est un ensemble d'actions à réaliser pour satisfaire un objectif défini, dans le cadre d'une mission précise, et pour la réalisation desquelles ont identifié non seulement un début, mais aussi une fin).( AFITEP, Dictionnaire de management de projet 1996/ Afn)

.(Processus unique ,qui consiste en un ensemble d'activités coordonnées et maîtrisées comportant des dates de début et de fin, entreprises dans le but d'atteindre un objectif conforme à des exigences spécifiques telles que des contraintes de délais, de couts et de ressources ). ISO10006, 1997/ISO

. (Un projet est un ensemble d'actions limitées dans le temps et en interaction avec un environnement dans lequel le projet est réalisé). Declerk et al. 1980/ DEC80

. (Un projet est défini et mis en œuvre pour élaborer une réponse aux besoins d'un utilisateur, d'un client ou d'une clientèle. Il implique un objectif et des actions à entreprendre avec des ressources données. Les projets peuvent s'effectuer dans les entreprises de toutes tailles et tous secteurs est un processus unique de transformation de ressources ayant pour but de répondre à un ou des objectifs précis, à l'intérieur de contraintes budgétaires et temporelles.) Giard 1991/ Gia91

. (A project is an endeavor in which human, financial, and material resources are organized, under constraints of cost and time, so as to achieve beneficial change defined by quantitative and qualitative objectives.) Turner 1998/Turn98

### **2.7-Pourquoi utiliser la gestion du projet :**

La gestion de portefeuille de projets vise à ce que l'entreprise ne mène plus chaque projet indépendamment, mais qu'elle s'oriente vers une gestion centralisée d'un ou plusieurs portefeuille de projets. Elle consiste à identifier, évaluer et prioriser les projets mise en œuvre dans l'entreprise décide de mettre en plus sont accord avec ses objets stratégiques.

Une étude menée par Cooper et Al. (1987) auprès de plusieurs entreprises a permis de mettre en évidence l'importance de la gestion de portefeuille de projets. Il en est ressorti trois raisons principales, qui sont les suivantes :

-Le succès du développement de nouveaux produits est essentiel pour toute organisation et la gestion de portefeuille de projets est requise pour s'assurer que les efforts engagés sont destinés aux meilleurs projets permettant ainsi un lancement réussi de nouveaux produits;

-Les projets, et plus particulièrement ceux de développement de nouveaux produits, sont les vecteurs les plus importants pour opérationnaliser la stratégie de l'entreprise.

-L'allocation des ressources est un facteur de plus en plus déterminant pour les organisations or c'est aussi l'un des éléments essentiels de la gestion de portefeuille.

Les auteurs concluent alors que les entreprises désireuses de générer des bénéfices ont tout intérêt à recourir à la gestion de portefeuille de projets. La gestion de portefeuille de projets comporte deux principaux processus, la sélection de projets et le pilotage de portefeuille de projets. Le processus de sélection et d'arbitrage entre les projets consiste une part importante dans la gestion portefeuille de projets. Le processus de pilotage du portefeuille de projets met l'accent sur les méthodes nécessaires pour s'assurer que les projets soient enclenchés et bien réalisés. Dans cette étape, les décisions relatives à l'avancement et au suivi des projets dans le portefeuille (stop/go) doivent être supportées par un processus formalisé. Cette étape consiste ainsi à l'optimisation et à la dynamisation des portefeuilles de projets.

## 2.8- Les éléments de gestion de portefeuille :

### 2.8.1-La rentabilité d'un portefeuille :

On va définir d'abord les termes suivants : dividende, cours et fiscalité.

Dividende : part des bénéfices d'une société de capitaux attribuée à chaque actionnaire ou aux détenteurs de parts sociales.

Cours : il représente le prix résultant de la confrontation de l'offre et de la demande d'un titre d'une séance de bourse.

Fiscalité : ensemble des lois, règlements et pratiques relatifs à l'impôt.

Le concept de rentabilité a des acceptions différentes selon les investisseurs. Quand nous parlons de rentabilité obtenue par un investisseur d'une action, nous nous référons non seulement au dividende net que lui rapporte ce titre, mais aussi à la plus-value éventuelle qu'il en retire. Ainsi le taux de rentabilité comprend à la fois le rendement au taux de rendement (dividende net apporté au cours) et la plus-value (ou moins-value) en capital rapportée au cours d'achat de l'action.

Formellement :

$$R_t = \frac{D_t + P_t - P_{t-1}}{P_{t-1}}$$

$R_t$  : constitue le taux de rentabilité de l'action  $i$  pendant la période  $t$ .

$D_t$  : le dividende encaissé pendant la période  $t$ .

$P_t$  : le cours de l'action à la fin de la période  $t$ .

$P_{t-1}$  : le cours de l'action à la fin de la période  $t-1$ .

L'expression de ce taux de rentabilité est formulée compte non tenu d'un avoir fiscal avant imposition sur le revenu des personnes physiques ; c'est le rendement brut de l'investisseur. L'application de la formule précédente suppose que la distribution de dividendes ait lieu en fin de chaque période, en revanche le choix de la période peut être variable, il peut s'agir d'une semaine, d'un mois, d'un an ou plusieurs années. [12]

### **2.8.2-Le risque d'un portefeuille :**

Le risque d'un actif financier pour un investisseur peut être défini comme l'incertitude qui existe quant à la valeur de cet actif à une date future. On peut assimiler le risque d'un investissement ou variabilité de sa rentabilité autour de la valeur anticipée. La mesure de la variabilité la plus utilisée est l'écart type (ou identiquement son carré : la variance).

Statiquement, la variance d'une série de taux de rentabilité passée est définie comme la moyenne des carrés des écarts entre ces taux de rentabilité et le taux de rentabilité moyen. L'assimilation des concepts de rentabilité et de risque au couple moyenne – variance suppose que la distribution du taux de rentabilité suive une loi normale, laquelle possède des propriétés très utiles. En effet, si une série de rentabilité suit une loi normale quelle que soit la durée servant à calculer les taux, la répartition de ces taux autour de la moyenne est symétrique et ne dépend que de l'écart type.

### **2.8.3- La volatilité dans la mesure de risque :**

Considérée en finance comme la base de la mesure du risque, la volatilité est par définition une mesure des amplitudes des variations du cours d'un actif financier.

Ainsi, plus la volatilité d'un actif est élevée et plus l'investissement dans cet actif sera considéré comme risqué et par conséquent plus l'espérance de gain (ou risque de perte) sera important. A l'inverse, un actif sans risque ou très risqué (par exemple les Bons du trésor) aura une volatilité très faible car son remboursement est quasiment certain. En réalité la volatilité d'une obligation correspond à l'évaluation du cours suite à une variation de 1 pourcent des taux d'intérêts. La notion volatilité concerne tous les horizons (court, moyen et long terme) et ne soucie pas du sens du mouvement (seule l'amplitude des mouvements est pris en compte). Alors que cette notion tient une place primordiale dans l'étude des marchés, elle est également énormément utilisée pour diversifier les portefeuilles, gérer le risque, calculer les prix des options, etc.

Les périodes de forte volatilité se traduisent souvent par des cours relativement bas ce qui permet aux investisseurs d'anticiper une rentabilité plus élevée.

**2.8.4- La variance de portefeuille :**

La variance entre les différents actifs d'un portefeuille permet d'estimer la variance d'un portefeuille et donc son risque. La variance d'un portefeuille est égale à la somme des covariances entre les différents actifs, pondérée par rapport à la proportion de chaque actif dans le portefeuille.

Sa formule est la suivante :

$$V_p = \sum_{I \neq J} X_i^2 \alpha^2 + \sum \sum X_i Y_j \text{Cov}(i, j) \quad i=1,2,3,4,\dots,N ; \quad J=1,2,3,4,\dots,N ;$$

Avec:

$X_i$  : Proportion de l'actif I dans le portefeuille.

$\alpha^2$  : L'écart-Type des variations de l'actif i.

$Y_j$  : Proportion de l'actif j dans le portefeuille.

$\text{Cov}(i, j)$  : La covariance entre les actifs i et j .

$N$  : Le nombre d'actifs. [13]

**2.8.5-La diversification :**

L'ennemi principal, obstacle que tout investisseur veut éviter, c'est le risque. Pourtant, le risque fait partie de la vie de tout investisseur. Il s'agit de la probabilité que quelque chose puisse avoir un résultat contraire et négatif à celui attendu. Le risque n'est pas toujours le même, car il dépend de nombreux facteurs, mais il existe trois groupes pour le classer : élevé, modéré, et faible. Dans chacun de ces situations adverses, la diversification des investisseurs est présentée comme l'une des stratégies les plus intéressantes et les plus efficaces.

La diversification d'un portefeuille est une technique d'investissement qui consiste à composer le portefeuille avec différents types d'actifs dans le but principal de réduire les risques naturels de l'investissement. Théoriquement diversifier suppose de ne pas placer tous les œufs dans le même panier dans l'espoir qu'en cas de chute, on ne perde pas tout. (Ne pas mettre tous ses œufs dans le même panier. / Diction commun des investisseurs

sages). En d'autres termes, lorsque nous parlons de diversification d'un portefeuille en finance, nous entendons la constitution d'une base d'actifs de différentes sortes, origines et secteurs.

De cette manière nous maintiendrons notre rentabilité avec exposition moindre aux risques. Imaginons que nous investissions tout notre argent dans un seul titre, par exemple dans les actions d'une grande entreprise, il est probable que dans une situation défavorable nous puissions perdre de celui-ci ou ces investissements seraient considérés comme ayant échoué. Les investisseurs tentent donc en élargissant l'éventail des secteurs et des actifs dans lesquels ils peuvent déposer leur argent.

Une des meilleures façons de diversifier un portefeuille est de disposer d'actifs présentant différents degrés de liquidité, de risque, de complexité et de durée temporaire. De cette façon, nous nous assurons qu'en cas de chute de l'une de nos options, celle-ci puisse être compensée par des investissements dans d'autres secteurs.

Les portefeuilles sont exposés à deux principaux types de risques :

-Risque systématique : il s'agit du risque qui affecte tous les actifs de manière égale et indépendamment de leur catégorie, car il s'agit de facteurs externes et donc, même si nous diversifions notre portefeuille, nous ne parviendrons pas à les éliminer. Il s'agit de risques tels que l'instabilité politiques, la juridiction de chaque pays, les facteurs naturels, etc.

-Risque spécifique : le risque inhérent à chaque actif, par exemple la spéculation sur les devises, les krachs boursiers, etc. Ce risque contrairement au précédent, peut être réduit grâce à une diversification appropriée des portefeuilles. [14]

#### **2.8.6- Frontière efficiente :**

La frontière efficiente est une notion développée par Harry Markowitz, qui n'est autre que l'auteur du concept moderne de portefeuille. Cette frontière efficiente est représentée par l'ensemble des portefeuilles qui affichent la meilleure rentabilité face à un niveau de risque donné. Cette frontière peut se concrétiser par une représentation graphique du couple rendement/ risque pour chaque portefeuille d'actifs. La courbe tracée sur le bord supérieur de ce couple est représentative du rendement optimal qui est associé à un niveau de risque donné. Chaque actif financier peut être présenté dans un graphique par son couple rendement/risque. Pour chaque niveau de rentabilité, il existe une combinaison

d'actifs financiers qui minimise le risque du portefeuille. Inversement, pour chaque niveau de risque, il existe une combinaison d'actifs financiers qui maximise la rentabilité du portefeuille, L'ensemble forme la frontière efficiente. [15]

### 3- L'analyse de risque et de gestion de portefeuille :

#### 3.1. Mesure de risque d'un portefeuille :

##### 3.1.1 La variance :

La variance est une mesure de la dispersion d'une série par rapport à sa moyenne. En d'autres termes, c'est la moyenne des carrés des écarts à la moyenne ou encore la moyenne des carrés moins le carré de la moyenne. La variance est très utilisée dans les calculs de statistiques bien que l'on utilise davantage l'écart type qui correspond à la racine carrée de la variance. La variance est comprise entre 0 et 1.

Elle se calcule comme suit :

$$V(X) = E((X-E(X))^2) = \sum (X_i - X)^2 \quad ; i= 1, 2, 3, 4, \dots, N$$

Avec:

$X_i$ : Cours de l'actif X à l'instant i

X : Moyenne du cours de l'actif X

N : Nombre de périodes

E : Espérance mathématique

Dans le calcul, on met les écarts à la moyenne au carré afin d'éviter que les écarts positifs ou négatifs ne s'annulent. La variance est toujours positive ou nulle.

.Écart type : L'écart type mesure la dispersion d'une variable autour de sa moyenne. Il correspond à la racine carrée de la variance. En d'autres termes, il s'agit de la volatilité d'une variable qui permet de mesurer le risque. L'écart type est plus utilisé que la variance par les différents investisseurs et les gérants de portefeuille.

Il se calcule comme suit :

$$\alpha_x = \sqrt{\text{variance}} = \sqrt{\left(\frac{1}{N} \sum (X_i - X)^2\right)} \quad ; i= 1, 2, 3, 4, \dots, N$$

. Covariance: La covariance a le même objectif que la variance, elle permet de mesurer la dispersion par rapport à la moyenne. Toutefois, elle va d'étudier les variations simultanées de deux variables par rapport à leur moyenne respective. La covariance va donc permettre de connaître la corrélation qu'il existe entre ces deux variables. Plus la covariance est faible, plus la corrélation est faible, les variables sont alors indépendantes. Le coefficient de corrélation est compris entre -1 et 1.

Elle se calcule comme suit :

$$\text{Cov} = \frac{1}{N} \sum (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y}) \quad ; i=1,2,3,4,\dots,N$$

Avec :

$X_i$  : Cours de l'actif X à l'instant i

$Y_i$  : Cour de l'actif Y à l'instant i

$\bar{X}$  : Moyenne des cours de l'actif X

$\bar{Y}$  : Moyenne des cours de l'actif

### 3.1.2 La valeur à Risque (VaR)

La valeur à risque est une mesure statistique utilisée pour évaluer le risque d'une position un actif ou d'un portefeuille donné. La VaR est la perte maximale attendue, dans des conditions normales de marché, dans un portefeuille ou un système de trading, avec une probabilité (généralement de 1 ou 5 pourcent) et un intervalle de temps connu (généralement un jour, une semaine ou un mois).

La VaR est mesurée par trois variables : le moment de la perte, la probabilité qu'une telle perte se produise (niveau de confiance) et intervalle de temps dans lequel elle se produise. Il est important de noter que la VaR ne cherche pas de à décrire ou à prévoir les pires scénarios, mais plutôt à fournir une estimation de la gamme des gains ou pertes potentiels.

Il existe trois grandes méthodes ou approche pour calculer la VaR :

-**Méthode paramétrique** : lorsque nous calculons la VaR à l'aide de la méthode paramétrique, nous supposons que la rentabilité a une distribution normale et que le portefeuille est une fonction linéaire des facteurs. Pour le calcul paramétrique, il est

nécessaire de disposer des principaux paramètres statistiques (moyenne, variance, covariance, écart-type, etc.) de l'actif financier ou du portefeuille que nous analysons.

La formule de calcul de la VaR selon la méthode paramétrique est la suivante :

$$\text{VaR} = F * S * \alpha$$

Avec :

F : Valeur déterminée par le niveau de confiance (également appelée valeur Z).

S : Montant du portefeuille ou de l'actif financier aux prix courants du marché.

$\alpha$  : Écart type des rendements des actifs.

t : Horizon temporel dans lequel la VaR doit être calculée.

**-Méthode de simulation historique** : utilise une grande quantité de données historiques pour estimer la VaR, mais ne fait aucune hypothèse sur la distribution de probabilité. L'une des plus grandes limites de cette approche est qu'elle suppose que toutes les variations futures possibles des prix des actifs ont déjà été observées dans le passé. La valeur de la VaR dépendra de la source des données et de la taille de la série (période de temps de données).

**-Modèle VaR de Monte-Carlo** : le calcul de la VaR selon la méthode de Monte-Carlo est basé sur la génération de centaines ou de milliers de scénarios hypothétiques à partir des séries de données initiales saisies par l'utilisateur. La précision de la VaR dépendra du nombre de scénarios que nous simulerons. La validation du modèle est fondamentale, pour cela il est recommandé d'effectuer des tests de back test pour vérifier que la VaR estimée est vérifiée avec les séries historiques.

### 3.1.3. La semi-variance

C'est une mesure de la dispersion de toutes les observations qui tombent ou de la cible d'un ensemble de données. La semi-variance est une moyenne des carrés des écarts des valeurs qui sont inférieures à la moyenne. La semi-variance est similaire à la variance; cependant, il ne considère que les observations dessous de la moyenne. Un outil utile dans l'analyse des actifs, la semi-variance fournit une mesure de risque à la baisse. Alors que l'écart-type et la variance fournissent des mesures de la volatilité, la semi-variance ne

regarde que les fluctuations négatives d'un actif. En neutralisant toutes les valeurs supérieures à la moyenne, ou le retour de la cible d'un investisseur, la semi-variance estime la perte moyenne qu'un portefeuille pourrait encourir. [16]

### **Définition de la méthode de Monte Carlo**

Les simulations de Monte-Carlo sont des algorithmes utilisés dans le but d'estimer la probabilité d'occurrence d'un scénario dans lequel interviennent des paramètres aléatoires. C'est une technique statistique permettant de comprendre l'influence de l'incertitude dans les modèles de prédiction, notamment en finance.

Les méthodes de Monte Carlo sont en néanmoins utilisée dans des champs scientifiques très variés.

### **Comprendre les simulations de Monte Carlo**

Face à un problème d'estimation dans lequel interviennent de nombreuses incertitudes, plutôt que de remplacer les variables aléatoires par des valeurs moyennes, les simulations de Monte Carlo proposent une solution plus efficace. La finance étant un domaine où les phénomènes aléatoires sont légion, les simulations de Monte Carlo possèdent un vaste champ d'application dans ce secteur. Elles sont utilisées pour estimer les dépassements de coûts dans des projets importants, ou pour estimer la probabilité que le prix d'un actif évolue d'une certaine manière. Dans les télécommunications, les simulations de Monte Carlo peuvent permettre d'estimer les performances d'un réseau dans différentes situations, afin d'optimiser ce dernier. Les analystes financiers, les assurances ou les compagnies pétrolières font également appel aux méthodes de Monte Carlo, qui possèdent d'innombrables applications dans tous les domaines.

