

وزارة الجامعات والبحث العلمي

Ministère aux Universités et de la Recherche Scientifique

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT GENIE INDUSTRIEL

PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

ANALYSE DE RISQUE DANS LES ETUDES ECONOMIQUES:

APPLICATION AUX EXPLORATIONS PETROLIERES.

Proposé par :

MR. BENCHERIF

Etudié par :

Melle L. ZERROUKI

Dirigé par :

MR. SARI

PROMOTION

JUIL 1992

Remerciements

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
BIBLIOTHEQUE — المكتبة
Ecole Nationale Polytechnique

Je tiens à adresser mes remerciements les plus sincères à tous ceux qui m'ont aidée et soutenue jusqu'à la réalisation complète de ce travail, je pense particulièrement à mon promoteur Monsieur SARI pour ses précieuses connaissances, sa totale disponibilité et sa constante assistance, à Monsieur BENCHERIF dont les orientations à différents niveaux de l'élaboration de ce projet ont été déterminantes, à Messieurs SEBTI, HALFAOUI et KECHAI dont chacun a sacrifié une part de son temps précieux pour me fournir explications, informations et conseils.

Je tiens à remercier également tous les enseignants qui ont contribué à ma formation durant le cursus universitaire.

L.ZERROUKI

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

A ma Mère et à mon Père

je dédie ce modeste travail

SOMMAIRE

المدرسة الوطنية المتعددة التخصصات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

Préambule

CHAPITRE I : PRESENTATION GENERALE LE PROBLEME ET SON CONTEXTE

- I- PRESENTATION DE SONATRACH
 - I.1- Présentation et historique de la SONATRACH
 - I.2- L'organisation de SONATRACH
- II- L'INDUSTRIE DES HYDROCARBURES
 - II.1- Introduction
 - II.2- Condition de genèse et de formation des hydrocarbures
 - II.3- La notion de réserves d'hydrocarbures
- III- QU'EST-CE QUE L'EXPLORATION PETROLIERE ?
 - III.1- La prospection
 - III.2- L'exploration par forage
 - III.3- Les coûts techniques de l'exploration
- IV- LES ACTIVITES DEVELOPPEMENT ET PRODUCTION
 - IV.1- Le développement du gisement
 - IV.2- La production
- V- LE PROBLEME DE BASE
 - V.1- Les nouvelles orientations de la SONATRACH
 - V.2- Le problème de base
 - V.3- Les résultats escomptés

CHAPITRE II : PRESENTATION DES PROBLEMES DECISIONNELS

- I- TYPOLOGIE DES SITUATIONS
- II- FORMULATION DES PROBLEMES DECISIONNELS
- III- LES MODES DE REPRESENTATION

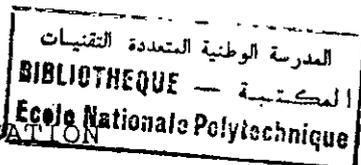
CHAPITRE III : LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DU CALCUL ECONOMIQUE

- I- L'EVALUATION D'UN PROJET D'INVESTISSEMENT
- II- L'ACTUALISATION
 - II.1- définition
 - II.2- Le taux d'actualisation
 - II.3- Mesure de l'effet de l'inflation
- III- UN ELEMENT CARACTERISTIQUE DU PROJET: LES FLUX DE LIQUIDITE
- IV- LES CRITERES DE RENTABILITE USUELS
 - IV.1- La Valeur Actuelle Nette
 - IV.2- L'Indice de Rentabilité
 - IV.3- Le Taux de Rendement Interne
 - IV.4- Le délai de récupération

CHAPITRE IV : PREMIERE APPROCHE EN AVENIR INCERTAIN: LES METHODES ISSUES DU CALCUL ECONOMIQUE CLASSIQUE

- I- LA METHODE DES ESTIMES CONSERVATEURS

- II- LE DELAI DE RECUPERATION
- III- LA METHODE D'AJUSTEMENT DU TAUX D'ACTUALISATION
- IV- L'ANALYSE DE SENSIBILITE



**CHAPITRE V : SECONDE APPROCHE EN AVENIR INCERTAIN:
LES METHODE PROBABILISTES D'ANALYSE DE RISQUE**

- I- LA GENERALISATION DE LA NOTION DE PROBABILITE
 - I.1- Définition
 - I.2- La quantification des probabilités subjectives
 - I.3- Conséquence
- II- LE CONCEPT DE L'ESPERANCE MATHEMATIQUE
 - II.1- Définitions
 - II.2- L'espérance mathématique : un critère de décision
 - II.3- Signification et interprétation du critère EMV
 - II.4- Avantages et inconvénients du critère EMV.
- III- LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE A PARTIR DE LA NOTION DE DISPERSION
 - III.1- La variance d'une action
 - III.2- L'écart-type d'une action
 - III.3- Le critère coefficient de variation
- IV- LES MODALITES DE CALCUL DU CRITERE EMV
 - IV.1- L'élaboration d'un nombre restreint de scénarios
 - IV.2- La technique d'échantillonnage MONTE-CARLO

CHAPITRE VI : LA THEORIE DE LA DECISION FACE AUX RISQUES

- I- LA NAISSANCE DE LA THEORIE DE LA DECISION
- II- LES BASES MATHEMATIQUES DE LA THEORIE DE LA DECISION
 - II.1- Construction axiomatique de Savage
 - II.2- Les théorèmes fondamentaux de Savage
- III- LA FONCTION D'UTILITE
 - III.1- La notion d'utilité
 - III.2- Forme de la fonction d'utilité
 - III.3- Modèles conventionnels d'aversion au risque
- IV- LE CRITERE DE LA THEORIE DE LA DECISION
 - VI.1- Mode de calcul et règle de décision
 - VI.2- Application dans l'entreprise
- V- DE LA THEORIE A LA PRATIQUE

**CHAPITRE VII : APPLICATION A L'EXPLORATION PETROLIERE
REVUE DE LITTERATURE ET APPROCHES DE
RESOLUTION**

- I- LES ELEMENTS FONDAMENTAUX DE L'ANALYSE
 - I.1- Les chances de découverte
 - I.2- La probabilisation implicite ou explicite
 - I.3- Les dépenses de développement
 - I.4- Le prix du pétrole
- II- LES APPROCHES DE RESOLUTION
 - II.1- Les éléments de la décision
 - II.2- La probabilisation implicite ou explicite
 - II.3- Le choix du critère de décision
 - II.4- Le rôle de l'organisation

III- CHOIX METHODOLOGIQUE ET JUSTIFICATIONS

CHAPITRE VIII : IMPLEMENTATION ET MISE EN OEUVRE

- I- LE DEROULEMENT DU PROCESSUS DE SIMULATION
- II- LES OUTILS DE L'IMPLEMENTATION
 - II.1- La génération de nombres aléatoires
 - II.2- La dépendance partielle
- III- LE MODELE
 - III.1- Les variables d'entrée du modèle
 - III.2- La construction du modèle

CHAPITRE IX : RESULTATS ET INTERPRETATIONS

- I- PRESENTATION GENERALE DES RESULTATS
- II- LE CLASSEMENT ET LA SELECTION DES PROSPECTS

CHAPITRE X : CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة -- BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

" Ne vois-tu pas que les opinions
qui ne s'appuient pas
sur la science font toutes
piètre figure? "

PLATON,
La république

PREAMBULE

Les décisions économiques sont souvent entourées de risque et d'aléa. Devant cette situation, les managers ont toujours tenté de trouver les moyens scientifiques leur permettant de se projeter dans le futur, mais la science étant descriptive et non prescriptive, le décideur se trouve toujours en face de la lourde responsabilité de choisir. Ces outils sont loin de garantir les résultats mais permettent néanmoins d'orienter le décideur vers des choix cohérents et conformes à ses objectifs et à ses moyens.

On a souvent comparé les forages d'exploration à un jeu de pari, ce qui est loin d'être dénué de sens, car le décideur, comme la parieur, est conscient qu'il risque la totalité de sa mise, mais la différence existant entre ces deux acteurs est que le premier, résolument actif, pèse sa décision alors que le second, plutôt passif, se contente d'espérer.

Cette nécessité de se doter d'outils d'aide à la décision est motivée par la complexité sans cesse croissante des situations économiques quotidiennement vécues par le décideur. Le secteur hydrocarbures étant particulièrement concerné (vu l'instabilité du prix du pétrole), doit, plus que tout autre, se munir d'une politique décisionnelle conforme à ses objectifs de gain et son désir de sécurité. C'est dans cet esprit-là que SONATRACH s'attelle aujourd'hui à la diffusion de nouvelles méthodes alliant la rationalité et l'efficacité.

La présente étude s'inscrit dans le cadre de cet objectif, et se propose de doter l'entreprise d'un outil moderne contribuant à la résolution de l'épineux problème que constitue le classement de prospectus par ordre d'intérêt économique décroissant en vue d'optimiser la politique d'investissement en exploration. Cette étude s'articule autour de dix chapitres apportant chacun un élément de réponse. C'est ainsi qu'après avoir présenté le contexte de notre étude et les spécificités de notre problème, dans les deux premiers chapitres, nous aborderons concrètement les approches de résolution du problème décisionnel en général. Les trois chapitres suivants constituent un éventail de possibilités traitant les problèmes décisionnels en situation d'incertitude. Ceci nous offre l'occasion de découvrir - et

de faire découvrir - la très passionnante
controversée théorie de la décision, ainsi qu'une application
type du concept de l'espérance mathématique au problème
concret de la décision. Ces approches appliquées au problème
particulier de forage d'exploration nous permettent de
construire un modèle puis un outil de calcul du critère de
décision qui, lui, ne peut en aucun cas se substituer au
jugement du décideur. Cependant, il n'est pas dans notre
ambition de dénouer toutes les entraves ou d'apporter une
réponse à toutes les questions posées, mais nous nous
efforçons de mettre en évidence les difficultés
méthodologiques ou organisationnelles inhérentes au domaine,
puis de fournir un cadre rationnel et simple qui puisse
servir de référence à la pratique des décisions économiques.

PRESENTATION GENERALE

LE PROBLEME ET SON CONTEXTE

I- PRESENTATION DE SONATRACH

I.1- Présentation et historique de SONATRACH

La SONATRACH (Société Nationale de Transport et de Commercialisation des Hydrocarbures) a été créée par décret du 31/12/1963. A cette date, sa mission se limitait à la prise en charge du transport et la commercialisation des hydrocarbures. C'est en 1966 que ses prérogatives ont été élargies à l'ensemble des activités du secteur hydrocarbures soit:

- L'exécution de toutes les opérations de recherches et d'exploitation industrielle et commerciale des gisements d'hydrocarbures.
- La construction et l'exploitation de tous les moyens de transport d'hydrocarbures.
- Le traitement et la transformation des hydrocarbures.
- La création d'une industrie pétrochimique ou de toute autre industrie connexe dérivant des hydrocarbures.
- La distribution et la vente des hydrocarbures et leurs produits dérivés en Algérie et à l'étranger.

Lors de la restructuration en 1981, le tissu industriel ainsi créé a donné naissance à 17 grandes entreprises constituées à partir des divisions opérationnelles. Après la mise en place de ces entreprises, SONATRACH se consacre totalement à ses missions centrées sur la recherche, la production, le transport, le conditionnement des hydrocarbures gazeux ainsi que leur commercialisation.

I.2- L'organisation de SONATRACH

SONATRACH a adopté un schéma organisationnel centralisé qui se compose:

- D'une Direction Générale.
- D'une Direction Administration Générale qui assure le support administratif et logistique à la Direction Générale.
- Des structures opérationnelles chargées des activités d'exploitation et de développement industriel placées sous l'autorité hiérarchique de quatre directeurs généraux adjoints dont le rôle est d'assurer le bon déroulement des quatre activités suivantes:

1. Le développement et l'exploitation des gisements d'hydrocarbures (HYD).

2. Le développement et l'exploitation du réseau de transport des hydrocarbures par canalisation (TRC).

3. Le développement et l'exploitation des complexes de liquéfaction du gaz et de transformation des hydrocarbures (LTG).

4. Le développement de l'exploration et de la recherche (EXR).

- Des structures opérationnelles chargées de la commercialisation des hydrocarbures.

- Des structures chargées des activités à caractères techniques.

- Enfin, des structures chargées des activités à caractère social.

II- L'INDUSTRIE DES HYDROCARBURES

II.1- Introduction

Ce présent paragraphe a pour objectif de définir le contexte particulier dans lequel se situe cette étude: celui du secteur des hydrocarbures. En effet, l'une des principales différences entre l'industrie du pétrole et les autres industries provient de l'incertitude qui pèse sur la fourniture de la matière première.

Nous expliquerons tout au long de ce chapitre à quel point les décisions d'investissement dans ce secteur sont étroitement liées d'une part, aux chances de découverte, et d'autre part aux quantités découvertes. Pour ce faire, il est indispensable de définir les trois principales activités de ce secteur (exploration, développement et production) ainsi que les caractéristiques du produit fini/matière première que constituent à la fois les hydrocarbures, ceci nous permettra de dégager les spécificités du problème qui nous est posé.

II.2- Condition de genèse et de formation des hydrocarbures

Entreprendre des investissements d'exploration ou de développement nécessite des études préalables visant à justifier l'effort d'investissement. En exploration particulièrement, l'étude de faisabilité d'un prospect est fondée essentiellement sur les chances d'existence et d'abondance des réserves d'hydrocarbures, ce qui conduit le décideur à accorder une attention particulière aux informations techniques liées aux conditions de genèse et de formation des hydrocarbures fournies par les spécialistes (géologue, géophysicien...).

Le pétrole, comme le gaz naturel, est un mélange de substances appelées hydrocarbures qui ne sont autre que le produit d'une réduction chimique subie par des corps organiques riches en carbone et en hydrogène.

Etant donné leurs propriétés physiques (liquide ou gaz), ces substances une fois formées se déplacent : on dit qu'elles migrent. Sous l'effet de facteur physique (poussée d'Archimède, phénomène de capillarité, pression des couches sédimentaires) elles quittent le milieu où elles se sont formées, jusqu'à ce qu'elles aboutissent au niveau d'une couche imperméable (argile ou sel) où elles seront "piégées", on assiste alors à la naissance d'un gisement d'hydrocarbures.

De ce qui précède on conclut que les conditions nécessaires à la genèse d'un gisement se résument ainsi:

- * l'existence de la roche-mère,
- * la protection des substances organiques contre l'oxydation
- * La migration des hydrocarbures: les caractéristiques structurales du sous-sol y sont favorables, et
- * Leur accumulation : existence d'un piège stratigraphique.

Ainsi, un prospect ne peut constituer une proposition intéressante que si au moins toutes les conditions d'existence d'hydrocarbures sont satisfaites.

Rassembler les informations relatives à ces conditions représente l'essentiel des travaux de prospection.

Nous devons noter que pour notre étude, seuls les gisements de pétrole sont pris en considération.

II.3- La notion de réserves d'hydrocarbures.

Lorsqu'on découvre un gisement de pétrole en ayant effectué deux ou trois forages d'exploration, il est impossible de déterminer l'importance du gisement. Des études statistiques révèlent que l'on ne connaît que 19% du gisement après la première année de découverte et il faut attendre 6 ans pour prouver la moitié des réserves récupérables. La totalité des réserves n'est connue que lorsque le gisement est épuisé, c'est à dire au bout de 20 à 25 ans en moyenne.

Cette incapacité de connaître avec exactitude le contenu des réservoirs avant et après la découverte des gisements a donné naissance à des définitions diverses de la notion de réserves. On conviendra ici de subdiviser les réserves en quatre catégories [MAS,82] :

- Les **réserves prouvées**, qui représentent les quantités d'hydrocarbures que l'on peut estimer récupérables avec une quasi-certitude, à partir des données géologiques et techniques de réservoirs connus forés et aux conditions économiques et techniques actuelles.

- Les **réserves probables**, qui sont les quantités d'hydrocarbures que l'on peut espérer récupérer de réservoirs connus mais sans une certitude telle que l'on puisse les classer dans la précédente catégorie.

- Les **réserves possibles**, qui sont les quantités d'hydrocarbures que l'on peut espérer découvrir à partir de réservoirs aujourd'hui inconnus et extraire aux conditions techniques et économiques envisageables pour les trente prochaines années.

- Les **réserves ultimes**, qui correspondent à des réserves possibles aux conditions techniques et économiques envisageables sans limites précises de temps.

III- QU'EST-CE QUE L'EXPLORATION PETROLIERE ?

L'exploration est un travail de recherche extrêmement important dont le but est la découverte de gisement d'hydrocarbures. On peut considérer qu'elle comporte deux techniques distinctes:

- la prospection
- et l'exploration par forage.

III.1- La prospection

La prospection concerne tous les travaux d'approche directe et indirecte qui permettent de soupçonner ou non l'existence d'accumulation d'hydrocarbures. Les méthodes de prospection directes consistent en l'études des indices, l'étude microchimique et micro-bactériologique des sols. Les méthodes de prospection indirecte comprennent des études géologiques et des études géophysiques.

A- La prospection géologique

C'est la méthode de base indispensable à toute recherche pétrolière, elle se fait en deux phases:

1) La géologie de surface, qui permet la détection de gisements d'hydrocarbures par l'observation des assises affleurant naturellement la surface du sol, en utilisant diverses techniques telles que la photo aérienne, les études des roches à l'affleurement et la datation.

2) La géologie de subsurface, qui a pour but de tirer des informations de tout ordre à partir de forages d'exploration que l'on effectue ou qui ont été faits antérieurement (extrapolation possible), ou encore à partir de sondages de petit diamètre que l'on effectue à faibles ou à moyennes profondeurs (core-drills). Ces informations concernent les assises que les forages ou sondages traversent (leur âge, nature, épaisseur, origine, déformation, ...). Elles permettent de détecter les pièges stratigraphiques qui ne se révèlent à peu près jamais à la surface du sol.

B- La prospection géophysique

Elle intervient après la géologie de surface, et permet d'obtenir des renseignements sur la constitution et la structure profonde du sous-sol. Elle utilise des techniques dont la plus importante est la sismique qui consiste à provoquer, à la surface du sol, une série d'explosions dont les ondes de choc sont réfléchies par les différentes couches géologiques du sous-sol. L'enregistrement de ces ondes par des appareils spéciaux permettent de reconstituer d'une manière précise les formes structurales du sous-sol, et par conséquent détecter la présence de piège.

III.2 L'exploration par forage

Les forages d'exploration sont l'aboutissement de la prospection pétrolière. Ils permettent de confirmer d'une façon certaine la présence ou l'absence de gisements: c'est en quelque sorte l'épreuve de vérité. On parle de découverte dès que l'on ramène du pétrole à la surface. Il existe deux sortes de forages d'exploration : ceux qui sont situés sur des bassins sédimentaires sur lesquels aucun forage n'a été effectué appelés "NEW FIELD WILDCATS" ou sur des structures non encore productives, et ceux qui sont situés sur des structures productives. Parfois, les puits d'exploration situés à une distance d'au moins deux miles d'une zone productive peuvent

être classés parmi les "NEW FIELD WILDCATS" lorsque les structures sont mal définies.

Il convient de préciser aussi qu'un bassin sédimentaire est une structure géologique présentant en tout point les mêmes caractéristiques historiques et structurales, ce qui fait que les forages d'exploration de la seconde catégorie bénéficient des informations fournies par les données de puits des gisements voisins (puisque l'extrapolation est possible).

Pour résumer :

Alors que les études de prospection servent à préciser l'architecture des structures du sous-sol et à définir l'extension spatiale des réservoirs hypothétiques, le forage d'exploration constitue le seul moyen capable de confirmer ou d'infirmer la présence d'hydrocarbures.

III.3- Les coûts techniques de l'exploration

Sur le plan des investissements, les dépenses d'exploration sont très élevées, et constituent parfois jusqu'à 40% du prix de revient technique de la tonne de pétrole produite. Ces dépenses englobent les travaux de prospection et de forage. Nous nous limiterons dans le cadre de cette étude à identifier les différents postes de coût uniquement pour les travaux de forage, puisqu'ils constituent l'essentiel des dépenses d'exploration (environ 80%). Ceci est nécessaire afin de mettre en évidence les différents facteurs de disparité qui caractérisent chaque investissement de forage. Ainsi, les dépenses d'exploration se situent à plusieurs niveaux s'établissant comme suit:

*** Le niveau du Génie-Civil**

Il s'agit des dépenses liées à la réalisation de la plateforme de forage et aux travaux d'accès. Le coût de la plateforme est dépendant de la nature du sol sur lequel elle sera implantée ; les travaux d'infrastructures et d'accès sont liés d'une part à la situation du prospect sur l'axe routier et d'autre part, au niveau d'accessibilité de la zone. En moyenne, ces dépenses constituent 9% du coût global de l'activité forage.

*** Le niveau du DTM**

Le DTM est l'ensemble des travaux de démontage, de transport et de montage des appareils de forage. Les dépenses qu'il engendre sont principalement liées au trajet parcouru par les camions de transport du parc de forage au site d'exploration. En moyenne, son coût représente 3 à 5% du coût global de l'activité forage.

*** Le niveau des coûts des consommations**

Ce sont les coûts des carburants, des produits à boue, des outils de forage et de l'eau. Ces derniers sont directement liés au programme de forage (durée) et sont de ce fait, évalués à 17% du coût de forage en régie. En moyenne, ils constituent 13% du coût global de l'activité forage.

* Le niveau du coût de forage en régie

C'est le poste le plus important dans la formation du coût global de l'activité forage (40 à 65%) mais aussi le plus incertain. En effet, en exploration, le forage s'effectue sans une bonne connaissance de la nature des terrains que l'on va traverser, et donc sans déterminer a priori les paramètres de forage adéquats: nature de l'outil à utiliser, vitesse de rotation, densité de la boue, poids de l'outil, ... Cette situation entraîne des incidents de toutes sortes (usure rapide de l'outil, coincements, etc...) qui ralentissent la vitesse de forage. Or la rémunération en régie des appareils de forage dépend de leur durée d'utilisation ; cette dernière se retrouve ainsi liée aux caractéristiques géologiques du bassin sur lequel se situe le prospect, à savoir:

- La profondeur du puits, qui, lui, est fixé par le programme de forage. Mais il n'en demeure pas moins que cet objectif peut être modifié au fur et à mesure que l'on avance dans le forage et que l'on acquiert de nouvelles informations.
- la nature géologique des terrains traversés.

Pour résumer:

Le coût de l'activité forage en exploration est caractérisée par:

- Sa grande variabilité, chaque prospect nécessitant un montant particulier de dépenses.
- Son évaluation soumise à l'incertitude.

IV- Les activités développement et production:

IV.1 Le développement du gisement:

La mise en évidence d'accumulation d'hydrocarbures par le premier puits d'exploration n'entraîne pas toujours l'exploitation du gisement. Les investissements nécessaires à cette fin ne sont engagés que s'il sont couverts par les réserves atteintes. Une évaluation des réserves possibles s'avère indispensable pour le calcul de rentabilité. Pour ce faire, on effectue le forage de deux ou trois puits dits de délimitation, à l'issue desquels une décision est prise. Si l'on opte pour la mise en exploitation du gisement, d'importants travaux d'investissement sont alors entamés: le gisement entre ainsi dans sa phase de développement.

Les travaux d'investissement sont définis par une étude d'optimisation visant à minimiser les dépenses, ceci en tenant compte des infrastructures déjà existantes et en dimensionnant les installations nouvelles en fonction des réserves possibles, déjà évaluées. Ces travaux concernent:

1. Le forage des puits de développement: Il faut réaliser le forage et la complétion d'un nombre suffisant de puits de telle manière à permettre l'extraction de la totalité des réserves récupérables (récupération primaire). Ce nombre devra être déterminé en tenant compte:

- de la taille du gisement, et

- des contraintes techniques d'extraction du pétrole. Comme un appareil de forage permet de réaliser environ 6 puits de l'ordre de 3000 m de profondeur par an, un gisement nécessitant plusieurs dizaines de puits demanderait plusieurs années pour être développé.

Il faut noter également que les forages de développement peuvent aboutir à des puits secs dont le pourcentage est de l'ordre de 10 à 20% des puits réalisés. Les dépenses qu'engendre cette opération constituent la part la plus importante des investissements de développement qui peut atteindre jusqu'à 60% du montant global des investissements de développement.

2. Les installations de surface: Il s'agit des infrastructures spécifiques et générales indispensables à la mise en exploitation du gisement, soit:

- Le réseau de collecte qui relie les puits aux unités de traitement.
- Les unités de séparation et de traitement d'huile.
- Les centres de stockage.
- Les équipements annexes: unités de production d'énergie, route, piste, base de vie.

Les dépenses correspondant à ces investissements sont directement ou indirectement liés à la productivité du gisement, ces dépenses constituent en moyenne 15 à 40% du coût total de développement.

3. Les installations de transport des hydrocarbures : L'installation des pipelines nécessaires à l'acheminement du pétrole jusqu'au point de vente entraîne des investissements très variables allant de 1 à 50% du montant global des investissements de développement. Ces dépenses sont en fonction des distances traversées par les pipes du centre de stockage jusqu'au point de vente. En effet, un petit gisement proche du réseau de transport d'huile peut bénéficier d'un raccordement alors qu'une évacuation indépendante n'aurait pu être couverte par les réserves possibles.

IV.2- La production

La phase de production débute avant même la fin de la phase de développement. Elle entraîne alors des dépenses liées à l'exploitation du gisement qui se résument ainsi:

- Les frais fixes, qui se composent des frais du personnel, de gestion et d'entretien des installations.
- Les frais variables, qui sont proportionnels aux quantités produites annuellement par le gisement.

Ces dépenses varient également en fonction de la taille du gisement. En revanche, cette phase est aussi celle des revenus que procure la vente du pétrole, mais il faut noter cependant que les revenus en industrie des hydrocarbures sont soumis, plus que pour toute autre industrie, à l'incertitude totale car dépendants du niveau du prix du pétrole qui, lui, est le résultat de facteurs politico-économiques incontrôlables et très complexes.

Pour résumer:

L'industrie du pétrole présente les particularités suivantes:

- Les dépenses engagées en exploration ne peuvent être déterminées avec certitude à priori, au moment de la décision, car elles dépendent des conditions naturelles et techniques, encore mal définies, dans lesquelles s'effectue le forage d'exploration.

- Les dépenses de développement lorsqu'elles sont entreprises se basent sur la taille des réserves possibles qui elle, par définition, ne représente pas les quantités réellement récupérables.

- Impossibilité d'établir des prévisions fiables quant à la valeur future du prix du pétrole, ce qui se traduit par des revenus incertains.

V- PRESENTATION DU PROBLEME

V.1- Les nouvelles orientations de SONATRACH

Le secteur des hydrocarbures réalise dans notre pays plus de 40% du produit national brut, 96% des exportations et contribue à près de 50% des recettes définitives de l'Etat. Voilà pour saisir son rôle stratégique dans l'économie nationale. Or la survie de ce secteur dépend de notre capacité à renouveler les réserves déjà produites, par la découverte de nouveaux gisements. Il faut être conscient aujourd'hui que les découvertes les plus aisées ont déjà été réalisées dans des zones où les efforts de recherche d'exploration se sont concentrées depuis plus de vingt ans, à savoir dans la province Est (bassin triasique, de Ghadames et de Illizi). Cependant, les recherches dans les zones sédimentaires de l'Erg occidental et du Nord du pays difficilement accessibles et démunies d'infrastructures sont tout juste à leur début.

Aujourd'hui, la SONATRACH compte intensifier l'effort d'exploration et l'élargir vers des zones à potentiels nouveaux. Elle a depuis 1986 réestimé la part des compagnies étrangères dans le domaine de l'exploration en concluant des contrats d'investissement dont le montant s'élève à près de 400 Millions de \$ pour les années 1990-1994, de plus on prévoit d'allouer 24% du budget des investissements de SONATRACH à l'effort d'exploration pour la décennie 1990-2000. L'importance sans cesse grandissante accordée à l'activité exploration est aussi accompagnée d'une volonté d'agir selon des normes scientifiques alliant l'efficacité et la rationalisation des ressources financières.

V.2- Le problème de base

Une fois que les études de prospection arrivent à leur stade de maturation pour certains permis, commencent alors les campagnes de forage d'exploration à l'issue desquelles, chaque année, l'entreprise SONATRACH génère un ensemble de propositions de prospects. Or l'entreprise ne peut, étant donné ces capacités

financières limitées par une délégation budgétaire, réaliser le forage de la totalité des prospectes. Le problème qui se pose alors aux gestionnaires de l'entreprise, est de savoir comment choisir parmi cet ensemble de propositions, un certain nombre de prospectes qui répondent au mieux aux objectifs économiques et stratégiques de SONATRACH et qui, parallèlement, tiennent compte de ses capacités financières. On peut répertorier quatre principaux objectifs escomptés par SONATRACH:

1) Une répartition rationnelle et efficiente du budget alloué aux forages d'exploration.

2) La mise en évidence de nouveaux gisements d'hydrocarbures tels qu'il soit possible de renouveler les réserves produites annuellement.

3) Accroître les gains de l'entreprise qui résulteraient de découvertes futures.

4) Préparer de nouveaux prospectes pour la poursuite de l'intensification de l'effort d'exploration: même si un prospect n'aboutit pas à une découverte, les informations qu'il peut procurer sont toujours utiles pour générer de nouvelles propositions de forage.

V.3- Les résultats escomptés

Une façon de répondre au problème du décideur consiste à lui fournir une ou plusieurs listes de N prospectes classés en fonction de leur degré d'attractivité et sélectionnés parmi l'ensemble des prospectes qui se proposent à SONATRACH, chaque classement devra répondre aux objectifs particuliers de chaque décideur.

Chapitre II

PRESENTATION DES PROBLEMES DECISIONNELS

I- TYPOLOGIE DES SITUATIONS

La décision économique qui est l'objet de cette étude est la capacité de discernement d'un décideur entre plusieurs actions possibles, son choix économique se portera sur l'action qui lui laisse espérer l'accroissement le plus important de la richesse de son entreprise. Or, on ne peut dissocier la décision économique, des différents facteurs d'environnement dans lesquels se situe l'entreprise, car le décideur, pour faire son choix, est contraint d'analyser l'évolution de chacun de ces facteurs pour pouvoir ensuite faire une projection dans le futur.

La complexité de la décision varie en fonction de la facilité avec laquelle le décideur parvient à prévoir les modalités de chaque état de la nature, et par conséquent dépend de la quantité d'informations que l'entreprise peut extraire de son environnement. Il convient alors de distinguer quatre types de situations dans lesquelles peut se situer la décision économique [MON,87]:

- Dans une situation de **certitude**, on connaît les tenants et les aboutissants de la décision avec quasi-certitude. En réalité, l'avenir n'est jamais certain, il est cependant possible de le considérer comme tel, lorsque l'on dispose d'informations suffisantes permettant d'estimer tous les facteurs d'environnement avec une très faible marge d'erreur.

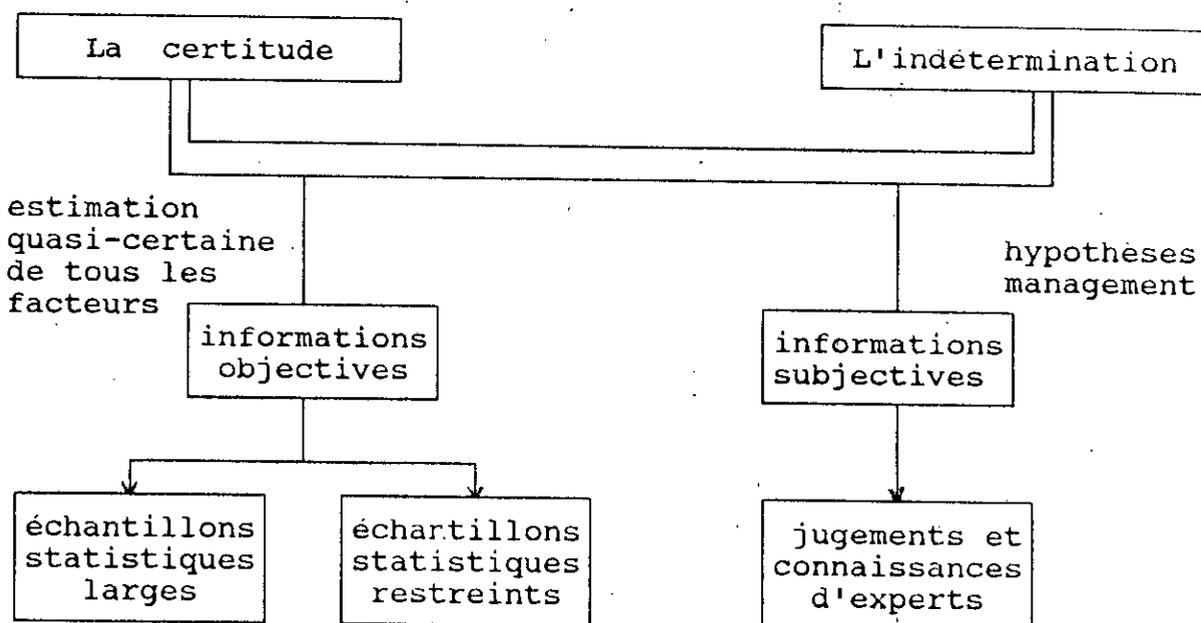
- Dans la situation de **risque**, le décideur doit s'attendre à l'occurrence de plusieurs futurs possibles ; il ne sait pas lequel de ces futurs va se produire, mais il est capable d'en évaluer le degré de vraisemblance, c'est à dire d'affecter des probabilités à chacune des éventualités.

- Dans le cas de l'**indétermination**, l'entreprise est seulement capable de dresser la liste des environnements possibles et d'y attacher les conséquences de ses actions ; elle ne peut non plus évaluer la probabilité de chacun des états de la nature.

Ainsi, la décision économique s'effectue le long de l'axe schématisé par la figure suivante :

Complexité de la décision

Quantité d'informations



Nous avons volontairement écarté la situation de **concurrence** car dans ce domaine la décision est basée sur la "théorie des jeux" qui ne peut, compte tenu du cadre limité de cette étude, être développée. On doit noter dès lors que l'analyse de la décision en avenir incertain que l'on se propose d'étudier concerne aussi bien la situation de risque que la situation de l'indétermination.

II- FORMALISATION DES PROBLEMES DECISIONNELS

Dans tout problème de décision, on retrouve les trois éléments constitutifs suivants :

* Les actions sont les différentes modalités de la décision (alternatives) dont l'entreprise dispose pour atteindre son objectif. Pour qu'il y ait problème de décision, il faut que deux actions au moins soient offertes au choix de l'entreprise.

* Les états de l'environnement sont les futurs possibles, chaque état étant le résultat d'une combinaison des modalités de chaque facteur d'environnement. Dans la situation particulière, du risque à chaque modalité de facteur on peut attribuer une probabilité d'occurrence. Par contre, dans la situation de certitude, il existe un seul état d'environnement puisque chaque facteur revêt une seule modalité qui constitue alors une donnée du problème.

* Les conséquences mesurent le degré d'efficacité de chaque décision, pour chacun des états de la nature envisagée. Pour un problème donné, il y aura autant de conséquences éventuelles que

de combinaisons entre les modalités des facteurs d'environnement. Ainsi si l'on note par :

A = l'ensemble des actes proposés au décideur.

E = ensemble des états de l'environnement

C = ensemble des conséquences.

Chaque acte devient une application de l'ensemble des états dans l'ensemble des conséquences d'où la relation suivante :

$$A(E) = C$$

Lorsque la décision économique concerne le cas particulier du choix d'investissement, une décision, c'est à dire un choix, fait correspondre à chaque état de l'environnement un échéancier de recettes et de dépenses qui en est la conséquence et qui peut être résumé par une mesure économique.

La notion de risque provient du fait que les valeurs de la mesure économique de tous les échéanciers possibles peuvent être très dispersées. Si tel est le cas, on dira que l'investissement est risqué : le problème de l'investissement de d'exploration illustre parfaitement cette situation.

Il est important de noter que pour une décision donnée, l'occurrence d'un état d'environnement fixe définitivement la conséquence sous la forme d'un échéancier auquel on peut appliquer le calcul économique déterministe, autrement dit, l'incertitude n'est pas liée à un tel ou tel échéancier puisque chacun peut être considéré comme certain. L'incertitude est liée à leur probabilité d'occurrence.

III- LES MODES DE REPRESENTATION

Afin de rassembler, de filtrer, d'organiser et de présenter toutes les informations relatives à chaque acte décisionnel, il est possible d'utiliser deux types de représentation :

III.1 UNE REPRESENTATION SOUS FORME D'ARBRE DE DECISION

Un arbre de décision se lit de la gauche vers la droite : à partir de l'embranchement initial appelé noeud-décision représenté par un rectangle origine et plusieurs branches correspondant à toutes les actions offertes au décideur. A l'extrémité de chaque branches-action on retrouve un noeud-événement d'ou émane une série d'Etat, on retrouve autant de branches que d'Etats possibles. L'arbre peut contenir une séquence de plusieurs décisions à prendre et il se termine à l'extrémité de la dernière branche-état de la décision la plus éloignée de la séquence par la valeur de la conséquence.

III. 2 UNE REPRESENTATION SOUS FORME DE MATRICE DE DECISION

Les matrices de décision donnent une image condensée du problème à l'un des points de décision particulier. Dans cette matrice en ligne vont figurer les différents actions, et en colonne les différents états de l'environnement. Dans chaque case de la matrice sera indiquée la valeur de la conséquence obtenue si l'entreprise a choisi la décision lue en ligne et si l'environnement a revêtu l'état lu en colonne.

CHAPITRE III

LES PRINCIPES FONDAMENTAUX DU CALCUL ECONOMIQUE

Introduction

Nous avons noté dans le chapitre précédent que dans un contexte économique, où la décision concerne le choix de projets d'investissements, la conséquence correspondant à chaque état d'environnement était évaluée par le calcul économique déterministe. De ce fait, situons-nous pour le moment dans un environnement certain afin de présenter les principales notions d'évaluation de projet qui seront plus tard utiles pour le calcul de la valeur économique de chaque conséquence possible.

I- L'EVALUATION D'UN PROJET D'INVESTISSEMENT

Procéder à un investissement, c'est engager aujourd'hui des fonds dans un projet pour obtenir des avantages ultérieurs plus importants. Le problème qui se pose à l'investisseur est de déterminer si l'importance de la mise initiale est justifiée compte tenu des revenus ultérieurs ; il désire par conséquent savoir si les fonds qu'il lui consacre lui rapportent un certain taux de rentabilité minimum. Pour ce faire, il devra d'abord définir les éléments constitutifs de son investissement à savoir:

- a) sa durée de vie,
- b) son coût,
- c) les dépenses d'exploitation,
- d) les recettes, et enfin
- e) sa valeur résiduelle.

Il devra ensuite établir un échéancier de recettes et de dépenses donc localiser précisément dans le temps les gains procurés par l'investissement ainsi que les dépenses additionnelles qu'il est susceptible d'entraîner en cours de sa durée de vie.

Il évaluera alors le cash-flow correspondant à chaque année en calculant la différence entre les rentrées et les sorties d'argent.

Enfin, pour évaluer l'investissement, il faudra porter une appréciation sur une série de cash-flow apparaissant à des périodes différentes, mais comme l'argent a un coût, ceci ne peut se faire qu'en ramenant les cash-flow à leur valeur immédiate par l'actualisation.

II. L'ACTUALISATION

II.1- définition

L'actualisation est la technique qui permet de comparer des sommes d'argent apparaissant à différentes périodes, elle désigne l'opération qui consiste à déterminer le montant total disponible à la date de la prise de décision (année zéro) qui,

placé pendant n années, donnerait le même montant que celui calculé précédemment.

La valeur actuelle S d'une somme disponible à la fin de la nième année est

$$S = C/(1+i)^n$$

"i" est appelé taux d'actualisation, C étant le montant initial.

Ainsi, la valeur actuelle d'une somme d'argent à percevoir dans le futur est l'équivalent immédiat de cette somme.

II.2- LE TAUX D'ACTUALISATION

Selon ses objectifs, l'entreprise est amenée à déterminer un taux d'actualisation de différentes façon, il peut être obtenu par [DER,85] :

A- la méthode du taux d'intérêt courant : Les cash-flow peuvent être actualisés au taux courant dans le but principal de comparer les deux alternatives suivantes:

1. Placer au taux d'intérêt courant le montant de l'investissement sur le marché financier pendant tout la durée de vie du projet.

2. Engager ses disponibilités de liquidité dans le projet puis placer ou réinvestir au même taux d'intérêt les flux de liquidité qu'il engendre pendant toute sa durée de vie.

Le décideur choisira la deuxième alternative si la somme algébrique des flux futurs actualisés (au taux d'intérêt courant) est au minimum égale au montant de l'investissement. Le taux d'intérêt courant contient en général trois éléments constitutifs:

a) Un taux d'intérêt réel qui correspond au "loyer" de l'argent.

b) Un taux pour compenser la perte de pouvoir d'achat due a l'inflation.

c) Un taux exigé comme prime au risque. Autrement dit, si le décideur choisit d'actualiser un cash-flow au taux d'intérêt courant cela voudrait dire qu'il exige que le projet lui rapporte au moins la somme qu'il aurait obtenu par simple placement.

B- La méthode du coût moyen pondéré du capital: Cette méthode consiste à déterminer un taux d'actualisation à partir de la moyenne pondérée du coût de chacune des sources actuelles de fonds d'une entreprise. Le coefficient est établi en calculant la proportion représentée par chaque source de fonds relativement au total des sources de fonds de l'entreprise. Le choix d'un tel taux d'actualisation est orientée par le souci de savoir si les cash-flow futurs générés par le projet, peuvent au moins payer le coût d'utilisation des fonds empruntés (intérêt).

C- La méthode du taux de rendement fixée par la direction:
La direction peut choisir de fixer un taux d'actualisation à partir d'un objectif de rendement minimum, ce taux est donc susceptible de varier sensiblement d'une entreprise à l'autre puisqu'il repose sur un jugement porté par les gestionnaires.

II.3- MESURE DES EFFETS DE L'INFLATION

Le choix du taux d'actualisation est aussi guidé par un souci de cohérence entre ce dernier et la façon dont sont exprimés les cash-flow que l'on veut actualiser [HUS,89]. L'entreprise devra choisir entre un taux d'actualisation intégrant le taux d'inflation et un taux d'actualisation ignorant le taux d'inflation selon que les cash-flow sont exprimés respectivement en monnaie courante ou en monnaie réelle.

Les flux exprimés en monnaie courante, sont des flux exprimés:

- 1) initialement en monnaie de l'année 0 (année de la prise de décision,
- 2) puis frappés d'un taux d'inflation spécifique,
- 3) ils seront actualisés par le taux d'actualisation intégrant l'inflation.

Les flux exprimés en monnaie constante sont des flux exprimés:

- 1) initialement en monnaie courante,
- 2) puis déflatés au taux d'inflation général,
- 3) ils seront actualisés par le taux d'actualisation sans inflation.

Les impératifs pratiques conduisent à privilégier l'approche en monnaie courante dans la mesure où l'autre approche est inutilement compliquée parce qu'il est de toute façon nécessaire de mesurer les flux en valeur nominale (réelle) avant de les déflater.

Dans ces conditions, on utilise le taux d'actualisation combinée "i" tel que :

$$i \approx e + R$$

où "e" est le taux d'inflation, et "R" le taux d'actualisation sans inflation. La valeur approchée de "i" est obtenu comme suit:

le facteur d'actualisation des cash-flow exprimés en monnaie courante déboursés ou encaissés en n années est :

$$1/(1+i)^n = 1/((1+R)^n(1+e)^n)$$

Lorsque les valeurs de "R" et de "e" sont sensiblement inférieures à 1, et cela est généralement le cas, le facteur d'actualisation peut être approximé par :

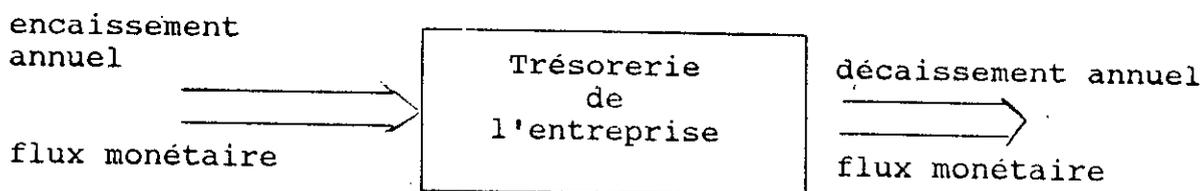
$$1/(1+R+e)^n$$

$$1/(1+i)^n = 1/((1+R)^n(1+e)^n) \approx 1/(1+R+e+R*e)^n \approx 1/(1+R+e)^n$$

d'où $i \approx R + e$.

III. UN ELEMENT CARACTERISTIQUE DU PROJET : LES FLUX DE LIQUIDITE

Nous avons montré qu'évaluer un projet d'investissement consiste en une comparaison entre la mise initiale nécessaire à la réalisation du projet avec la valeur immédiate des flux monétaires qu'engendre le projet dans le futur. La valeur relative de ces flux de liquidité est directement fonction de la possibilité de les replacer dès qu'ils sont disponibles. C'est sur cette notion de disponibilité que se base l'analyse de projet, ce qui implique donc que les flux considérés cernent uniquement les mouvements de trésorerie ou de liquidité de l'entreprise et cela pendant toute la durée de vie du projet.



Lorsque les flux de liquidité retracent sous forme de mouvement de trésorerie tous les événements qui composent la vie du projet, sans se soucier de la provenance de ces flux (apport de capitaux propre ou empreints) on parle de flux économiques. Par contre lorsqu'on fait allusion aux moyens de financement mis en place, à la forme de rémunération, à leur restitution, on parle de flux financiers.

Dans le cadre de cette étude, nous prenons en considération les flux économique à dette réelle, c'est à dire les cash-flow obtenus avant ou après impôt sans considérer l'économie fiscale due aux charges financières.

Flux économique = cash-flow à dette nulle + économie fiscale due au financement.

Nous limitons ainsi notre étude à une analyse économique de projets car de toutes façons, elle seule permet de mettre en évidence le surplus de richesse que peut engendrer l'investissement.

IV. LES CRITERES DE RENTABILITE USUELS

Pour pouvoir porter une appréciation sur un échéancier de cash-flow on doit le résumer par une mesure économique appelée critère de rentabilité économique.

Appliquée au problème décisionnel la valeur du critère économique constitue une mesure de conséquence.

Le présent paragraphe permet de définir les criteres de rentabilité usuels les plus importants dans le but de choisir celui qui est le plus apte à répondre aux objectifs de notre étude.

IV.1 La Valeur Actuelle Nette (V.A.N)

IV.1.1- Définition

La valeur actuelle d'un investissement se définit comme la somme des cash-flow actualisés aux taux i , générés par cet investissement tout au long de sa durée de vie : si $CF(t)$ est le cash-flow prévu pour l'année t , évalué par la différence entre les encaissements et les décaissements, pour un taux d'actualisation i et une durée de vie de n années alors

$$VAN = \sum_{t=0, n} CF(t)/(1+i)^t$$

la valeur actuelle nette est aussi appelée "bénéfice actualisé" ou "Net Present Value" (NPV).

IV.1.2- Un critère de décision

Dans une situation de certitude, la VAN constitue un critère de décision. On accepte tout projet dont la VAN est positive, si les moyens de financement ne sont pas limités. Par contre, la VAN ne permet pas de comparer les projets mutuellement exclusifs ou de classer un ensemble de projets par ordre d'intérêt économique liés par une contrainte budgétaire.

IV.1.3- Avantages et inconvénients

*** Avantages**

- 1) Elle utilise un taux d'actualisation explicite.
- 2) Elle suppose que les fonds sont réinvestis au taux d'actualisation ce qui est tout à fait vraisemblable.
- 3) Elle mesure la contribution du projet à la valeur de l'entreprise.

*** Inconvénients**

L'inconvénient principal de la VAN est que ce critère ne permet pas directement le classement des projets, néanmoins cette insuffisance est compensée par l'indice de rentabilité.

IV.2- L'Indice de Rentabilité (IR)

IV.2.1- Définition

Il est obtenu simplement en rapportant la valeur actuelle des flux futurs générés par le projet au montant de l'investissement initial soit :

$$IR = VAN / \{\text{investissement initial}\}$$

IV.2.2- Un critère de décision

Dans une situation de certitude, tout projet dont l'IR est supérieur à 1 est rentable. Le classement des projets liés par contrainte budgétaire se fait dans l'ordre induit par le classement de l'IR.

IV.2.3- Avantage et inconvénient

L'IR possède tous les avantages de la VAN. L'inconvénient de ce critère apparaîtra plus loin dans cette étude, lorsqu'on traitera le problème de la décision en situation d'incertitude : dans ce cas l'IR ne peut plus constituer une mesure de conséquence.

IV.3 - Le Taux de Rendement Interne (TRI)

IV.3.1- Définition

C'est le taux d'escompte qui rend la valeur actuelle des recettes d'un projet égale à la valeur actuelle des déboursées exigées par celui-ci. C'est en fait le taux d'actualisation qui annule la VAN.

$$\sum_{t=1, n} CF(t)/(1+TRI)^t = 0$$

Il est aussi appelé "taux de rentabilité interne" ou "Internal Rate of Return". Il n'existe malheureusement pas de formule pour le calculer directement, et l'on se contente d'obtenir sa valeur par approches successives.

IV.3.2- Un critère de décision

Dans une situation de certitude :

* Tout projet par lequel le taux de rendement interne est supérieur à un taux de référence choisi par l'entreprise est accepté.

* Le classement des projets liés par contrainte budgétaire se fait dans l'ordre induit par le classement du TRI.

IV.3.3- Avantages et inconvénients

* Avantage

Il traduit la profitabilité d'un projet sous forme d'un taux de rentabilité.

* Inconvénients

1- Il fait des hypothèses sur le réinvestissement des entrées de fonds : on suppose que les entrées d'argent sont réinvesties au même taux de rendement que celui du projet ce qui peut s'avérer peu réaliste.

2- On peut obtenir deux taux de rendement différents pour un même projet.

3- Le TRI est insensible au signe des flux économiques.

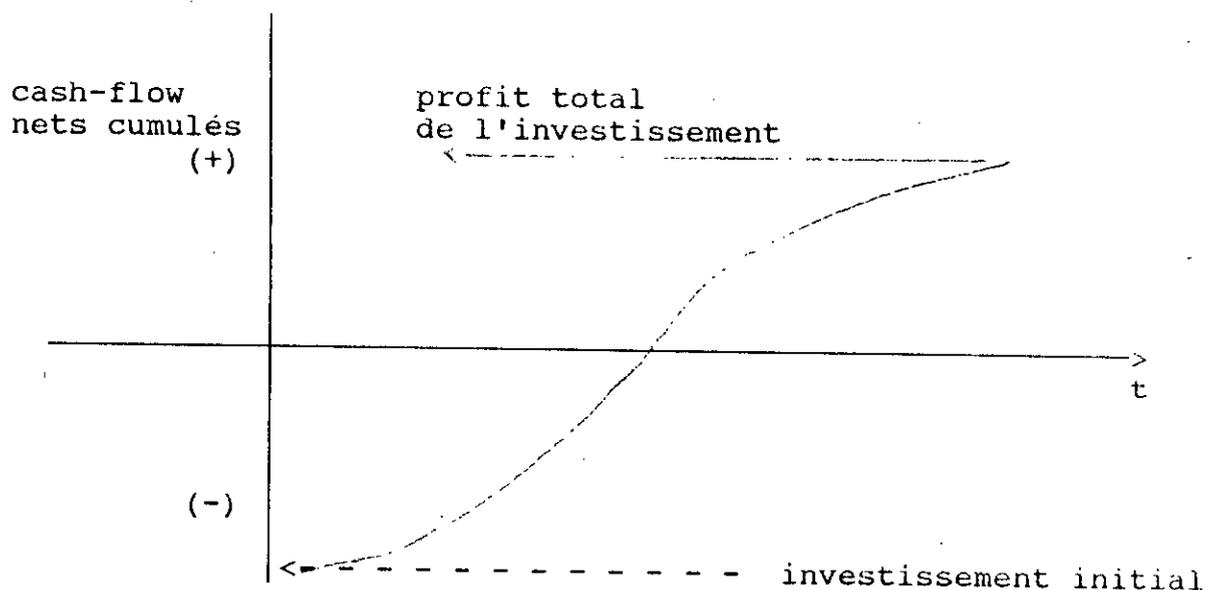
4- Un projet peut ne présenter aucun TRI.

IV.4- Le délai de récupération (P.O.T.)

IV.4.1- Définition

Le délai de récupération, appelé aussi "délai de recouvrement" ou "Pay Out Time", POT, est le temps nécessaire au

remboursement de l'investissement initial. Le délai de récupération est calculé sur la base des bénéfices après impôts.



IV.4.2- Un critère de décision

Le fonctionnement du critère est fort simple : un projet dont le délai de remboursement est inférieur ou égal à un délai de référence fixé par l'entreprise sera accepté. Dans le cas contraire, il sera refusé.

IV.4.3- Avantages et inconvénients

* Avantages

1- il intègre une dimension spécifique du risque, celle de l'éventualité de devoir interrompre prématurément le projet.

2- Il fournit une information importante : la durée minimum nécessaire à partir de laquelle le projet génère des gains.

* Inconvénients

1- Il ne tient pas compte de la valeur de l'argent dans le taux ; il n'utilise pas de taux d'actualisation.

2- Les flux postérieurs au délai de récupération sont exclus de l'analyse.

CHAPITRE IV

PREMIERE APPROCHE EN AVENIR INCERTAIN: LES METHODES ISSUES DU CALCUL ECONOMIQUE CLASSIQUE

Introduction

Dans la situation d'incertitude, le calcul déterministe de rentabilité est insuffisant et les critères économiques ne sont plus, de ce fait, des critères de décision. En effet, même si l'investisseur peut estimer pour ce calcul, les valeurs les plus probables des flux monétaires, il ne peut ignorer la possibilité de s'en écarter. Le problème posé à l'investisseur est de savoir comment intégrer la dimension essentielle du risque dans la décision économique.

Dans ce chapitre, nous aborderons une première approche d'analyse du risque qui présente un ensemble de méthodes empiriques [DER,85] permettant de tenir compte du risque sans pour autant pouvoir le mesurer.

I- La méthode des estimés conservateurs

Il est possible de considérer le risque en faisant des ajustements aux divers éléments du flux qui affectent la rentabilité, on pourra ainsi, augmenter les coûts d'exploitation à un niveau considéré comme maximal ou diminuer les quantités produites, ainsi que les prix de vente etc...

Il s'agit donc de déterminer des valeurs pessimistes de chaque élément du flux monétaire, pour en déduire une valeur minimale de rentabilité. Cette méthode est très simple et souvent utilisée, mais elle comporte énormément d'imprécision et d'arbitraire.

II- Le délai de récupération

Comme cité dans la première partie, le délai de récupération (ou Pay Back) est beaucoup plus un critère de mesure de risque, qu'un critère de décision. On peut dire que "plus un investissement prend du temps à être récupéré, plus il est risqué".

L'inconvénient majeur de cette méthode réside dans la difficulté de déterminer un pay back maximum acceptable tenant compte du degré de risque que le décideur est disposé à accepter.

III- La méthode d'ajustement du taux d'actualisation

Il s'agit d'une méthode qui consiste à utiliser pour le calcul des critères économiques, un taux d'actualisation augmenté d'une "prime de risque" qui constitue une certaine compensation pour le risque encouru.

$$\begin{array}{rcccl} \text{Taux d'actualisation} & & \text{taux d'actualisation} & & \text{prime de risque} \\ \text{du projet} & = & \text{sans risque} & + & \text{du projet} \\ (i) & & (i_0) & & (r) \end{array}$$

Ainsi, pour le calcul de la VAN, on utilise le taux $i=i_0+r$.

$$VAN = \sum_{t=0, n} CF(t)/(1+i_0+r)^t$$

* Inconvénients de la méthode

1- Difficultés à déterminer la prime de risque qui doit tenir compte de l'attitude du décideur vis à vis du risque. On reviendra sur ce point lorsque l'on aura développé tous les outils d'aide à la décision exposés dans les paragraphes suivants.

2- D'autre part, l'utilisation d'un taux constant comme prime au risque n'est valable que dans l'hypothèse du risque croissant avec le temps, ce qui pénalise à tort à un niveau de risque égal les projets les plus longs au profit des projets les plus courts.

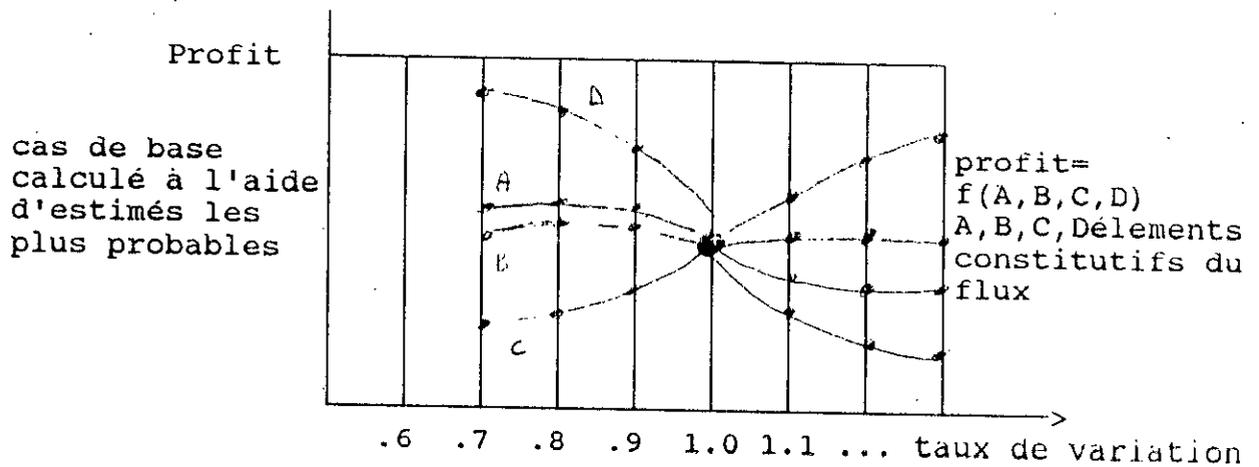
3- Enfin, il y a toujours le problème du réinvestissement des cash-flow récupérés d'un projet ayant un certain niveau de risque. Ces cash-flow ne seront pas forcément utilisés pour financer un projet de même niveau de risque.

IV- L'analyse de sensibilité

Lorsque le décideur veut mesurer l'impact d'un changement éventuel de la valeur d'un ou de plusieurs des éléments constitutifs du flux économique prévisionnel, il fait une analyse de sensibilité. Pour ce faire, il peut procéder de deux manières différentes:

1. Analyse de l'effet des variations d'une seule variable à la fois: on mesure successivement les effets d'un changement de plusieurs variables sur la rentabilité du projet. On peut ensuite identifier les variables les plus importantes (variables-clé), celles dont les variations engendrent le plus d'effets sur la rentabilité.

2. Analyse des effets des variations simultanées de plusieurs variables: Pour tenir compte des "interactions" entre les variables, il est nécessaire d'examiner les effets des variations simultanées de plusieurs variables. Cette méthode requiert l'emploi de l'ordinateur.



* Inconvénient de la méthode

L'interprétation d'une analyse de sensibilité est difficile à faire dans la mesure où aucune probabilité ou mesure de vraisemblance n'est attribuée aux différentes valeurs que l'on assigne aux facteurs que l'on fait varier. Sur rôle principal demeure l'identification des variables-clés du projet.

V- CONCLUSION

Ces méthodes comportent l'avantage d'être faciles à appliquer mais aussi l'inconvénient de ne pas expliciter l'incertitude, de ne pas considérer la dispersion ou la variabilité de la rentabilité du projet et d'obliger l'analyste et le décideur à appliquer leur jugement aux résultats de l'analyse plutôt qu'aux hypothèses à la base de l'évaluation.

CHAPITRE V

SECONDE APPROCHE EN AVENIR INCERTAIN:

LES METHODES PROBABILISTES D'ANALYSE DE RISQUE

Introduction

Cette approche tente d'éliminer les inconvénients de la première; l'incertitude étant liée aux probabilités d'occurrence de chaque état de l'environnement, on propose alors d'introduire les valeurs des probabilités dans le calcul de rentabilité afin de tenir compte explicitement du risque qui pèse sur les facteurs des flux économiques. Mais pour ce faire, ces méthodes nécessitent la réalisation d'une tâche bien ardue : la quantification des prévisions par des probabilités. Dans les domaines de la gestion, il est presque impossible de s'appuyer sur les données historiques ou sur une analyse statistique rigoureuse, (vu que chaque projet constitue un événement unique en soi), le problème fondamental posé par cette approche se traduit par la question suivante: comment évalue-t-on les probabilités d'occurrence des événements lorsqu'on ne dispose pas de données statistiques suffisantes?

I- LA GENERALISATION DE LA NOTION DE PROBABILITE

La mesure de la vraisemblance des états par une probabilité suppose la possibilité de tester l'ensemble des cas possibles des états de l'environnement ou de disposer d'une série d'observations antérieures d'un phénomène répétitif ; dans les deux cas, la probabilité obtenue est dite "objective" : elle est admise par tous car elle est issue de calculs analytique ou d'une étude statistique rigoureuse. Mais lorsque la connaissance des conditions de réalisation d'un événement est imparfaite ou insuffisante, ce qui est généralement le cas pour les décisions économiques, faut-il faire face au futur comme si nous étions complètement ignorants? L'utilisation des probabilités subjectives dans ces conditions nous permet de répondre non à cette question.

I.1- Définition (énoncée par Bruno Finetti en 1935)

"La probabilité de l'événement E est le prix P pour lequel l'individu serait disposé à échanger la possession d'une somme quelconque S, positive ou négative, subordonnée à l'arrivée d'un événement E, avec la possession de la somme PS".

Bruno Finetti a ensuite montré que ces probabilités suivent les règles usuelles du calcul des probabilités à savoir :

- $P(E) > 0$
- $P(\phi) = 1$ ϕ étant l'union des événements
- $P(E1 \cup E2) = P(E1) + P(E2)$ si E1 et E2 sont incompatibles.

Le décideur qui ne respecterait pas ces règles serait conduit à accepter des pertes certaines, il serait donc incohérent.

Cette définition suppose donc que chaque éventualité peut faire l'objet d'un pari que le décideur devra exprimer.

I.2- La quantification des probabilités subjectives

L'évaluation des probabilités subjectives se fait en deux étapes [VED,88]:

a) La quantification à priori :

Dans cette étape, l'expert et le décideur, chacun dans son domaine de connaissance, attribueront à un événement une probabilité en se basant sur leurs connaissances, leur expérience et aussi sur les quelques informations mises à leur disposition.

La probabilité devient alors l'expression d'un jugement que les experts portent sur la vraisemblance d'un événement se rapportant à leur domaine d'expertise, c'est en fait l'expression du pari que chacun d'entre eux se fait du futur.

b) La quantification à posteriori :

La probabilité subjective, définie par le pari, traduit-elle toute l'information disponible? Comment évolue cette probabilité lorsque de nouvelles informations se révèlent au décideur? Ces deux questions nous renvoient au théorème de Bayes:

Soit E l'évènement dont on veut évaluer la probabilité et P(E) la probabilité subjective à priori associée.

Si l'on obtient une information K concernant l'évènement E, il est possible d'appliquer le théorème de Bayes.

$$P(E/K) = \frac{P(K/E) \cdot P(E)}{P(K)}$$

P(E) = probabilité a priori

P(E/K) = probabilité a posteriori de l'évènement E calculé après l'obtention d'une information supplémentaire.

P(K/E) = fiabilité de l'information.

* Signification du théorème de Bayes :

Ce théorème, valable aussi bien pour les probabilités objectives que subjectives, montre comment des probabilités a priori, informations intuitive vague sans grand support évoluent grâce à l'ajout d'information en probabilité conditionnelle subordonnée à ladite information.

I.3- Conséquence :

Ainsi, la probabilité subjective pour un individu non informé ne traduit qu'un sentiment sans grandes justifications. Au contraire, pour un individu informé, la probabilité subjective est un concept puissant qui exprime, en quelque sorte, c'est une conséquence du théorème de Bayes, l'information détenue à cet égard. Le concept de probabilité subjective généralise donc la notion de probabilité et la rend

particulièrement intéressante pour analyser les problèmes de décision. Or nombreux sont ceux qui éprouvent des difficultés à bien le comprendre et donc à bien l'admettre, comment peut-on leur répondre?

La quantification explicite de la probabilité subjective par un expert permet d'exprimer le mieux possible le degré de vraisemblance des futurs éventuels. C'est certes une tâche difficile et courageuse mais qui a l'avantage d'impliquer directement l'expert dans le processus décisionnel.

Refuser la quantification explicite d'un expert est une impasse dangereuse car prendre une décision dans ces conditions, c'est laisser le soin au décideur d'une évaluation implicite du risque mal éclairée, masquée ou précipitée.

La probabilité subjective est un concept puissant que si elle est émise par un expert.

II- LE CONCEPT DE L'ESPERANCE MATHÉMATIQUE

L'espérance mathématique est un concept ancien longuement étudié et développé par les pionniers de la théorie de la décision tels que Bernoulli, Bayes, Laplace ou Gauss. Son utilisation dans le domaine économique est aujourd'hui de plus en plus fréquente car il répond à la nécessité de pallier aux inconvénients du calcul économique déterministe qui se limite à une évaluation unique et figée du critère de rentabilité ne permettant pas de mesurer le risque qui pèse sur la décision qui en découle. Comment applique-t-on alors le concept de l'espérance mathématique aux problèmes de la décision économique? [NEW,75]

II.1- Définitions

a) Valeur espérée d'un événement :

C'est le produit obtenu en multipliant la probabilité d'occurrence de l'événement et la valeur anticipée que l'on attribue à cet événement (c'est à dire sa conséquence). Le terme "anticipé" signifie que la conséquence attribuée à l'événement est subordonnée à la réalisation de cet événement.

b) Valeur espérée d'une action :

C'est la somme algébrique des valeurs espérées de chaque événement susceptible de se produire si l'action considérée est retenue. Cette définition n'est tout autre que la définition de l'espérance mathématique d'une action.

$$E[A(j)] = \sum_{i=1, n} P(i, j) C(i, j)$$

où :

$E[A(j)]$ = espérance mathématique de l'action j

$C(i, j)$ = conséquence de l'événement i, susceptible de se produire si l'action j est retenue.

$P(i, j)$ = probabilité d'occurrence de l'événement i, susceptible de se produire si l'action j est retenue.

n = le nombre d'événements possibles.

II.2- L'espérance mathématique : un critère de décision

On a déjà noté que pour le problème du choix d'investissement, une décision, c'est à dire un choix, faisait

correspondre à chaque événement un échéancier de recettes et de dépenses qui en est la conséquence. Cet échéancier est résumé par une mesure du critère de rentabilité, dans le cas particulier où le critère exprime un gain sous forme de flux monétaire, le concept de l'espérance mathématique propose la règle de décision suivante :

Règle de décision pour l'espérance mathématique de gain EMV (EXPECTED MONETARY VALUE) :

Lorsqu'on a à choisir entre plusieurs actions mutuellement exclusives, on retiendra celle dont l'espérance mathématique positive est la plus élevée.

*** Remarques :**

1- Dans le cas où la valeur monétaire de chaque événement correspond à un coût, on retiendra l'action dont l'espérance mathématique des coûts est la plus faible.

2- La construction de ce critère implique la combinaison linéaire des gains, cette propriété qui traduit le caractère de "mesure" du gain condamne l'emploi de critères de rentabilité tels que :

- taux de rentabilité interne
- indice de rentabilité
- délai de récupération

en ce sens que leurs valeurs pondérées par des probabilités n'ont aucun sens.

3- Le critère que la VAN ou NPV est le seul qui mesure explicitement l'accroissement de la valeur de l'entreprise. Il paraît pour cette raison le critère le plus adéquat pour l'évaluation de la mesure économique des conséquences. Le critère EMV devient alors ENPV : expected net present value.

II.3- Signification et interprétation du critère EMV

L'espérance mathématique de gain relative à une action représente la moyenne du profit, réalisée par action si cette même action est retenue à la suite d'une série d'opérations décisionnelles échelonnées dans le temps. Si à chaque problème de décision, on retient la même action j , la moyenne de gain effectivement réalisée à la suite de n décisions tend vers l'espérance mathématique de gain calculée théoriquement soit : $EMV(j)$.

Le nombre de décisions nécessaires pour la convergence vers $EMV(j)$ dépend de la valeur même des conséquences, de leur probabilité d'occurrence, de l'approximation souhaitée et de l'intervalle de confiance choisi.

Mathématiquement, la Loi des grands nombres justifie l'emploi des espérances mathématiques comme critère de décision. Celle-ci s'énonce comme suit :

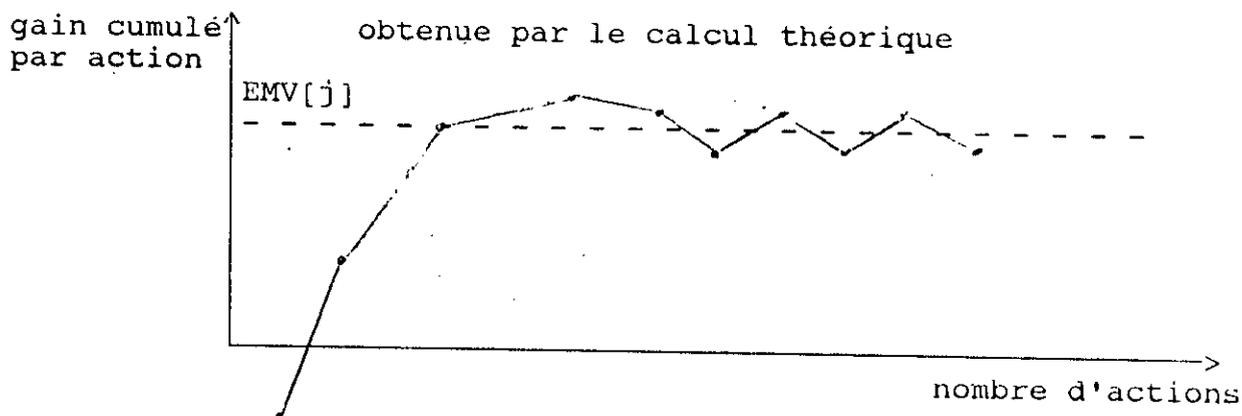
La Loi des grands nombres :

Soient $\{X_i, i=1,n\}$ n variables aléatoires indépendantes et identiquement distribuées avec $E[X_i] = M$, pour tout $i=1,n$ Alors:

$$P\left[\lim_{n \rightarrow \infty} \left(\frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} \right) \right] = 1$$

Pratiquement, ce critère est justifié par le fait que l'activité de toute entreprise est de l'ordre de processus et non d'opérations isolées, les profits venant compenser les pertes issues d'une même action.

$$\text{Gain cumulé par action} = \frac{\text{Somme des gains et pertes réalisés à la suite d'une série d'actions}}{\text{Nombre d'actions}}$$



II.4- Avantages et inconvénients du critère EMV

Le plus grand avantage du critère décisionnel Esperance Mathématique de l'action est qu'il permet d'introduire explicitement une dimension essentielle dans l'analyse de la décision : celle du risque et de l'incertitude. En effet, ce concept incorpore directement les facteurs de risque (probabilités) dans le calcul du critère de décision ; il munit le décideur d'un outil plus représentatif de la réalité que ne l'est la stricte valeur d'un critère de rentabilité usuel puisqu'il prend en considération les valeurs de toutes les conséquences possibles subordonnées à cette décision. Cependant, dans le domaine des investissements, lorsque plusieurs propositions sont offertes au décideur et que ce dernier doit agir sous contrainte budgétaire, le critère EMV ne permet pas d'induire un classement satisfaisant des différents investissements possibles, car il ne tient pas compte de l'importance relative de leur mise initiale. Mais cet inconvénient est aisément contourné par l'utilisation du critère complémentaire "Risk-Weighted Profitability Index" ou "Return On Risk investment" défini par :

$$R_WPI = EMV/EC$$

où EC est l'espérance mathématique des dépenses faisant l'objet d'une limitation budgétaire.

Le classement et la sélection des investissements sous contrainte budgétaire s'établit alors comme suit :

- 1- Retenir tout investissement dont l'EMV est positive.
- 2- Classer ces investissements dans l'ordre induit par le classement de leur R-WPI.
- 3- Sélectionner successivement dans cet ordre chaque investissement jusqu'à saturation de la contrainte budgétaire. Ceci revient à résoudre le problème de programmation linéaire suivant :

$$\text{Max } \{ \text{Gain} = \sum_{j=1, n} \text{EMV}(j) \times (j) \}$$

SC

$$\sum_{j=1, n} \text{EC}(j) \times (j) \leq \text{Budget}$$

$x_j = 1$ si l'investissement est retenu, et 0 sinon.
 n : nombre d'investissements.