Le nom de Monte Carlo provient du quartier de Monaco connu pour ses nombreux casinos, place forte des jeux de hasard. L'aléatoire est en effet une part centrale à la fois des modèles d'estimation mais également des jeux de hasard comme la roulette ou les machines à sous.

Ces méthodes furent développées pour la première fois par Stanislaw Ulam, un mathématicien ayant auparavant travaillé sur le Projet Manhattan. Après la guerre, en période de convalescence suite à une opération du cerveau, Stanislaw Ulam passait le temps en jouant au solitaire. À force de jouer, il s'intéressa au tracé des issues de chacune

de ses parties dans le but d'observer leur distribution et de déterminer sa probabilité de gagner une partie. En collaboration avec John Von Neumann, un autre mathématicien, il développa ainsi la première simulation Monte Carlo

## **Chapitre 02 : Méthodes approchées**

**Introduction :**

Dans la plupart des problèmes du monde réel, il ne s'agit pas d'optimiser, L'optimisation est la tâche de trouver une ou plusieurs solutions qui minimisent (ou maxi-misent) un ou plusieurs objectifs spécifiés et lesquelles satisfont toutes les contraintes (si il y en a). Un problème d'optimisation mono-objectif implique une seule fonction objective. En revanche dans la plupart des problèmes pratique, plusieurs critère sont pris en considération afin d'obtenir une solution satisfaisante, comme son nom l'indique, l'optimisation multi objectif considère plusieurs objectifs souvent incompatibles optimiser simultanément. Dans un tel cas, il n'y a habituellement pas qu'une seule solution optimale, mais un ensemble de solutions qui représentent chacune un compromis entre les différents objectif à optimiser, C'est consacré au rappel de quelques notions de l'optimisation multi objectif ainsi que les approches de résolution nous présenterons les concepts de base de l'optimisation combinatoire, ces derniers sont inspirés du [17].

**4. Optimisation combinatoire**

Avant de s'intéresser à notre problème, il est nécessaire de rappeler brièvement quelques notions fondamentales de l'optimisation combinatoire, indispensables pour la compréhension de la suite de cette étude. En premier lieu, il convient de donner certaines définitions relatives à la combinatoire.

**4.1. Définitions préliminaires**

La Combinatoire est une branche des mathématiques qui étudie les configurations d'éléments discrets, les opérations et/ou l'analyse à faire sur ces configurations. Cette branche englobe plusieurs disciplines parmi elles, nous citerons, la théorie des graphes, la combinatoire énumérative, les problèmes de dénombrement, la théorie polyèdre. Les frontières entre ces branches ne sont pas hermétiques, leurs différences sont visibles à travers leurs orientations méthodologiques.

**Définition 1**

Un problème est dit combinatoire lorsqu'il comprend un grand nombre de solutions admissibles parmi lesquelles on cherche une solution optimale ou proche de l'optimum.

L'Optimisation Combinatoire (O.C) est une branche des mathématiques où, il est question de choisir (rechercher) un élément, une configuration parmi un ensemble de même

structure qui doit optimiser un certain objectif totalement fixé à priori. Cette branche de la recherche opérationnelle occupe une place prépondérante des mathématiques discrètes et de l'informatique. Son importance se justifie par le large éventail de problèmes d'intérêt pratique et opérationnel qu'elle englobe. Cette branche de la combinatoire, l'optimisation combinatoire, s'intéresse à la recherche d'une solution optimale dans un ensemble de solutions réalisables de grande cardinalité. Autrement dit, minimiser ou maximiser une fonction, avec ou sans contraintes, sur un ensemble dénombrable. Pour ce faire il s'agira de développer des algorithmes qu'on voudrait polynomiaux. L'optimisation combinatoire se situe au carrefour de la Théorie des Graphes, de la Programmation Mathématique et de l'Informatique théorique.

Les problèmes de l'optimisation combinatoire se caractérisent par une formulation facile et souvent par une résolution très ardue.

### **Définition 2**

Un problème d'O.C consiste, étant donné un ensemble fini de configurations  $S$  et une application  $f$ , en la recherche d'un élément tel que :

#### **4.1.1. Configuration valide et complète**

##### **Définition 1**

On appellera une configuration valide une solution d'un problème ne violant aucune contrainte de celui-ci, elle sera dite non valide dans le cas contraire.

##### **Définition 2**

Une configuration est dite complète si elle est valide, et elle sera dite partielle si elle est en cours de formation « prématurée ».

L'impossibilité d'énumérer et d'examiner exhaustivement toutes les solutions et souvent une situation que l'on rencontre lorsque l'on veut résoudre d'une manière exacte des problèmes de l'optimisation combinatoire. Ainsi s'impose, la nécessité de distinguer entre les algorithmes selon leurs performances à nous procurer des solutions. La tâche qui consiste à classer, comparer et retenir les meilleurs algorithmes selon des critères bien précis, a donné naissance à une élégante théorie : « la théorie de la complexité » des algorithmes. Cette dernière a permis d'élaborer et de développer de nouveaux moyens capables de venir à bout et d'élucider les difficultés auxquelles étaient confrontées d'une manière générale l'optimisation discrète et l'optimisation combinatoire en particulier.

## 4.2. Notions sur la théorie de la complexité

Avant d'aborder la théorie de la complexité des algorithmes, il y a lieu de donner quelques concepts et définitions de base indispensables pour la compréhension de cette théorie.

### Définition 1

On appelle instance  $I$  d'un problème ( $P$ ), un cas de celui-ci, une situation particulière, où est défini l'ensemble des paramètres, fixés à des valeurs données.

### Définition 2

Un algorithme ( $A$ ) de résolution d'un problème ( $P$ ) donné, est une séquence finie d'opérations élémentaires, complémentaires, logiques et chronologiques transformant une chaîne de caractères représentant les données de n'importe quelle instance de ( $P$ ) (Input), en une chaîne représentant sa solution (Output).

### Définition 3

Un problème de décision est un problème posé sur un ensemble de concepts dont la solution est une réponse par oui ou non.

### Définition 4

Un algorithme est dit efficace s'il résout n'importe quelle instance  $I$  d'un problème ( $P$ ) en un temps de calcul polynomial en la taille de ses données.

La théorie de la complexité permet d'étudier de manière formelle la difficulté des problèmes en informatique. Dans cette théorie, un problème est formalisé de la manière suivante : un ensemble de données en entrée, et une question sur ces dernières (et éventuellement un calcul à effectuer), elle ne traite que des problèmes de décision.

Un des résultats forts de cette théorie est apparent à travers la catégorisation des problèmes en fonction des algorithmes qui les résolvent.

#### 4.2.1. Classe P

La classe P contient tous les problèmes relativement faciles, c'est-à-dire ceux dont la résolution est faite par des algorithmes efficaces. Plus formellement, ce sont les problèmes pour lesquels on peut construire une machine déterministe (machine de Turing<sup>1</sup>) dont le temps d'exécution est de complexité polynomiale (le sigle P signifie « Polynomial time »).

### 4.2.2. Classe NP

Les problèmes de la classe NP sont ceux pour lesquels on peut construire une machine de Turing non déterministe dont le temps d'exécution est de complexité polynomiale. Le sigle NP provient de « Non déterministe Polynomial time » (et non de "Non Polynomial").

Il est important de remarquer à ce stade que la classe P est inclus dans la classe NP, on écrit  $P \subseteq NP$ , car si l'on peut construire une machine déterministe pour résoudre efficacement un problème qui est dans NP, alors on peut certainement construire une machine non déterministe qui résout aussi efficacement le même problème. Dans la classe NP, une sous-classe composée de problèmes ayant certaines propriétés et liés entre eux se caractérisent par une résolution difficile, il s'agit de la classe des problèmes NP-complets.

### 4.2.3. Classe NP-complet

Un problème NP-complet possède la propriété que tout problème dans NP peut être transformé en celui-ci en temps polynomial.

#### Définition 5

La définition d'une application qui met en relation les instances de P1 avec celles de P2 : est appelée réduction de P1 en un problème P2.

Cette réduction est qualifiée de polynomiale dès qu'elle s'opère en un temps polynomial.

#### Définition 6

Un problème (P) appartient à la classe des problèmes NP - Complets si on ne connaît aucun algorithme efficace pour sa résolution.

Ainsi, découle la conjecture stipulant que les problèmes NP - Complets ne sont pas résolubles en temps polynomial.

### 4.2.4. Classes de complexité

Les algorithmes usuels peuvent être classés en un certain nombre de grandes classes de complexité:

- Les algorithmes sub-linéaires dont la complexité est en général en  $O(\log n)$  ;
- Les algorithmes linéaires en complexité  $O(n)$  et ceux en complexité en  $O(n \log n)$  sont considérés comme rapides ;

- Les algorithmes polynomiaux en  $O(nk)$  pour  $k \geq 3$  sont considérés comme lents, sans parler des algorithmes exponentiels (dont la complexité est supérieure à tout polynôme en  $n$ ) que l'on s'accorde à dire impraticables dès que la taille des données est supérieure à quelques dizaines d'unités [18]

### 5 . Optimisation combinatoire multi-objectif

On définit un problème multi objectif, ou multicritère comme un problème de recherche d'un vecteur de variables de décisions qui satisfait les contraintes et optimise (maximiser ou minimiser) un vecteur ayant comme éléments les fonctions objectifs, Ces fonctions sont souvent en conflit, d'où le terme "Optimise" veut dire trouver une solution qui puisse donner les valeurs de toutes les fonctions objectifs acceptables au décideur

**Une fonction objective:** représente le but à atteindre pour le décideur (minimisation de coût, de durée, d'erreur, ...). Elle définit un espace de solutions potentielles au problème.

**L'ensemble de contraintes:** définit des conditions sur l'espace d'état que les variables doivent satisfaire. Ces contraintes sont souvent des contraintes d'inégalité ou d'égalité et permettent en général de limiter l'espace de recherche.

#### Formulation d'un problème multi-objectif :

La formulation générale d'un problème d'optimisation multi-objectif est la suivante : "Optimiser"  $F(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x))$ .  
tel que  $x \in S$ .

Où  $p \geq 2$  représente le nombre d'objectifs à optimiser,  $x$  représente un vecteur de variables de décision,  $S = \{x \in \mathbb{R}^n / g_j(x) < 0, x \geq 0\}$  est l'ensemble de solutions réalisables associé à des contraintes d'inégalité, d'égalité et des bornes explicites (espace des décisions) et  $f(x)$  est le vecteur des objectifs à optimiser.  $f_k$  et  $g_j$  ( $k = 1, 2, \dots, p; j = 1, 2, \dots, m$ ), des fonctions à valeurs réelles du vecteur de décision.

Dans le cadre de l'optimisation multi-objectif, le plus souvent le décideur raisonne plutôt en termes d'évaluation d'une solution sur chaque critère. L'ensemble  $Y = F(S)$  représente les points réalisables dans l'espace des critères, et  $F = (f_1, f_2, \dots, f_p)$  avec  $Y_k = f_k(x)$  représente un point de l'espace des critères.

#### *Dominance*

Beaucoup de problèmes d'optimisation multi-objective issue du monde réel possèdent plusieurs objectifs à optimiser simultanément et qui sont souvent conflictuels. Pour ces problèmes multi-objectif, il n'y a pas, généralement, une meilleure solution, mais plutôt, un ensemble de solutions qui sont supérieures à d'autres en considérant tous les critères (Alaya et al., 2007).

Cet ensemble constitue toutes les solutions non-dominées ou Pareto -optimales. Les solutions Pareto-optimales forment alors le front de Pareto. Le front de Pareto constitue la surface de compromis déterminée en fonction de la méthode d'optimisation utilisée et des relations de dominance entre les solutions générées par cette méthode (Pitiot, 2009).

### **Approche Pareto :**

Au 19<sup>ème</sup> Siècle, Vilfredo Pareto, un mathématicien Italien, formule le concept suivant : dans un problème multi objectif, il existe un équilibre tel que l'on ne peut pas améliorer un objectif sans détériorer au moins un des autres objectifs. Les approches Pareto utilisent directement la notion de dominance dans la sélection des solutions générées. Le principal avantage de ces approches, c'est l'optimisation simultanée d'objectifs contradictoires.

### **Optimalité de Pareto :**

Soit P un ensemble de solutions candidate d'un problème d'optimisation multi objectif. L'ensemble P'Optimalité de ParetoP, composé de tous les éléments de P qui ne sont dominés par aucun élément de P est dit sous -ensemble non dominé de l'ensemble P.

### **Front de Pareto :**

Le front de Pareto est l'ensemble des solutions de compromis. Sur la figure 1, les points A et B sont deux points du front de Pareto : A ne domine pas B, B ne domine pas A, mais tous les deux dominent le point C, Le but de l'optimisation Multi objectif est de déterminer le front de Pareto pour un problème donné. [19]

### **Point idéal :**

Les coordonnées du point idéal ( $p_i$ ) correspondent aux meilleures valeurs de chaque objectif des points du front Pareto. Les coordonnées de ce point correspondent aussi aux valeurs obtenues en optimisant chaque fonction objective séparément

Représentation des solutions supportées et non supportées, Point idéal et point de nadir

$$p_i = \min\{y_i \mid y \in ND(\mathcal{F})\}$$

### **Point de nadir :**

Les coordonnées du point Nadir ( $p_n$ ) correspondent aux pires valeurs de chaque objectif des points du front Pareto

$$x \in A \wedge y \in A \Leftrightarrow \text{Segment}(x, y) \subset A$$

Nous indique aussi que le front Pareto peut avoir des propriétés particulières quant à sa forme. La principale caractéristique utilisée pour comparer les formes de ces courbes est la convexité. Nous rappelons donc la définition de la convexité.

### **Convexité:**

Un ensemble A est convexe, si et seulement si l'équivalence suivante est vérifiée :

$$pn_i = \max\{y_i \mid y \in ND(\mathcal{F})\}$$

La convexité est le premier indicateur de la difficulté du problème. En effet, certaines méthodes sont dans l'incapacité de résoudre des problèmes non convexes de manière optimale. Mais il existe d'autres indicateurs tout aussi importants, notamment la continuité, la multi-modalité, la nature des variables de décision (entières ou réelles).

### **Classification des problèmes d'optimisation multi objectif :**

Dans notre recherche, nous rencontrons deux classifications différentes des approches de résolution de problèmes multi objectifs. Le premier classement adopte un point de vue décideur, les approches sont classées en fonction de l'usage que l'on désire en faire. Le deuxième classement adopte un point de vue concepteur, les approches sont triées de leur façon de traiter les fonctions objectives. Ainsi avant de se lancer dans la résolution d'un problème multi objectif, il faut se poser la question du type d'approche de résolution à utiliser

### **Classification « point de vue décideur » :**

Résoudre un problème d'optimisation multi-objectif revient à chercher l'ensemble des compromis optimaux du problème. Deux processus distincts sont imbriqués au sein de la méthode de résolution : les processus de recherche et de prise de décision. Avant de se lancer dans la résolution du problème multi -objectif, il faut se poser la question du type d'approche à utiliser. Selon [Mahdi, 2007], il y a deux classifications différentes des approches de résolution de problèmes multi -objectifs :

1- Le premier classement adopte un point de vue décideur, les approches sont classées selon la manière dont sont combinés les processus de recherche et de prise de décision.

2-Le deuxième classement adopte un point de vue concepteur, les approches sont triées selon leur façon de traiter les fonctions -objectifs

Ainsi avant de se lancer dans la résolution d'un problème multi objectif, il faut se poser la question du type d'approche de résolution à utiliser:

On distingue à cet égard trois schémas possibles. Soit le décideur intervient dès le début de la définition du problème, en exprimant ses préférences, afin de transformer un problème multi objectif en un problème simple objectif. Soit le décideur effectue son choix dans l'ensemble des solutions proposées par le solveur multi objectif

### ***Les approche a priori :***

Le décideur intervient en aval du processus d'optimisation, pour définir la fonction d'agrégation modélisant le compromis que l'on désire faire entre les différents objectifs. Dans ce cas le décideur est supposé connaître a priori le poids de chaque objectif afin de les mélanger dans une fonction unique. Cela revient à résoudre un problème mono -objectif. Cependant dans la plupart des cas, le décideur ne peut pas exprimer clairement sa fonction d'utilité, parce que les différents objectifs sont non commensurables (exprimés dans des

unités différentes).

### ***Les approches interactives :***

Combinent de manière cyclique et incrémentale les processus de décision et d'optimisation, le décideur intervient de manière à modifier certaines variables ou contraintes afin de diriger le processus d'optimisation. Le décideur modifie ainsi interactivement le compromis entre ses préférences et les résultats. Cette approche permet donc de bien prendre en compte les préférences du décideur, mais nécessite sa présence tout au long du processus de recherche.

### **Les approches a posteriori :**

Cherche à fournir au décideur un ensemble de bonnes solutions bien réparties. Il peut ensuite, au regard de l'ensemble des solutions, sélectionner celle qui lui semble la plus appropriée. Ainsi, il n'est plus nécessaire de modéliser les préférences du décideur (ce qui peut s'avérer être très difficile), mais il faut en contrepartie fournir un ensemble de solutions bien réparties, ce qui peut également être difficile et requérir un temps de calcul important (mais ne nécessite pas la présence du décideur).