Le premier inconvénient étant contourné, se pose alors un autre problème important dans l'analyse de la décision : l'attitude du décideur face au risque. Supposons qu'un entrepreneur, en évaluant son investissement par le critère EMV, aboutisse à une valeur positive de ce critère. La règle de décision lui suggère alors d'investir mais il doit, pour cela, engager 80% de ses fonds propre. Le décideur va-t-il obéir à cette règle et risquer la majorité de ses fonds, ou bien va-t-il refuser d'investir ?

Se poser cette question c'est avouer les limites du critère EMV, car comme on s'en aperçoit, ce critère ne tient pas compte de l'attitude du décideur face au risque. En effet, pour pouvoir répondre à cette question il est indispensable de connaître quelle est l'aversion au risque du décideur: un investisseur "joueur" et un investisseur "prudent" ne prendront certainement pas la même décision.

Ainsi, en mettant cette dimension essentielle dans l'analyse de la décision qu'est l'attitude du décideur face au risque, on conclut que le critère EMV n'est pas un critère décisionnel systématique. Il peut néanmoins constituer un critère pertinent dans les conditions suivantes:

- Pas de grande variabilité des conséquences (risque faible)
- Capacité de financement illimitée.
- La mise initiale est très faible par rapport aux fonds propres de l'investisseur.

Ces trois conditions aboutissent toutes à la conclusion suivante: L'EMV n'est un critère pertinent que si le décideur est neutre vis à vis du risque.

III- LA PRISE EN COMPTE DU RISQUE A PARTIR DE LA NOTION DE DISPERSION

Il existe une mesure traditionnelle du degré de risque: c'est la dispersion des valeurs possibles des conséquences autour de leur valeur moyenne.

III.1- La variance d'une action

Le calcul de la variance d'une action qui constitue une première mesure de la dispersion s'effectue selon la formule :

$$\hat{\sigma}_j^2 = \text{VAR}[A(j)] = \sum_{i=1, n} P(i, j) (c(i, j) - \text{EMV}(j))^2$$

III.2- L'écart-type d'une action :

Il se définit simplement comme la racine carrée de la variance:

$$\hat{\sigma}_j = \text{Ecart_Type}[A(j)] = \{\text{VAR}[A(j)]\}^{1/2}$$

L'écart-type présente cet avantage sur la variance de quantifier le risque dans la même unité de mesure que celle du critère économique étudié. Il représente une mesure explicite du risque absolu d'une action.

III.3- Le critère coefficient de variation :

Une approche proposée par Hertz en 1968, suppose que les décideurs tendent à adopter une politique de décision qui leurs permette d'une part de maximiser leur gains et d'autre part de minimiser le degré de risque traduit par une dispersion du gain autour de sa valeur espérée. Hertz propose le critère coefficient de variation comme critère de décision qui se calcule comme suit :

$$\text{CV}[j] = \sigma_j / \text{EMV}[j]$$

où

CV[j] = coefficient de variation de l'action j.

La règle de décision pour ce critère suggère de retenir la décision qui minimise le coefficient de variation

$$\text{CV} = \text{Min} \left\{ \text{CV}[j] \right\}_j$$

(donc qui minimise l'écart-type et maximise l'espérance de gain).

Le critère de Hertz a ses propres mérites mais il n'est valable que sous certaines hypothèses qui ne sont pas toujours acceptables (ex: toutes les EMV (j) sont normalement distribuées).

IV- LES MODALITES DE CALCUL DU CRITERE EMV

Nous avons présenté le critère de décision espérance mathématique de gain sans considérer son mode de calcul. En fait, le problème réside dans l'existence en situation d'incertitude d'un ensemble plus ou moins important d'états dû aux différentes combinaisons de modalités des facteurs d'environnement. Le nombre de ces états est fonction du nombre de paramètres incertains qui constituent l'événement et du nombre de modalités possibles de chaque paramètre.

Le calcul du critère EMV nécessite l'évaluation de la mesure économique de tous les états de l'environnement ainsi que leur probabilité d'occurrence. Or comment considérer toutes ces combinaisons possibles et calculer leur conséquence correspondante, surtout lorsque les facteurs incertains sont des variables continues et que l'on se trouve alors en face d'une infinité d'états ?

Au lieu de considérer toutes les combinaisons possibles ainsi que leur conséquence sur le calcul de l'EMV, on peut procéder de deux manières différentes :

- 1- Soit par l'élaboration d'un nombre restreint de scénarios
- 2- Soit par l'utilisation d'une technique d'échantillonnage telle que la simulation de Monté-Carlo.

IV.1- L'élaboration d'un nombre restreint de scénarios

La méthode la plus simple et par la suite la plus usitée dans les entreprises consiste à déterminer de façon subjective un nombre restreint de valeurs possibles, par exemple trois valeurs distinctes pour chaque variable incertaine correspondant à une hypothèse pessimiste, raisonnable ou optimiste. Un problème comportant r variables incertaines serait représenté par exemple sur un arbre décisionnel comportant une séquence de r noeuds de probabilités et $3r$ branches terminales à l'extrémité desquelles on retrouve les $3r$ valeurs de conséquence. La décision ultime dépend des probabilités d'occurrence que le décideur attribue subjectivement à chacun des scénarios envisagés, ce qui permet de calculer l'expérience mathématique des conséquences (EMV). Une telle présentation en scénarios offre les avantages suivantes:

- * Chaque scénarios est un calcul déterministe et les relations de dépendance des paramètres se réduisent alors à un souci de cohérence des paramètres au sein de chaque scénario.

- * Pas de recours à l'ordinateur.

- * Lorsqu'un paramètre est déterminant, il sera clairement visualisé par les trois scénarios: l'information passera donc directement sans manipulation (les probabilités restant implicites) de l'expert au décideur lequel verra immédiatement les hypothèses retenues et leur effet.

Mais dans les situations complexes, lorsqu'il existe plusieurs variables incertaines, la schématisation à trois scénarios devient difficile (quand $r=4$, $3r=81$ combinaisons) rend indispensable le recours à l'ordinateur. De plus, cette méthode ne tient pas compte de l'éventail des possibilités auxquelles devra faire face le décideur dans la réalité.

Une autre technique plus sophistiquée peut alors être utilisée: C'est la technique de simulation de Monte-Carlo.

- La technique d'échantillonnage Monte-Carlo :

Désignée ainsi parce qu'elle utilise les outils mathématiques développés à propos des jeux de hasard pratiqués dans les casinos, cette méthode systématise l'approche précédente en procédant à des tirages aléatoires d'échantillons de valeurs pour chaque facteur d'environnement incertain, dans le but d'évaluer une distribution de probabilité d'un autre paramètre qui en est le résultat.

Pour la décision économique, l'objectif étant d'évaluer la distribution de probabilité de la mesure économique exprimée en flux monétaire (NPV, CV), il faut alors suivre les étapes suivantes :

1ère étape :

* Identifier le critère mesure économique, ainsi que tous les facteurs d'environnement qui l'affectent.

2ème étape :

* Identifier les facteurs incertains et les décrire par leur distribution de probabilité (subjective) respective.
* Evaluer les paramètres certains.

3ème étape :

* Définir toutes les relations de dépendance déterministes (dépendance stricte) ou stochastique (dépendance partielle) existant entre les différents paramètres d'environnement. Ce qui permet d'aboutir au calcul de la mesure économique.

4ème étape :

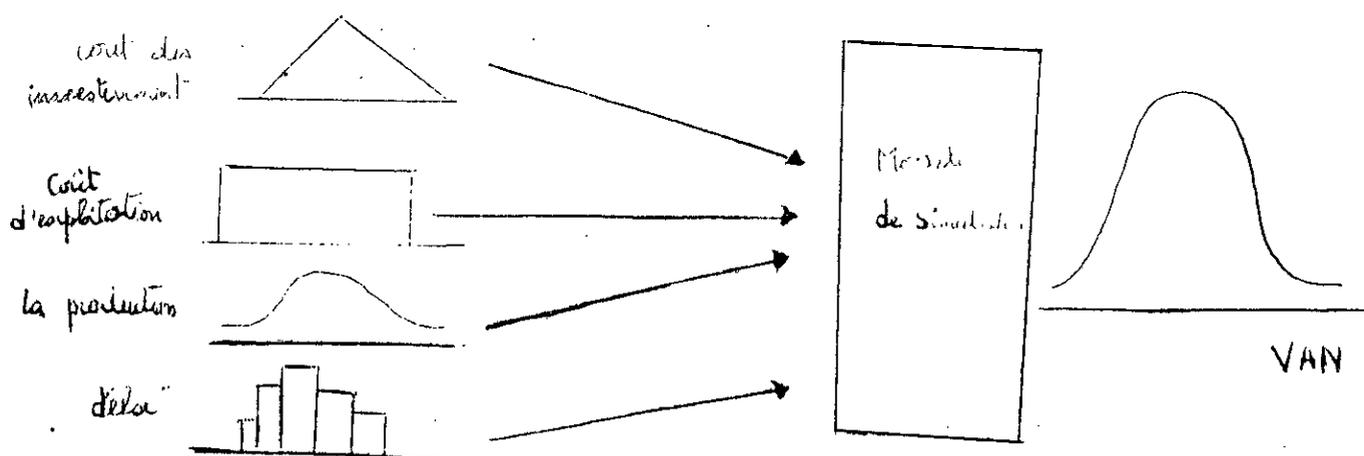
* Réalisation d'une passe de simulation consistant à tirer au sort une réalisation de chaque variable aléatoire en utilisant la technique du nombre aléatoire, et à calculer pour le jeu d'ensemble de ces réalisations la mesure économique.

5ème étape :

* Réitérer le processus précédent un grand nombre de fois pour obtenir un histogramme de la mesure économique dont on sait à l'avance qu'il tend vers la distribution résultante recherchée. Le nombre d'itérations nécessaires est voisin de 500 ou 1000.

La propriété fondamentale de la méthode de Monte-Carlo s'énonce comme suit: la valeur de mesure économique calculée par tirage aléatoire de chaque paramètre est-elle même un tirage aléatoire de la distribution résultante que l'on cherche à évaluer.

Si la mesure économique est la VAN (NPV), la procédure de simulation se déroule comme illustré par le schéma :



Cette technique offre l'avantage d'une description plus détaillée des futurs possibles mais présente tout de même quelques inconvénients tels que:

- * La difficulté de prendre en compte toutes les relations de dépendance.

- * Ne permet pas d'identifier directement la contribution de tel ou tel paramètre probabilisé puisqu'elle réalise un véritable mixage.

CHAPITRE VI

LA THEORIE DE LA DECISION FACE AUX RISQUES

Introduction :

Dans ce chapitre nous allons explorer le très fascinant mais tout aussi controversé concept de la théorie de la décision. Cette théorie est considérée comme une extension du concept déjà étudié de l'espérance mathématique dont le principal mérite est d'introduire quantitativement une dimension non négligeable dans l'opération décisionnelle: l'attitude du décideur face aux risques.

I- LA NAISSANCE DE LA THEORIE DE LA DECISION

La théorie de la décision est née de la critique et des tentatives d'amélioration ou de substitution des divers critères économiques. Le premier jalon de cette théorie a été posé par D. Bernoulli en 1735 à qui l'on doit le concept d'utilité, le second posé en 1763 par Bayes inventeur des concepts de probabilité subjective. Mais c'est à Savage qu'il devait revenir en 1954 d'achever la construction solide d'une théorie de la décision. Entre temps, les décisions économiques relevaient de critères empiriques. Certes, ces critères ont une valeur expérimentale, mais leur multiplicité est en elle même le début de leur propre réfutation et ne peuvent constituer une théorie économique.

La décision économique se fait, le plus souvent, dans des situations complexes prenant en compte une multitude de facteurs, or seule la théorie peut apporter une réponse rationnelle d'ensemble. Elle se propose ainsi de répondre à toutes les exigences d'une "bonne" décision à savoir:

- La sensibilité à l'incertain.
- La sensibilité au risque.

Le premier aspect fondamental du processus décisionnel est correctement pris en charge par les critères probabilistes d'analyse de la décision, la quantification de l'incertain par les probabilités subjectives étant avant tout une mesure du degré de connaissance dont on dispose de son environnement. Par contre, le second aspect fondamental, soit le comportement de l'individu face aux risques, n'est pris en charge par aucun des critères déjà étudiés.

Dans ce contexte, la théorie de la décision n'a pas la prétention de fournir un critère décisionnel qui garantisse le bon choix, mais elle s'inscrit dans le cadre d'une démarche qui, pour être efficace, doit être cohérente avec des postulats auxquels adhère l'utilisateur car ils résument effectivement son comportement.

Si un décideur accepte l'effort et la responsabilité d'un choix, cette théorie procure des bases rationnelles de réflexion et un outil d'analyse cohérent. Pour ce faire, la théorie suggère d'abord de bien décrire nos sentiments élémentaires à travers

une axiomatique acceptable de notre comportement; ensuite à partir de cette axiomatique, dégager les règles qui permettent la mise en forme du choix et la conclusion qui s'en dégage. Ainsi, cette théorie se veut respectueuse des limites que lui réserve la science qui elle, est descriptive et non normative: elle peut dire ce qui est, elle ne pourra jamais prescrire absolument.

II- LES BASES MATHÉMATIQUES DE LA THÉORIE DE LA DÉCISION [CHA,85] [ENS,91]

II-1- Construction axiomatique de Savage

En 1954, Savage a proposé un jeu de sept axiomes d'où dérive rigoureusement un critère de décision. Les axiomes sont des règles de comportement et chaque individu étant libre de se comporter comme il l'entend, il serait vain de chercher à les démontrer ou même d'en faire une norme de comportement rationnel. Si un individu adhère à ces règles, les tient pour bonnes, alors la rationalité lui commande d'adhérer au résultat logiquement déduit par Savage, car, à défaut, il violerait une ou plusieurs de ces règles et se mettrait en contradiction avec lui-même.

Nous n'allons pas ici détailler tous ces axiomes mais présenter brièvement certains, les plus importants d'entre eux:

Axiome N°1 : Entre deux actes, l'individu s'oblige soit à choisir, soit à se montrer indifférent: si l'individu préfère l'acte A à l'acte B, et l'acte B à l'acte C, il préfère l'acte A à l'acte C.

Axiome N°2 : L'ordre de deux actes ayant, pour certains états de la nature, des conséquences égales entre elles, n'est pas modifié si on substitue à une ou plusieurs conséquences communes à condition qu'elles soient les mêmes pour les deux actes.

Axiome N°3 : Soient trois événements, respectivement identifiés à leur conséquence unique et ordonnés selon leur préférence (A est préféré à B qui lui même est préféré à C).

Il existe une combinaison de A et de C ou A se produit avec une probabilité P et C avec 1-P qui soit indifférente à l'occurrence de l'événement intermédiaire certain B c'est à dire ni plus ni moins préféré.

On définit alors un scolaire U, appelé utilité, qui vérifie la relation suivante

$$P*U(A)+(1-P)*U(B)=U(C)$$

Signification:

Le décideur, vu la probabilité (subjective) qu'il se fixe quant à l'occurrence des événements A et B, reste indifférent devant les deux possibilités suivantes:

1- Accepter le pari et risquer la conséquence de l'événement B en espérant bénéficier de la conséquence A.

2- Refuser le pari contre l'acquisition de la conséquence certaine de C.

LES THEOREMES FONDAMENTAUX DE SAVAGE :

A partir de ces axiomes, Savage démontre les théorèmes suivants:

THEOREME 1 :

Il existe une fonction réelle P , appelée probabilité subjective, unique sur l'ensemble des événements qu'elle dote d'une mesure.

THEOREME 2 :

Il existe une fonction réelle u , appelée utilité psychologique, unique à une transformation linéaire près, qui permet de caractériser chaque conséquence. Cette fonction dote l'ensemble des conséquences d'une mesure.

THEOREME 3 :

Il existe une fonction réelle qui dote l'ensemble des actes c'est à dire des décisions d'une mesure, c'est l'espérance mathématique d'utilité des conséquences pondérées par leurs probabilités subjectives d'occurrence.

Soient les $\{C_i \ i=1,n\}$ conséquences de l'acte A' associées aux événements E'_j , $j=1,m$.

A est préférée à A' $\iff \sum_{i=1,n} U(C_i) P(E_i) > \sum_{j=1,m} U(C_j) P(E'_j)$

III- LA FONCTION D'UTILITE

III-1 LA NOTION D'UTILITE :

Ainsi, la théorie de la décision aboutit à un critère décisionnel qui utilise, comme le critère EMV, le concept d'espérance mathématique. De ce fait, le calcul des critères d'espérances mathématiques d'utilité nécessite la détermination de l'utilité de toutes les conséquences possibles. Or ceci ne peut se faire sans avoir défini au préalable la notion d'utilité.

L'utilité d'un décideur est la mesure psychologique des avantages ou désavantages d'une conséquence.

Dans le contexte économique où nous nous situons, la conséquence de chaque événement se présente sous forme d'une mesure économique déterministe (certaine), il s'agit alors de traduire ces conséquences en termes d'utilité psychologique soit, sur une autre échelle de valeur, propre à tout individu, vu que la valeur monétaire d'une conséquence est neutre, et ne permet pas d'évaluer le degré de satisfaction ou d'insatisfaction de celui qui la subit.

Il n'existe, jusqu'à présent, pas de méthodes bien définies pour l'évaluation de l'utilité d'une conséquence, néanmoins on admet qu'il est possible de construire une courbe pour chaque individu décrivant son comportement face au risque et d'en déduire ensuite la relation (f) entre l'utilité (U) qu'il attribue à une valeur monétaire certaine et le montant de cette valeur (g) c'est à dire $f = U(g)$

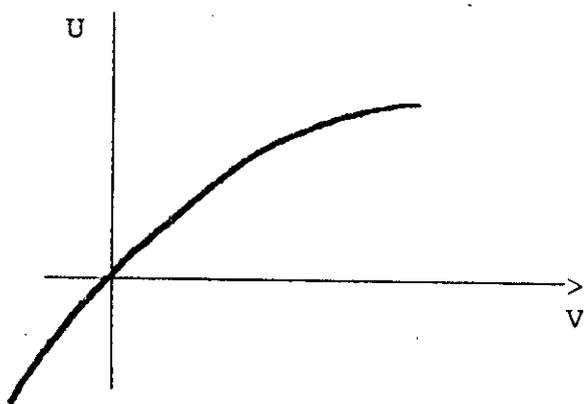
$U(g)$ est appelé l'utilité de l'équivalent monétaire certain g .

III.2- FORME DE LA FONCTION D'UTILITE

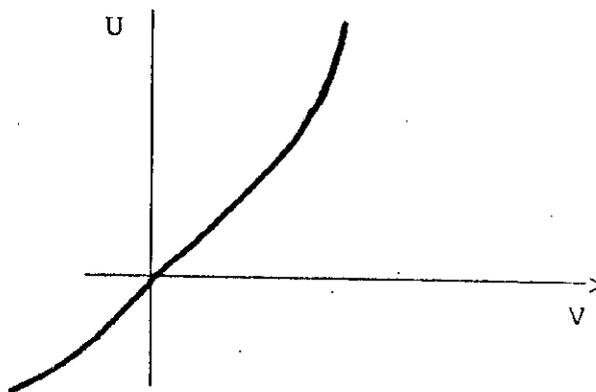
Les formes de la courbe d'utilité peuvent varier sensiblement selon les individus sans, pour autant, que les comportements soient plus rationnels.

La courbe exprime seulement des préférences personnelles, goût du risque pour un joueur ou aversion au risque dans le cas contraire. L'aversion au risque traduit une certaine saturation progressive des besoins. Elle se manifeste par une concavité tournée vers le bas (fig. A). Le goût du risque traduit au contraire une avidité progressive. Elle se manifeste par une concavité tournée vers le haut (fig. B). On peut avoir aussi, c'est le cas le plus général, des courbes qui manifestent à la fois des aversions locales ou des goûts locaux pour le risque (fig. C).

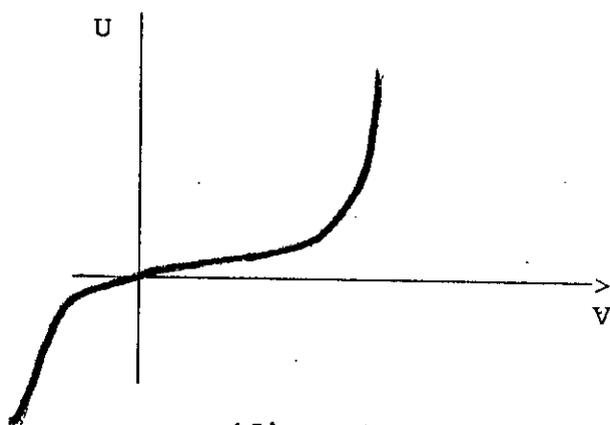
Lorsque la courbe d'utilité est représentée par la droite d'équation $U(v)=V$, on rejoint la situation où l'individu est neutre face aux risques, dans ces conditions le critère de l'espérance d'utilité est égal au critère EMV (fig. D).



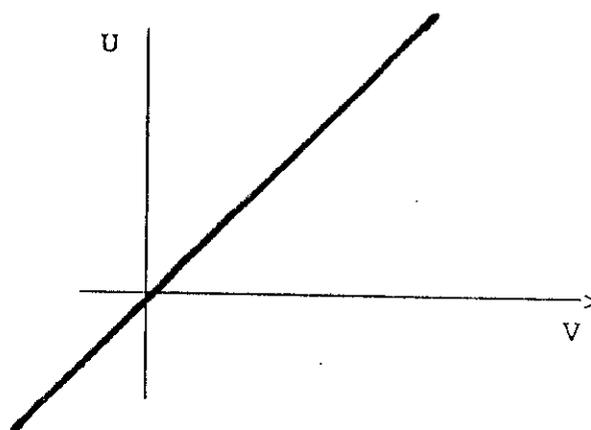
(fig. a)
Aversion au risque
(attitude prudente)



(fig. b)
Recherche du risque
(courbe du joueur)



(fig. c)
Individu à la fois
prudent et joueur



(fig. d)
Neutralité face au
risque

III-3 MODELES CONVENTIONNELS D'AVERSION AU RISQUE

La théorie de la décision ne permet pas, en règle générale de désagréger les choix, mais il existe des modèles conventionnels d'aversion au risque, comme celui suggéré par Bernoulli (modèle logarithmique) présentant le double avantage de la simplicité et de la mise en évidence d'une perte maximale (P) admissible qui conduirait asymptotiquement à une utilité infinie négative (fig. c).

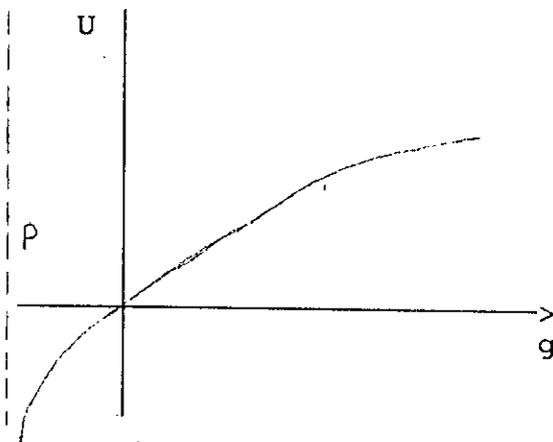
Ces dernières années, les études comportementales effectuées dans le domaine psychologique et financier ont conduit au modèle exponentiel négatif, qui traduit la saturation progressive des besoins marquée par une limite asymptotique (P) et permet d'accepter les pertes considérables (risques et catastrophes) sous réserves de probabilités très faibles (fig. f).

Ainsi, l'aversion au risque d'un décideur se résumerait donc dans un chiffre P susceptible d'une double interprétation:

1) P est l'ordre de grandeur de la perte maximale au delà de laquelle le dirigeant cherche à éviter que l'entreprise soit exposée.

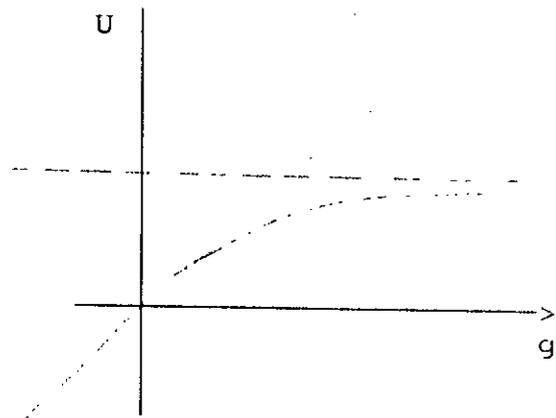
2) P est l'utilité limite que le dirigeant attribue à un résultat net, si grand soit-il.

En faisant varier P, on déduit plusieurs courbes traduisant chacune une attitude du décideur.



(fig. e)

Le modèle logarithmique
 $U = P \ln (1+g/P)$



(fig. f)

Le modèle exponentiel négatif
 $U = P(1 - \exp(-g/P))$

Modèles habituels d'utilité en cas d'aversion au risque

IV- LE CRITERE ISSU DE LA THEORIE DE LA DECISION

IV.1- Mode de calcul et règle de décision

Le calcul du critère espérance mathématique d'utilité se fait selon les étapes suivantes:

1- Identifier toutes les alternatives de décisions possibles j ($j=1,m$).

2- Utiliser soit:

- * un nombre restreint de modalités pour chaque facteur d'événement incertain (scénario)
- * Un échantillon de modalités pour chaque facteur incertain obtenu par tirage aléatoire (simulation de Monté Carlo).

3- Déterminer les probabilités subjectives d'occurrence de chaque événement i ($i=1,n$), $P[i,j]$.

4- Calculer la mesure économique exprimée en flux monétaire pour chaque événement i ($NPVi$).

5- Lire son utilité correspondante sur la courbe d'utilité $U(NPVi)$

6- Calculer l'espérance mathématique d'utilité (EUVj: Expected Utility Value) pour chaque action.

$$EUVj = \sum_{i=1,n} P[i,j] * U[NPVi] \quad j=1,m$$

7- Choisir l'action (A) qui maximise l'espérance mathématique d'utilité

$$EUVA = \text{Max}_j (EUVj) \\ j / EUVj > 0$$

Remarque :

Le problème de classement des actions sera traité ultérieurement.

IV-2 APPLICATION DANS L'ENTREPRISE

Les gestionnaires d'entreprises ne peuvent pas être neutres vis à vis du risque, puisque pour les montants élevés, les pertes sont particulièrement craintes alors que les gains, au contraire, deviennent de moins en moins sensibles par saturation des besoins.

Cette notion de risque est liée aux pertes ou aux gains totaux, relatifs à une seule décision, recouvrant le croisement de toutes les décisions, particulièrement en jeu.

Pour une entreprise, comme pour un individu, tous les comptes se fondent dans la poche du gilet, l'appréciation du risque étant globale, il faut choisir, non pas projet par projet, mais d'un seul coup le portefeuille de projets dont l'utilité moyenne est maximale.

A- LE CALCUL PRATIQUE DU CRITERE ISSU DE LA THEORIE DE LA DECISION

Pour progresser dans la réponse économique on aura besoin:

1- D'énumérer tous les projets élémentaires prévus par l'entreprise.

2- D'établir toutes les combinaisons possibles de projets tout en respectant la contrainte budgétaire (s'il y en a une) pour chaque combinaison. On obtiendra alors autant de portefeuilles que de combinaisons possibles de projets.

3- D'une représentation de la courbe d'utilité de la direction générale de l'entreprise. Retenir un modèle dans lequel se trouvent les caractéristiques suivantes :

- a- Un effet de saturation pour les gains très élevés.
- b- Un certain refus de pertes mettant en danger la survie de l'entreprise.
- c- Une aversion au risque marquée par un seul paramètre (P).

Comme la théorie de la décision conduit à décrire chaque facteur d'environnement incertain par une variable aléatoire, la mesure économique qui est le résultat de chaque événement a par conséquence une distribution probabiliste.

On conviendra, c'est une base de la théorie de la décision, que la distribution du portefeuille Q, défini par la somme des mesures économiques de chaque projet constituant le portefeuille, est normale, hypothèse que suggère le théorème central limite lorsqu'il y a suffisamment de projets élémentaires, de taille plus ou moins comparable, et sinon indépendants, du moins partiellement indépendants, ce qui est généralement le cas.

RAPPEL : THEOREME CENTRAL LIMITE

La somme de n variables aléatoires X_i indépendantes, suivant une même loi de moyenne m_i et de variance σ^2_i tend, lorsque n croit vers l'infini, vers la loi normale de moyenne M et de variance Σ^2 :

$$X_i \quad L(m_i, \sigma^2_i)$$

$$\sum_{i=1, n} X_i \quad \xrightarrow[n \rightarrow \infty]{} \quad N(M, \Sigma^2)$$

avec $M = \sum_{i=1, n} m_i$ et $\Sigma^2 = \sum_{i=1, n} \sigma^2_i$

Lorsque les variables obéissent à des lois différentes, la somme tend également vers la loi normale si aucune variable n'est prépondérante. Ainsi:

$$Q = \sum_{j=1, n} NPV(j) \quad N(M, \Sigma^2)$$

avec

Q : portefeuille correspondant à une combinaison de projets élémentaires dont le montant global des investissements ne dépasse pas le budget prévu par l'entreprise pour l'année de la décision.

$$M = \sum_{j=1, n} ENPV(j)$$

$$\Sigma^2 = \sum_{j=1, n} \sum_{i=1, k} (NPV(i, j) - ENPV(j))^2 * P(i, j)$$

n : nombre de projets dans le portefeuille, et k : nombre d'états possibles pour le projet j.

Si l'on retient, pour la fonction d'utilité, le modèle exponentiel négatif qui répond aux conditions sus-citées, le calcul de la moyenne de l'utilité du portefeuille aboutit au résultat suivant :

$$U = P[1 - e^{-1/p(M-\delta)/2P}]$$

La recherche du maximum des U conduit à retenir le maximum des $M - \Sigma^2/2P$

$$U \text{ maximum} \iff M - \Sigma^2/2P \text{ maximum}$$

$M - \Sigma^2/2P$ est appelé l'équivalent monétaire certain (EMC), puisqu'il est obtenu à partir de la fonction utilité inverse.

Ainsi, le choix d'un ensemble de projets, pour une période de décision donnée, revient à chercher le portefeuille dont l'équivalent monétaire certain est maximum.

La théorie de la décision nous fournit ainsi un critère décisionnel pratique, l'équivalent monétaire certain, constitué de la moyenne de gain du portefeuille diminué d'un terme d'aversion au risque

Lorsque le décideur est indifférent face au risque, notamment quand :

$$\Sigma \longrightarrow 0$$

$$\Sigma^2/2P \longrightarrow 0 \quad (\Sigma \text{ est négligeable devant } P \text{ ou } P \longrightarrow \infty)$$

L'équivalent monétaire certain tend vers M, ce qui rejoint notre remarque quant à la confusion possible des gains et utilités tant que le décideur est neutre face au risque, et le critère EMC donne alors le même résultat que les critères étudiés au chapitre précédent (EMV, RW PI).

B- Décentralisation du critère ([ENS, 91], [CHA, 85])

La théorie de la décision n'est applicable, en principe, qu'à la totalité du portefeuille de l'entreprise, mais la complexité du portefeuille nous contraint à rechercher une solution plus simple.

L'objectif est de désagréger le critère de décision sur un projet élémentaire du portefeuille. Pour cela, la théorie de la décision procède comme suit :

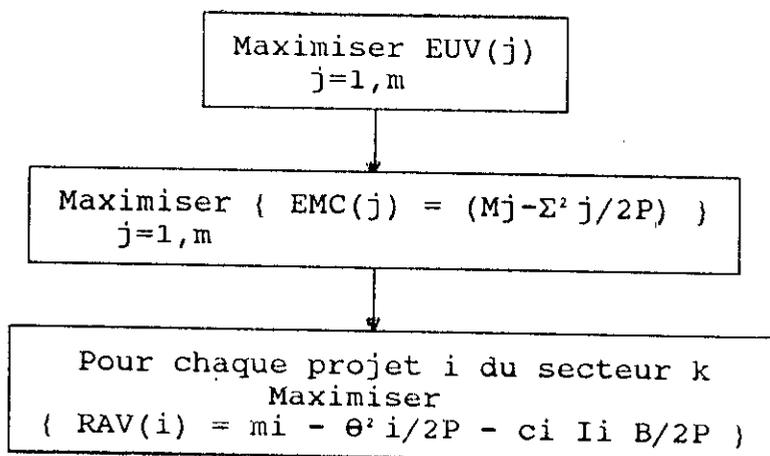
1- Distinguer deux catégories de projets dans chaque portefeuille ; les projets dépendants dont l'utilité varie en fonction des mêmes paramètres, et les projets indépendants. Même si dans la réalité, il est difficile de concevoir un projet parfaitement indépendant de tout autre projet, on peut néanmoins, pour faire cette distinction, ne retenir que les paramètres à risque prépondérant.

2- Regrouper dans un même sous-ensemble les projets réputés dépendants, les sous-ensembles sont considérés comme étant indépendants.

Dans la pratique, on regroupe les projets par métier ou secteur d'activité de l'entreprise. Ceci se justifie car la plupart des entreprises délèguent les responsabilités par une procédure budgétaire appropriée. Ainsi, en adoptant une organisation décentralisée on peut aboutir à la décentralisation du critère de décision.

3- Distinguer deux types de risques au sein de chaque projet, les risques spécifiques du projet élémentaires et qui sont indépendants de tout autre projet, et les risques communs avec d'autres projets.

Après quoi, on aboutit dans une première étape à un critère désagrégé applicable à chaque activité, puis à un autre critère désagrégé applicable cette fois-ci au projet élémentaire. Dans les deux cas, ces critères se nomment la valeur ajustée en risque (RAV).



La valeur ajustée au risque de chaque projet i est égale au bénéfice moyen m (ou ENPV) minoré d'un premier facteur $(\theta^2 i/2P)$ pour tenir compte des risques diversifiables, et d'un second facteur $(c_i I_i B/2P)$ qui représente les risques liés avec les autres projets qui concourent au budget (b) du secteur considéré ou $I =$ est le montant de l'investissement du projet i .

où.

I_i est le montant de l'investissement du projet i .

c_i est le coefficient sans dimensions qui caractérise la corrélation moyenne de chaque projet avec tous les autres et P est le paramètre caractérisant l'aptitude de l'entreprise à prendre des risques, généralement une part des fonds propres.

θ_i est la variance du bénéfice (NPV) par rapport aux risques spécifiques.

Ainsi, maximiser l'utilité moyenne du portefeuille de l'entreprise revient à composer pour chaque secteur d'activité un portefeuille de projets respectant la contrainte budgétaire propre au secteur et maximisent sa valeur ajoutée au risque.

V- De la théorie à la pratique

La théorie de la décision se propose de présenter un critère décisionnel ayant la particularité de tenir compte explicitement des trois éléments fondamentaux de l'analyse de la décision soit:

- 1- la recherche du gain
- 2- La prise en compte de l'incertitude.
- 3- La prise en compte de l'attitude du décideur face au risque.

Cependant, il a fallu pour le calcul du critère décentralisé valeur ajustée au risque du projet, utiliser l'un des modèles conventionnels présentés dans le paragraphe III.3.

Or ces modèles représentent-ils réellement l'aversion au risque de n'importe quel gestionnaire d'entreprise ? Sinon quelle autre alternative peut-on utiliser ?

La détermination de la courbe d'utilité de l'entreprise demeure jusqu'à nos jours un problème posé et pour beaucoup, la formalisation d'un phénomène aussi complexe que le comportement humain face au risque par une fonction mathématique ou par une schématisation à deux dimensions est totalement inconcevable. Ceci a pour conséquence une utilisation très limitée des résultats de la théorie, ce qui ne permet pas de mesurer leur valeur sur le plan pratique.

CHAPITRE VII

APPLICATION A L'EXPLORATION PETROLIERE

REVUE DE LITTERATURE ET APPROCHES DE RESOLUTION

Introduction

En raison de l'intérêt stratégique que revêtent les **investissements d'exploration** dans le secteur des hydrocarbures, et de l'importance des dépenses qu'ils engendrent en échange de résultats incertains et très diversifiés, ils ont fait l'objet de plusieurs études dont le principal objectif est de développer un outil d'aide à la décision garantissant la cohérence et la rationalité des décisions.

Nous présentons dans ce chapitre les idées forces recueillies à travers la littérature scientifique, ce qui nous servira de base pour la construction de la méthode de traitement du problème qui nous est posé: le classement des prospects par ordre d'intérêt économique décroissant.