Nous nous placerons dans le cadre de cette troisième famille de méthodes où la modélisation des préférences n'est pas requise et où le procédé d'optimisation doit être puissant afin de fournir une très bonne approximation de la frontière Pareto.[20]

### **Classification «point de vue concepteur »:**

Ce classement adopte un point de vue plus théorique Point de vue concepteurCe classement adopte un point de vue plus théorique articulé autour des notions d'agrégation et d'optimum Pareto. Les approches utilisées pour la résolution de problèmes multi-objectifs peuvent être classées en deux catégories [Barichard, 2003] : les approches non Pareto et les approches Pareto

- Les approches non Pareto ne traitent pas le problème comme un véritable problème multi-objectif. Elles cherchent à ramener le problème initial à un ou plusieurs problèmes mono-objectifs.
- Les approches Pareto ne transforment pas les objectifs du problème, ceux-ci sont traités sans aucune distinction pendant la résolution.
- Les approches non Pareto sont classées en deux catégories : les approches scalaires, qui transforment le problème multi-objectif en problème mono-objectif et les approches non scalaires, qui gardent l'approche multi-objectif, mais en traitant séparément chacun des objectifs.
- Les approches scalaires «ces approches sont de type a priori» A l'origine, les problèmes multi-objectifs étaient transformés en problèmes mono-objectifs

Plusieurs approches différentes ont été mises au point pour transformer les problèmes multi-objectifs en problèmes mono-objectifs : les approches agrégées, programmation par but, et les approches e-contraintes, etc.

- Approche d'agrégation : c'est une des premières approches utilisée pour résoudre les problèmes multi-objectifs [Ishibuchi, 1998]. Elle consiste à transformer un problème multi-objectif en un problème mono-objectif, en définissant une fonction objectif unique  $F$  comme étant la somme pondérée de différentes fonctions objectives du problème initial. En affectant à chaque objectif un coefficient de poids qui représente l'importance relative que le décideur attribue à l'objectif

### **5.1 Les méthodes de résolution**

Les méthodes de résolution exactes ou approchées proposées au cours de ces dernières années sont nombreuses, et sont le reflet de l'éventail des méthodes dont on dispose pour traiter les problèmes d'optimisation combinatoire.

Nous nous proposons d'en étudier les principales.

#### **5.1.1. Les méthodes exactes**

Ces méthodes sont ainsi qualifiées en raison des solutions exactes (optimales) qu'elles procurent. Elles nous permettent d'obtenir une solution optimale des instances des problèmes résolus. Leur principe général consiste en une énumération intelligente, et le plus efficacement possible, toutes les solutions du problème pour en extraire une solution optimale. Parmi ces dernières, nous citerons :

##### **5.1.1.1. La programmation linéaire**

C'est une partie de la programmation mathématique, de recherche d'extremum liés d'une fonction linéaire, dite fonction objectif, sur un ensemble défini par des relations linéaires de type équation ou inéquation (contraintes linéaires). La procédure suivie à ce niveau s'articule autour de deux étapes essentielles, la première consiste en la formulation mathématique du problème. Cette modélisation consiste en la détermination des variables, de leur nature, et des contraintes du problème sous formes d'équations et/ou d'inéquations linéaire ; le modèle obtenu est dit programme linéaire. Dans la seconde étape, il s'agit d'appliquer la méthode de résolution du modèle.

Le premier algorithme décrit pour la résolution des programmes linéaires est la méthode du simplexe qui reste à ce jour la plus utilisée. Malgré son efficacité en pratique, l'algorithme

s'avère non polynomial, pour certains cas. Cependant, la programmation linéaire est considérée comme un problème de la classe P, grâce à l'algorithme de KACHYIAN.

### **5.1.1.2. La programmation dynamique**

L'origine des principales méthodes de la Programmation dynamique sont dues à Richard BELLMAN, et sont utilisées pour résoudre des problèmes, dont la solution optimale s'obtient successivement en démarrant d'une solution réalisable et ceci en se basant sur le principe d'optimalité<sup>1</sup>. C'est une méthode séquentielle, elle permet d'optimiser une fonction séparable de plusieurs variables, liées par des contraintes sous formes d'équations ou d'inéquations. La décomposition et la séquentialité sont les principes de base de cette méthode. Il est nécessaire, pour pouvoir l'appliquer que le problème puisse être décomposé en étapes, ce qui induit un gain de temps appréciable. Elle se caractérise par l'application du principe déjà énoncé. Cette approche a permis l'élaboration d'algorithmes de résolution pour un grand nombre de problèmes combinatoires.

### **5.5.1.3. La méthode des plans récents**

C'est une approche qui se base sur la recherche d'une restructuration de l'espace des solutions réalisables et ce en imposant quelques contraintes supplémentaires à l'espace originel. L'idée générale est que ces contraintes additionnelles coupent des portions de l'espace des solutions sans altérer ni exclure aucun point de l'espace des solutions réalisables.

### **5. 1.1.4. Techniques Séparation et Evaluation «Branch and bound »**

La technique branch and bound (SEP) est la première qui a été utilisée lors de l'exploration d'arbres de possibilités trop complexes pour être parcourus intégralement, sur le domaine S des solutions d'un problème d'optimisation combinatoire. Ce domaine est décomposé progressivement sous forme d'arborescence dont la racine serait l'ensemble S. La recherche de la solution optimale consisterait alors en un parcours judicieux de cette arborescence.

La plupart des problèmes auxquels nous nous intéressons, sont dans la classe NP-Complet, c'est pourquoi on privilégie des heuristiques, et encore des méta-heuristiques et ceci en raison de l'**explosion combinatoire**. Celles-ci permettent d'obtenir des solutions de bonne qualité, bien qu'elles ne soient pas nécessairement optimales.

### **Explosion combinatoire**

Lors de la résolution de certains problèmes, le nombre de solutions réalisables possibles

peut évoluer rapidement avec leur taille ce qui rend quasi -impossible l'exploration de l'ensemble de ces solutions en vue d'une optimisation, cette situation est qualifiée d'explosion combinatoire, en dépit de l'essor des moyens de calcul.

### **5.1.2. Les méthodes de résolution approchées**

Du fait des résultats de la NP-Complétude de certains problèmes de l'optimisation combinatoire, ceux qui jouissent d'un grand intérêt à la fois théorique et pratique, il est peu probable, d'envisager leur résolution à l'aide de méthodes exactes et ce en raison de leur temps d'exécution qui évolue exponentiellement avec la taille des instances du problème en question.

La quasi-possibilité de trouver des algorithmes efficaces au sens complexité du terme, étant écartée, les chercheurs ont orienté leurs efforts vers l'élaboration des méthodes heuristiques, qui sont capables de fournir de « bonnes » solutions réalisables en un temps raisonnable, ainsi la raison d'être des heuristiques.

#### **Définition 1.1**

Une méthode approchée est une méthode de recherche des solutions de bonnes qualités (c'est à dire quasi-optimales) en un temps de calcul raisonnable, sans toutefois pouvoir en garantir ni l'optimalité, ni la réalisabilité, ni même (dans de nombreux cas) l'éloignement de la solution par rapport la plus proche solution réalisable ou optimale.

Dans les méthodes approchées nous distinguons deux types : les heuristiques et les méta-heuristiques dont la principale différence réside dans le mode opératoire. C'est ainsi que les dernières ont un pouvoir plus générique (le degré de généralité) plus élevé car indépendante du problème, il convient alors de détailler leur définition :

#### **Définition 1.2**

Une heuristique est une méthode approchée dédiée spécifiquement à la résolution d'un problème donné et qui tente d'exploiter au mieux sa structure par des critères de décision déduits de la connaissance du problème à résoudre, dont la solution optimale n'est pas garantie.

#### **Définition 1.3**

Une méta-heuristique est une méthode, ou plus précisément, un canevas de méthodes, pour résoudre de manière approchée tous les problèmes dont la solution optimale n'est pas garantie. Cependant, ces méthodes ne dépendent pas du type du problème que nous tentons

de résoudre.

#### **5.1.2.1. Heuristiques constructives**

Elles consistent à construire une solution pas à pas, son objectif est d'obtenir une bonne solution en utilisant des principes souvent très simples. Parmi celles-ci nous citerons :

##### **a. Les algorithmes gloutons**

Ils sont caractérisés par le fait qu'il s'agit de procédure sans retour arrière : un choix fait à un moment n'est plus remis en question ultérieurement. Ces choix itératifs visent la construction de la solution réalisable. Sans doute, le principe des méthodes gloutonnes est le plus utilisé. Nombreuses méthodes exactes sont basées sur le principe glouton. Elles tirent parti du fait que, dans un matroïde, toute heuristique gloutonne fournit une solution optimale.

##### **b. Le principe de construction progressive**

C'est une extension du principe glouton dans la mesure où l'on s'autorise, cette fois-ci, de modifier des valeurs déjà assignées. Ceci correspond à accepter une remontée dans l'arbre décisionnel. Les algorithmes de back-tracking en sont des cas extrêmes puisqu'ils reposent sur un parcours exhaustif de l'arbre. Les heuristiques de construction de cycle hamiltonien pour le TSP, basées sur l'insertion itérative de nouveaux sommets sont à la fois des méthodes gloutonnes et à construction progressive selon qu'on se place sous l'angle des sommets insérés ou des arcs utilisés.

##### **c. Le principe de partitionnement**

Il reprend le principe réductionniste de "diviser pour régner" ; résoudre le problème global se révèle souvent plus complexe que résoudre la somme des sous problèmes qui le composent. Toute la difficulté réside alors dans la fusion des solutions de chaque sous problème (solutions approchées ou non et fusion exacte ou non). Plusieurs méthodes exactes sont basées sur cette approche (la décomposition).

#### **5.1.2.2. Heuristiques d'amélioration itérative (recherche locale)**

Contrairement aux méthodes constructives dont l'objectif est de construire une solution, les méthodes d'amélioration modifient une solution initiale, en vue d'améliorer sa valeur. Cette solution initiale est souvent le résultat d'une méthode constructive ; un algorithme général sera composé de deux phases : une méthode constructive suivie d'une méthode d'amélioration. La plupart de ces méthodes utilisent la notion de voisinage. Il s'agit de

trouver, à chaque itération, une « bonne » solution parmi l'ensemble des solutions qui définissent un voisinage d'une solution courante. Parmi ces méthodes, nous distinguons celles qui améliorent, à chaque itération, la valeur de la fonction objectif, dites méthodes de descente, et celles qui permettent de choisir une solution qui n'améliore pas forcément la valeur de la fonction objectif. D'une manière générale, le principal inconvénient des méthodes de descente est qu'elles donnent souvent des solutions correspondant à des optima locaux qui ne sont pas de très bonne qualité, alors que, en choisissant une solution qui n'est pas de descente, on peut sortir des minima locaux.

Les méta-heuristiques, quant à elles, reposent essentiellement sur le principe d'amélioration itérative. Elles nécessitent donc la possession d'une solution initiale. Dans ce qui suit, on présentera brièvement les méthodes méta-heuristiques à savoir, la méthode de Recuit Simulé, la Recherche Tabou, les Algorithmes Génétiques et les algorithmes basés sur le principe des Fourmis qui explorent également un voisinage. Le principe de ces méthodes fait l'objet d'une étude plus détaillée dans le deuxième chapitre.

#### **a. Le recuit simulé**

Le recuit simulé s'inspire du processus de recuit physique. Le processus du recuit simulé répète une procédure itérative qui cherche des configurations de coût plus faible (dans un problème de minimisation) tout en acceptant de manière contrôlée des configurations qui dégradent la fonction coût.

#### **b. La méthode tabou**

Cette méthode a été élaborée par GLOVER, elle est basée sur la notion de mouvements interdits (tabou). Chaque itération consiste à trouver le mouvement qui nous donne la meilleure solution dans le voisinage de la solution courante ; sachant que certains mouvements sont interdits. Parfois, nous choisissons une solution qui détériore légèrement la solution courante pour s'échapper des minima locaux. L'inverse du mouvement effectué à chaque itération est rajouté dans une liste, appelée liste tabou, qui contient les mouvements interdits. Initialement, la liste tabou est vide.

#### **c. Les algorithmes génétiques**

Ils sont proposés, pour la première fois, au milieu des années 70 par J. HOLLAND. Ces algorithmes se proposent d'imiter la sélection naturelle et la génétique de la théorie de l'évolution. La terminologie de la génétique a été également empruntée pour la description de tels algorithmes. Contrairement aux méthodes, Tabou et le Recuit Simulé qui

manipulent une seule solution, les algorithmes génétiques considèrent un ensemble de solutions (individus) appelé population. Le but de la méthode est de faire évoluer la population en effectuant des mutations et des croisements suivis de sélection d'individus. La mutation est une opération unitaire qui modifié la structure d'un individu. Le croisement est une opération binaire, qui à partir de deux individus, en produit deux nouveaux.

L'idée de base de ces algorithmes réside dans le fait que travailler avec une population permet d'identifier et d'explorer les propriétés communes des bonnes solutions.

#### **d. Optimisation par colonies de fourmis**

La méta-heuristique colonie de fourmis, ACO (Ant Colony Optimization), s'inspire du comportement collectif des colonies de fourmis pour résoudre des problèmes à base de graphes. L'optimisation par colonies de fourmis est basée sur le constat que, dans la nature, les fourmis (des animaux aveugles) sont capables d'établir par une somme d'interactions élémentaires le plus court chemin de leur nid à un objectif (une source de nourriture par exemple). Le but de cette approche est de trouver une solution annulant le coût et ceci en utilisant une multitude d'agents élémentaires (les fourmis) effectuant chacun de très simples actions.

## 6. La théorie de Markowitz

Harry Markowitz considère qu'un portefeuille de projets est assimilable à une combinaison de variables aléatoires dont on peut mesurer à l'avance la rentabilité espérée et le risque (à court terme). En fonction des projets disponibles et de leur couple «rentabilité -risque >>, on peut constituer toute une série de portefeuilles « optimaux >>, (appelés « efficients >>) parmi lesquels le particulier n'a qu'à choisir en fonction du degré de risque qu'il est prêt à subir. Ce faisant, Markowitz met en lumière le rôle crucial d'un élément inattendu, la covariance. [20]

### 6.1. La théorie moderne du portefeuille

La théorie moderne du portefeuille est une théorie financière développée par Harry Markowitz dans les années 1950, est une méthode qui consiste à sélectionner les titres qui permettront de créer un portefeuille ayant une efficacité maximum : une rentabilité maximum pour un risque minimum. [21]

Markowitz affirme que le comportement rationnel des investisseurs se base sur une recherche de rendement le plus élevé possible, mais aussi du risque le plus faible possible.

La frontière qui caractérise le polygone ou la courbe des contraintes s'appelle dans cette situation la "frontière efficiente (de Markowitz)" et dans le polygone/courbe se situent tous les portefeuilles à rejeter dits "portefeuilles dominés". Une autre manière de formuler ceci consiste à dire que les combinaisons (rendement, risque) de cette frontière forment un ensemble d'optima de Pareto c'est-à-dire que si l'un des éléments augmente, l'autre doit augmenter aussi. [22]

Dans l'espace à deux dimensions (rendement, risque), le comportement d'un investisseur est décrit par une courbe d'indifférence. Cependant, quelle que soit sa courbe d'indifférence spécifique, un investisseur choisira toujours le portefeuille avec le rendement le plus élevé, pour un niveau de risque donné.

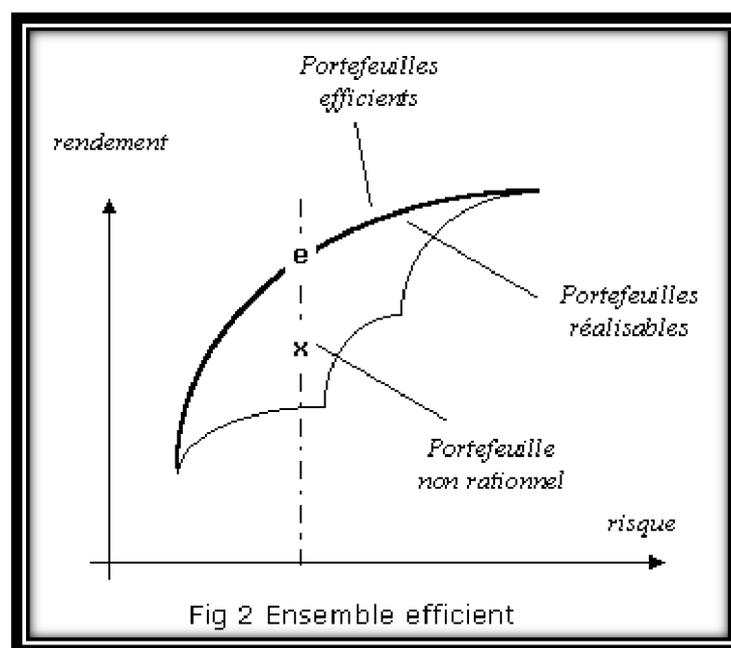
Pour chaque rendement, il existe un portefeuille qui minimise le risque. À l'inverse, pour chaque niveau de risque, on peut trouver un portefeuille maximisant le rendement attendu

L'ensemble de ces portefeuilles est appelé l'ensemble efficient. Le schéma ci-dessous explique cette notion. La surface en forme de « parapluie » délimite les performances de

portefeuilles qui sont réalisables, c'est-à-dire les couples rendement / risque pour lesquels il existe une combinaison d'actifs qui les réalise.

Dans la figure ci-dessous, investir sur le portefeuille marqué d'un «x » n'est pas rationnel, puisqu'il en existe avec le même risque et des rendements plus élevés. On a donc intérêt à investir sur le portefeuille marqué d'un «e ».

La courbe en gras qui délimite le parapluie par le haut s'appelle la « frontière efficiente ». Selon la théorie de Markowitz, seuls les portefeuilles situés sur cette frontière doivent être choisis par un investisseur rationnel. [23]



## La diversification

Un investisseur peut réduire le risque de son portefeuille simplement en détenant des actifs qui ne soient pas ou peu positivement corrélés, donc en diversifiant ses placements: Cela permet d'obtenir la même espérance de rendement en diminuant la volatilité du portefeuille. C'est ce qu'on appelle la diversification. [24]

### 6.1. La théorie moderne du portefeuille

#### a. L'espérance mathématique : mesure de la rentabilité espérée

Placé dans un univers incertain, l'investisseur ne peut pas calculer d'avance la rentabilité, car la valeur du titre en fin de période est aléatoire, ainsi que dans certain cas, la rémunération perçue durant la période. L'investisseur utilise alors, une rentabilité espérée

qui est la moyenne des rentabilités possibles pondérées par leur possibilité de réalisation.

Bénéficiant de l'effet de diversification du risque, ces portefeuilles dominent les titres individuels et constituent l'ensemble des choix, au sein duquel l'investisseur sélectionne finalement le portefeuille optimal, en fonction de son attitude particulière face au risque. Ainsi, un investisseur prudent choisira un portefeuille moins risqué, mais également moins rentable.

## **Hypothèses**

### **.Les Hypothèses Relatives aux Actifs Financiers**

#### **• Hypothèse 1 :**

Tout investissement est une décision prise dans une situation de risque : le rendement  $R_j$  d'un actif financier  $j$  pour toute une période future est par conséquent une variable aléatoire, dont on fait l'hypothèse qu'elle est distribuée selon une loi normale, c'est à dire une distribution symétrique stable entièrement définie par deux paramètres : l'espérance mathématique  $\mu = E(R_j)$  du rendement et l'écart-type  $\sigma = \sigma(R_j)$  de la distribution de probabilité du rendement.

#### **• Hypothèse 2 :**

Les rendements des différents actifs financiers ne fluctuent pas indépendamment les uns des autres : ils sont corrélés.

#### **• Hypothèse 3 :**

Les marchés sont parfaits : toutes les conditions pour que les prix correspondent à la réalité du moment sont réunies. L'entrée et la sortie sont libres et sans coût. L'information circule de manière totalement transparente. La concurrence est parfaite entre les acteurs composant le marché, il y a absence totale d'impôt, ...

### **6.2. Les Hypothèses Relatives aux Comportements des Investisseurs**

#### **• Hypothèse 1 :**

Le comportement des investisseurs est caractérisé par un degré plus ou moins prononcé d'aversion vis-à-vis du risque. Ce dernier est mesuré par l'écart-type de la distribution de la probabilité du rendement.

**• Hypothèse 2 :**

Les investisseurs sont rationnels : bien que leur fonction de préférence soit purement subjective, ils opèrent, en référence à celle-ci, des choix strictement transitifs. Autrement, leur comportement est caractérisé par un degré plus ou moins prononcé d'aversion au risque.

**• Hypothèse 3 :**

Tous les investisseurs ont le même horizon de décision, qui comporte une seule période. Cette simplification, qui peut paraître exagérée, permet de mettre en œuvre un modèle de décision qui tient compte du caractère hautement combinatoire du portefeuille. [25]

### 6.3. Portefeuille de projets d'E&P:

Deux caractéristiques importantes de l'investissement en Exploration & Production pétrolière sont les montants financiers très importants en jeu et incertitudes les élevées. Pour ces raisons, l'analyse du risque devrait être mise en œuvre durant le processus d'évaluation et de sélection des projets. En fonction de leurs ressources disponibles, les compagnies pétrolières sélectionnent un ensemble de projets sur la base de certains critères : la valeur actuelle nette, le taux de rendement interne, l'indice de profitabilité, etc. Cependant, ces critères se révèlent insuffisants vu, d'une part, l'absence de la notion du risque qui est élément essentiel de l'industrie pétrolière, et d'autre part, l'omission des interactions entre les différents projets.

H.Markowitz, en proposant en 1952 son célèbre modèle moyenne-variance, a donné le point de départ de la théorie moderne de la gestion de portefeuille. Selon ce modèle, tout investisseur poursuit deux objectifs conflictuels: la maximisation du rendement espéré et la minimisation du risque, mesuré par la variance des taux de rentabilité.

Les principaux apports de ce modèle sont sans doute son aspect relativement général, permettant son utilisation dans un grand nombre de situations pratiques, et sa simplicité en termes d'analyse théorique. En effet, une fois déterminés le risque et le rendement d'un actif financier ou d'une catégorie d'actifs financiers, la théorie financière moderne permet d'identifier les allocations d'actifs les plus judicieuses en fonction du degré de risque que l'investisseur est prêt à assumer.

Mais les rendements attendus ne sont pas des constantes physiques existant à l'état naturel comme le cas pour l'industrie pétrolière. Dans la plupart des études théoriques comme dans la pratique, les estimations du taux de rentabilité espéré et du risque d'un portefeuille sont déduites des données historiques et parfois pondérés par les facteurs économique et sociaux. Bien que égale en sciences sociales, il est fondamental de rappeler que ces estimations sont faites à partir d'un échantillon d'observations.

Même si l'optimisation moyenne-variance reste le standard en finance, son application est néanmoins sujette à caution. En effet, une optimisation moyenne-variance ne sera valable que si les taux de rentabilité suivent une loi normale (ou si l'investisseur possède une fonction d'utilité quadratique peu réaliste). De nombreuses études ont pourtant conclu au rejet de la loi normale comme loi de probabilité des taux de rentabilité.

Quand les distributions des rendements sont asymétriques, la sélection du portefeuille basée sur la variance peut être un handicap potentiel, de fait qu'elle sacrifie trop de rendement prévu en éliminant les rendements extrêmes, à ce problème, la semi-variance a été proposée comme une autre mesure alternative du risque.

Le but principal de ce chapitre est de présenter une application de la théorie de Markowitz à la sélection de projets d'investissement. En se souciant de présenter une méthode simple et concrète, c'est-à-dire, compréhensible et facile à appliquer par les décideurs de compagnies pétrolières.

Des critères d'évaluation préliminaires d'investissement sont nécessaires dans chaque étape de décision, toutefois, la grande question à laquelle doit répondre cette étude est : comment utiliser l'approche d'optimisation de portefeuille pour faciliter la décision stratégique d'investissement dans la pratique ? En général, le financement ne peut pas soutenir toutes les opportunités d'investissement disponibles. La sélection d'un portefeuille de projets est importante. Le processus de sélection vise à choisir un sous-ensemble de projets qui permette de maximiser les bénéfices (objectif) de la société, tout en respectant les contraintes. Toutefois, en plus de toutes les considérations précédentes, la compagnie doit suivre une stratégie qui lui assurera un meilleur rendement avec un minimum, de risque.

### **6.3-1-Le fonctionnement du modèle pour l'ensemble de la procédure:**

Le processus utilisé pour l'optimisation du portefeuille de projets en exploration et production est un modèle économique intégral, ventilé en trois étapes principales:

1. Evaluation individuelle de chaque projet par l'utilisation de la méthode déterministe pour l'évaluation des cash flows du projet d'exploration-production pétrolière.
2. Génération des simulations de Monte Carlo pour l'évaluation des risques économiques de projets;
3. Construction d'un modèle d'optimisation pour sélectionner le portefeuille optimal de projets.

Evaluation de projets	Evaluation individuelle de chaque projet en utilisant l'approche déterministe pour déterminer les critères principaux de décision : VAN, TIR...
Simulation de Monte Carlo	Générer ces simulations de Monte Carlo pour évaluer les risques des rendements économiques des projets qui sont basées sur des incertitudes locales (géopolitiques, géographiques...). La dépendance statistique entre projet doit être préservée.
Le processus d'optimisation	Optimisation linéaire / quadratique pour trouver la répartition optimale du capital pour chaque projet, de telle sorte à maximiser le rendement du portefeuille de projet tout en minimisant le risque.

**Figure** Fonctionnement du processus d'optimisation

Le but est d'obtenir un taux d'investissement optimal pour chaque projet afin de maximiser le rendement total du portefeuille en prenant en compte les différents risques ainsi que les contraintes de l'entreprise. Pour cela, nous comparons deux méthodes: la méthode d'optimisation de Markowitz avec la variance comme mesure du risque et la méthode de Markowitz avec la semi-variance comme du risque.

### 6.3.2 Modèles de calcul :

Pour les portefeuilles d'E&P, il existe plusieurs modèles d'optimisation qui sont :

- Le modèle de moyenne -variance;
- Le modèle de l'Ecart Absolu Moyen;
- Le modèle Minimax.

L'ensemble de notation de base commune à tous ces modèles est défini comme des indices, des paramètres et de variables de décision.

#### Indices:

$i, j = 1, \dots, N$  : les différents actifs risqués;

$t = 1, \dots, T$ : les périodes de temps des données historiques passées ;

#### Paramètres :

$u$ , le rendement attendu de l'actif;

$\sigma_{ij}$  Les coefficients de la matrice variance - covariance

$V$  (NN) défini pour les actif  $i$  Et  $j$ .

(  $= \sigma_i$ : les coefficients diagonaux pour l'actif  $i$ );

$p$ : le niveau du rendement désiré pour le portefeuille ; **Variables de décision :**

$x$ , la valeur de la fraction du portefeuille investie dans l'actif  $i$  ( $0 \leq x \leq 1$ );

X: le vecteur ( $N \times 1$ ) des poids du portefeuille x,

Dans notre travail, on s'est limité au modèle de la Moyenne -Variance qui se présente sous forme de deux programmes quadratiques (PQ1 et PQ2).

**-Le modèle de Moyenne -Variance:**

Le modèle Moyenne-Variance de Markowitz (1952) est la base de théorie moderne de choix de portefeuille. L'idée fondamentale de Markowitz étant que les investisseurs choisissent de façon optimale les portefeuilles efficients en minimisant le risque, mesuré par la variance, pour un niveau de rendement espéré.

PQ1:

$$\text{Min } Z_{\text{PQ1}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i = \rho$$

$$\sum_{i=1}^N x_i = 1$$

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, N$$

Avec la variation de rendement p on obtiendra un portefeuille avec une variance minimale.

L'ensemble de ces portefeuilles efficients déterminés forment la frontière efficiente.

$$\text{Max } Z_{PQ2} = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i - \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i = 1, \dots, N$$

$\lambda$ : un coefficient mesurant l'aversion de l'investisseur au risque ( $0 < \lambda < \infty$ )

#### 6.4 Analogie entre un portefeuille d'actions et un portefeuille de projets pétroliers :

Les différences fondamentales entre les rendements d'actions et les projets pétroliers dictent des modifications aux modèles de portefeuilles financiers standards

Quelques différences primaires dans les actifs fondamentaux sont:

- Type d'incertitudes;
- Mesures de risque;
- Nature des marchés ;
- Considérations de synchronisation (ou de « timing »);
- Effets budgétaires.

#### 6.5 Type d'incertitudes:

##### Les portefeuilles d'actions (PA):

- Des modèles de portefeuille d'actions sont principalement basés sur des incertitudes des prix et des rendements.
- Les incertitudes des rendements futurs d'actions sont généralement symétriques et en forme de cloche (distributions normales).
- Des estimations des distributions et de la dépendance statistique sont basées au moins en partie sur l'historique des données.

##### Les portefeuilles de projets E&P (PPE&P):

- Les projets E&P sont confrontés à deux (02) types d'incertitudes: incertitudes locales liées à la découverte et à la production d'huile dans un site donné, et les incertitudes globales attachées aux prix, aux politiques, etc.

-Les incertitudes économiques d'E&P sont normales. Elles sont fortement biaisées et marquent des événements rares.

-Les distributions et la dépendance statistique de l'information du prix peuvent être basées sur l'historique. Autres incertitudes doivent être modélées par les arbres décision ou par simulation.

### **6.6. Mesures de risque :**

Le risque ressenti par un investisseur sur le marché d'actions est généralement exprimé en termes de variance du portefeuille, ou par sa variabilité, qui traduit le degré avec lequel le portefeuille oscille en valeur. Ceci pénalise les écarts positifs et négatifs d'une manière équivalente.

Les considérations du risque pour des portefeuilles d'investissements pétroliers dépendent des soucis de management. Les mesures du risque appropriées pourraient être un déficit d'argent comptant (de cash) en une année indiquée, ou un échec de réaliser des réserves additionnelles désirées dans une durée de temps donnée. En raison des distributions fortement asymétriques des résultats, la pénalisation des écarts positifs n'a aucun sens, et la variance n'est plus une mesure de risque appropriée.

### **Nature des marchés:**

Les marchés d'actions sont tout à fait efficaces. Une des conséquences est que le prix qu'on paye pour un instrument est plus qu'il vaut. Par conséquent il n'y a aucune affaire («bargain »).

En fait beaucoup arguent, avec la bonne raison, du fait qu'on ne devrait pas perdre le temps en constituant les portefeuilles d'action et devrait investir entièrement dans des fonds indexes. Ces marchés efficaces donnent le « feedback en continue sur des valeurs. Les marchés d'actions traitent seulement avec les actions et des obligations.

Le marché des projets E&P pétrolier n'est pas efficace. En outre, un projet peut avoir une valeur très différente pour une société qu'il fait pour une autre. Par conséquent il y a de bonne « affaires » et de « mauvaises affaires ». L'analyse de portefeuille est précisément la manière de déterminer si une affaire particulière est bonne ou mauvaise pour notre société. Cette marche inefficace ne donne essentiellement aucun «feedback » sur des valeurs.

De plus, les portefeuilles de pétrole incluent les actifs actuellement possédés, des prospects d'exploration, des projets de développement, et / ou les propriétés d'acquisition.

Nous précisons que le terme « efficient » est employé ici dans son sens technique et économique. Un marché efficient est un marché dans lequel il n'y a aucune barrière pour chaque article ayant le prix indexé à sa valeur réelle, comme déterminé par tous les acheteurs et tous les vendeurs, c.-à-d., il n'y a aucune « bargain ».

### **.Mesures de risque :**

L'analyse de portefeuille d'actions ne fait pas traditionnellement des modèles temps explicites puisque les actions peuvent être aisément achetées ou vendues à tout moment.

Les investissements pétroliers présentent des POT très importants et leurs cash flows s'étalent sur de longues périodes de temps. Par conséquent, le temps doit être explicitement modélisé.

### **6.7. Effets budgétaires :**

Les modèles de portefeuille d'actions ignorent généralement la taille du budget. Un portefeuille efficient d'un million dollars est simplement 1.000 fois la taille des mille portefeuilles efficients d'un dollar. Des portefeuilles d'actions sont concernés seulement par les proportions de divers actifs détenus, indépendamment de la taille du budget.

Les portefeuilles pétroliers sont aux budgets dépendants. Une fois qu'on a pris un intérêt de 100% dans un projet E&P, personne en plus ne peut investir dans ce projet. Par conséquent, les budgets de tailles différentes auront des proportions différentes de divers projets dans leurs portefeuilles optimaux respectifs.

Un portefeuille d'actions contient généralement une petite fraction des actions non amorties de n'importe quelle compagnie. Un portefeuille E&P, d'autre part, contient souvent 100% de ses projets constitutifs, créant des effets budgétaires.

### **6.8. Les risques dans l'activité E&P et ses sources:**

Les sources principales du risque dans l'industrie pétrolière, et leurs impacts sur la VAN et l'ensemble des risques diversifiables sont résumées dans le tableau suivant :

Risques	Impact potentiel sur la VAN	Diversifiable (Oui/Non, si Oui comment diversifier)
Risque négatifs		
Politique	Négatif	Oui maintien un portefeuille multinational
Environnemental		Oui participer dans plusieurs projets
Exploration (Probabilité d'échec)		Oui participer dans plusieurs puits
Réserves	Positif ou Négatif	Oui participer ans plusieurs champs
Cout d'exploration		Oui participer dans plusieurs champs
Incertitude technique		
Prix du pétrole	Positif ou Négatif	Non risque peut être éliminé à la base d'un projet en sélectionnant des clauses contractuelles favorables
Prix du gaz		Oui s'il n'est pas lié au prix de pétrole et l'actif est une petite composante du portefeuille total Non s'il est lié au prix de pétrole
Taux de change		Oui si les investissements sont dans plus d'un pays ; cependant le taux de change devis / \$ N'est pas diversifiable car le pétrole est coté en \$ US
Inflation		Oui si les investissements sont dans plus d'un pays ; l'actif est moins diversifiable si l'inflation du composant cout est liée au prix du pétrole (ex : le forage)
Incertitude commercial		
Risque fiscal	Positif ou Négatif	Oui si les investissements sont dans plusieurs pays
Contrats de tarifs		Oui s'il n'est pas lié au prix de pétrole ou s'il est lié au prix du pétrole couvert par des contrats à long terme sur le marché boursier

Tableau source principales du risque dans l'activité E&amp;p

**Chapitre 03 :**  
**Modélisation de problème**

**Introduction**

Dans ce chapitre nous allons citer les données et les notations utilisées dans la modélisation du problème. Nous commençons par la représentation du problème, le fonctionnement du modèle pour l'ensemble de la procédure. Puis nous identifions les variables des décisions qui représentent les inconnus afin de satisfaire les objectifs, nous apprenons à identifier les différentes contraintes du problème en des variables de décisions.

**Présentation du problème**

L'investissement d'une entreprise pétrolière dans un projet n'est pas toujours certain, car l'entreprise ne peut pas être sûre de la réalisation de son projet, et ce dernier est rentable ou pas.

Dans ce cas elle se trouve dans une situation difficile pour prendre la décision de choisir des projets dans lesquels investir.

SONATRACH la compagnie nationale des hydrocarbures se trouve face à cette problématique.

Ayant un budget fixe, l'entreprise SONATRACH souhaite investir dans un ensemble  $n$  projets d'exploration-production. Son objectif principal est de déterminer les meilleurs investissements, pour maximiser sa rentabilité à long terme, tout en minimisant son risque.

Pour faire face à certaines contraintes, telle que la contrainte d'investissement et de production. La SONATRACH fixe une production minimale qu'elle souhaitera d'atteindre et même de dépasser en choisissant le bon portefeuille.

**7.Modélisation mathématique du problème**

Dans ce chapitre, nous présentons une application des deux méthodes d'optimisation de portefeuille développées précédemment, à un cas réel de 16 projets d'exploration -production pétrolière dont les données ont été tirées de la revue SPE.

Les caractéristiques de ces projets sont résumées dans le tableau (III.1).