I- Les éléments fondamentaux de l'analyse

Evaluer un prospect, c'est être en mesure de savoir s'il est susceptible d'aboutir à une découverte économiquement rentable, compte tenu des dépenses qu'il nécessite et des risques qu'il implique. Ceci ne peut se faire sans avoir répondu au préalable aux questions fondamentales, spécifiques au problème de forage d'exploration à savoir [NEW,75]:

- 1° Quelles sont les chances d'aboutir à une découverte ?
- 2° S'il y a découverte, quelles seront les réserves possibles ?
- 3° Quels seront les coûts et les conditions de mise en exploitation du gisement découvert ?
- 4° Quels seront les revenus possibles vu la volatilité du prix du pétrole?

Divers auteurs ont soulevé ces problèmes fondamentaux et ont tenté d'expliquer leur origine, en voici un exposé succinct.

I.1- Les chances de découverte

L'une des particularités du forage d'exploration est d'être un investissement en amont dont l'évaluation ne peut se faire qu'en considérant toutes les autres activités du secteur hydrocarbure. Cette évaluation est donc anticipée, conditionnée par la découverte d'un gisement, et ne tient pas compte d'un élément de risque très important, celui induit par l'impossibilité de savoir a priori si le forage va aboutir ou non à une découverte.

Pour prendre en charge ce problème, l'approche la plus usitée consiste à pondérer la mesure économique issue de l'évaluation anticipée par la probabilité de découverte, le résultat ainsi obtenu n'est autre que la valeur espérée de la mesure économique.

Comment procède-t-on au calcul de cette probabilité?

La probabilité de découverte est l'une des probabilités les plus difficile à évaluer d'après Dr Paul D. Newendorp [New, 75], car elle dépend de facteurs mal définis et complexes tels les paramètres entourant les conditions de genèse et de formation d'hydrocarbures. Elle est intimement liée à l'implantation du prospect, car même si les études géologiques et géophysiques mettent en évidence toutes les conditions favorables à la présence des hydrocarbures, une mauvaise implantation du forage d'exploration peut aboutir à un puits sec.

L'auteur présente une méthode de calcul très utilisée en exploration, et qui consiste à faire le produit des probabilités d'occurrence de chaque événement indispensable à la réalisation d'une découverte, en faisant l'hypothèse que chaque événement est indépendant des autres [NEW, 75].

$$\text{PROBABILITE DE DECOUVERTE} = \left[\begin{array}{l} \text{Probabilité} \\ \text{d'un} \\ \text{d'un piège} \end{array} \right] * \left[\begin{array}{l} \text{Probabilité} \\ \text{que le piège} \\ \text{se situe sur} \\ \text{la position} \\ \text{projetée par} \\ \text{les études} \\ \text{sismiques} \end{array} \right] * \left[\begin{array}{l} \text{Probabilité} \\ \text{d'avoir une} \\ \text{hauteur du} \\ \text{réservoir} \\ \text{acceptable} \end{array} \right] * \left[\begin{array}{l} \text{Proba} \\ \text{qu'il} \\ \text{y ait} \\ \text{des} \\ \text{HG} \\ \text{dans} \\ \text{le} \\ \text{piège} \end{array} \right]$$

Au niveau de SONATRACH, l'approche probabiliste présentée par Newendorp n'a jamais été utilisée. Ce n'est que récemment qu'une étude visant à introduire la notion de probabilité dans les évaluations économiques a été présentée à la Direction Exploration en vue de sa diffusion. Cette étude est basée sur:

- * Les méthodes statistiques effectuées sur les caractères des réservoirs (porosité, perméabilité, hauteur utile, hauteur totale) permettent d'analyser l'évolution des différents facteurs en fonction de la distance.

- * Les méthodes pétrographiques (sismiques) permettent de dégager les structures du sous-sol de manière aussi précise que possible et d'en tirer les lignes générales et leur évolution.

- * Les méthodes pétrophysiques qui mettent en évidence les homogénéités (ou hétérogénéité) spatiale des différents facteurs de réservoirs.

- * Les méthodes géostatistiques basées sur l'analyse des données mettant en évidence les corrélations entre les différents paramètres pétrophysiques.

* Les méthodes géochimiques permettant d'étudier les conditions de genèse (origine, migration, préservation) des hydrocarbures.

Ces études aboutissent en premier lieu à la localisation des zones les plus favorables au drainage des hydrocarbures, donc à l'implantation optimale du prospect, et en second lieu à évaluer chaque facteur du produit contribuant au calcul de la probabilité de découverte, à savoir la probabilité:

- * de la présence de piège,
- * d'existence de la roche mère,
- * de la présence moyenne de porosité,
- * du timing (datation des différentes structures, âge de migration), et enfin
- * que le piège se situe dans la position projetée par les études de sismiques.

Cette approche a ses mérites, et son application est aisée lorsqu'on dispose de données statistiques suffisantes, tel est le cas d'un prospect situé sur un bassin déjà développé, mais lorsqu'il s'agit d'un New-Field Wildcat les questions quant à savoir comment calculer chaque terme du produit ci-dessus restent toujours posées.

Le recours, dans ce cas, aux jugements des experts et à leurs expériences, pour une probabilisation subjective demeure la seule alternative, selon Dr Paul D. Newendorp.

I.2- Les réserves possibles

Dans la première partie de cette étude, nous avons noté que l'estimation des réserves pour le calcul économique était soumise à l'incertitude, à fortiori lorsque l'on ne sait même pas s'il existe un gisement. Autrement dit, le calcul de rentabilité du prospect sera basé sur l'évaluation des réserves d'un gisement hypothétique, d'où la gamme très large des possibilités.

Une façon de faire face à cette situation est d'estimer la distribution des réserves possibles, comme le précise Dan L. Wilson dans son article "Knowing field size distributions crucial in estimating profitability" [WIL,91]. Cependant, ceci n'est pas une tâche facile, car la théorie des probabilités (objectives) ne permet de résoudre les problèmes relatifs aux phénomènes incertains qu'à partir du moment où l'on peut définir le processus de base qui est à l'origine des événements étudiés. Lorsque ceci est possible, comme pour les phénomènes observés dans l'industrie manufacturière (fréquence de panne, durée de vie...) les mathématiques peuvent développer des équations décrivant leur probabilité d'occurrence.

Dans l'industrie pétrolière la génération, la migration, et l'accumulation des hydrocarbures qui sont à l'origine de la naissance des réserves n'obéissent à aucune loi bien définie. En fait, chaque gisement peut être considéré comme un cas particulier, d'où l'handicap de ne pas pouvoir dégager un modèle probabiliste basé sur l'occurrence de phénomènes répétitifs ou sur une étude statistique rigoureuse. Là aussi intervient le rôle des spécialistes et experts pour, d'une part délimiter le

champ du possible, et d'autre part transcrire leurs opinions concernant les possibilités d'occurrence de chaque niveau de réserves en terme de probabilités.

I.3- Les dépenses de développement

Les dépenses de développement sont difficiles à évaluer, car dépendent non seulement du dimensionnement incertain des installations spécifiques et générales, mais aussi de facteurs économiques imprévisibles tels que les programmes de développement de plusieurs régions du monde, affectant ainsi par le jeu de l'offre et de la demande, les prix de ces diverses installations.

Les auteurs considèrent, par conséquent, le facteur inflation dans l'industrie des hydrocarbures comme un facteur de risque dont la probabilisation explicite reste discutable.

I.4- Le prix du pétrole

Le prix du pétrole est plus que fondamental pour l'évaluation des revenus réalisés lors de l'exploitation du gisement. Or les deux derniers chocs pétroliers et la fluctuation à très court terme du prix du pétrole, montrent qu'il est impossible d'en faire une estimation déterministe. Il est clair que le marché pétrolier ne réagit pas uniquement sous l'effet de l'offre et de la demande, mais dépend surtout de paramètres d'ordre politico-économiques très complexes et par conséquent imprévisibles.

Aussi, le problème quant à la possibilité d'établir une distribution de probabilité du facteur prix du pétrole, demeure-il jusqu'à nos jours posé, car d'après J. Marie Bourdairre et Raoul Charreton [BOU,91] même une probabilisation subjective est impossible vu qu'il n'y a pas de nos jours, dans ce domaine d'expertise des spécialistes identifiés et reconnus.

II- Les approches de résolution

Pour résoudre le problème de classement de prospects, SONATRACH se base sur une estimation déterministe de la valeur modale des réserves possibles en place, cette valeur unique, dans une situation d'incertain ne permet pas de tenir compte de tous les risques (géologiques, techniques et économiques) qu'engendrent l'investissement de forage d'exploration et ne peut par conséquent constituer un critère de décision rationnel. A l'issue d'une recherche bibliographique, nous avons constaté, malgré quelques disparités, que toutes les approches méthodologiques suggérées par tous les auteurs étudiés convergent vers un seul objectif: présenter au décideur une image multiforme de l'avenir, accompagnée d'une pondération des futurs dans le domaine du possible.

II.1- Les éléments de la décision

Les auteurs excluant tout paramètre ayant trait à la politique économique nationale ou régionale se concentrent sur les éléments décisionnels qui affectent directement le domaine de la gestion économique de l'entreprise pétrolière à savoir:

a- La rentabilité économique: tout prospect selectionne devra être économiquement rentable.

b- La prise en compte de l'incertitude dans l'évaluation économique: les décideurs ne pouvant pas se contenter d'une évaluation déterministe exigent une quantification du doute ou au minimum une prise en charge implicite.

c- Le respect de la contrainte budgétaire.

d- la prise en compte de la politique d'investissement de l'entreprise en situation de risque: de l'attitude du décideur face au risque.

II.2- La probabilisation implicite ou explicite

L'émergence de plusieurs approches de résolution des problèmes d'investissement en exploration pétrolière est née principalement de la divergence qui réside dans le mode de probabilisation utilisé.

A- La probabilisation implicite

Certains auteurs mettent l'accent sur les difficultés d'une probabilisation explicite et les blocages qu'elle peut susciter au sein de l'entreprise. L'insuffisance, voire même l'absence de données qui caractérisent les investissements d'exploration ne permettent pas une probabilisation objective admise par tous et l'utilisation de probabilité subjective explicite comme une alternative est confrontée à certaines difficultés d'ordre pratique. En effet l'explicitation d'une probabilité subjective exige un cadre idéal dans lequel, l'expert et le décideur peuvent agir comme un seul acteur, le premier traduisant ses propres jugements en terme de probabilité et le second faisant sienne cette même probabilité pour l'inclure dans le calcul économique.

Cet échange entre expert-décideur sur lequel est fondée la probabilité subjective peut dans la pratique ne pas se réaliser parce que souvent dans l'entreprise il y a plusieurs acteurs de la décision: il peut y avoir plusieurs spécialistes dans un même domaine d'expertise et parfois même plusieurs décideurs (direction collégiale).

Ceci a un effet direct sur les possibilités de générer explicitement des probabilités subjectives se traduisant par:

1) Un refus de la part de la direction de prendre parti explicitement par respect des opinions différentes s'exprimant au sien de l'organisation.

2) Un refus de la part de l'expert de quantifier l'incertitude par une mesure car c'est donner prise au jugement, voire à la sanction, d'où le danger d'une explicitation biaisée par cette tendance à agir moins en fonction de son savoir qu'en fonction de ce que l'organisation jugera bon.

Les problèmes de communication et les différences d'appréciation peuvent sérieusement compromettre la formalisation explicite des

probabilités. La solution serait de trouver un certain compromis entre les différents acteurs de la décision: se mettre d'accord sur ce qui est possible ou non sans chercher à mesurer l'occurrence de ces possibles; conduirait à la réalisation d'un consensus autour de quelques visions de l'avenir acceptées par tous.

Concrètement ceci se traduit par l'évaluation économique d'un prospect par la description de la situation décisionnelle par trois scénarios caractéristiques (pessimiste, réaliste et optimiste) auxquels on applique le calcul économique déterministe.

On déterminera alors pour chacun, un échéancier de dépenses et de recettes s'étalant sur toute la durée de vie du gisement hypothétique; on calculera ensuite le critère de rentabilité.

La détermination des valeurs "probables", "au pis" et "au mieux" des différents événements est le résultat d'un consensus ouvert non contraint à la probabilisation explicite, néanmoins ceci est considéré comme une probabilisation implicite sous-jacente au choix même des scénarios. Cette méthode a pour avantage de :

- * représenter globalement le futur par quelques images cohérentes archétypes avec une prise en compte du maximum d'interdépendances.

- * diffuser le savoir au sein de l'entreprise sous la forme d'un langage commun.

- * faire coopérer les acteurs de la décision sur ce qui les rassemble en évitant de les buter sur les différences minimales qui les séparent.

B- La probabilisation explicite

La première approche peut être aisément utilisée pour l'évaluation d'un investissement unique, cependant les adeptes de la probabilisation explicite considèrent que la quantification du doute par la probabilité subjective est le seul moyen d'établir une comparaison entre les diverses alternatives qui se présentent au choix du décideur, et ne peut être notamment utilisé pour le classement de prospects.

Certes, ils n'ignorent pas les difficultés qui ont motivé l'émergence de l'approche précédente. Comme le précise Paul D. Newendorp "la détermination des probabilités d'occurrence des événements liés aux explorations pétrolières est plus un art qu'une science" ; cependant, il considère que la situation particulièrement risquée dans laquelle s'effectue l'investissement de forage d'exploration, provoqué par un manque accru d'information devrait plus que jamais susciter chez les gestionnaires le désir de disposer d'un outil précis leur permettant d'éclairer leur décision.

A quoi servirait la probabilisation explicite lorsqu'elle est aisément obtenue grâce à la disponibilité d'informations, ce qui impliquerait une situation beaucoup moins incertaine ?! Autrement dit, n'accepter la probabilisation explicite que lorsqu'elle est objective revient à fournir au décideur un outil d'aide à la décision précis et puissant dans une situation telle

qu'il peut s'en passer et l'en priver lorsqu'il en a le plus besoin.

Il y a certes là, un cercle vicieux qu'il n'est possible de rompre que si toutes les personnes impliquées dans le processus décisionnel (experts et décideurs) acceptent les limites de la probabilité objective et adoptent une attitude positive leur permettant de mettre à contribution leurs connaissances par la construction de probabilités subjectives.

Ceci n'est réalisable qu'à partir du moment où s'installe une véritable culture d'entreprise axée sur la responsabilisation des différents acteurs de la décision.

La probabilisation explicite aboutit à l'utilisation de la notion d'espérance mathématique et en l'occurrence des critères décisionnels qui en découlent.

Cette approche consiste alors à élaborer un processus de calcul du critère décisionnel, qui serait dans notre cas le critère de classement de prospects.

La simulation de Monte Carlo constitue un moyen pratique et rigoureux qui permet d'introduire dans le modèle décisionnel les probabilités de façon systématique; alors que l'analyse par arbre de décision devient très rapidement incontrôlable vu le grand nombre de facteurs incertains qui caractérisent l'investissement de forage d'exploration.

II.3- Le choix du critère de décision

Lorsque l'on opte pour la probabilisation explicite, on est confronté au problème du choix de critère de décision, car la aussi les avis sont partagés, et on peut répertorier deux grandes approches traitant de ce problème:

- 1° L'utilisation exclusive des critères empiriques.
- 2° L'utilisation exclusive des critères issus de la théorie de la décision.

Nous porterons une attention particulière au critère EMV qui a fait l'objet de plusieurs études expérimentales, vu son importance en tant que critère de décision et en tant qu'élément de base, entrant directement dans le calcul des autres critères étudiés.

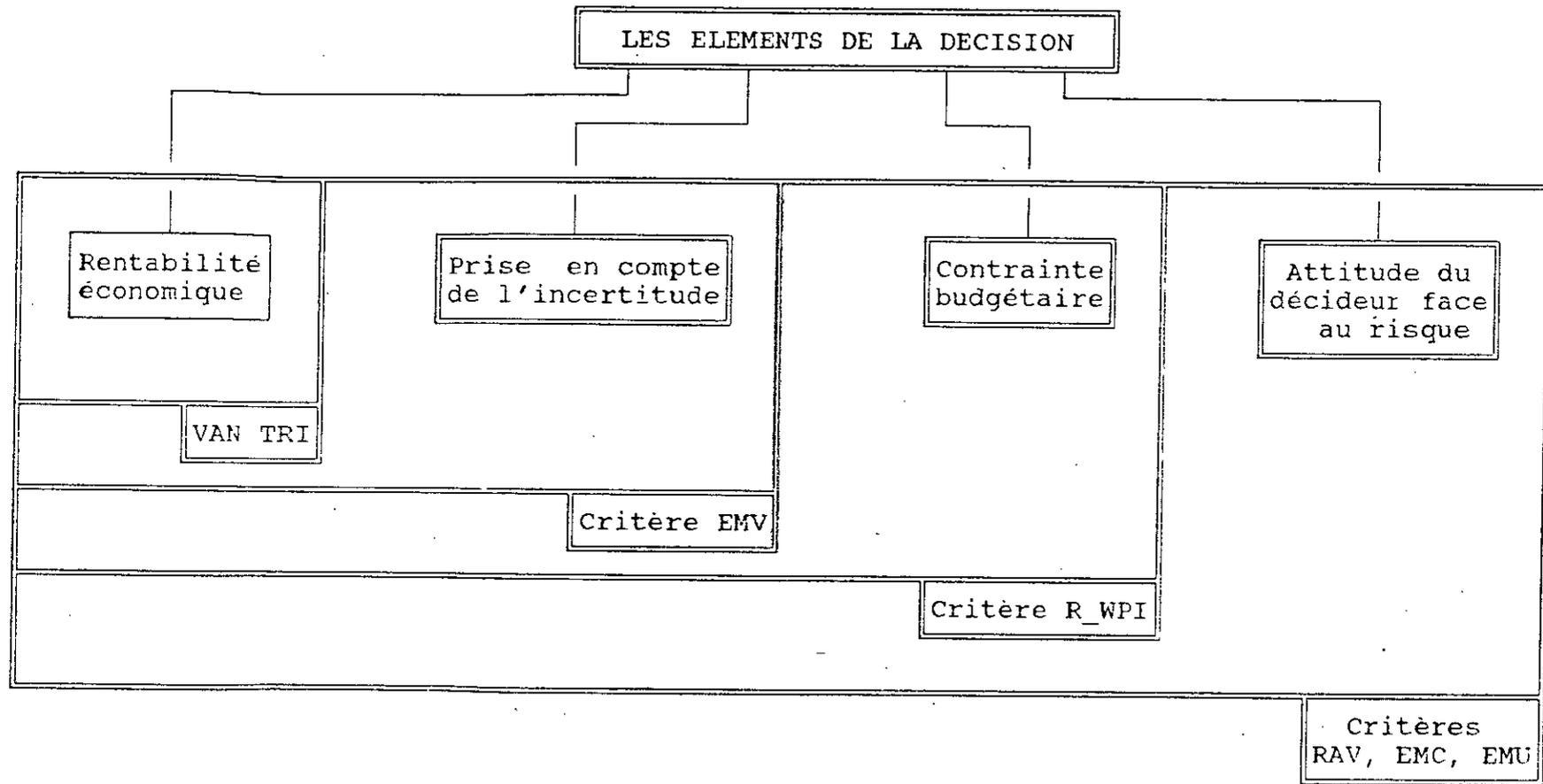
1° L'utilisation exclusive des critères empiriques

Le choix des critères empiriques est guidé par les objectifs des décideurs ainsi que par les circonstances entourant cette décision.

* L'évaluation économique d'un seul prospect peut s'effectuer par le critère EMV.

* Le classement de plusieurs prospects sous contrainte budgétaire implique une prise en compte de l'importance relative des dépenses de forage d'exploration associées à chaque prospect, d'où l'utilisation du critère R-WIP.

* Si les critères EMV et R-WIP prennent en charge correctement l'incertitude qui règne sur les valeurs des flux économiques; ils n'introduisent pas dans leur



LE CHOIX DES CRITERES DE DECISION

calcul, un élément fondamental de la décision:
l'attitude du décideur face au risque.

Or en exploration pétrolière on ne peut être indifférent face au risque, et l'attitude du décideur prend une part importante dans l'opération de décision. Une façon de résoudre ce problème consiste à introduire implicitement et de façon informelle son attitude face au risque; Paul D. Newendorp, en se basant sur son expérience, déclare qu'un décideur en exploration pétrolière est surtout préoccupé par le montant des pertes que sa décision serait susceptible d'entraîner, il peut alors exprimer son aversion au risque en se fixant intuitivement un seuil acceptable de perte par prospect, il devra alors retenir dans la liste des prospects classés sur la base des critères EMV ou R-WIP uniquement ceux dont l'espérance mathématique des pertes anticipées est au plus égale au seuil fixé par le décideur.

2° L'utilisation exclusive des critères issus de la théorie de la décision

L'utilisation exclusive des critères issus de la théorie de la décision implique que les gestionnaires de l'entreprise pétrolière:

- * Respectent la condition de cohérence qui se manifeste par l'adhésion aux axiomes de Savage.

- * Leurs comportements face aux risques sont correctement décrits par une courbe d'utilité.

- * Réfutent toute autre méthode d'analyse de risque.

Cette approche est présentée par TOTAL-CFP dans le but de faire l'apprentissage de la théorie de la décision à l'entreprise, car force est de constater que l'approche empirique est et restera longtemps celle la plus utilisée.

II.4- Le rôle de l'organisation

On ne saurait mettre fin à ce parcours bibliographique sans parler d'un aspect fondamental du processus décisionnel soulevé par plusieurs auteurs : il s'agit du mode d'organisation de l'entreprise.

La décision étant intimement liée à l'information disponible au sein de l'entreprise, la structure organisationnelle adoptée doit pouvoir assurer une bonne circulation des flux d'information en évitant ainsi leur appauvrissement et accélérant par contre le rythme du processus décisionnel.

L'analyse de la décision concernant les investissements d'exploration nécessite de nombreuses expertises (géologues, géophysiciens, pétrophysiciens, ingénieurs en réservoirs, économistes, juristes, techniciens, concepteurs, ...) ce qui implique de multiples interfaces.

Les organisations classiques par fonction gênent ce processus et ne permettent pas le rassemblement des experts. Seule une structure centrée autour de la notion de projet

favorise la communication et l'agrégation des compétences, dans ces conditions l'analyse de la décision peut évoluer en fonction de plusieurs paramètres à la fois, ce qui induit la prise en considération des différentes interdépendances.

Le gestionnaire pourra enfin bénéficier d'une vision globale et cohérente des futurs possibles le conduisant vers des décisions rationnelles.

III- Choix méthodologiques et justifications

Après avoir exposé l'ensemble des possibilités offertes pour la résolution du problème de classement des prospects, nous devons à présent établir nos choix au niveau de chaque point de divergence afin de construire une méthode de résolution qui soit conforme aux objectifs attendus du projet. Ainsi :

1. On exclue toute tentative de résolution du problème par les méthodes issues du calcul économique usuel. La raison en est bien simple.

2. On privilégie l'approche probabiliste sur l'approche théorique, car l'adoption de cette approche implique automatiquement la réfutation des autres, et ne permet même pas la comparaison. Par contre, l'approche probabiliste étant elle-même empirique permet plus de flexibilité dans la décision, et ouvre la voie aux critères décisionnels théoriques pour une éventuelle comparaison. Ainsi, on pourra présenter au décideur différents classements de prospects basés chacun sur un critère bien déterminé. C'est au décideur qu'incombe finalement la tâche de choisir parmi ces différents outils celui qui répond au mieux à ses objectifs. De plus, l'approche théorique est intéressante en ce sens qu'elle présente un domaine de réflexion vaste et passionnant mais dont l'application pratique par les entreprises reste toujours très rare.

3. On opte pour la probabilisation explicite de toutes les variables incertaines dont la distribution de probabilité peut être déterminée par un expert ou un spécialiste reconnu, ceci procure l'avantage de doter le décideur d'un critère de décision lui permettant le classement systématique des prospects, l'analyse par scénario s'adaptant beaucoup plus à l'évaluation économique d'un projet unique.

4. Le calcul du critère de décision est réalisé grâce à un compromis simulation/scénario, afin de permettre le contrôle par le décideur de la variable incertaine dont la probabilisation explicite est très difficile à réaliser. Il pourra alors lui associer toutes les modalités qu'il désire et observer l'impact de chaque scénario ainsi réalisé sur le critère de décision.

Le choix du critère impliquant celui de l'approche, on ne se prononce sur aucun des critères développés par les deux approches, mais laissons ce soin au décideur qui, connaissant les propriétés de chaque critère, est en mesure de faire son propre choix.

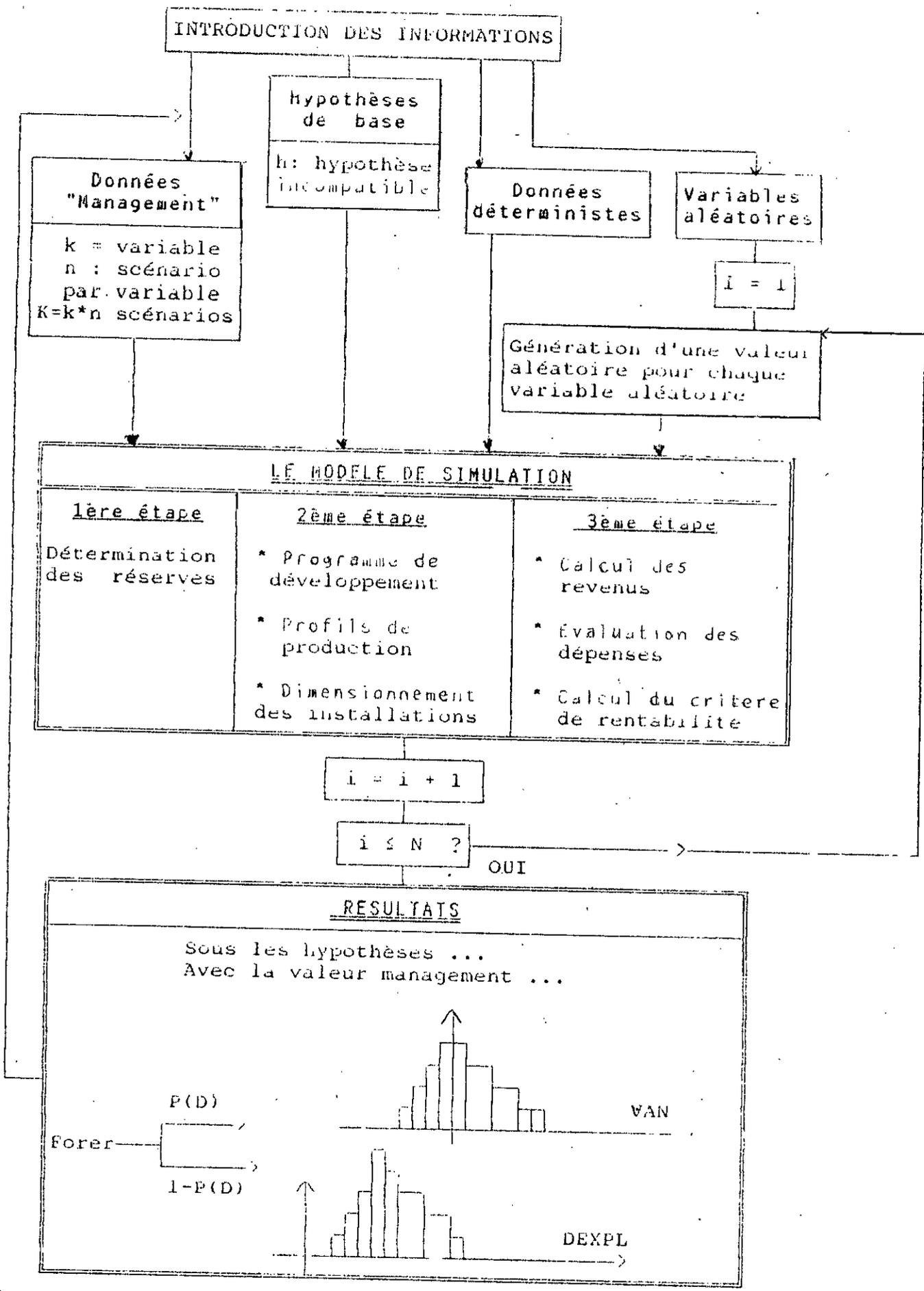
Il faut cependant noter que le critère EMC utilise dans notre étude suppose l'indépendance des prospects, ce qui n'est certainement pas vrai, mais l'absence d'informations concernant

les corrélations possibles entre les différents prospects nous incite à faire cette simplification.

5. Le schéma d'analyse générale sera représenté pour chaque prospect par un arbre de décision partiel, partiel en ce sens qu'aucune autre alternative d'investissement n'est incluse.

L'arbre comporte trois composants qui sont :

- a- La probabilité de découverte
- b- La distribution conditionnelle des NPV
- c- La distribution conditionnelle des dépenses d'exploration DEXPL.



CHAPITRE VIII

IMPLEMENTATION ET MISE EN OEUVRE

I- Le déroulement du processus de simulation

Appliquée au contexte de l'analyse de la décision, la simulation de Monte Carlo s'avère un outil indispensable pour l'évaluation de la loi de distribution de la mesure de rentabilité. Elle consiste en plusieurs étapes:

1° étape:

Choisir le critère de rentabilité, et identifier tous les facteurs entrant dans son évaluation.

Rappelons que seul la valeur actuelle nette peut être utilisée pour le calcul des critères de rentabilité basés sur la notion d'espérance mathématique.

2° étape:

Déterminer toutes les relations de dépendances partielles qui peuvent exister entre les variables et aboutissant à l'évaluation du critère de décision. Ces relations constituent les équations du modèle.

3° étape:

Procéder à une analyse des inputs consistant à identifier:

* Les variables déterministes dont la valeur est connue au moment de la décision.

* Les variables aléatoires dont la valeur est inconnue au moment de la décision mais auxquelles on peut associer une loi de probabilité; elles sont aussi appelées "données d'expert" car leur probabilisation n'est souvent possible que par l'apport de connaissances d'un expert.

* Les facteurs "management" sont les variables incertaines non probabilisées explicitement parce qu'elles subissent l'influence de paramètres incontrôlables.

* Les hypothèses de base sont les différentes simplifications apportées afin de permettre l'élaboration du modèle.

4° étape:

* Identifier la valeur unique de chaque variable déterministe.

* Fixer un scénario pour chaque variable "management".

* Fixer les hypothèses de base.

* Déterminer une loi de probabilité pour chaque variable aléatoire.

Cette étape est très spécifique au problème que l'on traite car elle nécessite l'apport de connaissances des spécialistes et experts.

Dans le domaine des explorations, la détermination des distributions des variables incertaines est basée sur :

- les extrapolations, lorsque le prospect se situe sur un bassin développé.
- les jugements et avis des experts en vue d'une probabilisation subjective.

5° étape:

Consiste à installer le processus itératif par la génération d'un nombre aléatoire pour chaque variable aléatoire et à chaque passe de simulation.

6° étape:

C'est l'étape des résultats et des analyses.

II- LES OUTILS DE L'IMPLEMENTATION

II.1- La génération de nombres aléatoires

Nous avons vu que la simulation était une technique d'échantillonnage permettant de sélectionner de façon aléatoire des valeurs extraites de lois de probabilités données. Le problème qui se pose alors est de savoir comment obtenir ces valeurs aléatoires. La méthode de l'inversion offre un moyen pratique et simple de réaliser cet objectif, elle consiste à :

- 1- déterminer la fonction de probabilité cumulée de la variable aléatoire X considérée: $F(X)=Y$.
- 2- déterminer la fonction de probabilité cumulée inverse $F^{-1}(Y)$
- 3- générer un nombre aléatoire uniforme RN
- 4- l'injecter dans la fonction de probabilité F^{-1} , puis en déduire la valeur de $X = F^{-1}(RN)$

La génération de nombres aléatoires uniforme est facilement obtenue grâce à l'existence de routines principalement conçues à cet effet dans la plupart des ordinateurs scientifiques. Cependant, la méthode d'inversion n'est valable que dans la mesure où l'on peut inverser la fonction de probabilité cumulée. L'utilisation pour l'analyse de risque en exploration de distributions de probabilités simples et usuelles nous permet de satisfaire cette condition.

Nous présentons ci-contre les méthodes de génération de nombres aléatoires respectivement pour chacune des distributions en question [NEW,75].

* La loi uniforme:

La loi uniforme est complètement identifiée par les deux modalités extrêmes de sa variable aléatoire, c'est-à-dire XMIN, et XMAX .

La génération d'une variable aléatoire uniforme $\mu(XMIN, XMAX)$ consiste à :

- 1- générer un nombre aléatoire uniforme [0,1] : RN
- 2- évaluer $X = XMIN + RN * (XMAX - XMIN)$

* La loi triangulaire:

La loi triangulaire est totalement identifiée par les trois valeurs caractéristiques que sont la valeur minimale XMIN, modale XMODE, et maximale XMAX, de sa variable aléatoire.

La génération d'une variable aléatoire triangulaire consiste à :

- 1- générer un nombre aléatoire uniforme [0,1]
- 2- calculer la valeur de la variable triangulaire comme suit:

- Tester si $RN \leq M/N$

* si oui $X = X_{MIN} + (X_{MAX} - X_{MIN}) \sqrt{RN * M/N}$

* sinon $X = X_{MIN} + (X_{MAX} - X_{MIN}) * (1 - \sqrt{(1-RN) * (1-M/N)})$

avec $M = X_{MODE} - X_{MIN}$ et $N = X_{MAX} - X_{MIN}$

* La loi empirique:

Lorsqu'on dispose d'un échantillon statistique, il est possible d'utiliser la distribution empirique qui en découle dans l'analyse de risque.

La génération d'un nombre aléatoire de distribution empirique consiste à :

- 1- générer un nombre aléatoire uniforme dans [0, 1]
- 2- le localiser à l'intérieur des classes de l'histogramme
- 3- calculer les valeurs de X grâce à une approximation de la distribution cumulée par le polygone des fréquences cumulées

$$X = X_i + (RN - C(i)) + (C(i+1) - C(i)) / (C(i+1) - C(i))$$

* La loi normale:

Une distribution normale identifiée par sa moyenne m et son écart-type σ n'admet pas de fonction cumulative inverse.

Pour ce cas, plusieurs méthodes approximatives ont été développées, nous retenons dans notre étude la méthode de BOX et MULLER et ceci pour l'utilisation simple et pratique de ces résultats. Elle consiste à :

- 1- générer deux nombres aléatoires $RN_1, RN_2 \rightarrow U[0,1]$
- 2- en déduire deux valeurs de variables aléatoires X et Y telles que X et Y $\rightarrow N(0,1)$ par les relations suivantes:

$$X = \cos(2\pi RN_1) * \sqrt{-2 \ln RN_2}$$

$$Y = \sin(2\pi RN_1) * \sqrt{-2 \ln RN_2}$$

* La loi log-normale:

Une variable aléatoire X suit la loi log-normale de paramètres m et σ , son logarithme suit la loi normale de moyenne m et d'écart-type σ :

$$\ln(X) \rightarrow N(m, \sigma)$$

Cette relation permet de déduire de la méthode de Box et Muller le moyen de générer un nombre aléatoire log-normal de la manière suivante(1)

- 1- générer un nombre aléatoire uniforme [0, 1]: RN
- 2- calculer X par la relation:

$$X = \exp\left\{ \frac{1}{2} \ln\left[\frac{M^4}{(\Sigma^2 + M^2)}\right] + (-2 * \ln[(\Sigma^2 + M^2) \ln RN / M^2]) * \cos(2\pi RN) \right\}$$

$M =$ moyenne de la loi log-normale

$\Sigma =$ écart type de la loi log-normale

(1) T. Phillips op. cité p. 399

II.2- La détermination des lois de probabilité.

La distribution de probabilité associée à chaque variable aléatoire dépend de la quantité de données statistiques que l'on a pu collecter; lorsque l'on ne dispose pas de ce type d'informations, il existe certaines techniques permettant la description de chaque variable aléatoire par une loi de probabilité usuelles moyennant quelques données caractéristiques, deux cas peuvent se poser :

1° La variable aléatoire est connue pour être distribuée selon une loi de probabilité usuelle bien déterminée telle que la normale ou la log-normale, il suffit pour cela de situer cette dernière sur l'axe horizontal

- en évaluant les valeurs mini, mode et maxi de la variable aléatoire, pour une distribution log-normale.

- en évaluant les valeurs mini et maxi pour une distribution normale.

- en associant l'intervalle minimum-maximum à une probabilité de 90% avec les 10% restants symétriquement répartis aux deux extrémités.

Cette approche présentée par CHARRETON dans "La décision économique" n'a qu'une valeur indicative, cependant elle est basée sur les calages psychologiques qui montrent que la certitude n'est pas associée à un intervalle de confiance de 100%, c'est-à-dire tout le champ des possibles mais à une partie seulement (99%: la certitude "absolue", 90%: la certitude "forte" et 70%: la certitude "douce").

- en utilisant deux règles du pouce permettant d'estimer directement la moyenne et la variance d'une distribution log-normale quelconque:

$$\text{Moyenne} = 1/3(\text{mini} + \text{maxi} + \text{mode})$$

$$\text{Ecart-type} = 1/3(\text{maxi} - \text{mini})$$

2° Lorsque la distribution de la variable aléatoire est inconnue on lui associe :

* la loi triangulaire lorsque l'expert réussit à identifier les trois valeurs caractéristiques mini, mode et maxi.

* la loi uniforme lorsque l'expert n'identifie que les valeurs mini et maxi de la variable aléatoire.

Nous devons noter, que la réalisation de notre modèle a nécessité la construction de toutes les données indispensables, vu que l'approche probabiliste n'a jamais été utilisée au niveau de SONATRACH pour l'évaluation économique des prospects

II.3- La dépendance partielle:

L'une des principales tâches dans l'élaboration du modèle de simulation stochastique est de déterminer toutes les dépendances déterministes et partielles (stochastiques) existant entre les différentes variables du modèle.

Une relation déterministe du type $Y = f(X)$ entre deux variables signifie pour le processus de simulation, l'utilisation d'une seule loi de probabilité, celle de X ou de Y, la plus facile à déterminer, alors que l'absence de relations formalisées entre plusieurs variables ne signifie pas toujours que les événements qui leurs sont associés évoluent indépendamment les uns des autres.

Ainsi, la génération indépendante d'un nombre aléatoire pour chaque variable sans tenir compte de leur dépendance éventuelle, aboutit forcément à la description par le modèle de simulation d'une situation où cohabitent des événements incompatibles.

Etudier la corrélation entre les variables pour identifier les dépendances stochastiques possibles, vu sous son aspect théorique, nécessite l'utilisation d'outils statistiques assez complexes et une analyse approfondie. Ceci ne faisant pas l'objet de notre travail, nous nous limiterons à résoudre ce problème sous un aspect pratique permettant d'élaborer un modèle de simulation qui respecte la cohérence entre les différents événements décrits.

Une façon de traiter simplement ce problème consiste à :

1- regrouper un ensemble d'observations décrites chacune par les différentes valeurs des variables X et Y dont on veut étudier la dépendance.

2- reporter ces observations sur un graphe ($Y=f(X)$)

3- par simple visualisation de la disposition des points sur le graphe, conclure s'il y a dépendance partielle ou non, sans passer par le calcul des critères statistiques.

4- lorsque le nuage de points met en évidence la dépendance partielle des deux variables aléatoires (concentration des points sur un espace bien défini), on délimite ce nuage par des courbes qui se rapprochent le plus possible des points extrêmes du nuage.

Cette approche, loin d'être rigoureuse, permet cependant de délimiter le champ de variation de chaque variable par rapport à l'autre. Autrement dit, à chaque valeur de X correspond une gamme bien définie de valeur de Y, chaque gamme étant un échantillon de la variable Y, permet la description de cette même variable par sa distribution de probabilité. Ainsi, à chaque valeur de X, on peut associer une distribution de probabilité de la variable Y.

Appliqué au contexte de génération de nombres aléatoires, ce résultat nous permet d'extraire une valeur de Y tout en respectant sa dépendance partielle avec X.

III- LE MODELE

Le modèle de simulation que nous développerons, tente de mettre en évidence tous les facteurs de disparités existants entre les prospects, dans le but de les comparer avec un maximum de précision.

Dans la première partie de ce mémoire, nous avons défini toutes les spécificités du système dans lequel évoluent les investissements de forage d'exploration ; le modèle devra alors être une image représentative de la réalité et tenir compte de toutes les relations existant entre les facteurs d'environnement, afin d'éviter les incompatibilités et les incohérences.

III.1- Les variables d'entrée du modèle (inputs)

Comme nous l'avions déjà cité, le modèle distingue quatre types de variables, que nous allons à présent identifier dans leur catégorie respective.

1° Les variables déterministes qui sont des données du système.

P[z]: Le niveau d'accessibilité du prospect.
CUPI: Le coût unitaire de piste.
LP : Longueur de la piste.
Q[h]: Nature du sol pour les travaux de la plate-forme.
CRP : Coût de réalisation de la plate-forme.
DTM : Coût unitaire du DTM.
CUC : Le coût unitaire de complétion
CUP : Coût unitaire de la canalisation principale.
L2 : Longueur de la canalisation principale.
CUB : Coût unitaire de la bretelle de raccordement.
L1 : Longueur de la bretelle de raccordement.
CUI : Coût unitaire de la canalisation inter-gisements.
L0 : Longueur de la canalisation inter-gisements.
CTH[i] : Coût du centre de traitement de capacité i.
CS[j] : Coût du centre de stockage de capacité j.
SM : Le salaire moyen.
P1: Pourcentage correspondant aux frais de gestion.
PC: Pourcentage correspondant aux frais d'entretien.
FDR: Fonds de roulement .
PCV: Charges variables par unité produite.
PAM: Pourcentage amorti.
DAM: Durée d'amortissement.

2° Les données "management", qui sont les variables incertaines implicitement probabilisées.

Prd : La probabilité de découverte.
PP : Le prix du pétrole.
INF : Le taux d'inflation général (\$).
INF1: Le taux d'inflation spécifique Forage/Complétion.
INF2: Le taux d'inflation spécifique des installations de surface
INF3: Le taux d'inflation spécifique des installations générales
INF4: Le taux d'inflation spécifique des installations de transport.
INF5: l'indice des salaires.

3° Les variables aléatoires qui sont des variables incertaines explicitement probabilisées.

PO : Porosité.
SW : Saturation en eau.
B : Facteur volumétrique.
FR : Récupération primaire.
HU : Hauteur utile.
SI : Surface imprégnée.
PFO : Profondeur de forage d'exploration.
CUFO: Coût unitaire de forage d'exploration.
PF1 : Profondeur de forage de développement.
CUF1: Profondeur de forage de développement.
SD : Surface de drainage.
NP : Nombre d'employés par puits.
Col : Coût de collecte par puits.

REMARQUE:

Le modèle ne fait aucune restriction du nombre de variables aléatoires, le décideur qui opte pour un modèle purement analytique pourra introduire une probabilisation explicite de toutes les variables incertaines.

4° Les hypothèses de base permettant la construction du modèle.

Ces dernières seront présentées au fur et à mesure que l'on développera le modèle.

III.2- LA CONSTRUCTION DU MODELE

1° Détermination des réserves récupérables (RRT)

L'évaluation des réserves récupérables se fait comme suit:

* Génération d'un nombre aléatoire uniforme pour chaque variable aléatoire suivante: PO, SW, FR, B, SI, HU.

* Introduire ce nombre dans la fonction cumulée inverse associée à chaque variable aléatoire pour le calcul de leur modalité respective.

* L'évaluation des réserves est obtenue par la formule volumétrique usuelle suivante:

$$RRT=HU*SI*PO*(1-SW)*FR/B$$

2° Détermination du programme de développement du gisement ainsi que des profils de production

2.a- La durée de développement du gisement (T_{de})

Hypothèse de base n° 1: (H1)

La capacité de forage annuelle d'un gisement est évaluée à NFOR=12 puits/an.

Le nombre de puits nécessaires pour le développement du gisement (NPP) est:

$$NPP=SI/SD$$

Le nombre total de puits à forer NPT :

$$NPT=NNP(1+TX).$$

La durée de développement du gisement:

$$Tde=NPT/NFOR.$$

2.b- Les profils de production

Hypothèse de base n° 2: (H2)

Le puits de pétrole produit suivant deux phases, la première à un taux constant IP, la deuxième en déclin exponentiel de taux a.

Hypothèse de base n° 3: (H3)

On abandonne le puits dès qu'il produit au taux TA.

Avec:

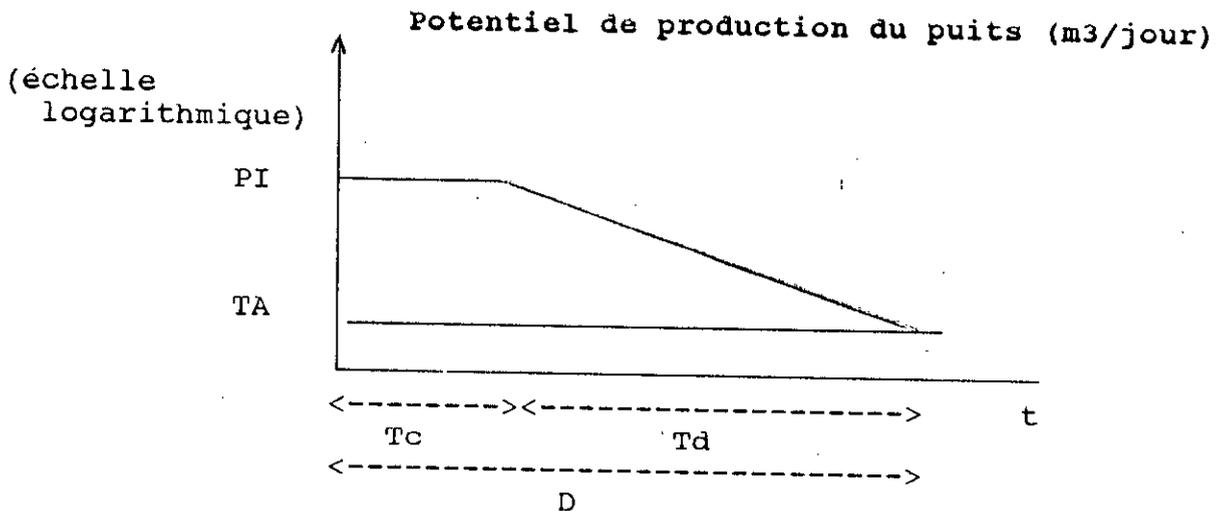
PI: le potentiel initial du puits (capacité de production maximale).

TA: le taux d'abandon du puits (la quantité produite économiquement non rentable).

Tc: la durée de production à taux constant.

Td: la durée de production en déclin exponentiel.

D : la durée de vie du gisement.



Ainsi on peut avoir la capacité de production (P) du puits pour chaque année durant l'exploitation du gisement.

$$0 \leq t < Tc \quad P(t) = PI * 365.$$

$$Tc \leq t \leq D1 \quad P(t) = PI/a * (\exp(-a*t) - \exp(-a*(t+1))) * 365$$

Avec

$$a = 1/TD * \ln(PI/TA)$$

a est appelé taux de déclin.

Les quantités récupérées par le puits sur toute la durée de vie du gisement sont données par DN.

$$DN = 1/a (QI - QF).$$

$$QI = PI * 365.$$

$$QF = TA * 365.$$

Hypothèse de base n° 4: (H4)

Il existe une relation de proportionnalité entre D et Td telle que:

$$D1 = DECL * TD$$

Le coefficient de proportionnalité DECL dépend des caractéristiques pétrophysiques du bassin sédimentaire dans lequel se situe le prospect.

Hypothèse de base n° 5: (H5)

L'exploitation du gisement débute lorsque au moins la moitié des puits sont forés, c'est à dire à la date $T_{de}/2$.

*** Détermination du potentiel initial d'un puits IP**

Le facteur de base (IP) sur lequel est fondée toute la construction du profil de production, est calculé au préalable grâce à la technique de génération aléatoire de deux variables partiellement dépendantes, que nous avons exposée dans la première partie de ce chapitre.

Cette technique appliquée au paramètre IP est très pratique car elle n'exige pas de données statistiques mais juste quelques informations techniques. En effet, il existe une relation déterministe entre ce paramètre et un autre dont la détermination de la modalité pour la passe de simulation est facilement obtenue : il s'agit de la variable DN (récupération totale par puits).

La génération d'une valeur de IP dépend alors de la valeur générée de DN, pour cela il faut suivre les étapes suivantes:

1° Génération d'une réalisation de DN par la relation :

$$DN = RRT/NPP \quad [1]$$

2° Avec l'aide d'un spécialiste, évaluer un intervalle de variation vraisemblable

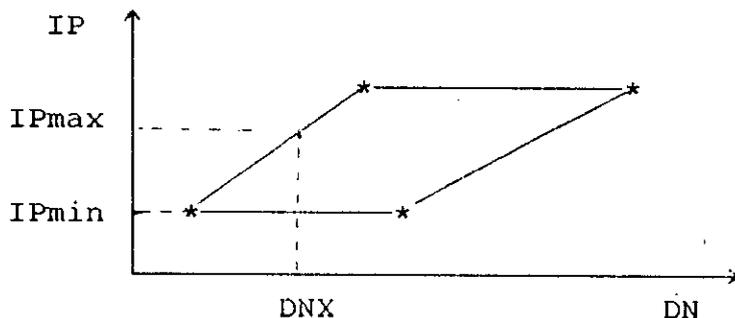
- a- de la durée de déclin d'un gisement $[TD_{min}, TD_{max}]$
- b- du potentiel initial d'un puits $[IP_{min}, IP_{max}]$

3° Compte tenu de la relation :

$$DN = TD / \ln(IP/TA) * (IP - TA) * 365$$

on déduit, en utilisant les combinaisons des valeurs extrêmes de (IP, TD) quatre points (IP, DN), puis quatre droites ($IP = A * DN + B$) délimitant le domaine de variation des deux variables dépendantes.

4° A partir d'une valeur de DN (DNX) obtenue par la relation [1], déterminer le domaine de variation du IP correspondant comme le montre la figure ci dessous:



Ne disposant pas d'autres informations techniques concernant IP et DN, on est amené à attribuer pour chaque réalisation de DN une loi uniforme $[IP_{min}, IP_{max}]$ de la variable IP.

5° Générer un nombre aléatoire uniforme RN pour en déduire une réalisation de IP à l'intérieur de l'intervalle [IPmin, IPmax] précédemment déterminé.

En ayant réalisé une valeur de IP, on peut à présent construire les profils de production en tenant compte bien sûr des différentes hypothèses de simplification.

H1+H2+H3+H4+H5 -----> Les profils de production.

On distingue deux profils selon que l'on ait:

TC < Tde/2 -----> Profil1
ou TC > Tde/2 -----> Profil2

On pose alors:

PA(t): Production annuelle de l'année t.
d=E[TDE] (partie entière)
f=Round((TDE-d)*NFOR*(1-TX)) (arrondi)
e=E(TDE/2)+1 la date de début de production.
g=d-e la durée développement/production.
D=g+td+tc La durée de vie du gisement

* La durée de vie du gisement

$Td = DN / ((IP - TA) * 365 / \ln(IP/TA) + (1/decl - 1) * IP * 365)$
 $TC = Td / DECL - Td$
 $D = g + Td + Tc$

Profil1

PA(t): Production annuelle de l'année t.

t=0..TC-1

$PA(t) = (e+t) * NFOR * (1-TX) * IP * 365$

$PA(TC) = (e/a * (1 - \exp(-a)) + TC) * IP * NFOR * (1-TX) * 365$

t=1..TC

$PA(TC+t) = (TC + (E * (\exp(-a*t) - \exp(-a*(t+1))))$
 $+ \sum_{k=0}^{t-1} (\exp(-a*k) - \exp(-a*(k+1))) / a * IP * NFOR * (1-TX) * 365$

t=1..TD-1

$PA(TC+g+t) = (f * 365 (\exp(-a*(t-1)) - \exp(-a*t)) + 365 (e * (\exp(-a*(g+t))$
 $- \exp(-a*(g+t+1)))) + \sum_{k=0}^{g-1} (\exp(-a*k) - \exp(-a*(k+1))) * NFOR * (1-TX) * IP / a$

Profil2

t=0..g

$PA(t) = (e+t) * NFOR * (1-TX) * IP * 365$

t=1..TC-g-1

$PA(g+t) = PA(g) + f * IP * 365$

$Pa(tc) = e * NFOR * (1-TX) * 365 * IP / a * (1 - \exp(-a))$
 $+ (f + NFOR * (1-TX) * g) * IP * 365$

t=1..g

$PA(TC+t) = (e * (\exp(-a*t) - \exp(-a*(t+1))))$

$$\begin{aligned}
& t-1 \\
& + \sum_{k=0}^{t-1} (\exp(-a*k) - \exp(-a*(k+1))) / a * NFOR * (1-TX) * 365 * IP \\
& + (NFOR * (1-TX) * (g61) + f) * IP * 365.
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
t &= 1..Td-1 \\
PA(TC+g+t) &= f * (\exp(-a*(t-1)) - \exp(-a*t)) * 365 * IP / a \\
& + (e * (\exp(-a*(g+t)) - \exp(-a*(t+g+1))) \\
& + \sum_{k=0}^{t-1} (\exp(-a*k) - \exp(-a*(k+1))) * NFOR * (1-TX) * 365 * IP / a
\end{aligned}$$

2.c- Dimensionnement des installations spécifiques

On peut déduire, à partir du profil de production, les dimensions:

* Des centres de stockage d'huile (CS), en se basant sur l'hypothèse n°6 suivante :

(H6): Un bac de stockage doit contenir l'équivalent de trois jours de production (Capacité j).

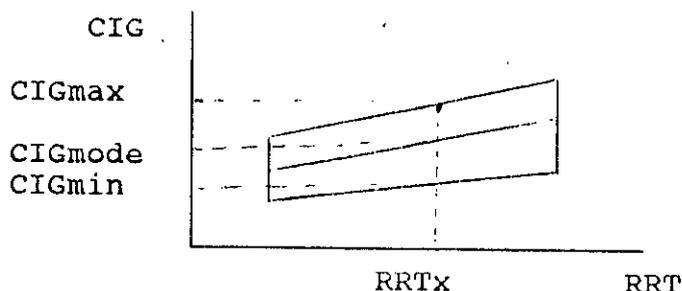
* Des centres de traitement de l'huile (CTH), dont la capacité de traitement i est déterminée à partir de la production journalière du gisement.

3° Coûts et revenus : le calcul du critère de rentabilité

Les deux premières étapes étant réalisées, nous pouvons à présent calculer le montant des investissements associé à la réalisation du niveau des réserves et des profils de production précédemment calculés.

* Les coûts des installations de surface varient en fonction des capacités i et j des centre de traitement et de stockage respectivement CTH[i] et CS[j] .

* Les coûts des installations générales (CIG) sont déterminés par le processus de génération des variables aléatoires partiellement dépendantes. Ici, CIG dépend du niveau de réserves récupérables totales (RRT) .



Les équations de droite délimitant le domaine de variation de CIG en fonction de RRT sont obtenues comme suit :

1) établir un ajustement linéaire à partir d'un petit échantillon de points (RRT, CIG). La droite obtenue représente $CIG_{mode} = f(RRT)$.

2) évaluer avec l'aide d'un spécialiste les facteurs $0 < F1, F2 < 1$ tels que:

$$CIG_{min} = f(RRT) * (1 - F1)$$

$$CIG_{max} = f(RRT) * (1 + F2)$$

3) A partir d'une réalisation des niveaux de réserves (RRTx), déduire une valeur de la variable triangulaire CIG.

* Les dépenses de transport des hydrocarbures (CT) mettent en évidence la différence qu'il y a entre les dépenses de transport induites par un gisement se trouvant dans une zone déjà développée(1), donc proche du réseau de transport des hydrocarbures, et celui qui en est éloigné(2).

$$(1) CT = CUI * L0 + CUB * L1$$

$$(2) CT = CUI * L0 + CUB * L1 + CUP * L2$$

* Le coût des collectes est lié au nombre de puits; sa détermination se fait par tirage aléatoire de la variable: coût de collecte par puits (COL).

* Les dépenses de développement sont alors :

- Les dépenses de forage et de complétion (CCF)

$$CCF = NPT * CUF * PF1 + NPP * CUC * PF1$$

- Le coût des installations spécifiques (IS)

$$IS = CS[j] + COL * NPP + CTH[i]$$

- Le coût des installations générales (CIG)

- Le coût des installations de transport (CT)

* Les revenus

$$REV[t] = PP * PA[t]$$

* Les dépenses d'exploitation

- Les charges fixes (CF):

Les frais du personnel (PL) sont liés au nombre total de salariés qui lui, dépend partiellement du nombre de puits producteurs, il faut alors, après avoir mis en évidence la dépendance partielle existant entre le nombre d'employés et le nombre de puits dans le gisement, générer une réalisation de NP (nombre d'employés par puits).

$$CF[t] = NPP * NP * SM * (1 + P1) + PC * DDEV$$

- Les charges variables (CV)

$$CV[t] = PCV * PA[t]$$

- Les amortissements:

(H7): L'amortissement est linéaire

$$t = 0 \dots DAM$$

$$AM(t) = DDEV * PAM / DAM$$

$$t > DAM$$

$$AM(t) = 0$$

* Les dépenses d'exploration (DEXPL) mettent en évidence les différents facteurs de disparité existant entre les prospects tels que :

- . Les profondeurs de forage.
- . La nature géologique des couches traversées par le forage.
- . La situation du prospect par rapport à l'axe routier.
- . L'accessibilité du prospect.

$$DEXPL = CUFO * PFO + DTM * DP + CUPI * 1P * P[z] + CRP * q[h]$$

* Le calcul des cash-flows actualisés :

A/ Les dépenses de développement

Vu que près de 75% des dépenses de développement sont évaluées en dollars, on émet l'hypothèse simplificatrice suivante:

(H8): L'unité monétaire utilisée dans l'évaluation des cash-flows est le dollar.

Le calcul des cash-flows se fait sous les hypothèses suivantes :

(H9): Les cash-flows sont évalués en monnaie courante.

(H10): Le taux d'actualisation sans inflation est évalué par l'entreprise à 7%.

La clé de répartition des investissements s'établit comme suit:

1° Les dépenses de forage et de complétion sont uniformément répartis sur la période Tde.

$$CCF(t) = CCF / Tde$$

Après actualisation au taux combiné (inf+ac) à la date (début de production) on obtient:

$$CCFA(t) = CCF * (1 + infl)^t / (1 + inf + ac)^t$$

2° Les coûts des installations générales et spécifiques sont répartis ainsi (1) :

On pose :

m = Durée d'investissements

D = Durée de vie du gisement

Pc(k) = pourcentage des dépenses correspondant à l'année k

Si $D \leq 8$ ans alors $m = 2$ ans

Année	1	2
Pc(k)	0.40	0.60

Pour $k > 2$
Pc(k) = 0

(1) Source SONATRACH

Si $D < 15$ ans alors $m = 3$ ans

Année	1	2	3
Pc(k)	0.35	0.40	0.25

Pour $k > 3$
Pc(k)=0

Si $D \geq 15$ ans alors $m = 4$ ans

Année	1	2	3	4
Pc(k)	0.20	0.30	0.35	0.15

Pour $k > 4$
Pc(k)=0

D'où l'on déduit l'actualisation au taux combiné (ac+inf) a la date e pour chaque poste de coût:

- $ISA(t) = Pc(k) * IS * (1+inf_2)^t / (1+inf+ac)^t$
- $CIGA(t) = Pc(k) * CIG * (1+inf_3)^t / (1+inf+ac)^t$
- $CTA(t) = Pc(k) * CT * (1+inf_4)^t / (1+inf+ac)^t$

Les dépenses de développement actualisées à la date 0, année de la décision sont alors:

$$DDEV(t) = (ISA(t) + CIGA(t) + CTA(t) + CCFA(t)) / (1+ac+inf)^e$$

B/ Les dépenses d'exploitation DEXP(t)

- Les charges fixes actualisées:

$$CFA[t] = NPP * NP * SM * (1+P_1) * (1+inf_5)^t + PC * DDEV * (1+inf)^t / (1+ac+inf)^{t+e}$$

- Les charges variables actualisées:

$$CVA(t) = CV(t) * (1+inf)^t / (1+inf+ac)^{t+e}$$

- Les amortissements actualisés

$$AMA(t) = AM(t) / (1+inf+ac)^{t+e}$$

Les dépenses d'exploitation actualisées sont alors:

$$DEXP(t) = CFA(t) + CVA(t) + AMA(t)$$

C/ Les revenus actualisés

$$REVA(t) = REV(t) / (1+ac+inf)^{t+e}$$

Vu l'importance du niveau de l'imposition dans le secteur des hydrocarbures (60 à 75%), une évaluation de la VAN avant et après impôt est fort recommandée.

(H11): La VAN est calculée après impôt avec un taux d'imposition de IMP=65%.

$$VAN = \sum_{t=0..D} (REVA(t) - DEXP(t)) * (1-imp) + AMA(t) - DDEV(t)$$

(H12): La VAN est calculée avant impôt.

$$VAN = \sum_{t=0..D} REVA(t) - DEXP(t) - DDEV(t) + AMA(t)$$

4° Calcul des critères de décision

On pose:

ENPV= espérance mathématique de la valeur actuelle nette (VAN).

EDEXPL= espérance mathématique des dépenses d'exploration (DEXPL).

$$EMV = Prd * ENPV - (1 - Prd) * EDEXPL$$

$$R-WPI = EMV / EDEXPL * (1 - Prd)$$

CHAPITRE IX

RESULTATS ET INTERPRETATIONS

I- Présentation Générale des résultats:

Notons tout d'abord que le logiciel élaboré, écrit en Turbo PASCAL V6.0, tourne sur un micro-ordinateur compatible IBM, doté de 01 MO de mémoire vive.

Ce logiciel utilise, pour le stockage de ses données et de certains résultats intermédiaires ou finaux, tantôt la mémoire vive, et tantôt la mémoire secondaire. L'espace mémoire total nécessaire dépend du nombre d'itérations effectuées (nombre de passes de simulation). En effet, il nous faut à chaque fois consigner les résultats obtenus, à des fins statistiques ou autres. Pour ne pas surcharger la mémoire vive de l'ordinateur, certains de ces résultats sont stockés sur disque au fur et à mesure qu'ils sont obtenus (notamment la VAN, les dépenses d'exploration ainsi que les réserves). Ceci se traduit fatalement par un ralentissement du logiciel, par suite de l'augmentation du nombre d'opérations d'entrée/sortie (E/S, ou lecture/écriture sur disque). La durée nécessaire pour effectuer une simulation entière est de l'ordre de 3.5 minutes, pour 500 itérations, dont une grande partie est consommée par les opérations d'E/S.

Le modèle que nous suggérons propose plusieurs éléments susceptibles d'orienter la décision. En plus des trois critères décisionnels EMV, R-WPI et EMC qui, en aucun cas, ne peuvent se substituer au jugement du décideur, nous proposons quelques résultats qui serviront, justement, à renforcer son analyse et son jugement, il s'agit de:

- * la distribution de probabilité des réserves possibles, en cas de découverte.
- * La distribution de probabilité de la valeur actuelle nette anticipée.
- * La distribution de probabilité des dépenses d'explorations, qui nous renseigne sur la mise initiale risquée et dont la moyenne servira à sélectionner les prospectus dans le cadre d'une restriction budgétaire.
- * Les cash-flows cumulés moyens net et brut.
- * Le profil de production moyen (anticipé).
- * Une analyse sensitive de
EMV = f(probabilité de découverte)

$$EMV = (ENPV + EDEXPL) * Prd - EDEXPL$$

Ce qui nous permettra de déterminer la valeur de Prdmin telle que EMV=0. (La valeur de la probabilité de découverte minimale pour le prospect soit rentable)

Il est bon de signaler que l'utilisateur de ce modèle a un contrôle total sur les paramètres incertains non probabilisés que nous avons nommés "management" : il pourra ainsi,

par exemple, leur associer plusieurs valeurs dans le but d'une analyse sensitive complète.

Nous nous contenterons, dans ce document, de la présentation de quelques exemples illustratifs de cette analyse.

II- Le classement et la sélection des prospects

* Le principe:

Un premier classement est obtenu sur la base du critère EMV. Lorsque le décideur est soumis à une contrainte budgétaire il doit utiliser le critère R-WPI.

Un classement basé sur le critère EMC peut être aussi réalisé pour les adeptes de la théorie de la décision.

Une première sélection de prospects consiste à ne retenir que ceux dont l'EMV est positive.

Une seconde sélection consiste à retenir tous les prospects classés dans l'ordre induit par le critère R-WPI (avec $EMV > 0$) jusqu'à saturation de la contrainte budgétaire.

Avec:

Budget d'exploration = 32.48 millions de dollars.

Le facteur d'aversion au risque pour le critère EMC = 25 M de \$.

1° cas:

1) Hypothèse de base:

le calcul de la VAN se fait avant impôt.

2) Les facteurs "management" considérés sont:

- * Le prix du pétrole: \$18/baril.
- * Probabilité de découverte: probabilité de découverte modale pour chaque prospect.

Les résultats obtenus sous ces conditions sont resumés dans le tableau ci-dessous.

Tableau n°1

prospect n°	EMV 10e6 \$	R-WPI 10e6 \$	EMC 10e6 \$	Prdmin
1	46.975	11.120	46.975	0.013
2	38.574	3.990	38.574	0.037
3	55.623	10.990	55.623	0.015
4	80.122	16.760	80.122	0.008
5	7.760	1.450	7.760	0.008
6	-1.390	-0.360	-1.390	-
7	94.410	16.500	94.410	0.010
8	94.370	29.720	94.780	0.005
9	70.200	8.560	70.200	0.022
10	42.563	8.940	42.560	0.020
11	23.810	5.406	23.810	0.034
12	13.400	3.460	13.400	0.045
13	73.080	12.800	73.080	0.012
14	190.300	59.300	190.300	0.003
15	6.410	1.240	6.410	0.102

Le tableau n°2 donne le classement puis la sélection des prospects.

Tableau n°2

Classement	Basé sur EMV	Basé sur R-WPI	Dépenses d'exploration moyennes 10e6\$	sélection
1	14	14	2.30	14
2	7	8	2.47	8
3	8	4	3.91	4
4	4	7	4.11	7
5	13	13	4.44	13
6	9	1	3.38	1
7	3	3	3.79	3
8	1	10	3.33	10
9	10	9	5.73	
10	2	2	7.43	
11	11	12	2.86	12
12	12	5	3.95	
13	5	11	3.08	
14	15	15	3.70	
15	6	6	2.86	

2° cas

1) Hypothèse de base:

Le calcul de la VAN se fait après impôt.

2) Les facteurs "management" considérés sont :

- * Le prix du pétrole: \$18/baril.
- * Probabilité de découverte: probabilité de découverte modale de chaque prospect.

les résultats obtenus sont résumés dans le tableau n°3

Tableau n°3

prospect n°	EMV 10e6 \$	R-WPI 10e6 \$	EMC 10e6 \$	Prdmin
1	-7.650	-1.820	-7.650	-
2	2.760	0.300	2.760	0.164
3	8.415	1.600	8.410	36.262
4	5.200	1.090	5.200	0.077
5	-29.630	-5.500	-29.634	-
6	-79.865	-20.500	-79.860	-
7	16.080	2.790	16.080	-
8	4.129	1.290	4.129	0.080
9	-26.060	-3.180	-26.060	-
10	5.144	1.070	5.144	0.1
11	-12.650	-2.930	-12.650	-
12	-33.880	-8.750	-33.880	-
13	-5.240	-0.900	-5.240	-
14	10.258	3.200	10.258	0.050
15	-52.690	-10.160	-52.690	-

Le tableau n°4 donne le classement puis la sélection des prospects.

Classement	basé sur EMV	basé sur R-WPI	Dépenses d'exploration moyennes 10e6\$	sélection
1	7	14	2.31	14
2	14	7	4.14	7
3	3	3	3.77	3
4	4	8	2.48	8
5	10	4	3.90	4
6	8	10	3.34	10
7	2	2	6.93	2
8	13	13	4.45	
9	1	1	3.34	
10	11	11	3.02	
11	9	9	5.73	
12	5	5	3.97	
13	12	12	2.86	
14	15	15	3.73	
15	6	6	2.87	

III- Commentaires

Nous constatons que :

* EMV=EMC ce qui signifie que le terme d'aversion au risque du critère EMC est négligeable pour la valeur du facteur d'aversion (P) utilisée, autrement dit l'entreprise est neutre face au risque.

* L'effet des impôts est très important: non seulement ils se manifestent par une réduction considérable des résultats espérés, mais aussi du nombre de prospects sélectionnés (9 prospects contre 7). Le décideur devra choisir entre la rentabilité économique de son entreprise et l'intérêt économique national: s'il opte pour la rentabilité, il devra faire une évaluation après impôt.

IV- Quelques outils d'analyse supplémentaires

Le logiciel utilisé procure l'avantage de fournir au décideur de multiples possibilités de génération et de présentation d'informations susceptibles d'éclairer sa décision. Ces informations sont issues des diverses combinaisons de types de données de base, ce qui aboutit à la réalisation de plusieurs scénarios.

L'utilisateur ayant un contrôle complet sur ses données, pourra effectuer tous les changements souhaités pour une analyse sensitive complète.

Quelques résultats sont proposés dans ce travail à titre d'illustration, afin de rendre compte de la richesse des informations que le logiciel peut produire et de sa malléabilité.

Le décideur pourrait, par exemple, préparer le budget d'exploration à partir de la moyenne de la distribution présentée dans la figure 1.

Il dispose, grâce à la distribution de la VAN et des réserves (figure 2 et figure 3, respectivement), d'une image multiple de l'avenir.

La figure 4 le renseigne sur la durée de vie moyenne du gisement.

Quant à la figure 5, elle peut le renseigner sur la date moyenne à laquelle il espère réaliser des bénéfices.