Projets	INV (\$MM)	Prob Succès (%)	E (Rés) MMBOE	E(NPVAT) (%MM)	EMV (\$MM)	ERC	STD	S-STD	VAR	S-VAR
P1	2.5	24	7.2	21.3	3.212	1.285	0.316	0.152	0.09986	0.0231
P2	2.5	18	6.4	9	-0.43	-0.172	0.239	0.164	0.05712	0.0269
P3	2.3	24	12	12.3	1.204	0.523	0.163	0.171	0.02657	0.02924
P4	2.3	32	7.8	14.1	2.948	1.282	0.256	0.164	0.06554	0.0269
P5	2.3	20	6.4	9.3	0.02	0.009	0.245	0.178	0.06003	0.03168
P6	2.3	22	4.5	12.8	1.022	0.444	0.282	0.175	0.07952	0.03063
P7	2.3	32	7.3	13.2	2.66	1.157	0.249	0.163	0.062	0.02657
P8	2.3	22	4.7	9.5	0.296	0.129	0.249	0.176	0.062	0.03098
P9	2.3	22	4.4	7.5	-0.144	-0.063	0.237	0.176	0.05617	0.03098
P10	2.3	32	8.6	14.2	2.98	1.296	0.257	0.167	0.06605	0.02789
P11	2.3	17	6.3	14.9	0.458	-0.183	0.295	0.158	0.08703	0.02496
P12	2.3	25	8.8	11.4	0.975	0.39	0.263	0.155	0.06917	0.02403
P13	2.3	28	14.8	15.5	2.684	1.167	0.174	0.167	0.03028	0.02789
P14	2.3	38	7.9	14.9	4.236	1.842	0.253	0.157	0.06401	0.02465
P15	2.3	22	6.1	10.6	0.538	0.234	0.258	0.176	0.06656	0.03098
P16	2.3	23	5.6	14.8	1.633	0.71	0.295	0.173	0.08703	0.02993

**Tableau 1.**Ensemble d'opportunités d'investissement

Sur le tableau ci-dessus, sont montrées les différentes caractéristiques de chaque projet :

- (1) L'investissement (en MM\$) ;
- (2) La Probabilité de succès (Ps);
- (3) Les Réserves espérées (en Million de barils Equivalent, MMBOE)
- ; (4) La VAN espérée à un taux d'actualisation de 15% (en MM\$);

(5) La valeur monétaire espérée (Expected Monetary Value,EMV) calculée comme suit :

$$EMV=Ps * E(VAN) + (1-Ps) * Investissement;$$

- (6) L'Enrichissement relatif en capital(ERC) tel que :

$$ERC=EMV/Investissement ;$$

- (7) L'écart -type de la distribution des cash flows (STD);
- (8) Le semi-écart type de la distribution des cash flows (S -STD) ;
- (9) La Variance de la distribution des cash flows (VAR) ;
- (10) La Semi-variance de la distribution des cash flows (S-VAR).

**7.1 Le processus d'évaluation :**

La première phase de la modélisation de portefeuille est l'évaluation économique de tous les projets considérés. Cette étape consiste à:

- 1-Rassembler tous les paramètres nécessaires à l'évaluation économique des Projets ;
- 2-Etablir une évaluation économique de chaque projet dans un contexte déterministe ;
- 3-Procéder à l'analyse de sensibilité.

**7.2. Modélisation de portefeuille :**

Le but est de construire les différents modèles de Markwitz permettent de sélectionner les portions de chaque projet dans l'ensemble de portefeuille sous les contraintes économique (VAN, coût, ERC, et Réserves) et la contrainte logique(X). Afin de trouver un portefeuille respectant un double objectif qu'il s'agit à la fois de maximiser la fonction d'utilité et de minimiser le risque tout en considérant l'écart type et le semi écart type comme mesure du risque.

Le passage d'un cas à un autre se traduit par l'ajout d'une contrainte supplémentaire au cas précédent.

L'ensemble de notation de base commune à tous ces modèles est défini ci -dessous comme des indices, des paramètres et variable de décision.

Par simulation Monte Carlo pour l'évaluation des risques économiques de chaque projet.

Cette simulation permet d'établir des lois de probabilité des outputs (VAN dans notre cas) à partir desquelles, les différents paramètres statistiques (moyenne, écart -type, et semi-écart type) peuvent être calculés.

**Indice :**

$i, j=1, \dots, N$  : les différents projets ( $N=16$ )

**Paramètre :**

$\mu_i$  : Le rendement espéré (la VAN espérée) du projet  $i$  ;

$\sigma_{ij}$  : Les coefficients de la matrice variance - covariance  $V$  ( $N \times N$ )

défini pour les projets  $i$  et  $j$ .

( $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$  les coefficients diagonaux pour le projet  $i$ )

$\rho$  : le niveau du rendement désiré pour le portefeuille ;

$\lambda$  : un coefficient mesurant l'aversion de l'investisseur au risque ( $0 < \lambda < +\infty$ ).

**Variable de décision :**

$x_i$  : la valeur de la fraction du projet  $i$  investie ( $0 < x_i \leq 1$ );

$X$ : le vecteur ( $N \times 1$ ) des poids des projets  $x_i$ .

**Modèle 1** : Max. U (STD)

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i - \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, \dots, N$$

Ce modèle consiste à maximiser la fonction d'utilité (U) de l'investisseur. C'est un problème classique de programmation quadratique : En faisant varier les valeurs de  $\lambda$ , on cherchera à déterminer la combinaison optimale des valeurs des  $X_i$ . Chaque combinaison correspond à un couple optimal (VAN, risque) qui constituera un point de la frontière efficiente. Cette frontière est entièrement tracée en résolvant le problème pour des valeurs à variant (de 0 à  $+\infty$ ).

**Modèle 2** : Min. R(STD)

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i = \rho$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i=1, \dots, N$$

Il s'agit de minimiser la fonction risque. C'est un problème de programmation quadratique, pour chaque niveau de rendement  $P$  (VAN), on déterminera les valeurs  $x_i$  constituant le portefeuille optimal. Tout comme le modèle précédent, chaque couple (VAN, risque) obtenue correspond à un point de la frontière efficiente.

Les modèles (1) et (2): Max U(STD) et Min R(STD), considèrent l'écart mesure de risque. De la même manière, nous pouvons proposer deux autres: Max U(S -STD) et Min R(S- STD) en se basant sur le semi-écart -type

### 7.3 : Applications:

#### 7-3-1- Analyse des résultats relatifs à chaque cas:

##### 7-3-1-1-Cas 1 : Fonction objectif avec deux (2) contraintes :

Dans ce cas, nous considérons : un modèle avec une fonction objective (soit de la maximisation de l'utilité ou de minimisation du risque).

-Une contrainte de disponibilité financière ( $I_{max} = 10\text{MM}\$$ );

-Une contrainte sur les variables de décision  $x_j$  ( $0 < x_i \leq 1, i = 1, \dots, N$ ).

La formulation de nos modèles devient comme suit :

**Modèle 1 : Max.U(STD)**

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i - \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i x_j \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{\max}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i=1, \dots, N$$

**Modèle 2 : Min.R(STD)**

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i = \rho$$

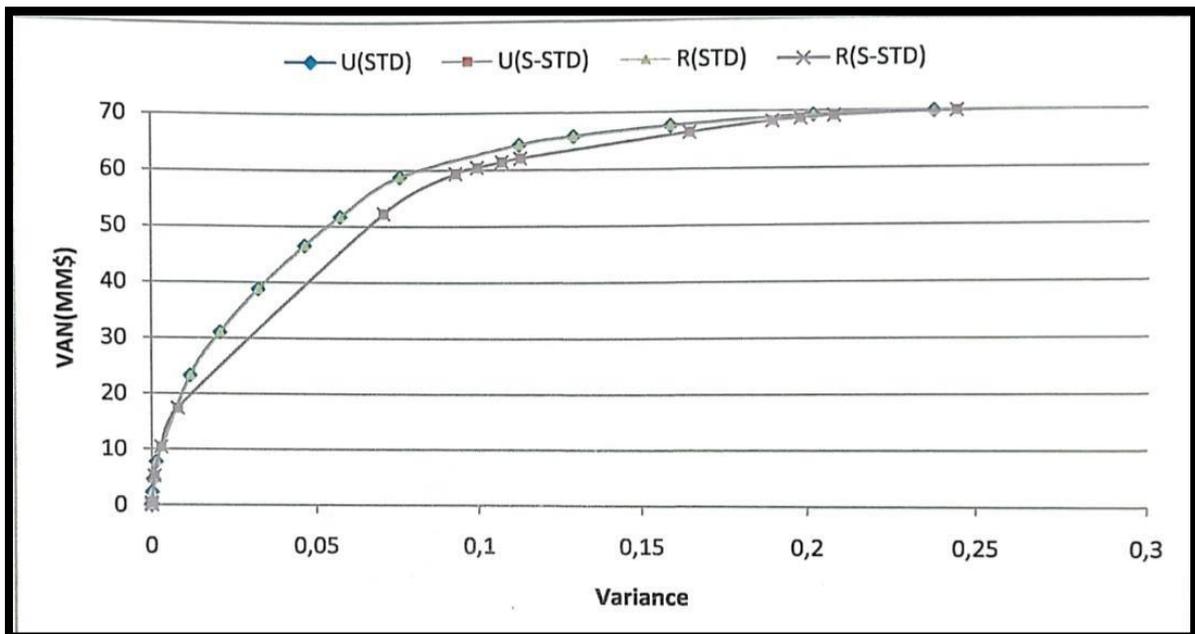
$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i \leq I_{\max}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, \dots, N$$

Avec  $I_i, i=1, \dots, N$ , sont les investissements relatifs aux projets ;

$I_{\max}$  : est le capital total disponible ( $I_{\max}=10\text{MM}\$$ ).

Les frontières efficaces relatives aux quatre modèles sont montrées dans la figure III.1.



**Figure III.1.** Les frontières efficientes (Cas 1)

Sur la figure III.1 nous remarquons que:

-Les modèles U(STD) et R(STD) aboutissent à des résultats identiques, cette remarque est aussi valable pour les modèles U(S-STD) et R(S-STD);

-Quand la variance prend des valeurs très faibles ( $V < 0,01$ ) ou très élevés ( $V > 0,20$ ) les frontières efficientes (FE) des quatre (4) modèles sont confondues. Cependant, pour des valeurs intermédiaires de la variance, nous avons :

$FE(R(S-STD)) \sim FE(U(S-STD)) < FE(U(STD)) \sim FE(R(STD))$

$Risque(U(STD)) \sim risque(R(STD)) < risque(R(S-STD)) \sim rise\ VAN(U(S-STD)) \sim VAN(R(S-STD)) < VAN(U(STD)) \sim VAN(R(S-STD)) < VAN(U(STD)) \sim VAN(R(STD))$ .

- Pour les quatre modèles, la VAN du portefeuille optimal varie entre 0 et 70.20 MM\$

- La valeur maximale de la VAN (70.20 MM\$) correspond au risque maximal de 0.286

pour la variance (VAR) et de 0.107 pour la semi variance

Pour ce cas, les valeurs des variables  $x_i$  ( $i = 1, \dots, N$ ) ainsi que les pourcentages de chaque projet dans le portefeuille sont identiques pour les quatre modèles (Tableau III.2)

Résultats	VAN Max/Risque Max ( Les quatre modèles)	
VAN	70.2	
STD^2	0.286	
S-STD^2	0.107	
Invest	10.0	23%
X1	1.0	0%
X2	0.0	0%
X3	0.0	0%
X4	0.0	0%
X5	0.0	0%
X6	0.0	0%
X7	0.0	0%
X8	0.0	0%
X9	0.0	0%
X10	0.26	6%
X11	0.0	0%
X12	0.0	0%
X13	1.0	23%
X14	1.0	23%
X15	0.0	0%
X16	1.0	23%

**Tableau III.2.** Résultats du cas 1

Dans cette situation, les projets 1, 13, 14 et 16 seront pris en totalité. Cependant, pour le projet 10, une prise de participation de 26% sera considérée.

#### 7-3-1-2-Cas 2 : Fonction objectif avec trois (3) contraintes :

Dans ce cas, nous considérons un modèle avec une fonction objective et trois fonctions objectives t trois contraintes :

- Une contrainte sur la disponibilité financière ( $I_{max}=10MM\$$ );
- Une contrainte sur les réserves (la somme des réserves est supérieure à la valeur minimale de 35 MMBOE); une valeur est supérieure ou égale à :
- Une contrainte sur les variables de décision  $x_i$  ( $0 \leq X_i \leq 1$ ).

Nos modèles sont décrits comme suit :

**Modèle 1** : Max. R(STD)

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i - \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \geq R_{\min}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i=1, \dots, N$$

**Modèle 2 : Min.R(STD)**

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \geq R_{\min}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i=1, \dots, N$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i = \rho$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \geq R_{\min}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i=1, \dots, N$$

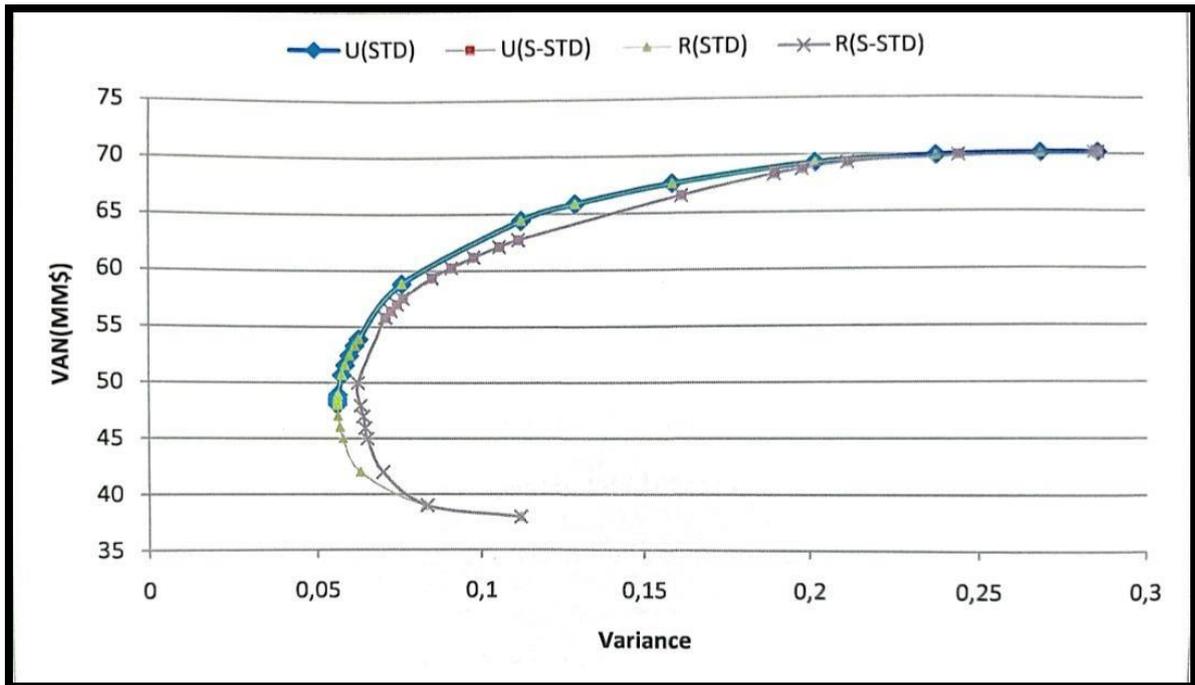
Avec  $I_i, i=1 \dots, N$ , sont les investissements relatifs aux projets ;

$I_{\max}$  : est le capital total disponible ( $I_{\max}=10\text{MM}\$$ );

$R_i, i=1 \dots N$  Sont les réserves additionnelles relatives aux projets ;

$R_{\min}$ : est la valeur minimale de réserves du portefeuille ( $R_{\min}=35 \text{ MMBOE}$ );

Les frontières efficaces relatives aux quatre modèles sont montrées dans la figure III.2.



**Figure III.2.** Les frontières efficaces (Cas 2)

Nous pouvons noter certaines remarques :

-Les frontières efficaces obtenues pour les modèles U(STD) et R(STD) présentent une forme semblable quand la valeur de la VAN est supérieure à VANmin (U(STD)).

= 48,06MM\$. Lorsque la VAN est eu de ça de cette valeur, la FE(R(STD)) se retourne et change d'allure. La valeur minimale de la VAN obtenue pour ce modèle est VANmin (R(STD)) = 38MM\$. Quant aux valeurs maximales de la VAN pour ces modèles (U(STD) et R(STD)), elles sont identiques (70,20 MM\$).

- La remarque précédente reste valable pour les modèles U(S -STD) et R(S-STD) sauf que les valeurs minimales respectives de la VAN sont : 55,84 et 38MM\$. Et dans ce cas, nous aurons :

FE (U (STD)) ~ FE(R (STD)) < FE(U(STD) ~ FE(R (STD)) en d'autres termes, pour une même valeur du risque :

Risque (U(STD)) < Risque (U(S-STD)) < Risque(R(STD)) = Risque (R(S-STD)) ou bien pour une même valeur de la VAN :

VAN (R (STD)) ~ VAN(R(S-STD)) <VAN (U (STD)) < VAN (U (S-STD)) Pour les valeurs de la VAN > 69MM\$, les quatre FE se rejoignent.

-Pour les quatre modèles (Tableau III.3), la VAN maximale est de 70 20MM Correspond à une valeur de risque maximale, soit 0,286(variance) et 0 102

(Semi-variance) et un investissement total de 10MM\$.

Cependant, ces modèles dégagent des valeurs minimales différentes: de VAN de risque et d'investissement

$$\text{VAN R(S-STD)} = \text{VAN R (STD)} = 38,00\text{MM\$} < \text{VAN U (STD)} = 48,06\text{MM\$}$$

$$< \text{VAN U(S-STD)} = 55,84\text{MM\$}.$$

$$\text{I.R(S-STD)} = \text{I.R(STD)} = 6,83\text{MM\$} < \text{I.U(STD)} = 8,53\text{MM\$} < \text{I.U(S- STD)} = 9,81\text{MM\$}$$

$$\text{Var.U(STD)} = 0,055 < \text{Var.U(S-STD)} = 0,070 < \text{Var.R(STD)} = \text{Var.R(S-STD)} = 0,112;$$

$$\text{Semi-Var.U(S-STD)} = 0,033 < \text{Semi-Var.R(S-STD)} = 0,076;$$

Nous remarquons que, l'ajout d'une contrainte supplémentaire sur les réserves additionnelles a influé sur la valeur minimale de la VAN du portefeuille optimal. Quant à la valeur maximale, il est restée inchangée (70,20MM\$).

Les résultats obtenus en utilisant les quatre modèles, et correspondent aux situations limites du portefeuille optimal (VANmax /Risque max et VANmin /Risque min), sont groupés dans le tableau(III.3).