DEPENSES D'EXPLORATION
(PROSPECT N 14)

DEPENSES

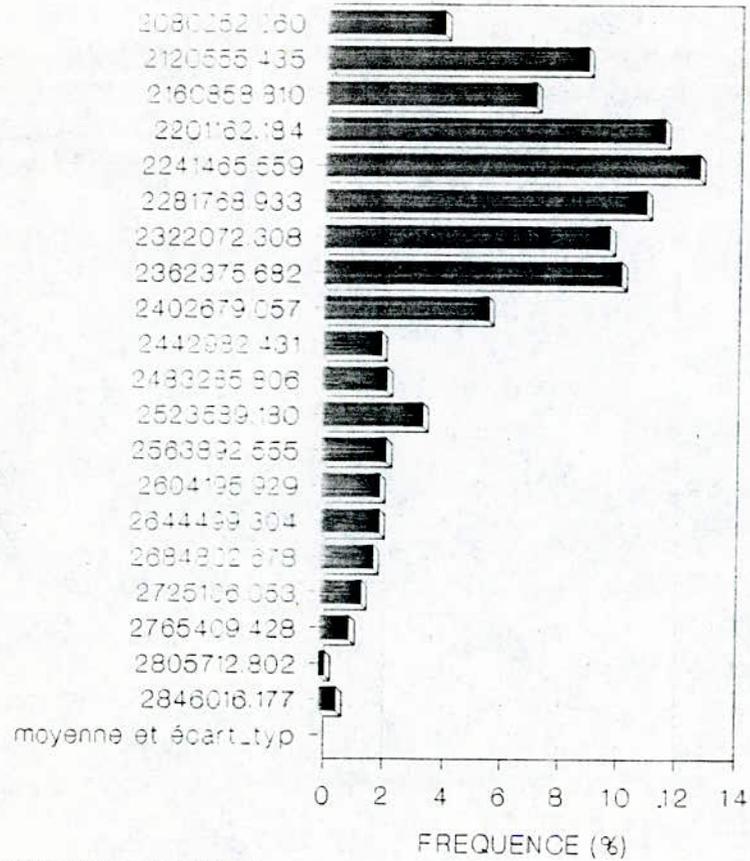
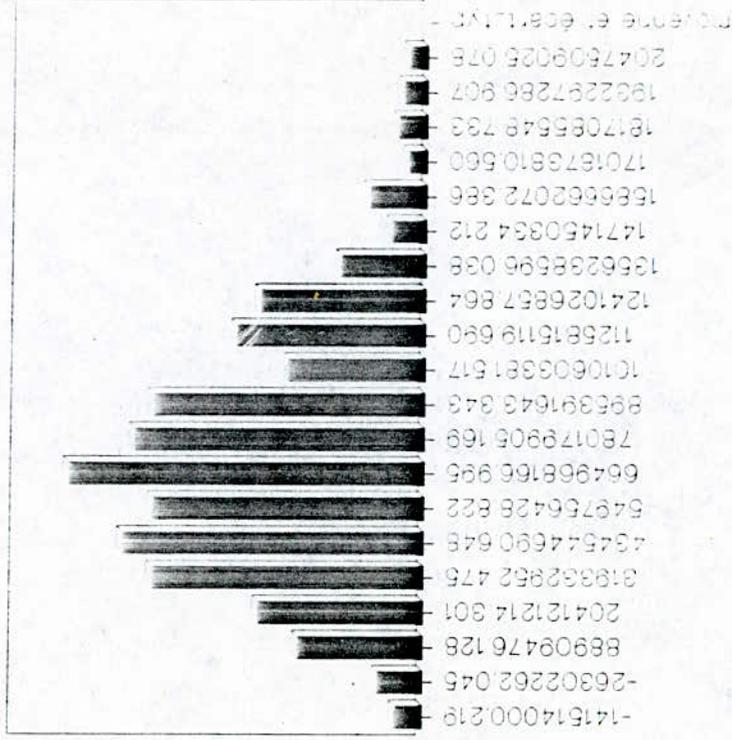


Fig 1

VALEUR ACTUELLE NETTE ANTICIPÉE

AVANT IMPÔT
(PROSPECT N 14)

VAN (18 \$)



MOYENNE ET ÉCARTILYP -

FREQUENCE (%)

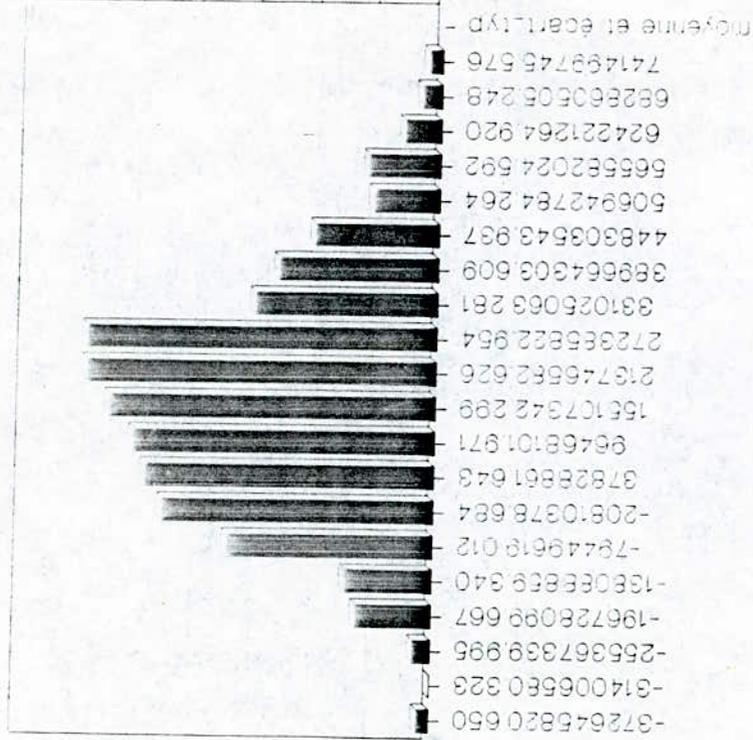
N=124808 S=428810

Fig 2

VALEUR NETTE ANTICIPÉE

APRÈS IMPÔT
(PROSPECT N 14)

VAN (18 \$)



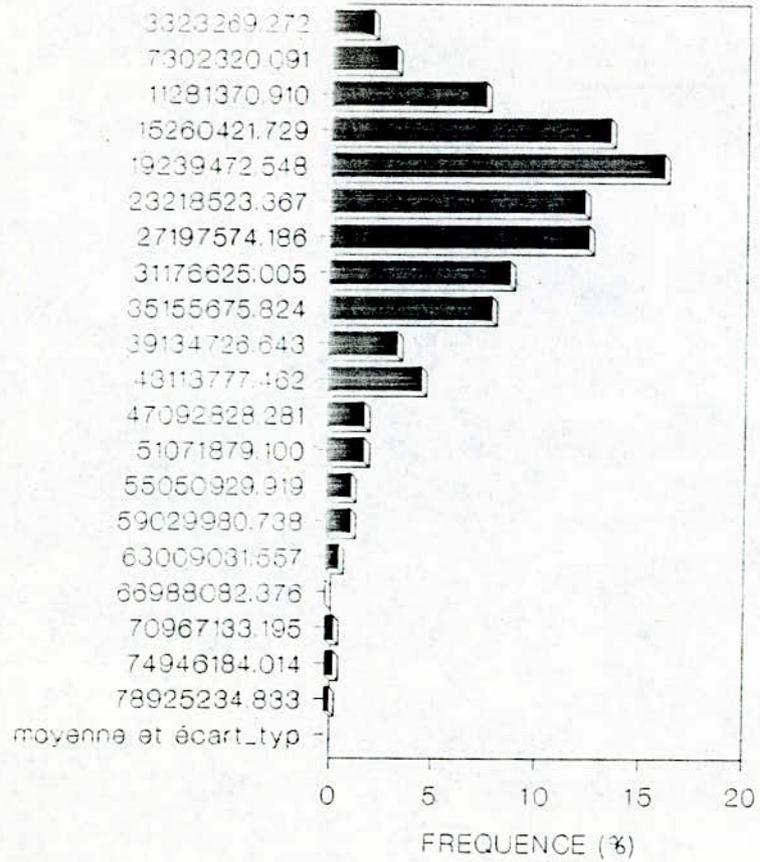
MOYENNE ET ÉCARTILYP -

FREQUENCE (%)

N=167908 S=197808

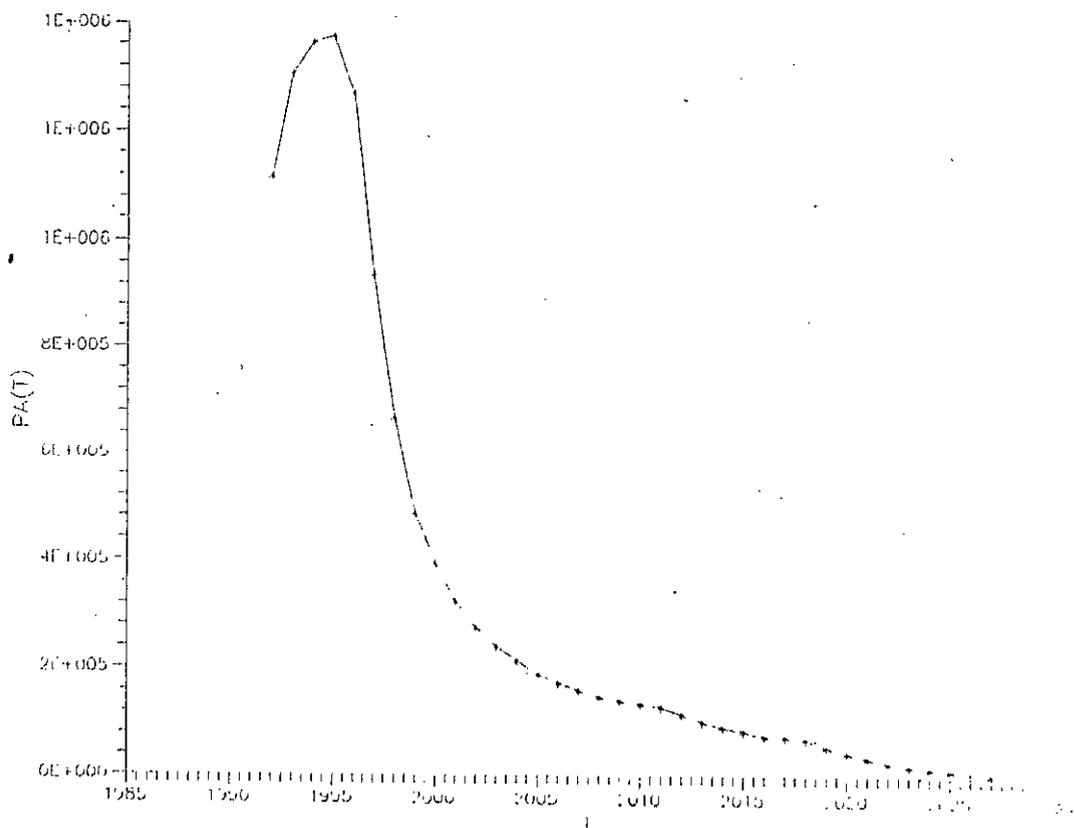
RESERVES POSSIBLES ANTICIPEES
(PROSPECT N 14)

RESERVES (m3)

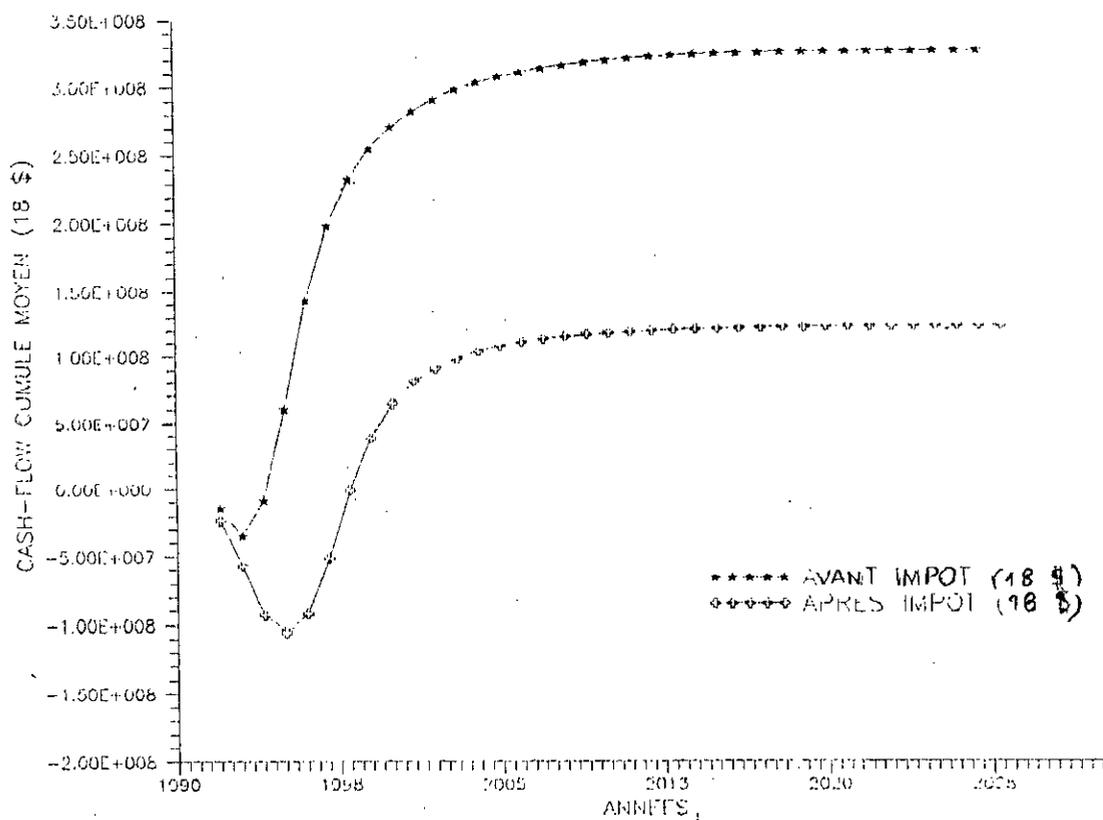


.M:2.578E07 S:1.282E07

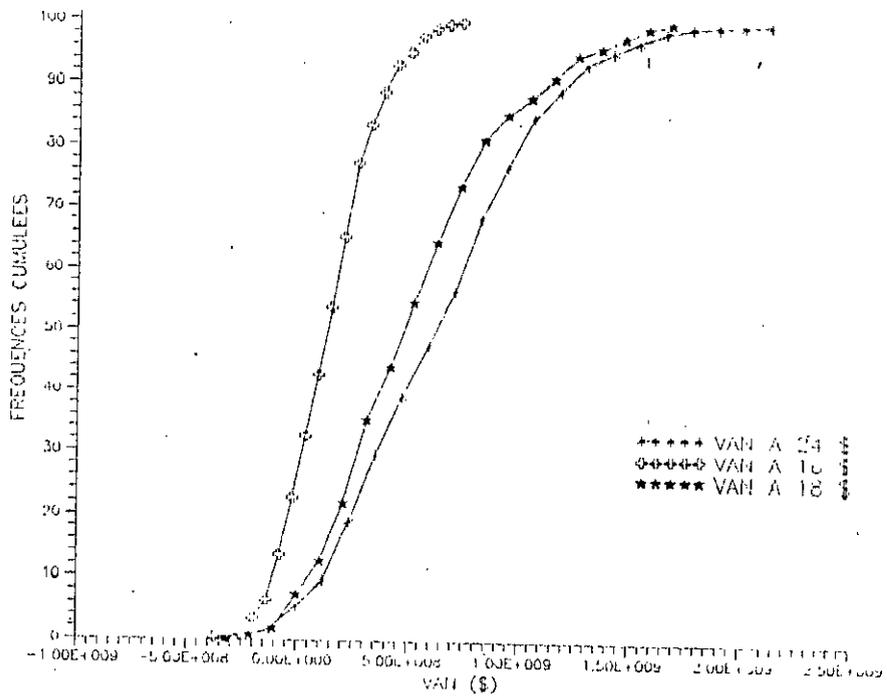
Fig 3



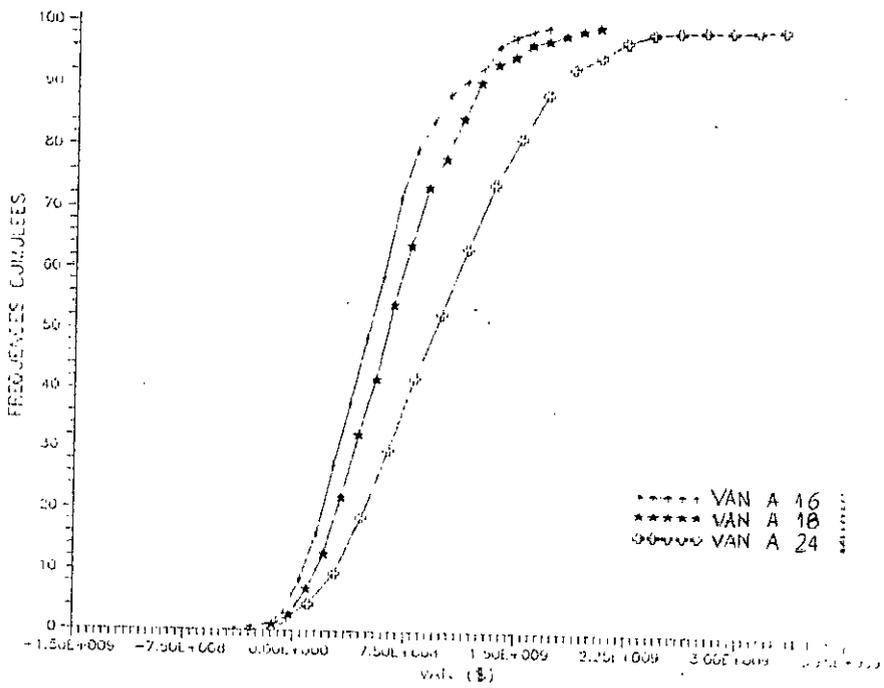
PROFIL DE PRODUCTION MOYEN
 RECUPERATION PRIMAIRE
 (PROSPECT NUMERO 11)



CASH-FLOWS CUMULES MOYENS ANTICIPES
(PROSPECT NUMERO 14)



VAN CUMULEE AVANT IMPOT



VAN CUMULEE APRES IMPOT

CHAPITRE X

CONCLUSIONS ET SUGGESTIONS

Le modèle de simulation réalisé a donné naissance a un programme modulaire, suffisamment flexible pour qu'on puisse l'adapter aux différents cas de figure susceptibles de se présenter.

En effet tout au long du processus de simulation ,quantités d'informations fort utiles sont produites ,tratraitées, stockées à des fins précises. Ces informations pourraient être sans difficulté aucune, collectées et traitées afin d'explicitier davantage le phénomène et de mieux décrire le système .

Afin de rendre ce programme plus convivial, d'en soigner l'esthétique, nous l'avons doter d'une interface de communication, qui permet notamment:

- d'améliorer le processus de communication, surtout lors de l'introduction des données du système ou de leur mise à jour
- de mieux guider l'utilisateur, à travers une fonction d'aide "on-line".

Nous n'avons pas doté le programme de fonction graphique malgré les possibilités de représentations graphiques, nombreuses et utiles mais nous envisageons de prendre en charge directement ces représentations.

Cependant ce logiciel est avant tout, un outil de calcul du critère décisionnel, et ne répond pas au problème du choix du critère qui lui est, totalement soumis au jugement du décideur.

L'introduction d'informations relatives aux circonstances de la décision et aux objectifs du décideurs peuvent aboutir à la réalisation d'un système capable de proposer des critères de décision adaptés à la situation préalablement décrite par l'utilisateur. Ce logiciel serait considéré dès lors comme un système expert possédant une certaine capacité d'analyse; perfectible par l'introduction de nouvelles informations et dont le but serait non pas seulement d'apporter des éléments de réponse au décideur, mais aussi de lui offrir des réponses aussi complètes que possible.

Bibliographie:

- J. MASSERON: "L'économie des hydrocarbures"
[MAS,82] Ed. TECHNIP 1982
- HUSSON-JORDAN : "Le choix des investissements"
[HUS,89] 1989
- R. CHARRETON, J.M. BOURDAIRE: "La décision économique"
[CHA,85]
Ed PUF.Paris 1985
- P. NEWENDORP: "Decisions analysis for pétroleum exploration "
[NEW,75]
PENWELL PUBLISHING Co, Tulsa,OKLOAMA, 1975
- T. PHILIPS, A.RAVINDRAN: " Operation research: Principle and
J.SOLBERG practise"
[PHI,64]
USA 1964
- P.MASSE: "Le choix des investissements"
[MAS,64] Ed Dunod 1964
- R.DEROME: "Rentabilité des projets"
[DER,85] M.B.A, CA 1985
- J.P VEDRINE: "Techniques quantitatives de gestion"
[VED,88] 1988
- J.MONKS: "Operations management theory and problems"
[MON,87] Mc Graw Hill 1987

Publications

- ENSPM-FI
Centre d'études supérieure Séminaire du 9 aull Decembre 1991
d'économie et gestion
- R. CHARRETON, J.M. BOURDAIRE: "Rien de plus pratique qu'une
[CHA,91] bonne théorie"
- John R.Schuyler:" Modeling an exploration program:
Insensitivity to prospect ranking
criteria"
Oil & Gas Journal, Dec 1989
- John R.Schuyler:"Appling expected monetary value concept :
How many prospect is enough?
Oil & Gas Journal, Dec 1989
- John R.Schuyler: "Decision rules using the EMV cuncept and
attitude toward risk"
Oil & Gas Journal, Jan 1990

Dan L. Wilson: " Knowing field size crucial in estimating
profitability"
Oil & Gas Journal, Apr15 1989

Jerry N.Cox: "Managing exploration:
The organisation, manager, geologist"
Oil & Gas Journal, May22 1989

ANNEXES

QUELQUES DEFINITIONS

Avant d'entamer l'analyse des inputs, il est nécessaire de définir quelques variables qui seront utilisées dans le modèle.

Calcul des réserves :

Porosité : c'est le rapport du volume des pores de la roche réservoir au volume total de la roche.

Saturation en eau : pourcentage du volume d'eau contenu dans le volume total des pores.

Réserves primaires : c'est le volume des réserves en place récupérables par le seul moyen des énergies naturelles des ressources.

Facteur volumétrique : c'est le paramètre qui permet de ramener les conditions du fond à celles de la surface.

Surface imprégnée : c'est la surface imprégnée d'huile correspondant aux réserves possibles.

Hauteur utile : c'est la hauteur des zones poreuses et perméables du réservoir.

Potentiel initial : c'est le débit initial du puits obtenu juste après le forage de développement.

Surface de drainage : représente l'aire dont l'huile est récupérée par un seul puits.

Durée de déclin : durée d'épuisement progressif d'un gisement consécutif à son exploitation.

Taux d'abandon : quantité à produire à la fin d'une période donnée et qui est économiquement non rentable.

DONNEES CARACTERISANT LE PROSPECT N° 14

Le prospect numéro 14, qui illustre la partie "Mise en oeuvre du document", est défini par les données consignées dans le tableau suivant :

V.A	DISTRIBUTION	MIN	MODE	MAX	m	i
PO %	Normale				0.4	0.14
SW %	Uniforme	0.08	-	0.25		
B	Uniforme	1.53	-	1.77		
FR %	Uniforme	0.12	-	0.25		
HU m	Log-Normale	23	31	45		
SIkm2	Triangulaire	16	20.7	28		
PFO m	Uniforme	350	-	1100		
CUFO\$	Log-Normale	825.2	974.16	11324		
SDkm2	Uniforme	0.15	-	0.25		
PF1 m	Histogramme					
CUF1\$	Log-Normale	473.33	538.75	911.6		

PROGRAMME

X

```
Program SimVar;
Uses Crt;
Label 1;
Const Nmax = 1200; zero = 0.000000000000; un = 1.000000000000;
      p:array[1..8] Of real=(0.8,1,1.2,1.3,1.4,1.5,1.6,1.7);
      q:array[1..3] Of real=(1,1.25,1.5);
      parametre: Array[1..12] Of String[4]= ('PO', 'SW', 'BO ',
'FR', 'HU', 'SI', 'PF0', 'CUF0', 'SD', 'PF1', 'CUF1', 'col');
Type
  Vect = Array[0..Nmax] Of Real;
  vect1=array[0..60] of integer;
  vect2=array[1..45] of real;
  vect3=array[0..45] of real;
  vect4=array[0..60] of real;
Var
  VDR : Array[1..3] Of Vect; CF1, c1 : Array[1..3] of Vect1;
  V1 : Array[1..3] of Vect4;
  nom : Array[1..12] of string[12]; Ok : Boolean; N:integer;
  sigma, moy, ss, mu, lm, ls, da : Array[1..12] Of Real;
  ,DAM,D1,j,e0,h,h0,l,REP5,REP6,TFOR0,kr,z,b,REP,k0,REP2,TD,Tc,ig,w,u,
  nfor: Integer;
  Xmin, Xmax, Xmode : Array[1..12] Of Real;

  emv,rw_pi,TFOR,DECL,FAC9,d,CCF2,NPP,IS,PL,CCFA,ET,GE,PC,CEXP,NPT,PMA
  ,Tde,e:real;

  dexp,DDEVA,pcv,cupi,act1,act2,DN,IP,IPmax,IPmin,Ta,g,f0,CIG,CIGmode,
  CIGmax,CIGmin:real;
  PO,DPA,cal,CVA,CUV,SI,AM,RP,HU, SW, FR,
  B0,X1,SD,x,pp,p1,P2,CUP,lp,DTM,DP,Prd,a,ac: Real;

  fac10,IMP,CV,TX,CUC,FDR,COL,CCF1,SM,VR,PAM,CUI,LO,CUB,L1,L2,TF,CRP,i
  nf,cth,cs:real;

  FR1,FR2,AMA,REVA,INF1,INF5,INF6,inf7,PF0,PF1,CUF1,CUF0,FP,DDEV,CCF,C
  T:real;

  sigmad,fdp,alpha,emc,a1,a2,ipma,ipmi,tdmi,tdma,dn1,dn2,dn3,dn4,b1,b2
  :real;
  k, choix : array[1..12] of integer;
  cf, v, val : array[1..12] of vect3;
  if0:array[2..4,1..4] of real;
  c : array[1..12, 0..60] of integer; car : char;
  flow1,flow2, revv,cvav,ccfv,ddev0,dpav,cpav,amav,cash_flow:
Vect2;

  dexvp,devv,actf,DIST,REV,INFO,FAC,fac5,fac6,fac8,fac7,fac11,pa1,pa2:
Vect2;
  IND:array[1..40] of Integer;
  f : Array[1..20] of Text;cash, fpro, f1, f2, f3,f4, f5, f6,
f7,f8,f9,f10 : Text; M : Vect1;
  D1Max, Compteur : Integer;
  Sigma1, Sigma2, Sigma3, Emv1, Emv2, Ev3 ,sig1, sig2: Real; pa :
vect3;

Procedure QuickSort(Var A : Vect3; N : Integer);
  Procedure Sort(l, r : Integer);
  Var i, j : Integer; x, w : Real;
```

```

Begin
  i:=1; j:=r; x:=A[(l+r) div 2];
  Repeat
    While A[i] < x Do Inc(i); While x < A[j] Do Dec(j);
    If i <= j Then Begin w:=A[i]; A[i]:=A[j]; A[j]:=w; Inc(i);
Dec(j) End;
    Until i > j;
    If l < j Then Sort(l, j); If i < r Then Sort(i, r)
  End;
Begin
  Sort(l, N);
End;

Procedure QuickSort1(Var A : Vect; N : Integer);
  Procedure Sort(l, r : Integer);
    Var i, j : Integer; x, w : real;
    Begin
      i:=1; j:=r; x:=A[(l+r) div 2];
      Repeat
        While A[i] < x Do Inc(i); While x < A[j] Do Dec(j);
        If i <= j Then Begin w:=A[i]; A[i]:=A[j]; A[j]:=w; Inc(i);
Dec(j) End;
        Until i > j;
        If l < j Then Sort(l, j); If i < r Then Sort(i, r)
      End;
    Begin
      Sort(l, N)
    End;

Function Nombre_Aleatoire : Real;
  Var r : Real;
  Begin
    Repeat r := Random(1000) Until r > zero; Nombre_Aleatoire :=
r/1000.;
  End;

procedure actu(var S0:real;act:real; s:integer);
var P1:real; r:integer;
begin
  s0:=zero; P1:=un; for r:=1 to s do begin P1:=act*p1; S0:=S0+P1;
end;
end;

procedure produit(var Prod:real; P0:real; s:integer);
var r:integer;
Begin
  Prod:=un; for r:=1 to s do Prod:=Prod*P0
end;

procedure frequence(ih:integer);
label 1;
var l, h:integer;
begin
1: da[ih]:=(Val[ih,M[ih]]-Val[ih,1])/k[ih];
  V[ih,0]:= val[ih,1];
  For l:=1 to Pred(k[ih]) do begin V[ih,l]:=V[ih,l-
1]+da[ih];c[ih,l]:=0 end;
  V[ih,K[ih]] := Val[ih, M[ih]];

```

```

For h := 1 to M[ih] Do
  Begin
    l := 1; while val[ih,h] > V[ih,l] do Inc(l) ;
    Inc(c[ih,l]);
  End;
for l:=1 to k[ih] Do if c[ih,l]=0 then begin dec(k[ih]); goto 1
end;
end;

procedure freq_cumulees(ih:integer);
var l:integer;
begin
  CF[ih,0]:=zero;
  For l:=1 to Pred(k[ih]) do CF[ih,l]:=CF[ih,l-1]+C[ih,l]/M[ih];
  CF[ih,K[ih]] := un;
end;

procédure sim_histogramme(var x : Real; ih:integer);
var l:integer; RN : Real;
begin
  RN:=nombre_aleatoire; l :=1; While RN>CF[ih,l] do Inc(l);
  x:=V[ih,l-1]+(RN-CF[ih,l-1])*da[ih]/C[ih,l]/M[ih]
end;

procedure frequencel(ih : integer);
var l, h :integer; dal : real;
begin
  For h := 1 to kr Do Cl[ih,h] := 0;
  dal:=(VDR[ih,N]-VDR[ih,1])/kr;
  Vl[ih,0]:= VDR[ih,1];
  For l:=1 to Pred(kr) do Vl[ih,l]:=Vl[ih,l-1]+dal; Vl[ih, kr] :=
VDR[ih, N];
  For h := 1 to N Do
    Begin
      l := 1; While VDR[ih,h] > Vl[ih,l] Do inc(l);
      { if l>kr then begin writeln('l est supérieur à', kr); halt
end; }
      Inc(cl[ih,l]);
    End;
  end;

procedure freq_cumulees1(ih : integer);
var l:integer;
begin
  CF1[ih,0]:=0; For l:=1 to kr do CF1[ih,l]:=CF1[ih,l-1]+Cl[ih,l];
end;

procedure sim_uniforme(var x:Real; ih:integer);
begin
  x:=Xmin[ih]+Nombre_aleatoire*(Xmax[ih]-Xmin[ih]);
end;

procedure sim_uniformel(var x:real;ymax,ymin:Real);
begin
  x:=ymin+Nombre_aleatoire*(ymax-ymin);
end;

```

```

procedure sim_normale(var x:Real; ih: integer);
var R1, R2, x1 :Real;
begin
  R1:=nombre_aleatoire; R2:=nombre_aleatoire;
  x1:=SQRT(-2*ln(R1))*cos(2*pi*R2); x:=Moy[ih]+sigma[ih]*x1;
end;

```

```

procedure sim_Log_normale(var x:Real; mu, ss : Real);
var RN : Real;
begin
  RN:=nombre_aleatoire;
  x:= exp(0.5*ln(mu*mu*mu*mu/(ss*ss+mu*mu)) +
  sqrt(-2*ln((ss*ss+mu*mu)/(mu*mu))*ln(RN))*cos(2*pi*RN));
end;

```

```

procedure sim_triangulaire(var x:Real; ih:integer);
var RN, w:Real;
begin
  w := (Xmode[ih] - Xmin[ih])/(Xmax[ih]-Xmin[ih]);
  Rn := Nombre_Aleatoire;
  If Rn <= w Then
    x := Xmin[ih] + (Xmax[ih] - Xmin[ih]) * Sqrt(Rn * w)
  Else
    x := Xmin[ih] + (Xmax[ih] - Xmin[ih]) * (1 - Sqrt((1 - Rn) * (1 - w)));
end;

```

```

procedure sim_trigl(var x:real;ymin,ymode,ymax:Real);
var RN, w:Real;
begin
  w := (Ymode - Ymin)/(Ymax-Ymin);
  Rn := Nombre_Aleatoire;
  If Rn <= w Then
    x := Ymin + (Ymax - Ymin) * Sqrt(Rn * w)
  Else
    x := Ymin + (Ymax - Ymin) * (1 - Sqrt((1 - Rn) * (1 - w)));
end;

```

```

procedure Discret(var x:integer );
var rn:real;
begin
  rn:= Nombre_Aleatoire;
  if rn<=0.25 then x:=2 else If (rn<=0.75) and (rn>0.25) then x:=3
else x:=4
end;

```

```

Procedure Moyennes(fin, fout : String);
Var i, j, k : Integer; xp : Extended; x : real; fmoy : text;
Begin
  Assign(fpro, fin);
  Assign(fmoy, fout); Rewrite(fmoy);
  For i := 1 to D1Max Do
    Begin
      xp := zero; Reset(fpro);
      For j := 1 to N Do
        Begin
          For k := 1 to i Do Read(fpro, x); Read(fpro, x);

```

```

        xp := xp + x;
        Readln(fpro);
    End;
    xp := xp/N; Writeln(fmoy, xp)
End;
Close(fmoy); Close(fpro);
End;

procedure profil2(var pa:vect3);
var k0, m0, i:integer; s1, s2 : real;
Begin
    for i := 0 to 40 do pa[i] := zero;
    for i:=0 to ig do pa[i]:=(e+i)*nfor*(1-tx)*ip*365;
    for i:=1 to tc-ig-1 do pa[ig+i]:=pa[ig]+f0*ip*365;
    pa[tc]:=e*nfor*(1-tx)*365*ip/a*(1-exp(-a))+(f0+nfor*(1-
tx)*ig)*ip*365;

    for l:=1 to ig do
        begin
            s1:=zero;
            for k0:=0 to l-1 do S1:=S1+exp(-a*k0)-exp(-a*(k0+1));
            pa[tc+l]:=(e*(exp(-a*l)-exp(-a*(l+1)))+S1)/a*nfor*(1-
tx)*365*ip+
                (nfor*(1-tx)*(ig-l)+f0)*ip*365;
        end;
    for m0:=1 to td-1 do
        begin
            s2:=zero;
            for k0:=0 to ig-1 do S2:=S2+exp(-a*(k0+m0))-exp(-
a*(k0+m0+1));
            pa1[m0]:=f0*(exp(-a*(m0-1))-exp(-a*m0))*365*ip/a;
            PA2[m0]:=((e*(exp(-a*(ig+m0))-exp(-
a*(ig+m0+1)))+S1)*nfor*(1-tx))*365*ip/a;
            pa[tc+m0+ig]:=PA1[m0]+PA2[m0];
        end;
    end;

procedure profil1(var pa:vect3);
var i, k0,m0:integer; s1, s2, s3 : real;
Begin
    for i := 0 to 40 do pa[i] := zero;
    for i:=0 to tc-1 do pa[i]:=(e+i)*nfor*(1-tx)*ip*365;
    pa[tc]:=(e/a*(1-exp(-a))+tc)*ip*nfor*(1-tx)*365;
    for i:=1 to ig-tc do
        begin
            s1:=zero;
            for k0:=0 to i-1 do S1:=S1+exp(-a*k0)-exp(-a*(k0+1));
            pa[tc+i]:=(tc+(e*(exp(-a*i)-exp(-a*(i+1)))+S1)/a)*ip*nfor*(1-
tx)*365;
        end;
    for l:=1 to tc do
        begin
            s2:=zero;
            for k0:=0 to ig-tc+l-1 do S2:=S2+exp(-a*(l+k0))-exp(-
a*(l+k0+1));
            pa[ig+l]:=ip*365*((tc-l+(e*(exp(-a*(ig-tc+l))-exp(-a*(ig-
tc+l+1)))+S2)/a))*nfor*(1-tx)+f0);
        end;

```

```

for m0:=1 to td-1 do
begin
s3:=zero;
for k0:=0 to ig-1 do S3:=S3+exp(-a*(m0+k0))-exp(-a*(m0+k0+1));
pa[ig+tc+m0]:=(f0*(exp(-a*(m0-1))-exp(-a*m0))+(e*(exp(-
a*(g+m0))-exp(-a*(g+m0+1))))+s3)*nfor*(1-tx))*ip*365/a;
end;
END;

Procédure Lecture_Donnees;
Var i, j : Integer;
Begin
Assign(f2, 'tempo.dat'); Reset(f2);
assign(fpro, 'product.dat'); Rewrite(fpro);
assign(cash, 'cashfl.dat'); Rewrite(cash);
ClrScr; Randomize; D1Max := 0;
Write(' Le nombre d''iterations: '); Readln(N);
Writeln('          Hypothèses et variables
déterministes');writeln;
assign(f3, 'donnees.dat'); reset(f3);
Writeln('          DEPENSES D''EXPLORATION'); Writeln;
Writeln(' Indiquer le niveau d''accessibilité du prospect');
READ(z);
readln(f3, CUPI); readln(f3, LP);
writeln('Lecture du cout unitaire de piste et de la longueur de
piste');
Writeln(' Nature du sol pour les travaux de plate-forme');
read(h);
Writeln(' Cout de réalisation de la plate-forme'); readln(f3, CRP);
readln(f3, DTM); readln(f3, DP);
writeln('Lecture du cout unitaire du DTM et de la distance
parcourue par les appareils de forage');
Writeln('          PROFIL DE PRODUCTION ET DEPENSES DE
DEVELOPPEMENT');
Readln(f3, NFOR); writeln('lecture du nombre de puits à forer par
an');
Writeln('Lecture du numero du bassin sédimentaire où se situe le
prospect? ');
Readln(b);
Readln(f3, DECL); Writeln('Lecture de la proportion de la duree de
déclin');
Readln(f3, TX); Writeln('Lecture du taux de puits secs par puits
producteurs');
Readln(f3, Ta); Writeln('Lecture du taux d''abandon des puits');
readln(f3, ipmi, ipma);
readln(f3, tdmi, tdma);
Readln(f3, CUC); Writeln('Lecture du cout unitaire de completion');
( FOR i:=1 to 4 do readln(f4, QCTH[i], CTH[i]); Writeln('Lecture des
couts des centres de séparation') ;
For i:=1 to 4 do
readln(f4, QCS[i]); readln(f4, Cs[i]); Writeln('Lecture des couts des
centres de stockage') ; )
Writeln('Le gisement se situe-t-il loin [A PLUS DE 70 KM] du
réseau de transport d''huile? 1=oui, 0=non ');
Readln(REP);
case rep of
1: begin readln(f3, CUP, l2); Readln(f3, CUI, l0); end;
0: begin readln(f3, CUB, l1); Readln(f3, CUI, l0); end;