Résultats	VAN Max/Risque Max ( Les quatre modèles)		VAN Max/Risque Max							
			Max,U(STD)		Max,U(S-STD)		Min,R(STD)		Min,R(S-STD)	
VAN	70.2		48.06		55.84		38.00		38.00	
STD^2	0.286		0.055		0.07		0.112		0.112	
S-STD^2	0.107				0.033				0.076	
Invest	10		8.53		9.81		6.8		6.83	
X1	1.0	23%	0.11	3%	0.30	7.30%	0.00	0%	0.00	0%
X2	0.0	0%	0.17	4.70%	0.22	5.30%	0.00	0%	0.00	0%
X3	0.0	0%	0.72	20.00%	0.39	9.50%	1.00	34.00%	1.00	34.00%
X4	0.0	0%	0.19	5.20%	0.27	6.60%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X5	0.0	0%	0.17	4.70%	0.19	4.60%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X6	0.0	0%	0.09	2.50%	0.14	3.40%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X7	0.0	0%	0.18	5.00%	0.26	6.30%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X8	0.0	0%	0.12	3.30%	0.14	3.40%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.0	0%	0.12	3.30%	0.13	3.10%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X10	0.26	6%	0.20	5.50%	0.29	7.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X11	0.0	0%	0.11	3.00%	0.24	5.80%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X12	0.0	0%	0.20	5.50%	0.35	8.50%	0.89	30.00%	0.00	30.00%
X13	1.0	23%	0.78	21.00%	0.51	12.00%	1.00	34%	0.89	34%
X14	1.0	23%	0.19	5.20%	0.30	7.30%	0.00	0%	1.00	0.00%
X15	0.0	0%	0.14	3.80%	0.18	4.40%	0.00	0%	0.05	0.00%
X16	1.0	23%	0.10	2.70%	0.18	4.40%	0.00	0%	0.35	0.00%

**Tableau III.3.** Résultats du cas 2

Du tableau III.3, nous constatons que, pour la situation VANmax/Risque max, tous les résultats sont identiques, mais pour la situation VANmin Risque min, seuls les modèles R(STD) et R(S-STD) présentent les mêmes résultats. A noter que ces deux derniers modèles proposent un portefeuille plus risqué avec une VAN plus faible.

### 7-3-1-3-Cas 3 : Fonction objectif avec quatre (4) contraintes :

Dans ce cas, le modèle considéré est décrit par une fonction objective avec quatre (4) contraintes :

- Une contrainte sur la disponibilité financière ( $I < I_{max}=10MM\$$ ) ;
- Une contrainte sur les réserves ( $R > R_{min}=35MMBOE$ );
- Une contrainte sur la VAN ( $VAN > VAN_{min}= 67MM\$$ );
- Une contrainte sur les variables de décision  $x_i$  ( $0 < x_i= 1$ ).

Les modèles d'optimisation résultant se présentent comme suit:

**Modèle 1** : Max.U(STD)

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i - \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_{min} \geq R_{min}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i \geq \rho_{min}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i=1, \dots, N$$

**Modèle 2** : Min.R(STD)

$$\mathbf{MinZ} = \sum_{i=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i \geq \rho$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \geq R_{\min}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i \geq \rho_{\min}$$

$$0 \leq x_i \leq 1, \quad i=1, \dots, N$$

Avec  $I_i$   $i=1, \dots, N$ , Sont les investissements relatifs aux projets ;

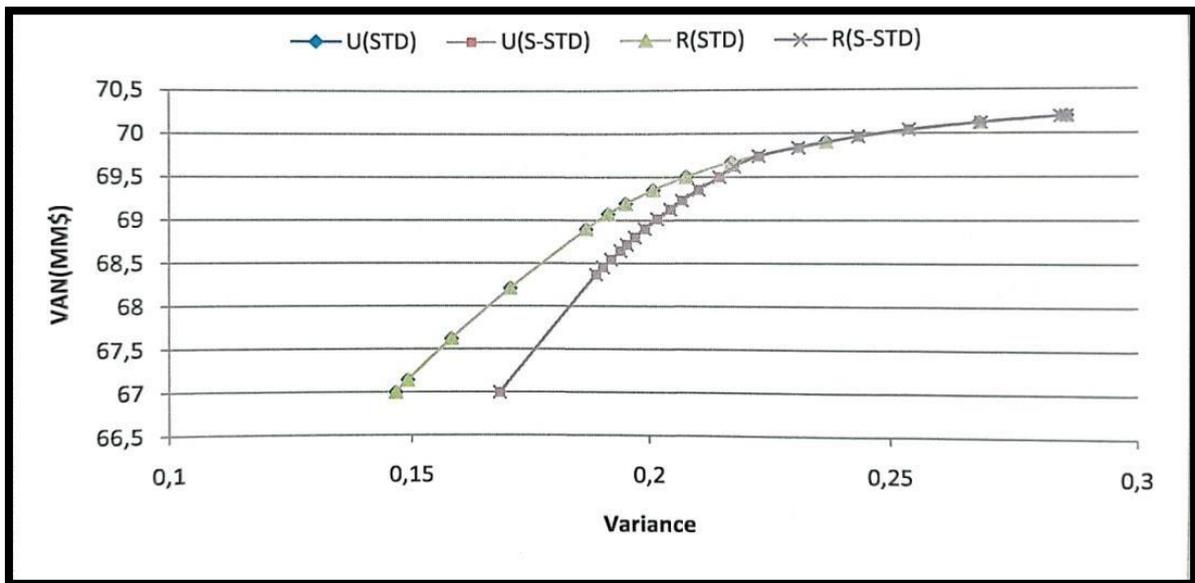
$I_{\max}$ : est le capital total disponible ( $I_{\max}=10\text{MM}\$$ )

$R_i$ ,  $i=1, \dots, N$ , Sont les réserves additionnelle relatives aux projets ;

$R_{\min}$  : est la valeur minimale de réserves du portefeuille ( $R_{\min}=35\text{MMBOE}$ ).

$\rho_{\min}$  : est la valeur minimale de la VAN du portefeuille ( $\rho_{\min}=67\text{MM}\$$ ).

Les frontières efficaces obtenues pour ce cas sont montrées sur la figure III 3



**Figure III.3.** Les frontières efficaces (Cas 3)

L'analyse des résultats nous a permis de noter certaines remarques :

- Les frontières efficaces relatives aux modèles U(STD) et R(STD) sont Confondues. De même pour les frontières efficaces FE(U(S -STD)) et FE(R(S-STD)).

-Pour des valeurs de variance (VAR <0,24) correspondant à des valeurs de VAN > 69,97MM\$) nous avons :

$FE(R(S-STD)) \sim FE(U(S-STD)) < FE(U(STD)) \sim FE(R(STD))$  pour la même valeur de la VAN;

risque (U(STD)) ~ risque(R(STD)) < risque(R(S-STD)) ~ risque (U(S

$VAN(U(S-STD)) = VAN(R(S-STD)) = VAN(U(STD)) = VAN(R(STD))$ ).

(ce qui correspond à des valeurs A noter que lorsque la valeur de la VAR dépasse 0,24 de VAN supérieurs à 69,6MM\$), les frontières efficaces de ces quatre me confondent

-Pour les quatre modèles (Tableau IV.4), les résultats retrouvés correspondant à la sélection VAN Max / Risque Max sont identiques à ceux obtenus pour les cas précédents (Cas 1,2 et 3).

Quant à la sélection VAN Min / RisquéMin, les résultats ont changés :

$$VAN (R(S-STD)) = VAN (R (STD)) = VAN (U (STD)) = VAN (U(S-STD)) = 67MM\$;$$

I.  $(R(S-STD)) = I.(U (STD)) = I.(U(S-STD)) = 9,99MM\$ < I.(R (STD)) = 10MM\$$ ;  $Var (U(STD)) = Var(R(STD)) = 0,146 < Var(U(S-STD)) = Var(R(S-STD)) = 0,168$ ;  $Semi-Var(U(S-STD)) = Semi-Var(R(S-STD)) = 0,053$ ;  $X (U (STD)) = X(R (STD))$  et  $X (U(S-STD)) = X(R(S-STD))$ .

Nous constatons que l'ajout d'une contrainte supplémentaire (contrainte sur la VAN minimale) a modifié la valeur de la VAN minimale. Quant à la valeur maximale, elle n'a pas été affectée.

Résultats	VAN Max/Risque Max ( Les quatre		VAN Max/Risque Max							
			Max,U(STD)		Max,U(S-STD)		Max,U(STD)		Max,U(S-STD)	
VAN	70.2		67.00		67.00		67.00		67.00	
STD^2	0.286		0.146		0.168		0.146		0.168	
S-STD^2	0.107				0.053				0.053	
Invest	10.0		9.99		10.0		10.0		10.0	
X1	1.0	23%	0.78	18%	0.99	23%	0.78	18%	0.99	23%
X2	0.0	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
X3	0.0	0%	0.28	6.60%	0.22	5.20%	0.28	6.60%	0.22	5.20%
X4	0.0	0%	0.35	8.30%	0.35	8.30%	0.35	8.30%	0.35	8.30%
X5	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X6	0.0	0%	0.15	3.50%	0.19	4.50%	0.15	3.50%	0.19	4.50%
X7	0.0	0%	0.24	5.70%	0.28	6.70%	0.24	5.70%	0.28	6.70%
X8	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X10	0.26	6%	0.36	8.50%	0.35	8.30%	0.36	8.50%	0.35	8.30%
X11	0.0	0%	0.24	5.70%	0.36	8.60%	0.24	5.70%	0.36	8.60%
X12	0.0	0%	0.00	0.00%	0.08	1.90%	0.00	0.00%	0.08	1.90%
X13	1.0	23%	1.00	23.00%	0.50	11.00%	1.00	23%	0.50	11.00%
X14	1.0	23%	0.47	11.00%	0.45	10.00%	0.47	11%	0.45	10.00%
X15	0.0	0%	0.00	0.00%	0.05	1.10%	0.00	0%	0.05	1.10%
X16	1.0	23%	0.34	8.00%	0.35	8.30%	0.34	8%	0.35	8.30%

**Tableau III.4.**Résultats du cas 3

Du tableau III.4, nous remarquons que pour la sélection VANmin/Risque min, les résultats obtenus avec les modèles Max U(STD) et Min R(STD) sont identiques. Aussi, les modèles Max U(S-STD) et Min R(S-STD) conduisent au même portefeuille optimal. Pour les portefeuilles déterminés par les modèles U(S-STD) et R(S-STD) les projets sélectionnés sont : X1, X3, X4, X6, X7, X10, X11, X12, X13, X14, X15, et X16. Quant au portefeuille R(STD) et U(STD), tous les projets des portefeuilles précédents sont considérés à l'exception de projet X12.

**7-3-1-4-Cas 4 : Fonction objectif avec cinq (5) contraintes :**

Pour ce cas, le modèle considéré décrit par une fonction objective et cinq p o

- Une contrainte sur la disponibilité financière ( $I < I_{\max} = 10\text{MMD}$ );
- Une contrainte sur les réserves ( $R > R_{\min} = 35\text{MMBOE}$ );
- Une contrainte sur la VAN ( $VAN > VAN_{\min} = 67\text{MM}\$$ );
- Une contrainte sur l'ERC du portefeuille ( $ERC \geq ERC_{\min}$
- Une contrainte sur  $X_i$  ( $0 < X_i = 1$ ).

Nos modèles d'optimisation sont les suivants :

**Modèle 1** : Max.U(STD)

$$\text{Max } Z = \sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i - \lambda \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \leq R_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i \leq \rho_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i (EMV_i - ERC_{\min} \cdot I_i) \geq 0$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, \dots, N$$

**Modèle 2** : Min.R(STD)

$$\text{Min } Z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N x_i \cdot x_j \cdot \sigma_{ij}$$

Sous les contraintes :

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot \mu_i = \rho$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot I_i \leq I_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i \cdot R_i \leq R_{\max}$$

$$\sum_{i=1}^N x_i (EMV_i - \alpha \cdot I_i) \geq 0$$

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, \dots, N$$

Avec

$i_i, i=1, \dots, N$ , Sont les investissements relatifs aux projets ;

$I_{max}$  : est le capital total disponible ( $I_{max}=10MM\$$ );

$R_i, i=1, \dots, N$ , Sont les réserves additionnelle relatives aux projets ;

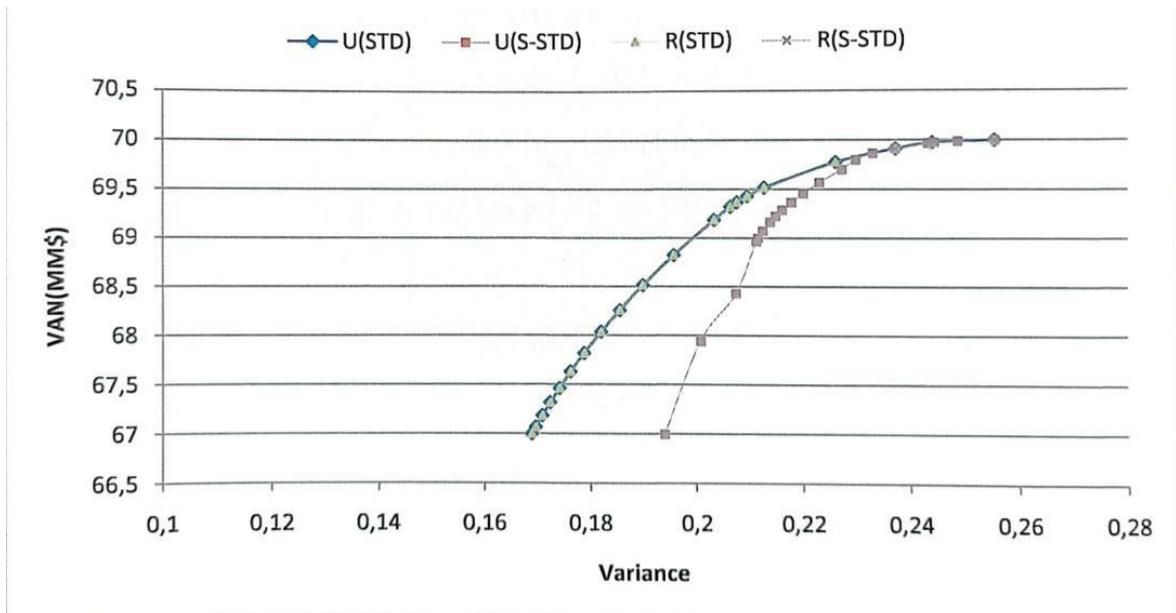
$R_{min}$  : est la valeur minimale de réserves du portefeuille ( $R_{min}=35MMBOE$ ) -

$P_{min}$ : est la valeur minimale de la VAN du portefeuille ( $P_{min}= 67MM\$$ ).

EMV; : Equivalent Monetary Value d'un projet i;

L'ERC: est l'ERC minimal du portefeuille ( $a = 1,3$ ).

Les frontières efficaces obtenues pour ce cas sont montrées sur la figure III.4



**Figure III.4.** Les frontières efficaces (Cas 4)

De la figure ci-dessus (Figure IV.4), nous constatons que :

- Les frontières efficaces FE (U(STD)) et FE (R(STD)) présentent la même allure.

De même pour les FE (U(S -STD)) et FE(R(S-STD)).

-Pour des valeurs de variance ( $VAR < 0,25$ ) correspondent à des VAN

(VAN < 69,98MM\$), nous avons:

$FE(R(S-STD)) \sim FE(U(S-STD)) < FE(U(STD)) - < FE(U(STD)) \sim FE(R(STD))$  c.-à-d.,

pour une même valeur de la VAN;

$S-STD)) \sim$  risque (U(S-STD)) ou bien,

risque (U(STD))  $\sim$  risque(R(STD)) < risque(R(S-STD))  $\sim$  risc

Pour une même valeur de risque ;

$VAN(U(S-STD)) = VAN(R(S-STD)) < VAN(U(STD)) = VANORIST$

Pour les quatre modèles (Tableau III.5), les résultants correspondant à la sélection VAN max /

Risque max sont différents de ceux obtenus pour les cas précédents.

(ras 1 2 et 3), la VAN maximale est de 70,00MM\$(au lieu de 70,20MM\$), la valeur.

MMD), la valeur de Risque maximale est de 0,255 (au lieu de 0,285 pour la variance) et

0.098 Au lieu de 0,107) pour la Semi-variance et un investissement de 9,87MM\$ pour les

modèles U(S-STD) et R(S-STD) et de 10MM\$ pour les modèles U(STD) et R(STD).

Nous remarquons également que seules les valeurs de X10 et X16 ainsi que leurs pourcentages

dans le portefeuille X10 = 0,60 (13,81%) et X16 = 0,66 (15,19%) sont modifiées par rapport

aux cas précédents X10 = 0,26 (6,00%) et X16 = 1,00 (23,00%).