```

```

end;
Writeln('Lecture du cout des canalisations de transport');
Writeln('          DEPENSES D''EXPLOITATION'); Writeln;
Readln(f3,PCV); Writeln('Lecture de la valeur des charges
variables');
Readln(f3,SM);Writeln('lecture du salaire moyen');
Readln(f3,P1);readln(f3,PC) ;Writeln('Lecture du pourcentage des
couts de personnel et d''entretien ');
Readln(f3,FDR);Writeln('les fonds de roulement');
Write('Pourcentage amorti : '); Readln(f3,PAM);
Write(' Durée d''amortissement'); Readln(f3,DAM);
write('pourcentage impot'); readln(f3,IMP);

Writeln('          DONNEES ET HYPOTHESES MANAGEMENT'); Writeln;
Assign(f5,'HYPO.DAT'); reset (f5);
Writeln('Emettre des hypothèses sur: ');
Writeln(' Les chances de découverte pour le prospect');
Readln(f5,PrD);
Writeln(' LE PRIX DU PETROLE: '); Readln(f5,PP);
WRITEln(' LE TAUX D''ACTUALSATION SANS INFLATION: ');
Readln(f5,ac);
Writeln(' LE TAUX D''INFLATION GENERAL [$]: '); readln(f5,INF);
Writeln(' LE TAUX D''INFLATION SPECIFIQUE FORAGE/COMPLETION:
');Readln(f5,INF1);
Writeln(' ----- INSTALLATIONS DE SURFACE:
');Readln(f5,INFO[2]);
Writeln('----- INSTALLATIONS GENERALES:
');Readln(f5,INFO[3]);
Writeln('----- DE
TRANSPORT: ');Readln(f5,INFO[4]);
Writeln('indice des salaires ');Readln(f5,INF5);
Writeln(' Calcul de la VAN après impot:1 avant impot:2:
');Readln(REP2);Writeln; writeln;
Writeln(' Les fonds propres de l''entreprise:');Readln(f5,FDP);
Writeln(' La fraction des fonds propres
risqués');readln(f5,alpha);
Writeln('          LECTURE DES DISTRIBUTIONS DE PROBABILITE DES
VARIABLES ALEATOIRES'); writeln;

Writeln('Donnez la nature des distributions de chaque variable
aléatoire');
Writeln('tapez      1:Pour une distribution uniforme ');
Writeln('      2:----- triangulaire');
Writeln('      3:----- en histogramme');
Writeln('      4:----- normale');
Writeln('      5:----- log-normale');
Write('Porosité PO= distribution :'); readln(f2,ind[1]);
Write('Saturation en eau SW= distribution :'); readln(f2,ind[2]);
Write('Facteur volumétrique B=distribution :'); readln(f2,ind[3]);
Write('Facteur de Récupération primaire FR=distribution
:');readln(f2,ind[4]);
Write('Hauteur Utile HU=distribution: ');readln(f2,ind[5]);
Write('Surface Imprégnée SI=distribution:
');readln(f2,ind[6]);Writeln;
Write('Profondeur de forage d''exploration  PF0:
');Readln(f2,ind[7]);
Write('Cout unitaire ----- CUFO:
');Readln(f2,ind[8]);

```

```

Write('Surface de drainage SD: ') ;Readln(f2,IND[9]);
Write('Profondeur moyenne de forage de developpement PF1:
');Readln(f2,ind[10]);
Write('Cout unitaire -----CUF1:
');Readln(f2,ind[11]);
Write('Cout de collecte moyen par puits COL:
');readln(f2,ind[12]);

For i:=1 to 12 do
  case ind[i] of
    1 : Begin
      Writeln('Lecture de XMIN et XMAX pour ', parametre[i]);
      Readln(f2,Xmin[i], Xmax[i]);
      End;
    2 : Begin
      Writeln('Lecture de XMIN, XMAX et XMODE pour ',
parametre[i]);
      Readln(f2,Xmin[i], Xmax[i], Xmode[i]);
      End;
    3 : begin
      Writeln('Lecture de données pour le parametre
',Parametre[i]);
      Write('Quel est le nom de votre fichier de donnees pour
',Parametre[i],'? ');
      Readln(nom[i]);
      Assign(f[i], concat('c:\tp6\',nom[i], '.dat'));
      Reset(f[i]);
      Writeln('Lecture du nombre d''observations M et de
classes=');
      Readln(f[i],M[i], k[i]);
      Writeln('Lecture des observations');
      For h0:=1 to M[i] Do Readln(f[i], Val[i,h0]);
      QuickSort(Val[i], M[i]); frequence(i); freq_cumulees(i);
      End;
    4 : Begin
      write('donnez les valeurs de m:moyenne ;sigma:ecart_type
pour le parametre ',parametre[i]);
      readln(f2,moy[i],sigma[i]);
      End;
    5 : Begin
      writeln('quelles sont vos données pour le parametre
',parametre[i],'?');
      writeln('tapez 1:Paramètres m; sigma');
      writeln('      2:XMIN; XMODE; XMAX ');
      writeln('      3:Mu:moyenne, SS:écart_type');
      read(f2,choix[i]);
      If choix[i]=2 Then
        begin
          Writeln('Lecture de XMIN, XMAX et XMODE pour ',
parametre[i]);
          Readln(f2,Xmin[i], Xmax[i], Xmode[i]);
          ss[i]:=(Xmax[i]-Xmin[i])/3;
          mu[i]:=(Xmin[i]+Xmode[i]+Xmax[i])/3;
          end ;
          If choix[i]=1 Then
            begin

```

```

        Writeln('Lecture des paramètres m et sigma pour ',
parametre[i]);
        Readln(f2,lm[i], ls[i]);
        ss[i]:= exp(2*(lm[i]+ls[i])*(lm[i]+ls[i]))-
exp(2*lm[i]+ls[i]*ls[i]));
        mu[i]:= exp(lm[i]+(ls[i]*ls[i])/2);
        end ;
        if choix[i]=3 then
        begin
        Writeln('lecture de la moyenne et de l''ecart_type de la
loi log_normale');
        readln(f2,Mu[i],SS[i]);
        end;
        End;
    End;
    Write('Nombre de classes pour le résultat : '); Readln(kr);
End;

```

```

Procedure Simulations;
Var i : Integer;
Begin
    Writeln('Itération N° : ', j);
    For i:=1 to 12 do
        case ind[i] of
            1 : Sim_uniforme(Dist[i], i) ;
            2 : Sim_triangulaire(Dist[i], i);
            3 : Sim_histogramme(Dist[i], i);
            4 : Sim_normale(Dist[i], i);
            5 : Sim_Log_normale(Dist[i], mu[i], ss[i]);
        end;
        discret(np);
        PO:=Dist[1]; SW:=Dist[2]; B0:=Dist[3]; FR:=Dist[4]; HU:=Dist[5];
        SI:=Dist[6];
        PF0:=Dist[7]; CUF0:=Dist[8]; SD:=Dist[9]; PF1:=Dist[10];
        CUF1:=Dist[11]; COL:=Dist[12];

        { COUT DE FORAGE D'EXPLOARATION }
        VDR[2,j]:=(CUF0*PF0+DTM*DP+CUPI*LP*p[z]+CRP*q[h])*1.28;

        { CALCUL DES RESERVES RECUPERABLES }
        VDR[3,j]:=PO*(1-SW)*FR*HU*SI/B0*1e6;
    End;

```

```

Procedure Sim_Ip(Var Ok : Boolean);
Label 1;
Begin
    { PROFIL DE PRODUCTION - DEPENSES DE DEVELOPPEMENT-
DEPENSES D''EXPLOITATION-REVENUS }
    Ok := True; NPP:=Round(SI/SD); NPT:=Round(NPP*(1+TX));
    Tde:=NPT/NFOR; DN:=VDR[3,j]/NPP;
    DN1:=tdmi/ln(ipmi/ta)*(ipmi-ta)*365+ipmi*365*tdmi*(1/decl-1);;
    DN2:=tdma/ln(ipmi/ta)*(ipmi-ta)*365+ipmi*365*tdma*(1/decl-1);;
    DN3:=tdmi/ln(ipma/ta)*(ipma-ta)*365+ipma*365*tdmi*(1/decl-1);;
    DN4:=tdma/ln(ipma/ta)*(ipma-ta)*365+ipma*365*tdma*(1/decl-1);;
    A1:=(Ipma-ipmi)/(DN3-DN1); B1:=IPMI-DN1*A1;
    A2:=(Ipma-ipmi)/(DN4-DN2); B2:=IPMI-DN2*A2;

```

```

If (DN<DN1) Or (DN>DN4) Then Begin Inc(compteur); Ok := False;
Goto 1 End;
If (DN<DN2) then
begin IPmin:=ipmi; IPmax:=A1*DN+B1; End
Else If (DN<DN3) and (DN>=DN2) Then
begin IPmin:=A2*DN+B2; IPmax:=A1*DN+B1; End
Else If (DN>=DN3) Then Begin IPmin:=A2*DN+B2; IPmax:=IPMA; End;
sim_uniformel(IP,IPmax,IPmin);
1: End;

```

Procedure Calculs;

Var t : Integer;

Begin

```

Td:=round(DN/((ip-ta)*365/ln(IP/Ta)+(1/decl-1)*ip*365));
Tc:=round(Td/DECL-Td);
d:=int(tde); f0:=round((tde-d)*nfor*(1-TX));
e:=int(tde/2)+1; (*date de début de production*)
g:=d-e; (*durée de développement en phase d'exploitation*)
ig := Round(g);
a:=ln(ip/ta)/td;
d1 := ig+td+tc-1;
If d1>D1Max Then D1Max := d1;
for t := 1 to 40 do cash_flow[t] := 0;
Write(fpro, d1:2, ' '); Write(cash, d1:2, ' ');
if Tc<=tde-e then profil1(pa) else profil2(pa);
End;

```

Procedure Depenses;

Var t : Integer; s3 : Real;

Begin

```

for t:=0 to 40 do Write(fpro, pa[t], ' '); Writeln(fpro);
S3:=0; For t:= 0 to D1 DO S3:=S3+PA[t];
pma:=s3/D1;
w:=1; while pma/365> w*50 do inc(w); cth:=w*960000;
w:=1; while pma/365*3 > w*150 do inc(w); cs:=125000*w;
CIGmode:=7.5/24*VDR[3,j]; CIGmax:=1.25*CIGmode;
CIGmin:=0.8*CIGmode;
Sim_Trig1(CIG,cigmin,cigmode,cigmax);
Case Rep of
0: CT:=CUI*L0+CUB*L1;
1: CT:=CUI*L0+CUB*L1+CUP*L2;
End;

CCF:=NPT*CUF1*PF1+NPP*CUC*PF1;
DDEV:=CT+CS+CTH+COL*NPP+CIG;
IS:=CS+COL*NPP+CTH;

```

{DEPENSES D'EXPLOITATION}

PL:=NPP*NP*SM; GE:=P1*PL;

ET:=PC*DDEV; AM:=DDEV*PAM/(TD+TC+IG-1);

End;

Procedure Actualisation;

Var i, r0, r1 : Integer;

Begin

{REVENUS ANNUELS}

For i:=1 to D1+1 do REV[i]:=PA[i-1]/0.159*PP;

{ ACTUALISATION ET PRISE EN COMPTE DE L'INFLATION }

```
cal:=1+ac+inf;
TFOR:=int(tde)+1;TFOR0:=round(TFOR); CCF1:= (1+infl)/(1+ac+inf);
actu(CCF2,CCF1,TFOR0); CCFA:=CCF/TFOR*CCF2; e0:=round(e);
for i:=1 to 40 do CCFV[i]:=0;
For i:= 1 to round(tfor-1) do
  begin
    produit(actf[i],(1+infl)/(1+ac+inf),i);
    CCFV[i]:=(nfor*CUF1*PF1+Nfor*(1-tx)*CUC*PF1)*actf[i];
  end;
produit(actf[round(tfor)],(1+infl)/(1+ac+inf),round(tfor));
CCFV[round(tfor)]:= (round((tde-d)*nfor*(1-
tx))*CUC*PF1)*actf[round(tfor)] ;
CCFV[round(tfor)]:=(CCFV[round(tfor)]+round((tde-
d)*nfor)*CUF1*PF1)*actf[round(tfor)] ;

produit(fac9,1+ac+inf,e0); produit(fac10,1+ac+inf,d1);
If D1<= 8 then REP5:=1;
IF (D1<=15) and (D1>8) then REP6:=2 else rep5:=3;
for i:=1 to 40 do ddev0[i]:=0;
case REP5 of
  1: begin
    For r0:=1 to 2 do
      for r1:=2 to 4 do
        begin
          produit(if0[r1,r0],1+INF0[r1],r0);
          produit(fac[r0],1+ac+inf,r0);
        end;
ddev0[1]:=0.4*(is*if0[2,1]+CIG*if0[3,1]+CT*if0[4,1])/fac[1];
ddev0[2]:=0.6*(IS*if0[2,2]+CIG*if0[3,2]+CT*if0[4,2])/fac[2];
DDEVA:=ddev0[1]+ddev0[2]+ccfa;
End;
  2: begin
    For r0:=1 to 3 do
      for r1:=2 to 4 do
        begin
          produit(if0[r1,r0],1+inf0[r1],r0);
          produit(fac[r0],1+ac+inf,r0);
        end;
ddev0[1]:=0.35*(is*if0[2,1]+CIG*if0[3,1]+CT*if0[4,1])/fac[1];
ddev0[2]:=0.4*(IS*if0[2,2]+CIG*if0[3,2]+CT*if0[4,2])/fac[2];
ddev0[3]:=0.25*(IS*if0[2,3]+CIG*if0[3,3]+CT*if0[4,3])/fac[3];
DDEVA:=ddev0[1]+ddev0[2]+ddev0[3]+ccfa;
End;
  3: begin
    For r0:=1 to 4 do for r1:=2 to 4 do
      begin
        produit(if0[r1,r0],1+inf0[r1],r0);
        Produit(fac[r0],1+ac+inf,r0);
      end;
```

```

ddev0[1]:=0.20*(is*if0[2,1]+CIG*if0[3,1]+CT*if0[4,1])/fac[1];
ddev0[2]:=0.30*(IS*if0[2,2]+CIG*if0[3,2]+CT*if0[4,2])/fac[2];
ddev0[3]:=0.35*(IS*if0[2,3]+CIG*if0[3,3]+CT*if0[4,3])/fac[3];
ddev0[4]:=0.15*(IS*if0[2,4]+CIG*if0[3,4]+CT*if0[4,4])/fac[4];
DDEVA:=ddev0[1]+ddev0[2]+ddev0[3]+ddev0[4]+ccfa;
End;
end;

act1:=(1+inf5)/(1+inf+ac); act2:=(1+inf)/(1+ac+inf);
cva:=0; dpa:=0; ama:=0;
for i:=1 to 40 do begin amav[i]:=0; dexpv[i]:=0 ;revv[i]:=0; end;
for i:=1 to dam do
begin
produit(facl1[i],cal,i); amav[i]:=am/facl1[i];
ama:=ama+amav[i];
end;
For i:=1 to D1+1 do
begin
produit(FAC5[i],act1,i); produit(FAC6[i],act2,i);
produit(fac7[i],act2,i); DPAV[i]:=(PL+GE)*FAC5[i]+ET*FAC6[i];
CVAV[i]:=PCV*REV[i]*fac7[i]; dexpv[i]:=(dpav[i]+cvav[i])/fac9;
devv[i]:=ddev0[i]+ccfv[i]; CVA:=cva+cvav[i]; dpa:=dpa+dpav[i];
end;
DEXP:=(DPA+CVA)/fac9; FR1:=FDR/FAC9; FR2:=FDR/fac10;
AMA:=AMA/FAC9; REVA:=0;
For i:=1 to d1+1 do
Begin
produit(fac8[i],1+inf+ac,i); REVv[i]:=REV[i]/FAC8[i];
REVA:=REVA+revv[i]
End;
REVA:=REVA/FAC9;
End;

Procedure Calcul_VAN;
Var t : Integer;
procedure van1;
Var t : Integer;
begin
VDR[1,j]:=(REVA-(DEXP+AMA))*(1-imp)+AMA+FR2-(DDEVA+FR1);
for t:= 1 to e0-1 do cash_flow[t]:=-ddev0[t];
flow1[e0]:=(revv[e0]-dexpv[e0]-amav[e0])*(1-imp);
flow2[e0]:=amav[e0]-ddev0[e0]-FR1;
cash_flow[e0] :=flow1[1]+flow2[2];
for t:=e0+1 to D1 do
cash_flow[t]:=(revv[t]-dexpv[t]-amav[t])*(1-imp)+amav[t]-
ddev0[t];
cash_flow[D1+1]:=(revv[D1+1]-(dexpv[D1+1]+amav[D1+1]))*(1-
imp)+amav[D1+1]-ddev0[D1+1]+fr2;
end;

procedure VAN2;
Var t : Integer;
begin
VDR[1,j]:=REVA+FR2-DDEVA-DEXP-FR1;

```

```

    for t:= 1 to e0-1 do cash_flow[t]:=-ddev0[t];
    cash_flow[e0]:=revv[e0]-dexpv[e0]-ddev0[e0]-FR1;
    for t:=e0+1 to D1 do cash_flow[t]:=revv[t]-dexpv[t]-ddev0[t];
    cash_flow[D1+1]:=revv[D1+1]-dexpv[D1+1]-ddev0[D1+1]+fr2;
end;
Begin
  Case REP2 Of
    1: VAN1;
    2: VAN2;
  End;
  for t:=1 to 40 do Write(cash, cash_flow[t], ' '); Writeln(cash);
End;

Procedure Moyennes1(var f:text; nf:string; Var moy, sigma:real;
                    ind : integer; s : integer);
Var i : Integer; sig : real;
Begin
  moy := 0; sigma:=0;
  assign(f, nf); rewrite(f);
  Writeln(f, '      centre de CLASSES      FREQUENCES      FREQUENCES
CUMULEES');
  for i:=1 to kr do
    begin
      writeln(f, (v1[ind,i]+v1[ind,i-1])/2:18:3, ', ',
c1[ind,i]/N*100:14:2, ', ', cf1[ind,i]/N*100:14:2);
      moy:=moy+(v1[ind,i]+v1[ind,i-1])/2*c1[ind,i]/N;
    end;

  for i:=1 to kr do
    Begin
      sig := s*(v1[ind,i]+v1[ind,i-1])/2 - moy;
      SIGMA:= sigma+(sig*sig)*c1[ind,i]/N;
    End;

  Writeln(f,'moyenne et écart_type :',moy,' ',sqrt(sigma));
  close(f);
End;

Procedure Moyennes2(moy : real; var sigma:real; ind : integer; s :
integer);
Var i : Integer; sig : real;
Begin
  sigma:=0;
  for i:=1 to kr do
    Begin
      sig := s*(v1[ind,i]+v1[ind,i-1])/2 - moy;
      SIGMA:= sigma+(sig*sig)*c1[ind,i]/N;
    End;
  End;

Begin
  Lecture_Donnees;
  j := 1; Compteur := 0;
  While j<=N Do
    Begin
      Simulations;
      Sim_Ip(Ok); If Not Ok Then Goto 1;
      Calculs;
    End;
  End;

```

X

```

Depenses;
Actualisation;
Calcul_VAN;
Writeln('ddeva= ', ddeva, ' reva= ', reva);
Inc(j);
1: end;
  close(fpro); close(cash);
  ( Moyennes('product.dat', 'moyennes.dat');
  moyennes('cashfl.dat', 'cashmoy.dat');
  ClrScr;
  Writeln('Nombre d''exécutions incompatibles : ', compteur);

  For j := 1 to 3 Do
    Begin QuickSort1(VDR[j], N); Frequentiel(j); Freq_Cumulees1(j)
  End;

  Moyennes1(f7, 'van.dat', emv1, sigmal, 1, +1);
  Moyennes1(f8, 'dexpl.dat', emv2, sigma2, 2, +1);
  Moyennes1(f1, 'reserves.dat', ev3, sigma3, 3, +1);

  Writeln('          APPEL DES FICHIERS RESULTATS ');writeln;
  Writeln('Appeler le fichier VAN.DAT pour obtenir la distribution
de la VAN');
  Writeln('Appeler le fichier RESERVE.DAT pour obtenir la
distribution des réserves');

          (CALCUL DES CRITERES DE DECISION )

EMV:=EMV1*prd-EMV2*(1-prd);
RW_PI:=EMV/EMV2*(1-prd);
Moyennes2(emv, sig1, 1, +1);
Moyennes2(emv, sig2, 2, -1);
SIGMAD:=SQRT(sig1*prd+sig2*(1-prd)) ;
EMC:=EMV-SIGMAD/(2*alpha*fdp);
Writeln('Les dépenses d''exploration moyennes: ',EMV2);
Writeln('La VAN moyenne anticipées: ',EMV1);
Writeln('Le critère EMV a pour valeur: ',emv);
Writeln('Le critère RW_PI a pour valeur: ',RW_PI);
Writeln('Le critère équivalent monétaire certain: ',EMC);
Writeln('L''écart_type de la décision [son risque] a pour valeur:
',SIGMAD);
  Writeln('Le cout de l''aversion au risque: ',EMV-EMC);
  Writeln('La probabilité de découverte minimum necessaire:
',EMV2/(EMV1+EMV2));
  repeat until keypressed;
end.

```

ARTICLES

EN QUÊTE DE THÉORIES

RIEN DE PLUS PRATIQUE QU'UNE BONNE THÉORIE

Théorie de la décision et choix d'un groupe pétrolier

PAR JEAN-
MARIE
BOURDAIRE

RAOUL
CHARRETON

Le premier épisode de « Rien de plus pratique... » tentait de montrer qu'il existe des outils théoriques qui permettent, dans des situations très incertaines, de prendre des décisions qui utilisent au mieux notre pifomètre. Mais ces outils supposent qu'il existe un seul acteur de la décision. Comment faire, concrètement, dans une entreprise, où les processus de décision sont extrêmement complexes?

DEUXIÈME ÉPISODE: PRÉVOIR, C'EST COMMUNIQUER

Dans l'article précédent consacré à la décision, nous avons rappelé qu'à l'image des mots utilisés dans le rapport du Collège de France, nous pesions l'ave nir et que c'était ce poids établi intuitivement, qui orientait nos décisions.

Ce lien est formalisé par la théorie de la décision. Il montre que « décider c'est prévoir » et qu'il faut, pour qui veut être rationnel au sens de la cohérence de ses comportements, quantifier la prévision par une probabilité subjective.

Toutefois, la théorie de la décision est fondée sur l'unicité d'acteur. C'est le

même acteur qui pèse l'ave nir avec ses probabilités, qui pondère les conséquences en fonction de son aversion au risque et qui prend la décision.

Dans notre premier article, « décider, c'est prévoir », nous avons analysé l'accouplement d'une probabilité subjective par un expert. La probabilité ainsi notée peut être utilisée par l'expert lui-même, si c'est lui qui prend la décision (auquel cas l'unicité d'acteur est vérifiée). Si expert et décideur ne sont pas confondus, on peut néanmoins admettre que le décideur fera sienne la probabilité de l'expert, quand il s'agit d'un paramètre technique sur lequel il ne saurait, seul, se prononcer. Dans ce cas aussi, le décideur ayant fait sienne la probabilité, l'unicité d'acteur est vérifiée.

Dans ce second article, nous allons aborder le cas où l'hypothèse de l'unicité d'acteur ne peut plus

être retenue, soit parce qu'il y a plusieurs experts qui n'ont pas tous la même appréciation sur le risque, soit parce que l'appropriation de l'expertise par le décideur n'est plus évidente (le décideur ayant lui-même un avis), soit parce que la notion d'un décideur identifié unique est volée par le partage du pouvoir au sein d'un collège de direction (comité exécutif par exemple) ou conseil d'administration, voire assemblée des actionnaires.

Certaines difficultés passées sous silence dans le premier article parce que mineures deviennent alors prépondérantes.

Ces difficultés sont toutes liées à des problèmes d'appropriation par le décideur de l'information fournie par l'expert, soit à cause de la perte d'information que le transfert provoque, soit encore à cause du feedback, c'est-à-dire de la comparaison après coup de la réalité

EN QUÊTE DE THÉORIES

On préfère représenter le futur par des scénarios concrets, cohérents et simples, voire trop simples...

tion à la prévision, soit enfin à cause de la difficulté de transmettre un résultat global lorsqu'on ne dispose pas d'un raisonnement argumenté pour le défendre. Ce qui est le cas à chaque fois que les approches analytiques deviennent impossibles.

En fait, les approches du premier article ne sont bien adaptées qu'aux risques spécifiques à un projet (risques dits «diversifiables» (1)). Pour les risques communs à tous les projets, globaux pour l'entreprise, dits «non diversifiables», comme par exemple l'aléa sur le prix du pétrole, nous proposons une autre approche, par la constitution de «scénarios».

Avant de donner un exemple d'un tel scénario, élaboré par le groupe Total sur l'évolution du marché pétrolier, nous détaillerons le problème de la communication dans l'entreprise et les

RISQUES SPÉCIFIQUES ET RISQUES GLOBAUX

La théorie de la décision n'est applicable, en principe qu'à la totalité du portefeuille d'activités et de projets de l'entreprise, mais elle peut conduire à un critère désagrégé, applicable à chaque activité ou projet élémentaire, sa «valeur ajustée au risque».

Cette valeur ajustée au risque est l'équivalent d'une valeur certain du projet (c'est-à-dire sa valeur «cash», d'échange, valeur à laquelle on serait prêt, soit à l'acheter, si on n'en disposait pas, soit à le vendre, dans le cas contraire).

Ce critère est la somme de trois termes :

- le premier est le bénéfice moyen, m ;
- le deuxième, négatif, tient compte des risques «diversifiables» : il dépend de la variance du bénéfice par rapport à ces risques, ainsi que de la perte globale maximale admissible par le décideur ; ce minorant traduit le fait qu'on préfère gagner sûrement, donc sans risque, le montant m plutôt que de l'espérer en moyenne ;
- le troisième enfin, négatif également, tient compte des risques non diversifiables, c'est le minorant de la valeur du projet dû aux risques que ce projet partage avec d'autres projets ; il prend l'expression d'une «contrainte budgétaire» ; nous indiquons plus loin, comme exemple pratique de la méthode des scénarios, la façon dont nous avons tenté d'estimer, au sein du groupe Total-CFP, le budget d'exploration.

difficultés d'explicitation des probabilités qui nous ont conduits à cette nouvelle approche. Nous montrerons comment les scénarios sont propices à la réalisation d'un consensus autour de quelques visions de l'avenir et donc à un fonctionnement plus cohérent de l'entreprise.

L'ENTREPRISE ET LA COMMUNICATION INTERNE

Quelle forme d'information faut-il adopter pour que la communication se fasse au mieux dans une organisation ? En effet, tout passage de l'information d'un individu à un autre, d'un département de l'entreprise à un autre, se caractérise par un délai et un

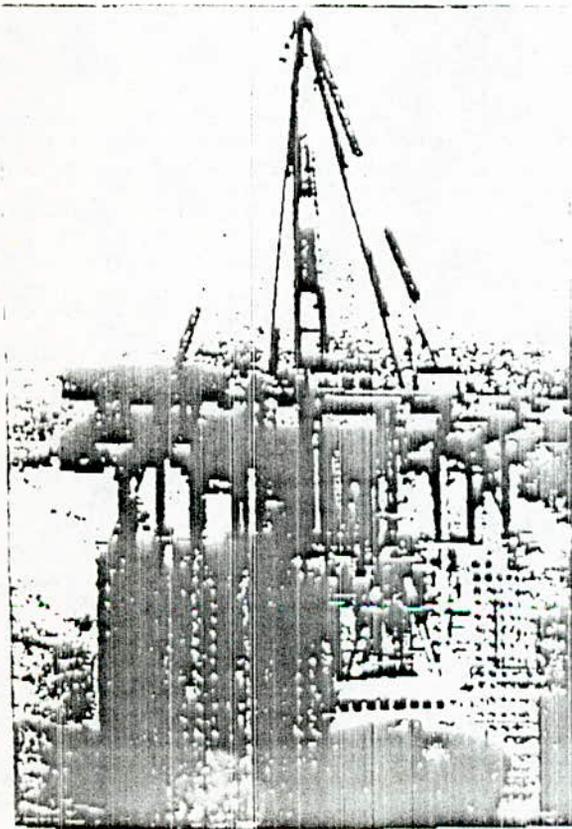
appauvrissement du contenu (paupérisation).

Tout agent qui fournit de l'information est soumis en général à deux contraintes contradictoires :

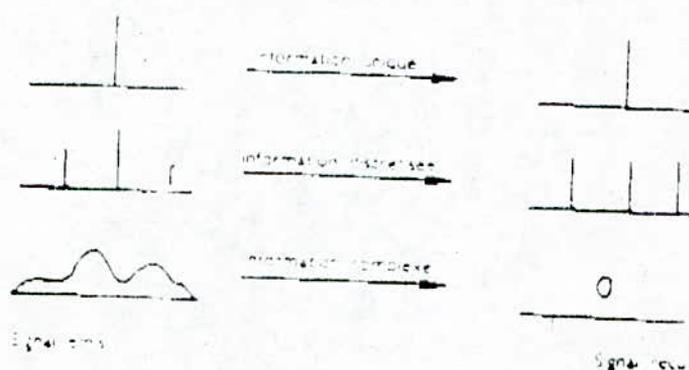
- donner son opinion de façon simple (contrainte imposée par son correspondant ou par lui-même s'il pense que c'est ce que l'organisation attend de lui) ;
- donner son opinion de façon nuancée (contrainte qu'il s'impose lui-même à la fois pour rendre compte de toute sa compétence et pour laisser une place à l'incertain).

Soumis à cette double contrainte, l'agent fournira une image unique qu'il assortira d'un certain fidu-

(1) L'encadré «Risques spécifiques et risques globaux» résume la façon dont la théorie aborde cette distinction.



LA COMMUNICATION OU LA PAUPERISATION DE L'INFORMATION



... parce que les messages abstraits et complexes se déforment trop dans la communication.

Le schéma ci-dessus se veut une illustration du nécessaire compromis qui doit exister entre la richesse de l'information et la pauvreté de notre perception :

- une information unique, même assortie d'un flou sous forme de « précautions oratoires », sera reçue comme un « pic » ; l'alea disparaît donc au profit du déterminé ;
- à l'inverse, une information multiforme et complexe sera reçue comme un « bruit blanc », c'est-à-dire une absence d'information, d'où aucun « probable » ou « vraisemblable » n'émerge ;
- le compromis consistera donc à fournir quelques points de repère, ceux que nous avons appelés dans l'article précédent « mini, mode, maxi ». Ce sont ces repères que nous généraliserons dans la suite de cet article sous le nom de « scénarios ».

de l'intelligence et de la compréhension)

Ce sont ces deux postulats qui fondent la méthode des scénarios qu'on peut resumer à : représentation globale du futur par quelques images cohérentes archétypes.

LES DIFFICULTÉS DE L'EXPLICITATION DES PROBABILITÉS

L'existence, autour du décideur, d'un halo d'acteurs plus ou moins influents vient également compliquer la situation idéale d'un acteur unique :

- d'une part, respecter le schéma théorique en formalisant explicitement des probabilités subjectives, c'est

s'exposer à la critique, avant la décision, par ceux qui ne seront pas d'accord, et après la décision par ceux qui prendront argument de ce qui s'est effectivement passé par rapport à ce qui était prévu.

- d'autre part, oublier le schéma théorique pour éviter toute critique, c'est s'exposer à des feedback implicites et aux cercles vicieux auxquels ils conduisent, les experts sur-optimistes essayant de compenser une direction sur-pessimiste.

Un certain compromis est donc nécessaire dans l'explicitation des probabilités : l'accord doit davantage se faire sur ce qui est possible ou non (ce qui est le premier pas d'une probabilisation), que sur la probabilité

sous forme de précautions oratoires dénotant la faible représentativité de l'image en question. Lorsqu'elle sera reprise par un autre agent, cette image sera réduite à sa seule composante simpliste.

De plus, le brassage de l'information tendra à se resumer à une circulation linéaire qui ira du bas de la pyramide hiérarchique vers le haut (expert - direction) et de l'amont vers l'aval (géologie -> production pour les compagnies pétrolières, mise au point - fabrication -> commercialisation pour les entreprises manufacturières). Ceci est particulièrement sensible lorsque l'organisation par grandes directions fonctionnelles est prédominante, car les dossiers sont alors traités successivement par les divers métiers au lieu de faire l'objet d'un examen global.

C'est ce double phénomène de réduction et de prégnance d'une image unique déterministe que décrit le Centre de gestion scientifique de l'École des mines de Paris sous le nom de « syndrome de l'image unique » (voir bibliographie n° 4).

Face à ce double constat de décal et de pauperisation de l'information, on peut proposer les deux postulats suivants :

- les messages simples sont mieux véhiculés (au sens où ils sont moins paupérisés et déformés par la communication) ;
- les messages proches du langage courant et immédiatement compréhensibles sont mieux véhiculés que les messages symboliques (assez curieusement le message oral passe souvent mieux que le message écrit car la fiabilité apparente de la mémoire écrite a un effet extrêmement démobilisateur

EN QUÊTE DE THEORIES



La prévision n'est aussi l'art hiérarchique de concilier les nombreux acteurs d'une décision par un ventile central théorique à exprimer ses raisons et leurs préférences.

perspective des divers possibles.

On peut constater que la direction et les experts n'ont pas la même attitude vis-à-vis de l'information utile, car ils ne jouent pas des rôles analogues dans la prise de décision :

- la direction demandera en général à l'expert d'utiliser un processus conduisant à des probabilités explicites, seule façon de fonder une approche analytique et seule façon également de s'assurer un contrôle a posteriori des experts ;

- à l'inverse, la direction refusera généralement de prendre parti explicitement sur ses propres probabilités subjectives soit par méfiance (le côté normatif de la théorie ne vaut que pour celui qui aide à la décision, le décideur lui-même reste libre de moduler la recommandation en fonction de considérations qui lui sont propres) soit par prudence (cas où des tiers risqueraient d'utiliser l'effet de « feed-back » au détriment de l'entreprise), soit par respect des opinions différentes s'exprimant au sein de l'organisation.

La séparation que nous suggérons pourrait sembler arbitraire et nous avons donc choisi de la représenter à travers un schéma qui compare, en termes simplifiés, l'information dite « d'expert » à celle dite « de management ».

Prenons l'exemple de l'évolution macro-économique de notre environnement (croissance économique, politique des gouvernements, modifications structurelles de l'environnement). L'information est diffuse, multiforme, complexe et existe des interdépendances plus ou moins marquées qui ne permettent pas de trancher entre ce qui est cause et ce qui est effet. Les phénomènes ne se limitent pas à la nature et à ses paramètres physiques, mais butent sur les autres acteurs, leurs anticipations, leurs comportements... (par exemple, lorsqu'il s'agit de prévoir pour une compagnie pétrolière, l'évolution du prix du pétrole). On peut alors se demander ce que devient la prévision et comment l'utiliser pratiquement pour la décision.

La formalisation analytique précise de tels phénomènes n'est plus possible.

D'une part, nous appartenons au système que nous observons et notre regard lui-même n'est pas neutre car notre prévision a un effet sur ce qui se produira. Aussi, ne pas probabiliser explicitement, c'est à la fois garder un certain recul, neutre et prudent, et maintenir la discrétion que nous impose l'environnement concurrentiel.

D'autre part, dans un système complexe, les réponses aux stimuli (variables d'entrée) sont non linéaires. Ainsi, en géologie, un phénomène aussi impor-

LA CONNAISSANCE DU MANAGEMENT

Données complexes et globales :

- marché mondial de l'énergie ;
- croissance occidentale ;
- conflit Iran-Irak.

L'approche est diffuse, il y a de nombreuses interfaces, il n'existe pas de spécialiste identifié et reconnu.

Le feed-back est souhaitable mais il est difficile (voire craint). Il ne sera qu'implicite.

La probabilisation sera implicite et la représentation passera forcément par des scénarios.

LA COMPÉTENCE TECHNIQUE D'EXPERT

Données spécifiques et détaillées :

- hypothèses géologiques ;
- coûts d'investissements ;
- délais.

L'approche est directe et aisée, chaque hypothèse peut être isolée, il y a des spécialistes identifiés et reconnus.

Le feed-back explicite est souhaité et il fait partie des fonctions déclarées de l'expert.

La probabilisation sera explicite même si on passe par les images des hypothèses dominantes et des « mini », « mode » et « maxi » associés.

tant que la faille de San Andreas en Californie ne se manifeste à la surface que par de légères déviations de bordure de trottoir.