-Quant à la sélection VAN Min / Risque Min, nous retenons:

$VAN(R(S-STD)) = VAN(R(STD)) = VAN(U(STD)) = VAN(U(S-STD)) = 67MM$;$

$I((U(S-STD)) = I(R(S-STD)) = 9,87MM$ <  $I(U(STD)) = I(R(STD)) = TOMINA,$$

$var(U(STD)) = Var(R(STD)) = 0,169 < Var(U(S-STD)) = Var(R(S-STD)) = 0,194;$  Semi-

$Var(U(S-STD)) = Semi-Var(R(S-STD)) = 0,067;$

$X(U(STD)) = X(R(STD))$  et  $X(U(S-STD)) = X(R(S-STD)).$

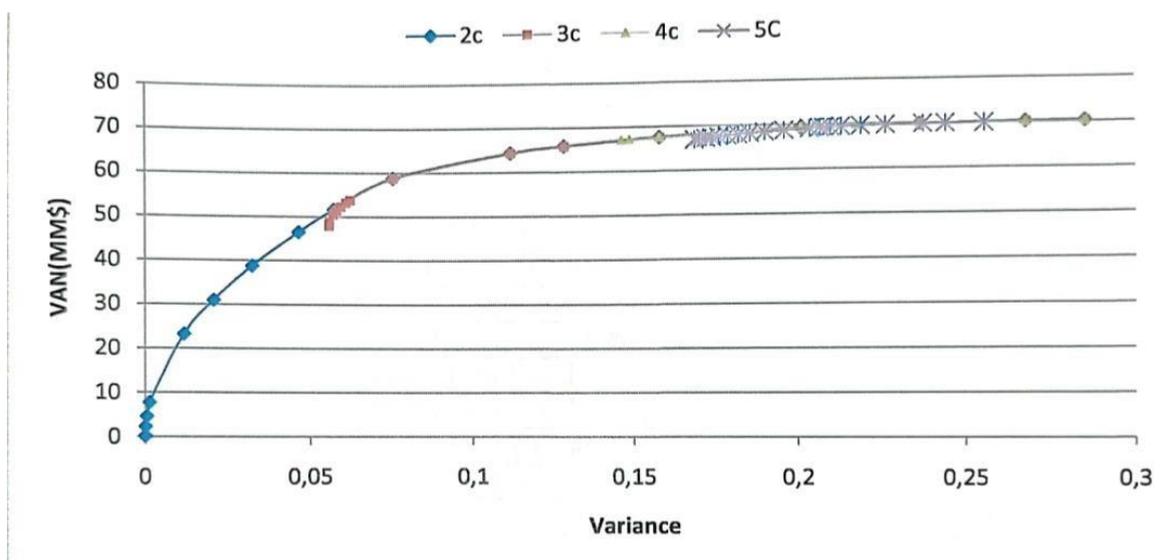
Résultats	VAN Max/Risque Max		VAN Max/Risque Max							
			Max,U(STD)		Max,U(S-STD)		Max,U(STD)		Max,U(S-STD)	
VAN	70		67.00		67.00		67.00		67.00	
STD^2	0.255		0.169		0.194		0.169		0.194	
S-STD^2	0.098				0.067				0.067	
Invest	10.0		10.00		9.87		10.0		9.87	
X1	1.0	23%	0.66	15%	0.91	21%	0.66	15%	0.91	21%
X2	0.0	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%	0.00	0%
X3	0.0	0%	0.09	2.10%	0.10	2.30%	0.09	2.10%	0.10	2.30%
X4	0.0	0%	0.50	11.00%	0.51	12.00%	0.50	11.00%	0.51	12.00%
X5	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X6	0.0	0%	0.03	0.70%	0.08	1.90%	0.03	0.70%	0.08	1.90%
X7	0.0	0%	0.40	9.40%	0.43	10.00%	0.40	9.40%	0.43	10.00%
X8	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X10	0.60	14%	0.51	12.00%	0.51	12.00%	0.51	12.00%	0.51	12.00%
X11	0.0	0%	0.00	0.00%	0.01	0.20%	0.00	0.00%	0.01	0.20%
X12	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X13	1.0	23%	1.00	23.00%	0.50	11.00%	1.00	23%	0.50	11.00%
X14	1.0	23%	0.83	19.00%	0.87	20.00%	0.83	19%	0.87	20.00%
X15	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%	0.00	0%	0.00	0.00%
X16	0.7	15%	0.23	5.40%	0.25	5.90%	0.23	5.40%	0.25	5.90%

Tableau III.5. Résultats du cas 4

### 7-3-2-Analyse des résultats relatifs à chaque modèle :

Dans cette partie, nous interprétons les résultats des quatre (4) cas obtenus pour chaque modèle, aussi nous mettrons en évidence l'influence de chaque contrainte supplémentaire sur les résultats.

#### 7-3-2-1-Le modèle Max. (STD) :



**Figure III.5.** Résultats relatifs au modèle U(STD)

De la figure III.6, nous remarquons que la frontière efficiente (2c), correspondant à une fonction objective avec deux contraintes : une sur la disponibilité financière et l'autre sur les  $X_i$ , présente une VAN minimale ( $VAN_{min} = 0$ ).

L'ajout d'une contrainte sur les réserves (Cas 3) influe sur les résultats en dictant une VAN Minimale différente de 0 ( $VAN_{min} = 48,06 \text{ MM\$}$ ). A noter également que la frontière efficiente (3c) montre un petit décalage par rapport à la frontière efficiente (2c) pour des valeurs de risque faibles ( $0,05 < Var < 0,1$ ) et de VAN ( $VAN = 48,06 \text{ MM\$}$ ). Cependant, pour des valeurs élevées de VAN, les courbes FE (2c) et FE (3c) sont confondues.

Sous l'effet de la quatrième contrainte sur la VAN, la frontière efficiente (4c) débute à partir de VAN min de  $67 \text{ MM\$}$ . Elle est superposée parfaitement sur les FE (2c et 3c). La VAN maximale pour ce cas est identique à celle retrouvée précédemment pour les deux derniers cas (2c et 3c).

Quant à la FE (5c), sa VAN minimale est de  $67 \text{ MM\$}$  mais avec un risque min plus élevé que celui du cas (4c) ( $STD^2 = 0,169$ ). La FE (5c) rejoint les FE (2c, 3c et 4c). Pour ce cas, les valeurs du couple VAN max/variance max sont légèrement différentes de celles des cas précédents ( $70,00 \text{ MM\$} / 0,255$ ).

Dans le tableau ci-dessous sont présentés les résultats des quatre (4) cas :

VAN	70.2		70.00	
STD <sup>2</sup>	0.286		0.255	
S-STD <sup>2</sup>	0.107		0.098	
Investissement	10		10	
X1	1.0	23%	1.0	23%
X2	0.0	0%	0.0	0%
X3	0.0	0%	0.0	0%
X4	0.0	0%	0.0	0%
X5	0.0	0%	0.0	0%
X6	0.0	0%	0.0	0%
X7	0.0	0%	0.0	0%
X8	0.0	0%	0.0	0%
X9	0.0	0%	0.0	0%
X10	0.26	6%	0.60	14%
X11	0.0	0%	0.0	0%
X12	0.0	0%	0.0	0%
X13	1.0	23%	1.0	23%
X14	1.0	23%	1.0	23%
X15	0.0	0%	0.0	0%
X16	1.0	23%	0.66	15%

**Tableau III.6.** Résultats VAN Max / Risque Max relatifs au modèle U(STD)

Nous remarquons que les résultats VANmax Risque max (Tableau III.7) sont identiques pour tous les modèles. Le passage de cas (1), (2), et (3) au cas (4), qui se traduit par l'ajout d'une contrainte supplémentaire, engendre une diminution de la VANmax et une augmentation du risque (Variance ou Semi-variance).

Les projets retenus dans ce portefeuille sont les mêmes pour les cas 1, 2, 3, 4:(X1, X10, X13, X14 et X16) mais avec des pourcentages pareils sauf pour le projet X10.

Résultats	VAN Min/ Risuque Min: Max,R(STD)					
	cas 2		cas 3		cas 4	
VAN	38		67.00		67.00	
STD^2	0.112		0.146		0.169	
S-STD^2						
vestisseme	6.83		10		10	
X1	0.0	0%	0.78	18%	0.66	15.00%
X2	0.0	0%	0.0	0%	0.00	0.00%
X3	1.0	34%	0.28	7%	0.09	2.10%
X4	0.0	0%	0.35	8%	0.50	11.00%
X5	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X6	0.0	0%	0.15	3.50%	0.30	0.70%
X7	0.0	0%	0.24	3.70%	0.40	9.40%
X8	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.0	0%	0.00	8.50%	0.00	0.00%
X10	0.0	0%	0.36	5.70%	0.51	12.00%
X11	0.0	0%	0.24	0.00%	0.00	0.00%
X12	0.89	30%	0.00	23.00%	0.00	0.00%
X13	1.0	34%	1.00	0.00%	1.00	23.00%
X14	0.0	0%	0.47	23.00%	0.83	19.00%
X15	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X16	0.0	0%	0.34	8%	0.23	5.40%

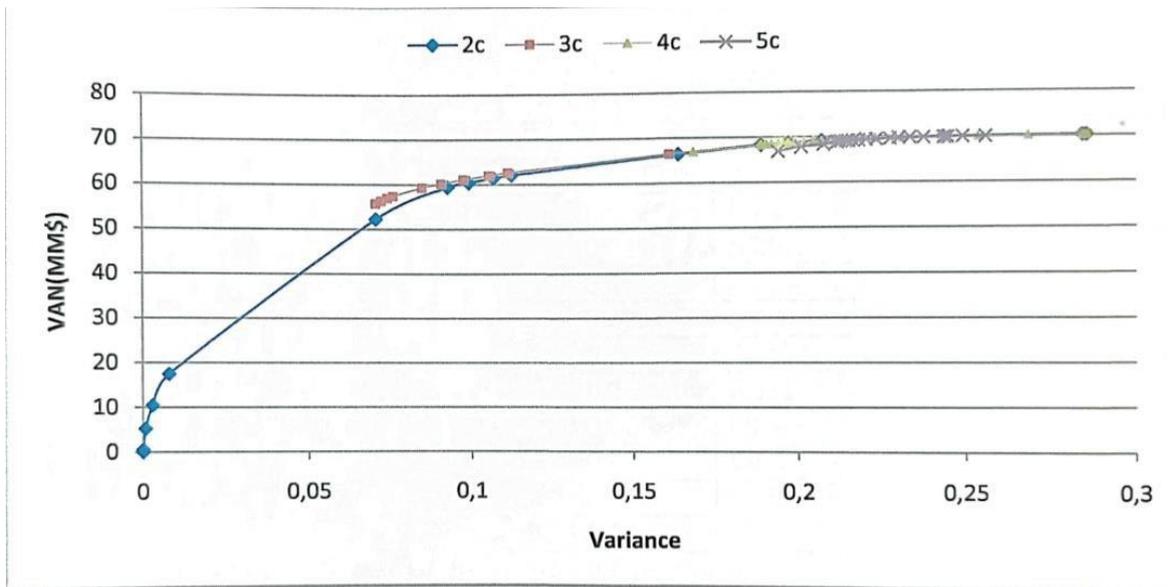
**Tableau III.7.**Résultats VAN Min / Risque Min relatifs au modèle U(STD)

Les résultats VANmin Risque min relatifs au modèle U(STD) sont présentés dans le tableau III.8. Seuls les cas : 2, 3, et 4 sont considérés pour tous les modèles puisque les valeurs VANmin et Risque min sont nulles pour le Cas 1.

Le passage de cas 2 au cas 3 est accompagné par une augmentation de la valeur de la VANmin (de 48,06 à 67MM\$), de la valeur de Risque (de 0,055 à 0,146), et de la valeur du capital d'investissement (de 8,53 à 10MM\$). A l'inverse de cas 2, pour lequel tous les projets sont pris dans le portefeuille, le cas 3 exclue les projets X2, X5, X8, X9, X12, et X15.

Le passage de cas 3 aux cas 4 garde la valeur de VANmin et de capital d'investissement et revois la valeur du Risque à la hausse (de 0,146 à 0,169). Quant au portefeuille, il est constitué de tous les projets, à l'exception des projets : X2, X5, X8, X9, X11, X12, X15, avec des pourcentages différents.

## 7-3-2-2-Le modèle Max.U(S-STD) :



**Figure III.6.**Résultats relatifs au modèle U(S-STD)

Nous constatons que : toutes les frontières efficaces pour ce modèle se présentent comme celles du modèle précédent.

La frontière efficiente FE (2c) présente une VAN Minimale nulle. La FE (3c) présente la même allure que (2c) sauf qu'elle présente une  $VAN_{min} = 55,84MM\$$ . Pour des valeurs de risque ( $VAR < 0,1$ ), (3c) est plus efficace que (2c) et plus le risque augmente, FE (2c) rejoint FE (3c).

Nous remarquons également que la FE (4c) est superposée sur la FE (3c) et commence à partir d'une  $VAN_{min}$  de 67MM\$. Même remarque pour (5c), mais pour une plus grande valeur de Risque min.

Les résultats  $VAN_{min}$  / Risque min relatifs au modèle U(STD) sont présentés dans le tableau ci-dessous :

Résultats	VAN Min/ Risuque Min: Max,R(STD)					
	cas 2		cas 3		cas 4	
VAN	55.84		67.00		67.00	
STD^2	0.07		0.168		0.194	
S-STD^2	0.033		0.053		0.067	
vestisseme	9.81		10		9.87	
X1	0.30	7.30%	0.99	23.00%	0.91	21.00%
X2	0.22	5.30%	0.0	0.00%	0.00	0.00%
X3	0.39	9.50%	0.22	5.20%	0.10	2.30%
X4	0.27	6.60%	0.33	8.30%	0.51	12.00%
X5	0.19	4.60%	0.00	0.00%	0.00	1.90%
X6	0.14	3.40%	0.19	4.50%	0.08	10.00%
X7	0.26	6.30%	0.28	6.70%	0.43	0.00%
X8	0.14	3.40%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.13	3.10%	0.00	0.00%	0.00	12.00%
X10	0.29	7.00%	0.35	8.30%	0.51	0.20%
X11	0.24	5.80%	0.36	8.60%	0.01	0.00%
X12	0.35	8.50%	0.08	1.90%	0.00	0.00%
X13	0.51	12.00%	0.50	11.00%	0.50	11.00%
X14	0.30	7.30%	0.45	10.00%	0.87	20.00%
X15	0.18	4.40%	0.05	1.10%	0.00	0.00%
X16	0.18	4.40%	0.35	8.30%	0.25	5.90%

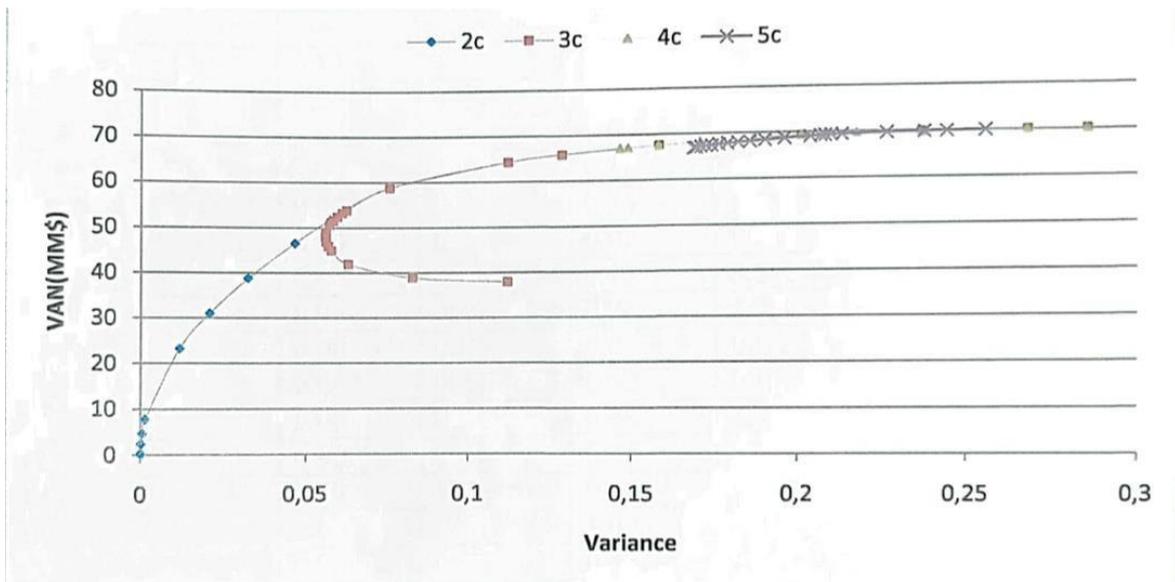
**Tableau III.8.**Résultats VAN Min / Risque Min relatifs au modèle U(S-STD)

Nous remarquons sur le tableau **III.8** que le passage de cas 2 au cas 3, entraîne une hausse de la valeur VANmin(de 55,84 à 67,00MM\$), de la valeur du risque (de 0,070 à 0,168), de Semi-variance (de 0,033 à 0,053) et de la valeur du capital d'investissement (de 9,81 à 10,00MM\$). Avec le passage de cas 3 au cas 4 la VANmin demeure inchangée (67,00MM\$) mais avec plus de Risque (0,194 pour la variance et 0,067 pour la Semi-variance). Concernant le capital d'investissement est revu à la baisse avec un montant de 9,87MM\$.

Du point de vue de la constitution de portefeuille, nous remarquons que pour le cas 2, tous les projets sont pris. Tandis que pour les cas 3 et 4, certains projets sont exclus (cas 3 : X2, X5, X8, et X9 et cas 4 : X12 et X15).

#### 7-3-2-3-Le modèle Min.R(STD):

De la figure III.7 on peut retirer certaines remarques :



**Figure III.7.**Résultats relatifs au modèle R(STD)

- La frontière efficiente FE (2c) présente une allure identique à celle obtenue avec les modèles précédents. Quant à FE (3c), elle présente une allure différente par rapport aux modèles précédents (U(STD) et (U(S -STD)). L'augmentation de la VAN (de 38,00 à 48,00MM\$) accompagnée d'une baisse de risque (de 0,112 à 0,055). Ensuite à partir d'une VAN de 47MM\$, le risque commence à croître avec la VAN et la partie de la FE (3c) ascendante rejoint la FE (2c).

-A partir de la VAN = 67,00 MM\$, la FE (4c) apparaît, elle est complètement confondue avec FE (3c). Pour FE (5c), le constat est pareil à FE (4c), la FE (5c) commencent à partir d'une VAN de 67,00MM\$ avec un Risque plus important (Variance = 0,169).

Résultats	VAN Min/ Risuque Min: Max,R(STD)					
	cas 2		cas 3		cas 4	
VAN	38		67.00		67.00	
STD^2	0.112		0.146		0.169	
S-STD^2						
vestissem	6.83		10		10	
X1	0.0	0%	0.78	18%	0.66	15.00%
X2	0.0	0%	0.0	0%	0.00	0.00%
X3	1.0	34%	0.28	7%	0.09	2.10%
X4	0.0	0%	0.35	8%	0.50	11.00%
X5	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X6	0.0	0%	0.15	3.50%	0.30	0.70%
X7	0.0	0%	0.24	3.70%	0.40	9.40%
X8	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.0	0%	0.00	8.50%	0.00	0.00%
X10	0.0	0%	0.36	5.70%	0.51	12.00%
X11	0.0	0%	0.24	0.00%	0.00	0.00%
X12	0.89	30%	0.00	23.00%	0.00	0.00%
X13	1.0	34%	1.00	0.00%	1.00	23.00%
X14	0.0	0%	0.47	23.00%	0.83	19.00%
X15	0.0	0%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X16	0.0	0%	0.34	8%	0.23	5.40%

**Tableau III.9.** Résultats VAN Min / Risque Min relatifs au modèle R(STD)

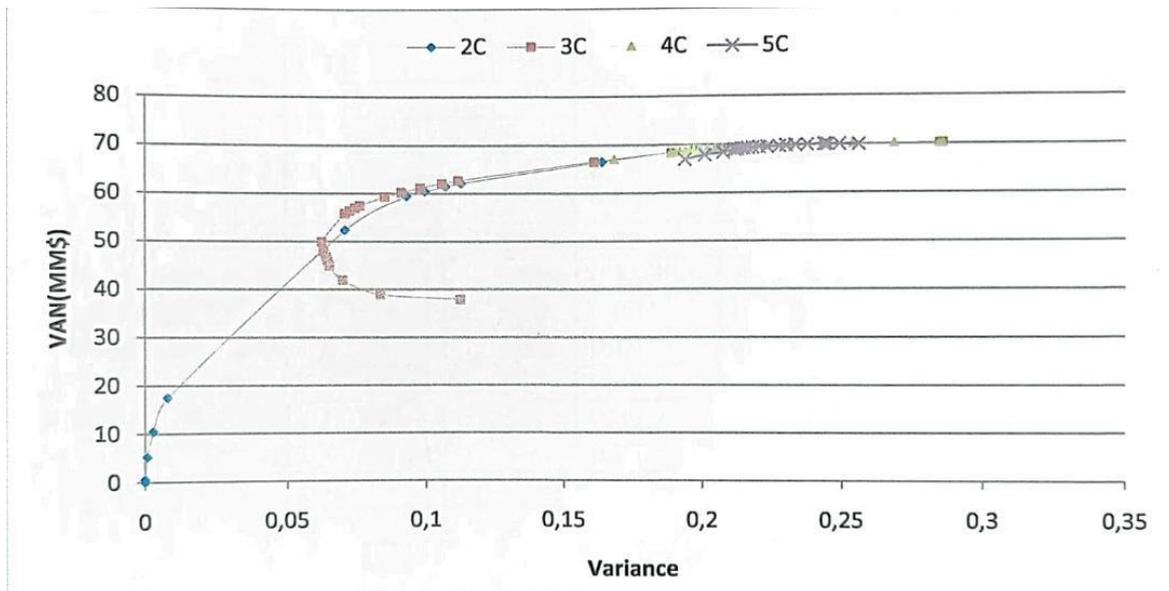
Sur le Tableau III.9, le passage du cas 2 au cas 3 entraîne une augmentation de la valeur de la VANmin (de 38,00 à 67,00MM\$), de la valeur du risque (de 0,112 à 0,146), et de la valeur du capital d'investissement (de 6,83 à 10MM\$).

Le passage de cas 3 aux cas 4 garde VANmin inchangée (67,00MM\$) et revoit à la hausse le risque (0,169), et le capital d'investissement demeure invariable (10MM\$).

Pour le cas 2, le portefeuille VAN<sub>min</sub> / Risque<sub>min</sub> ne prend que les projets : X3, X12 et X13.

Quant au cas 3, les projets : X1, X3, X4, X6, X7, X10, X11, X13, X14 et X16 sont considérés.

Pour le cas 4. Tous les projets de cas 3 sont pris à l'exception de projet X11.



**Figure III.8.** Résultats relatifs au modèle R(S-STD)

L'analyse des résultats relatifs au modèle R(S -STD) permet de constater :

- La frontière efficiente (2c) présente la même allure comme précédemment. La frontière efficiente FE (3c), montre une allure assez particulière à l'inverse des autres courbes. L'augmentation de la VANmin (de 38,00 à 50MM\$) est associée à une baisse de risque (de 0,112 à 0,062).

Ensuit à partir d'une VAN de (50,00MM\$), et un risque de 0,062, la tendance s'inverse, et le Risque croît avec la VAN. Jusqu'à une valeur de la VAN de 60,30MM\$ (Risque = 0,090), la FE (3c) est plus efficiente que la FE (2c). A partir de ladernière valeur de VAN (60,30MM\$), la FE (3c) rejoint la FE (2c).

Quant à la FE (4c), elle apparaît à partir d'une VAN de 67,00MM\$. Elle est confondue avec FE (3c). Pour FE (5c), elle commence à partir d'une VAN de 67,00MM\$ et un risque plus important (Variance = 0,194).

Résultats	VAN Min/ Risuque Min: Max,R(STD)					
	cas 2		cas 3		cas 4	
VAN	55.84		67.00		67.00	
STD^2	0.07		0.168		0.194	
S-STD^2	0.033		0.053		0.067	
vestisseme	9.81		10		9.87	
X1	0.30	7.30%	0.99	23.00%	0.91	21.00%
X2	0.22	5.30%	0.0	0.00%	0.00	0.00%
X3	0.39	9.50%	0.22	5.20%	0.10	2.30%
X4	0.27	6.60%	0.33	8.30%	0.51	12.00%
X5	0.19	4.60%	0.00	0.00%	0.00	1.90%
X6	0.14	3.40%	0.19	4.50%	0.08	10.00%
X7	0.26	6.30%	0.28	6.70%	0.43	0.00%
X8	0.14	3.40%	0.00	0.00%	0.00	0.00%
X9	0.13	3.10%	0.00	0.00%	0.00	12.00%
X10	0.29	7.00%	0.35	8.30%	0.51	0.20%
X11	0.24	5.80%	0.36	8.60%	0.01	0.00%
X12	0.35	8.50%	0.08	1.90%	0.00	0.00%
X13	0.51	12.00%	0.50	11.00%	0.50	11.00%
X14	0.30	7.30%	0.45	10.00%	0.87	20.00%
X15	0.18	4.40%	0.05	1.10%	0.00	0.00%
X16	0.18	4.40%	0.35	8.30%	0.25	5.90%

**Tableau III.10.**Résultats VAN Min / Risque Min relatifs au modèle R(S-STD)

A partir du tableau ci-dessus, nous constatons qu'avec le passage du cas 2 au cas 3, la valeur de la VANmin augmente (de 38,00 à 67,00MM\$), la valeur du risque passe (de 0,112 à 0,168 pour la variance) et à l'inverse, la semi -variance passe de 0,076 0 à 0,053, et la valeur du capital d'investissement s'accroît (de 6,83 à 10,00MM\$). Quant au passage de Cas 3 aux Cas 4 et 5, la VANmin reste inchangée (67,00MM\$), le risque est accru (0,194 pour la variance, et 0,067 pour la semi-variance), le capital d'investissement est revu à la baisse (9,87MM\$).

Pour le cas 2, le portefeuille VANmin/Risque min comprend les projets : X3, X12, et X13.

Le portefeuille relatif au cas 3 est constitué des projets : X1, X3, X4, X6, X7, X10, X11, X12, X13, X14, X15, et X16.

Enfin, le portefeuille correspondant aux cas 4 contient tous les projets du cas 3 à l'exception des projets : X12 et X15.

**7-3-3-Interprétation et analyse globale des résultats :**

L'analyse des résultats relatifs à chaque cas et à chaque modèle nous conduit à dégager l'ensemble des remarques suivantes :

-Les modèles U(STD) et R(STD) donnent des résultats identiques pour tous les cas sauf pour le cas 2(ajout d'une contrainte sur les réserves), dans lequel la frontière efficiente bonne 11.

Change d'allure en marquant un certain retournement, la tendance s'inverse sur une portion et le risque diminue en augmentant la VAN désirée. La valeur de la  $VAN_{min}$  du modèle R(STD) est plus faible que celle présentée par le modèle U(STD). Même remarque pour les deux autres modèles (U(S -STD) et R(S-STD)).

-Les portefeuilles proposés par les modèles U(STD) et R(STD) sont plus efficaces que ceux présentés par les modèles U(S -STD) et R(S-STD). Pour une valeur de la VAN, le risque associé aux modèles U(STD) et R(STD) est inférieur à celui lié aux modèles U(S-STD) et R(S-STD). Donc, il est plus intéressant de travailler avec les modèles: U(STD) et R(STD) et de considérer la variance comme mesure de risque.

-Pour tous les modèles, nous remarquons que le passage d'un cas à un autre, qui se traduit par l'ajout d'une contrainte supplémentaire s'explique:

-Sur le portefeuille  $VAN_{max}$ /Risque max par une diminution des valeurs d' $VAN$ , du risque (variance ou Semi-variance) et stabilité de la valeur du capital d'investissement dans tous les Cas.

-Sur le portefeuille  $VAN_{min}$ /Risque min, par une augmentation des valeurs de la VAN (67,00MM\$): valeur limite de la VAN dictée par la contrainte sur VAN), du risque et par une variation du montant total alloué à l'investissement

**7.4. Résolution à l'aide du logiciel Microsoft Excel :**

À la suite de notre stage au sein de la SONATRACH, nous avons découvert une nouvelle utilisation du logiciel Microsoft Excel qui, bien que fréquemment utilisé dans la vie courante ( pour planification, calculer des moyennes etc...), s'avère être dans le domaine économique et financier un outil de simulation de placement très utilisé du fait qu'il assure l'obtention d'une solution réalisable et efficace. Pour se faire il suffira d'utiliser un complément du logiciel Microsoft Excel appelé « solveur » utilisé pour l'analyse des scénarios.

Le Solveur permet de trouver une valeur optimale (maximale ou minimale) pour une formule se trouvant dans une seule cellule, appelée cellule objectif, et ce en fonction de contraintes ou de limites appliquées aux valeurs d'autres cellules de la formule et tout ceci se situant dans une feuille de calcul. Le Solveur utilise un groupe de cellules, appelées variables de décision ou simplement cellules variables, qui interviennent dans le calcul des formules des cellules objectif et de contraintes. Le Solveur affine les valeurs des cellules variables de décision pour satisfaire aux limites appliquées aux cellules de contraintes et produire le résultat souhaité pour cellule objectif.

En conclusion, il est possible d'utiliser le solveur pour déterminer la valeur minimale ou maximale d'une cellule et c'est en modifiant d'autres cellules.

#### **7.4.1. Le choix d'Excel :**

Une première question, légitime, se pose lorsque nous arrivons à ce chapitre. Pourquoi le choix de l'Excel plutôt qu'un autre logiciel ? Nos explications de ce choix dans les points qui suivront :

- Dans un premier temps, l'Excel facilite l'importation de données directement à partir de la source « Bloomberg » dans notre cas.
- Facilite le suivi historique sur un grand nombre de valeur.
- Facilite le calcul des rendements moyens ainsi que le risque relatif à chaque actif.
- Facilite et rend le calcul de la variance et covariance plus accessible.
- Permet d'obtenir une simulation d'un bon investissement pour chaque utilisateur en fonction de ses préférences.

# Conclusion général

Notre étude est focalisée sur le problème du portefeuille de projets où nous nous efforçons d'atteindre simultanément une large variété d'objectifs et de satisfaire les contraintes.

Les projets sur lesquels la production du gaz et de pétrole. Porté notre travail sont des projets d'exploration, certes, plusieurs études ont été réalisées dans le domaine de décision d'investissements et de choix en avenir incertain, mais l'analyse de risque est l'une des grandes techniques analytiques utilisées puisque elle permet de pallier aux insuffisances inhérentes aux méthodes classiques.

En effet, cette théorie a pris racine dans le marché financier dans les années 1950, ses résultats éblouissants ont emmené les investisseurs à la possibilité de transposer ses principes sur le portefeuille de projets E&P.

L'analyse des « risques » appliquée aux projets est devenue aujourd'hui pour bon nombre d'entreprises l'une des préoccupations majeurs et un élément indispensable pour la réussite de leurs projets.

Dans un tel domaine vaste et peu parcouru, notre travail est venu mettre en évidence le potentiel de cette nouvelle théorie et montrer la manière dont celle-ci pourrait être exploitée dans l'évaluation des projets pétroliers.

Nous démontrons alors que l'optimisation de portefeuille devient l'outil le plus préconisé par les opérateurs et cela grâce à son opérationnalité et sa technicité.

Pour résoudre notre application, nous avons utilisé deux (02) modèles : le modèle de maximisation de la fonction d'utilité ( $U$ ) et le modèle de minimisation du risque ( $R$ ), avec la variance ( $STD^2$ ) et la semi-variance ( $S-STD^2$ ) comme mesure de risque. Les ( $STD$ ) et ( $S-STD$ ) désignent l'écart type et le semi-écart type.

Nous avons alors quatre (4) modèles qui en résultent:  $U(STD)$ ,  $R(STD)$ ,  $U(SSTD)$  et  $R(S-STD)$ . Et nous avons retenu les modèles  $U(STD)$ ,  $R(STD)$  puisqu'ils donnent les meilleurs résultats. En général, leurs résultats sont semblables. De même, nous avons opté pour la variance, au lieu de la semi-variance, comme mesure de risque.

Pour la convivialité et la souplesse nous avons travaillé Excel ». Celui-ci donne de très bons résultats. En effet, plusieurs modèles sont venus pour contredire ou compléter son antécédent, mais tous se basent sur l'extrapolation des rendements passés pour prédire la rentabilité de l'avenir. Avec le «Solveur

En conclusion, cette approche permet aux gestionnaires de portefeuille de définir le risque d'une manière adéquate en fonction de ses objectifs et de ses contraintes qui lui sont

imposées concernant le rendement de son portefeuille. Cette étude démontre qu'une analyse explicite des incertitudes et des corrélations dans l'évaluation individuelle du risque de projets d'exploration ou de production, renforce et améliore la qualité de la prise de décision d'i investissements.

Référence

- [http:// www.techno-scions. Net](http://www.techno-scions.Net)
- Mehdi Metaiche . forage technique et procédés, université Bouira , octobre -2013 –
- Germillet , A : sélection et control éditions d'organisation (1975). [1] , [3]
- jean – Luc ALBERT : <<finance publique >> , éditions Dalloz , 9 ème édité pearson on , Paris , 2015 page 42 . [ 2/a]
- Caroline SELMER : << construire et défendre son budget >> édition Dumond , 2 ème édition Pearson Éducation , 3 ème édition Paris Froncé , 2009 page 02 . [2/ b]
- George longeais , <<contrôle de gestion budgétaire >> édition pearson Éducation , 3 ème édi tion France 2005 p 172. [2/c]
- BILLEK Lila , Thèse << les options réelles , une alternative aux dé faillances des méthodes classiques d'évaluation des investissements cas de la SONATRACH , université de TIZI – Ouzou ( Mouloud MAMMERI ) [ page 15 jusqu'à 23 ] . [3]
- Jocquillat , B . , Somik , B : marché financier : gestion de portefeuille et des risques , Economisa (2002) .[4]
- Phelizon , R : Gestion de portefeuille de projets , Rapport Ggerf (2006) . [4]
- Robert COBBAUT, Roland Gillet Georges Huber avec la collaboration d'André Vanden Berg <<la gestion de portefeuille , Comptabilité, contrôle finance . , édition 2 .
- Lahyel laurent , << sélection dynamique de portefeuille de projets >> , université du Québec Á Rimouski , Août 2009 . [5] , [6] .
- la gouvernance des grandes projets d'infrastructures publique – gestion de portefeuille / Roger Miller , Joanne Castonguay // Montréal , (CIRANO allier savoir et décision ) page 03 et 04 . [7] .
- De Maio , verganti et CorSo (1994) , ferez \_walch, Gidel et Romon (2006).[8]
- Ferndale (2006) , Pmi ( 2006 , 2008) , Gosnear , Jenner ,Mee , menke , Miller , retna , et Al (2009) . [9]
- Oshaughassy , 2006 , Miller et Castonguay 2006 , marchand , 2009 , RMI , 2008 ,2013 . [10]
- Centre des technologies d'information (2004,p, 40 ) . [11]
- [http:// opcvm- info](http://opcvm-info) , théorie moderne du portefeuille OPCVM info.[12]
- [http:// blog.nalo .fr](http://blog.nalo.fr) . [13]
- [http:// Gérer mieux votre argent .ça.\( commission des voleurs mobilières de l'Ontario \)](http://Gérer mieux votre argent .ça.( commission des voleurs mobilières de l'Ontario )) . [14]
- [http:// investir en bourse](http://investir en bourse) . [15]
- [http:// investir en bourse](http://investir en bourse) . [16]
- [http:// bourse des crédit.Com](http://bourse des crédit.Com) . [16]
- [http:// abc bourse.Com](http://abc bourse.Com) . [16]
- markowitz.h efficienrt diversification .of investisseement newyork;wiley .intro [17]
- H bensalah;gestion des actif financier de l'aproche classique [18]
- [http://\www.ingenieurs.com\document\memoir\modele-de-markowitz-48](http://www.ingenieurs.com/document/memoir/modele-de-markowitz-48) [19]
- [http://www.esilv.fr\portfolios\](http://www.esilv.fr/portfolios) [20]

- pirlot M meta-heustique pour l'optimisation .heremes; science publication ;paris:2002 [21]
- livre de denis BABUSIAUX Désision d'investissment et calcul deconomie dans lentreprise [22]
- these de usthb departement de probabilité & statistique presente par massika ikhlef sujet optimisation stochastique cas de portefieulle [23]
- A gueham"heureustique pour les probleme d'affectation sous contrainte l'approche de la coloration des sommets dun graphe "memoire de diplome de magister en mathematique 2006.usthb [24]
- <https://www.altaprofits.com/documentation/guide-de-lepagne/>[25]
- <http://gestion.coursgratuits.net/economie/>[26]
- <http://blog.nalo.fr/lexique/simulation-monte-carlo/>[27]
- gestion des actif financier ; de laproche classique a la modelisation these de memoire hanane bensalah universitéde lyon [28]
- <http://wikimemoires.net/2014/02/optimisation-multiobjectif> [29]