De manière analogue en sociologie, le phénomène hippy apparu au début des années 1960 est une manifestation quasi marginale d'un mouvement mondial dont les composantes environnementalistes et écologistes sont sans doute une des raisons majeures de la crise pétrolière de 1973.

Les signaux faibles quantitatifs peuvent donc traduire des phénomènes quantitatifs majeurs et la méthodologie à mettre en œuvre devra en tenir compte.

LA METHODE DES SCENARIOS: UNE QUANTIFICATION IMPLICITE DU FUTUR

Les scénarios ont destinés à sensibiliser l'organisation aux problèmes d'incertitude et à faire progresser la compréhension de ces problèmes. En outre, ils ont destinés à assurer la diffusion du savoir au sein de l'entreprise sous la forme d'un langage commun. Ils favorisent ainsi le fonctionnement unitaire de l'entreprise pour la prise de décision. Ceci explique leurs caractéristiques résumées par leurs trois fonctions.

Améliorer la compréhension globale du complexe. Un scénario est fondé sur des déterminants identifiés (socio-culturels, politiques, technologiques...). C'est un concentré de causes et effets ou sont prises en compte le maximum d'interdépendances. Un scénario fournit donc une grille de lecture pertinente et concis aux faits et aux processus.

Fournir une vision multiforme de l'avenir. L'incertitude de l'avenir implique l'usage simultané de plusieurs scénarios balisant et résument l'ensemble des possibles. Cette vision favorise l'émergence d'un consensus sur ce que l'organisation admet comme « possible », mais un consensus ouvert, car les scénarios ne sont pas probabilisés explicitement.

Favoriser la communication interne. Les scénarios doivent être peu nombreux, deux à quatre pour ne pas diluer l'attention. Ils doivent être bien différenciés et donc archétypiques (rôle provocateur favorisant, outre la compréhension, la mémorisation). Enfin, pour devenir partie intégrante du langage, ils doivent porter un nom qui les identifie et qui cristallise leur fonction d'archétype.

C'est la raison pour laquelle nous évitons l'usage des lettres non significatives telles A, B, C... quand elles ne sont pas des initiales. Nous évitons aussi les termes « rose », « gris... » qui sous-entendent un jugement moral plutôt qu'une bonne compréhension.

UNE GRILLE DE LECTURE DU FUTUR

Les scénarios sont un moyen commode de rendre compte du raisonnement des incertitudes, de leurs inter-relations, de leurs ordres de grandeurs respectifs. Leur forme condensée, résumée par un titre parlant, en fait un outil pédagogique et un moyen de synergie dans l'organisation. De plus, l'absence de recours explicite aux probabilités (les probabilités sont toujours

sous-jacentes aux choix même des scénarios) laisse aux dirigeants la capacité de décider de façon autonome, c'est-à-dire d'affecter eux-mêmes, explicitement ou non telle ou telle vraisemblance à telle situation. L'absence de probabilisation a priori évitera donc les biotages stériles et non significatifs qui ne manqueraient pas d'apparaître sinon.

De nombreuses études baptisent de « scénarios » des visions auxquelles il manque une ou plusieurs des trois fonctions caractéristiques indiquées ci-dessus. C'est le cas des « projections » ou manquent la compréhension et la vision multiforme de l'avenir; c'est le cas aussi des variantes autour d'une vision probable, l'adjonction de variantes ne constitue en aucun cas une deuxième vision du monde.

Le point le plus fondamental nous semble le suivant: les scénarios ne constituent pas ex-ante une vision probabilisée du monde (même si ex-post les décisions prises impliquaient de la part de la direction générale une certaine probabilisation) mais une grille de lecture du monde: ce faisant, les scénarios font coopérer des agents sur ce qui leur est commun en évitant de les buter sur leurs différences minimales d'appréciation. Autrement dit, les scénarios constituent un macro-langage et participent à la constitution de la culture de l'entreprise.

UTILISATION PRATIQUE DES SCENARIOS

Outre l'avantage de fournir de la complexité du monde une vision multiforme simple, susceptible de

Les scénarios améliorent la compréhension des phénomènes complexes, fournissent plusieurs visions de l'avenir et favorisent la communication interne.

EN QUÊTE DE THEORIES

circuler à l'intérieur de l'organisation de façon permanente (donc sans délai) et sans risque de paupérisation ou de déformation, les scénarios macro-économiques de l'entreprise sont une matière première que peuvent utiliser:

- la direction générale pour évaluer les budgets d'une branche (c'est l'aspect stratégique global);
- les directions de branche pour évaluer leurs stratégies régionales (nouvelles implantations, consolidation des activités...);
- les directions de filiale pour leur stratégie propre (renégociation de contrats, recherche d'opportunités...);
- les responsables de projets importants pour tester la flexibilité et l'adaptabilité de leurs stratégies de développement.

Dans chacune des applications, le responsable du calcul économique choisira des jeux de probabilité pour illustrer la relation qui s'établit entre les hypothèses de la prévision en termes de probabilités subjectives et les conclusions budgétaires qui en découlent selon la théorie, de façon à aider la direction à mieux asseoir la cohérence de ses décisions avec ses propres prévisions.

L'agrégation des expertises

La méthode des scénarios peut également se substituer à la méthode strictement analytique d'évaluation des projets que nous avons décrite dans le premier article. En effet, comme nous l'indiquons déjà plus haut, lorsque de nombreuses expertises spécifiques sont requises pour un projet (par exemple le développement d'un champ pétrolier, même mineur,

nécessitera les informations de géologie, réservoir, ingénierie, logistique...), la compétence globale de l'organisation est le résultat d'un processus d'agrégation des compétences individuelles.

Dans un tel cas, ce qui limitera cette compétence globale sera, outre la faiblesse éventuelle des contributions des directions fonctionnelles (d'où la nécessité d'un renforcement de structures fonctionnelles (ad hoc, la recherche, etc.), la réduction opérée par le processus d'agrégation (d'où la nécessité d'un raccourcissement des chaînes de communication par la création de structures opérationnelles centrées autour de la notion de projet).

À titre d'exemple, on ne peut pas créer un «bon» réseau de canalisations (par exemple le réseau de collecte d'un champ pétrolier) en supposant d'abord que les coûts de conduite sont tous

identiques quel que soit leur diamètre de façon à déterminer les branchements, et en supposant ensuite que la topologie des branchements doit rester inchangée lorsqu'on prend en compte les coûts réels. Seule une approche globale peut conduire au «bon» réseau.

De la même manière, qu'une simplification est pas la somme de ses parties, un bon projet n'est pas la juxtaposition de quatre des meilleures expertises. L'approche consistant à optimiser une seule variable, toutes les autres demeurant constantes, puis à passer à la suivante, etc., est très rarement optimale dans le cas de systèmes complexes.

Une des façons de retrouver la seule différence de processus de recherche et de cheminement linéaire du dossier d'un expert à l'autre est de partir d'expertises séparées sur l'opportunité de découvrir et d'associer ensuite à

EXEMPLE DE CALCUL DE BUDGET D'EXPLORATION

Le calcul pratique d'un budget d'exploration a été tenté au sein du groupe Total. Pour le faire, on a procédé ainsi:

- évaluation de la rentabilité (bénéfice par dollar investi) sur la base des indications historiques de rentabilité de l'exploration-production;

- représentation et évaluation des risques diversifiées d'exploration et de production sur la base d'un projet fictif moyen;

- ventilation de la rentabilité de l'exploration-production entre exploration et production sur la base de l'évaluation du projet fictif moyen, en supposant que les rentabilités (tenant compte des risques spécifiques) étaient égales entre les deux secteurs;

- évaluation de la rentabilité moyenne des projets sur la base d'une quantification probabiliste des scénarios de prix de brut (quantification telle qu'on supposait que le prix de l'huile en terre pouvait baisser de moitié avec une chance sur deux);

- pour avoir le budget annuel, division par 4 du budget ainsi obtenu car nous supposons que les projets d'exploration durent en moyenne 4 ans.

EN QUÊTE DE THÉORIES

chacun de ces scénarios une étude déterministe globale. De plus, même lorsqu'on utilise une approche strictement analytique, par exemple la méthode de Monte-Carlo (2) qui permet d'associer entre elles un grand nombre de distributions de probabilité, chacune caractérisant un des risques spécifiques du projet, notre expérience nous a montré que la reformulation de la distribution de probabilités résultante sous forme de quelques scénarios rendait l'analyse économique beaucoup plus facile à suivre et permettait d'arriver rapidement à la discussion des points critiques du projet.

EXEMPLE PETROLIER: L'EVOLUTION DU MARCHÉ DU PETROLE

Il s'agit ici d'études datant du printemps-été 1985 sur le marché du pétrole et, plus largement, sur le marché de l'énergie du monde occidental.

Une équipe du groupe Total dirigée par R. Charretton, a développé en 1974 un modèle du marché de l'énergie occidentale (Maren), tenant compte des contraintes techniques, fiscales et environnementales, du secteur des producteurs d'énergies primaires (pétrole, gaz, charbon, électricité nucléaire et hydraulique), les transformateurs (raffineurs, transporteurs, centrales électriques à fuel, gaz et charbon) et les consommateurs de produits finis (carburants, chauffage, industries...).

De plus, d'année en année, la croissance économique et les bénéfices réalisés des divers acteurs permettent l'évolution du parc d'équipements des pro-

ducteurs transformateurs et consommateurs avec des délais variant d'un an (chauffage domestique) à dix ans (centrales atomiques).

Fournir une vision multiforme

Les paramètres exogènes sont la croissance économique des diverses régions du monde et les politiques gouvernementales de ces mêmes régions (taxations des productions, des consommations, contraintes environnementales, ententes de cartelisation au sein de l'OPEP).

Ces paramètres, ne sont pas complètement indépendants car, pour ne citer qu'un exemple, la croissance économique favorise la consommation énergétique et donc la cohésion de l'OPEP alors qu'à l'inverse la taxation ou la récession limitent les consommations et donc la cohésion des producteurs de l'OPEP.

Pour les études de 1985, nous avons retenu les hypothèses suivantes (à l'époque de l'étude, printemps et été 1985, le cartel OPEP fonctionnait depuis 5 ans déjà):

- croissance forte (2,8%) et cohésion du cartel;
- croissance faible (2,1%) et cohésion du cartel;
- éclatement du cartel et relance consécutive de la demande.

Favoriser la communication interne

Pour le premier scénario caractérisé par une expansion économique et le maintien de la cohésion de l'OPEP, nous avons retenu le nom «en avant».

Pour le deuxième scénario caractérisé par une croissance économique faible (se manifestant par une diminution réelle du pouvoir d'achat d'un individu à âge et statut donné) et le maintien de la cohésion des producteurs, nous avons retenu le nom «le repli» (on recule en ordre).

Enfin, pour le troisième scénario caractérisé par l'éclatement du cartel et l'impossibilité de trouver pendant un temps un consensus que ce soit au niveau de l'OPEP ou du monde occidental (dialogue Nord-Sud), nous avons retenu le nom «Sauve qui peut». Nous avons retenu pour le scénario une période de 3 ans, compromis entre la brièveté de la crise possible et la nécessité, pour un modèle simulant année par année de prendre une durée assez longue pour stabiliser les nouveaux ajustements; de plus, cette période de 3 ans conduisait précisément aux prochaines élections présidentielles américaines.

2. Méthode de simulation sur ordinateur. Une simulation consiste à tirer au sort des réalisations pour les diverses variables aléatoires et à combiner ces réalisations entre elles. On réalise généralement 500 ou 1000 de telles simulations pour avoir une bonne idée du résultat tant en moyenne qu'en variance.

LES HYPOTHESES RETENUES

	Disponibilité de pétrole brut	Croissance du pouvoir d'achat	Hypothèse de fiscalisation
«En avant» ou A	Contingentée	Positive + 0,4% par tête	Oui
«Le repli» ou B	Contingentée	Négative - 0,4% par tête	Oui
«Sauve qui peut» ou S	Non contingentée	Positive + 0,2% par tête	Oui

EN QUÊTE DE THEORIES

La mise au point des scénarios contribue à faire circuler de l'information dans l'entreprise.

Le tableau ci-avant résume le cadre d'hypothèses de nos scénarios. L'indicateur de croissance retenu est celui qui, au niveau national, assure le maintien du pouvoir d'achat par tête, à âge et statut social donné; il tient donc compte de la croissance de la population, de son vieillissement, et de son niveau moyen d'éducation (caractérisé par la proportion de la population ayant suivi des études supérieures).

Les hypothèses de nationalisation étaient :

- le maintien du niveau absolu des taxes en Europe et au Japon;
- son augmentation dans les PVD (suppressions des subventions) et en Amérique du Nord (taxes à l'importation et taxes à la consommation);
- l'assouplissement des lois environnementales en Amérique du Nord.

Le contingentement, c'est-à-dire l'hypothèse de cartellisation retenue, correspondait à des efforts des pays de l'OPEP hors de la péninsule arabe trois fois plus faibles (environ 15%) que ceux de la péninsule (Arabie Saoudite, Koweït, Qatar, Emirats) ou en 1985, la réduction de production était de 50% en moyenne. Notre hypothèse de non-contingentement était l'abandon des quotas hors de la péninsule et le seul respect des quotas dans la péninsule (l'Arabie et le Koweït remontaient donc leur production au niveau de leur quota officiel).

Les résultats obtenus

Les illustrations qui suivent donnent les prix et les quantités relatives aux trois scénarios, pour le

pétrole; des résultats semblables ont été obtenus pour les autres énergies (gaz, charbon, nucléaire), ainsi que pour les consommations sectorielles, région par région.

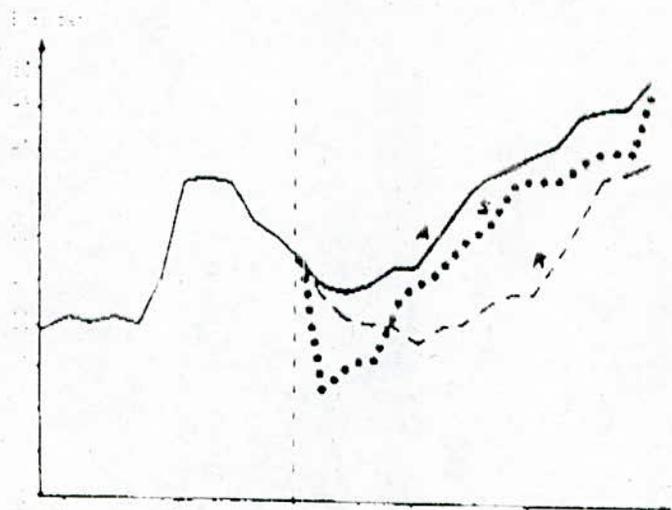
Le prix de l'Arabian Light est donné en dollars

1985 par baril. On remarque que la tendance 1985 écart à la baisse

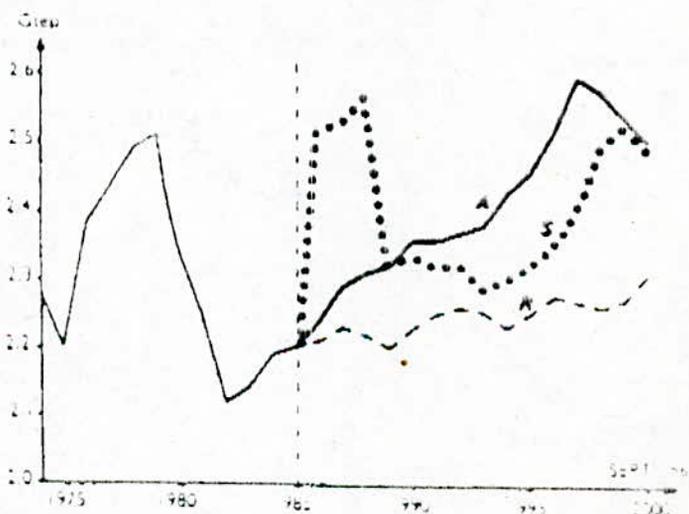
- soit modérée pour atteindre 24 \$ en 1987

- soit un peu plus prononcée pour atteindre 18 \$ en 1990.

PRIX DE LA VARIÉTÉ ARABIAN LIGHT DEPART GOLFE PERSIQUE



CONSOMMATION DE PETROLE DU MONDE OCCIDENTAL



EN QUETE DE THEORIES

- soit cruciale pour atteindre 12 \$ dès 1985.

On remarque aussi ensuite une tendance à une remontée régulière des prix.

Nous supposons en effet que la péninsule arabe qui adopterait une politique de « contrôle brutal » de ses ressources pétrolières et qu'elle accompagnerait la montée progressive de la demande pour moitié par l'augmentation de sa production et pour moitié par l'augmentation des prix qui limiterait la demande (voir schéma précédent).

L'augmentation des disponibilités de brut OPEP dans le scénario « sauve » qui peut conduire à une augmentation importante des consommations, qui dans notre modèle est instantanée, la réalité est bien sûr un peu moins brutale car il existe un certain nombre de rigidités dans le comportement du consommateur.

Toutes énergies confondues, on trouve

Cette dernière planche situe assez bien les hypothèses de croissance économique et énergétique. Le scénario A implique qu'on puisse retrouver les croissances de 1975-1979 ou 1982-1985. Les scénarios R et S sont nettement en deça et prennent en compte l'existence du verrou financier qui constitue l'endettement du tiers monde (1 000 milliards de dollars), le déficit commercial et courant des Etats-Unis, et les excédents allemands et japonais.

LE JEU COMME MOYEN DE COMMUNICATION

« Trouver » n'est rien. Le difficile est de « ajouter » ce qu'on trouve. Cette phrase de Paul Valéry (M. Teste) pourrait être paraphrasée par : faire une bonne prévision n'est rien, le

difficile est qu'elle devienne la prévision de toute une entreprise.

Parmi les méthodes pour réaliser cet apprentissage collectif, notre propre expérience, qui semble d'ailleurs rejoindre celle de A de Geus, directeur de la planification du groupe Shell, sont que l'enseignement formel est très inadapté car le processus didactique est long et peu efficace tout spécialement en ce domaine car, selon la réflexion de Pascal, on ne se convainc bien que par les raisons qu'on a trouvées soi-même.

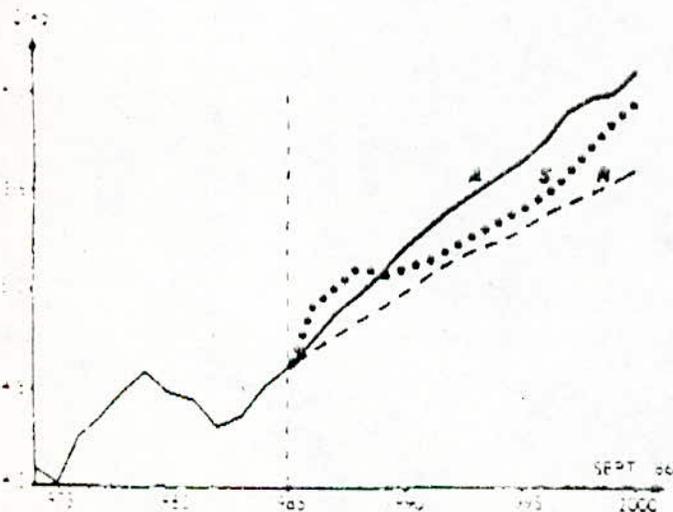
A l'inverse, le jeu est propre à faire découvrir par chacun ses propres arguments. Il nous est alors apparu qu'en complément de deux ou trois scénarios il était peut-être enrichissant d'introduire à titre de jeu dialectique, des scénarios « jusqu'au boutistes » du type « si tous les acteurs essayaient de maintenir le prix de 10 \$ par baril, ou 15 \$ par baril ou 20 \$ par baril aussi longtemps que possible, que se passerait-il ? ».

Nous avons choisi d'appeler « anti-scénarios » ces images cohérentes mais non vraisemblables.

Notre philosophie quant à leur intérêt et quant à leur utilisation n'est cependant pas définitivement faite: il nous semble que ces anti-scénarios sont un moyen commode de faire participer l'ensemble des cadres dirigeants à l'élaboration des scénarios de l'entreprise. En permettant de « jouer » avec l'environnement économique et énergétique, de mettre à jour les traits structurants et déterminants, de déceler les nœuds d'incertitude majeurs, les anti-scénarios concourent à l'élaboration d'une réflexion consensuelle.

Les « anti-scénarios » : des images cohérentes mais non vraisemblables qui stimulent la réflexion et favorisent le consensus.

CONSOMMATION D'ENERGIE PRIMAIRE
DU MONDE OCCIDENTAL



EN QUETE DE THEORIES

LE PREVISIONNISTE DANS L'ENTREPRISE

Face à l'expert, une direction générale, face à cette direction, une organisation nombreuse, une direction générale et entreprise face à l'incertain sont analogues à l'équipage de bateau où le sort de chacun, lorsque vient la tempête, est suspendu à la compétence de l'autre.

De cette communauté d'intérêts, de cette interdépendance des membres de l'entreprise, naît l'humilité, l'attention en train de participer au mieux, non seulement à l'analyse, mais aussi au dynamisme et au progrès de l'entreprise? Peut-on améliorer sa compétence? Peut-on améliorer son concours à l'œuvre commune? Quelle est la légitimité du prévisionniste dans l'entreprise?

À des questions, nous n'avons pas accepté de donner de réponse toute faite et, comme pour les anti-scénarios, nous en expérimentons encore de nouvelles; nous avons refusé les recettes et les conseils classiques:

- faites de la prospective;
- utilisez les «signaux faibles»;
- limitez-vous à une approche «floue»;

- ayez des stratégies évolutives

- la probabilité, c'est l'échec à coup sûr.

- soyez volontaristes

Au bon sens de ces conseils, nous avons opposé leur caractère partiel, incomplet, incohérent. Ce qui aurait été suffisamment légitime pour nos propres besoins personnels ne convenait plus des ors que l'entreprise nous confiait le rôle, plus modeste mais plus exigeant, d'aide à la décision.

À l'image de Descartes et de sa démarche fondée sur le doute méthodique, nous avons cherché les fondements d'une légitimité acceptable par l'entreprise pour en déduire les règles qui devaient fonder la prévision.

Ce long itinéraire nous aura permis de délimiter le rôle et les voies de la prévision dans l'entreprise. En particulier, il met un terme au vain débat entre naturalistes qualitatifs et modélisateurs quantitatifs.

De plus, chemin faisant, nous aurons retrouvé et approfondi les trois concepts fondamentaux de décision: d'intuition, de prévision. Nous aurons appris à les utiliser et, ainsi que le proposait Bourdieu, nous sommes mieux à

même de poser les risques.

C'est déjà ce que Shakespeare proposait, il y a presque 400 ans, lorsqu'il écrivait dans *Henry V* (2^e partie - Acte I - Scène 1) ces vers:

«We
know not what ventures
such dangerous seas
That have wrought our lives
Was to be done
And yet we entered
For the gain proposed
Dashed the hearts of us
Perilous» (2)

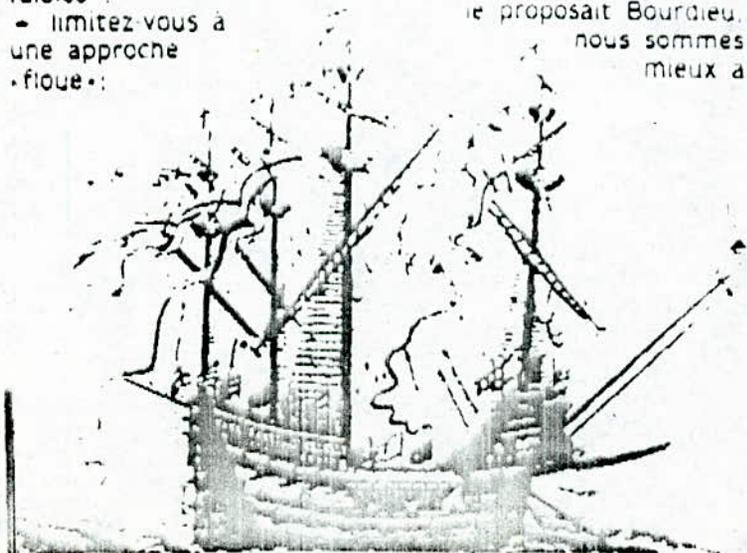
«Qui, plus que nous, n'ont
imagé la prévision quantifiée dans l'entreprise humaine pour nous proposer?»

3. Nous
Savons que nous avons
Aventuré nos vies dans
Dangereux mers
Que nous ne savions pas
Quelles étaient les chances
D'acquiescer à ce que nous
En contrepartie
Et pourtant, nous nous
Aventurâmes car le gain
Nous pouvions espérer
L'emporta sur la prévision
Compte du péril, mais sans
Que nous redoutions

BIBLIOGRAPHIE

1. H. Charretton et J. M. Bourdieu - La décision économique P.U.F. Que sais-je? 2285 novembre 1985
2. F. Engel, O. Fixari et F. Pavez - L'angoisse et la méthode - Le cas des approvisionnements français en gaz CCF Ecole de mines de Paris janvier 1984
3. A.P. de Geus - Stratégie, planification et innovation. Les journées de l'entreprise 21/22 novembre 1986 port El Kantadou, Soussa
4. A. Hachuel et J.C. Mordant - Théorie de la décision et pratiques organisationnelles. Le cas des investissements pétroliers. Sciences de Gestion n° 4, janvier 1984
5. P. WACK - Les scénarios de l'incertitude Harvard Expansion n° 4 septembre 1986

«Et pourtant nous nous
aventurons, car le gain
que nous pouvons espérer
l'emporte sur la prévision
compte du péril
mais sans que nous
redoutions»



sins only when there is no significant competition in a play, or when the average field size is large.

Competition causes companies to take greater risks in order to remain a player. This competition eventually drives both the reserve size and the success rate to the economic limit of the low cost players and drives the high cost players out of the play.

In mature basins, large companies can target large fields successfully by removing their competition. This can be done by either purchasing large acreage positions or by developing and applying a significant technological advantage. It can also be done by reducing exploration costs below the competition.

Unfortunately, most large land acquisitions are marginally economic at best, and significant technological advances are rare and hard to keep in house.

This suggests that a major

company looking for large fields in the established plays in North America needs to be willing and financially capable of finding small fields. There are no plays consisting of only large fields.

Successful exploration

The successful exploration organizations in the future will be those that can design their exploration programs considering the average field sizes in North American basins.

To design an exploration program, companies should select plays with field size distributions that meet their needs. Smaller exploration organizations should determine whether their plays will be economic with established average field sizes.

Large companies can in addition focus on plays that are producing some large discoveries. Such plays exist in the Gulf Coast, Oklahoma, the Rocky Mountains, and the Alberta basin.

The major companies, however, will have to lower their exploration costs to remain competitive and drill enough wells to have significant exposure to large fields. In North America, the company that drills the most wells economically has the best chance of finding large fields.

Summary

Understanding the field size distribution of a play can be useful in determining the economics of a play over time, and the potential for discovering large fields.

It may not be possible to design exploration programs in domestic basins that find only large fields.

Companies that target only large fields in mature basins without having strong technological advantages over their competition will eventually underperform their competition. The low cost explorer who can economically discover small fields will eventually discover large fields.

The author



Wilson

Dan L. Wilson is the senior geologist for ARCO Oil & Gas Co. in Houston. His background includes substantial exploration planning and evaluation experience. He has developed and helped implement exploration full cycle economic analysis methods while at ARCO. Before moving to Houston he served ARCO as principal staff geologist in Dallas and as a field and area geologist in Denver and Midland. He received an MS in geology from Western Washington University in 1976.

Oregon leasing returns; more Mist drilling set

Interest in Oregon is focused on two oil and gas lease auctions involving acreage in Columbia and Clatsop counties.

Meanwhile, more drilling is scheduled in Oregon's Mist gas field area on behalf of Nahama & Weagant Energy Co. (N&W), Bakersfield, Calif. N&W is the leaseholder in Oregon's Mist gas field on a farmout from ARCO Oil & Gas Co.

Oregon Natural Gas Development Co. (ONGD), a subsidiary of Northwest Natural Gas Co. and a partner with N&W at Mist field, has applied to the state for five new permits to drill at Mist on behalf of N&W.

Leasing returns

The Columbia County auction of leases on 120 tracts covering 46,068 acres was the first in the county since 1988.

The auction drew three bids on behalf of N&W at the minimum bonus bid of \$2,500/acre for 676.76 acres in three

tracts in the area in which the driller has its ARCO farmout.

The Oregon Division of State Lands will offer leases in Salem May 6 on 897 acres in Clatsop County. N&W had drilled a dry hole in this area several years ago, and the company now may have indications of better prospects for producing gas there.

The Bakersfield company was a leading participant in earlier Oregon auctions during the 1980s and generally was high bidder. The company no longer holds any leases taken in those years.

N&W was successful in its initial drilling at Mist field late in 1990, but it has yet to spud in its first well in 1991. It plans to drill at least 10 holes this year under its agreement with ARCO.

There is also a possibility of a third auction later in the year, this one at Olympia, Wash.

The Washington Department of Natural Resources last August invited lease applications and said an auction

would be held in 1991 if warranted.

The Washington Lands Division disclosed that until now interest has been small but sufficiently strong to consider a sealed bid auction. A decision is expected in a few weeks.

Fees, fines possible

The Oregon Department of Geology and Minerals (Dogami) has been slow to present the state legislature with a proposed bill providing for fines for violating reclamation laws.

The fines of \$200/day to \$50,000/day would be levied for violation "of certain provisions (of the law) relating to reclamation of mining lands, mineral exploration, conservation of gas and oil, and geothermal resources."

Dogami also plans to seek legislation requiring nonrefundable fees, not to exceed \$250, for each application for a permit.

The legislation would require the permittees to pay a

nonrefundable fee not to exceed \$500/year on the anniversary of the issuance date of the permit. There will only be one extension of the permit.

Geothermal plans

California Energy Co. (CEC), San Francisco, a leader in geothermal exploration in Oregon the past several years, has run into one more environmental roadblock.

This one involves drilling efforts in the Newberry Crater area of Oregon.

Drilling will be delayed by a new demand for an environmental impact statement to be prepared this time by the U.S. Forest Service. Earlier there had been an environmental assessment, which is not as extensive as the required EIS, according to a U.S. Forest Service source.

Of more importance, perhaps, to future drilling activity was the announcement a few weeks ago that a "tentative agreement" had been agreed

FIG. 11

Applying expected monetary value concept: How many prospects is enough?

John R. Schuyler
Consultant
Aurora, Colo.

Experimental results were obtained from several computer models developed as teaching aids for a short course.

The results of these simulation experiments, involving exploration and production purchase decisions, have important implications for petroleum investment decisions and planning activities.

Decision analysis is a discipline which borrows techniques from statistics and systems analysis. Its purpose is to provide a meaningful way to incorporate judgments about risks and uncertainties into the decision process. The characteristic feature of decision analysis is that the results are presented to the decision maker in the form of probability distributions. Risk analysis, a component of decision analysis, is the process of determining a probability distribution for a parameter of interest. The cornerstone of these methods is the centuries-old concept of expected value.

Expected value (EV) for a possible decision parameter is the probability-weighted average of all possible outcomes. When the outcomes are expressed in monetary terms, the result is usually called the Expected Monetary Value (EMV). EMV can be interpreted as being the average (per decision) monetary value obtained over a long series of like decisions. EMV also

provides the best forecast, an estimate of a future result to be obtained.

A decision rule is a procedure for selecting from among alternatives. If the objective is to maximize monetary gain, then one should consistently apply the following decision rule: Choose the alternative having the highest EMV.

Obviously, every prospect is unique. However, with all other considerations being equal, consistently using this decision rule will maximize expected net monetary wealth over the longer term.

The problem. Dr. Paul D. Newendorp has taught "Decision Analysis for Petroleum Exploration," a short course based on his book (1975) with the same title, for over 20 years. Frequently, he has been asked about the number of prospects necessary to ensure the benefits predicted by EMV theory. Dr. Newendorp suggested that a meaningful answer to this question would make an interesting demonstration and paper.

The expectation was that a high degree of confidence could be obtained with a few tens to perhaps a hundred decisions. The author set out to devise a computer demonstration to provide a more specific answer. The orientation is toward exploration drilling. The question was formulated as, "How many prospects are necessary to ensure a ___% confidence of financial results of at least ___% of the EMV prediction?"

Fig. 1 illustrates the problem being

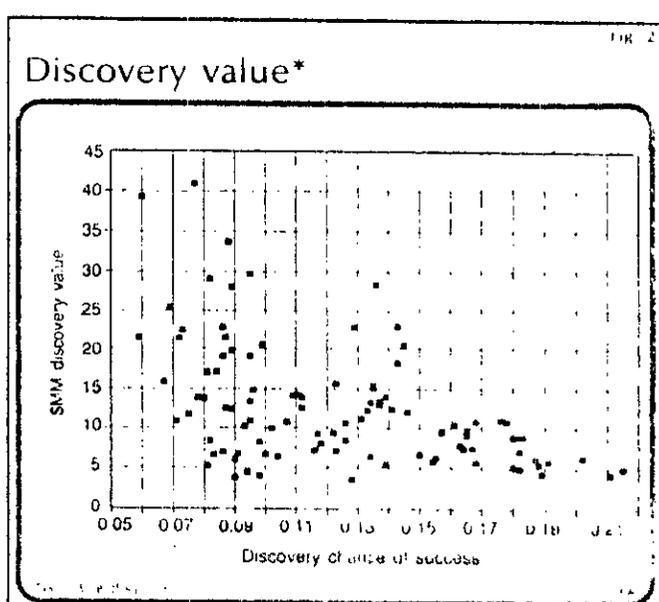
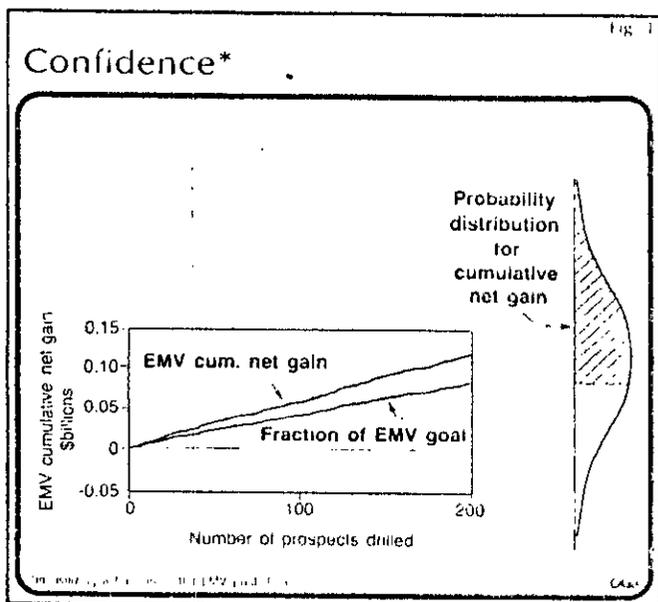
addressed. The difference between the EMV projection and the fraction of EMV chosen as the goal increases in proportion to n , the number of prospects drilled. The width of the probability distribution, measured by the standard deviation statistic, increases approximately as \sqrt{n} . Standard deviation measures the dispersion of sample values about the mean or average. The confidence probability, the shaded area divided by the total area under the curve, grows with increasing n . The question is to find n prospects where the confidence exceeds the target level.

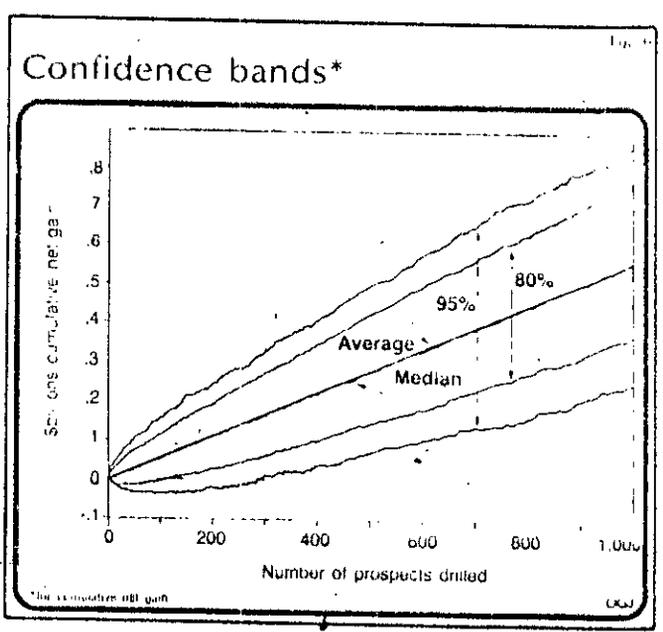
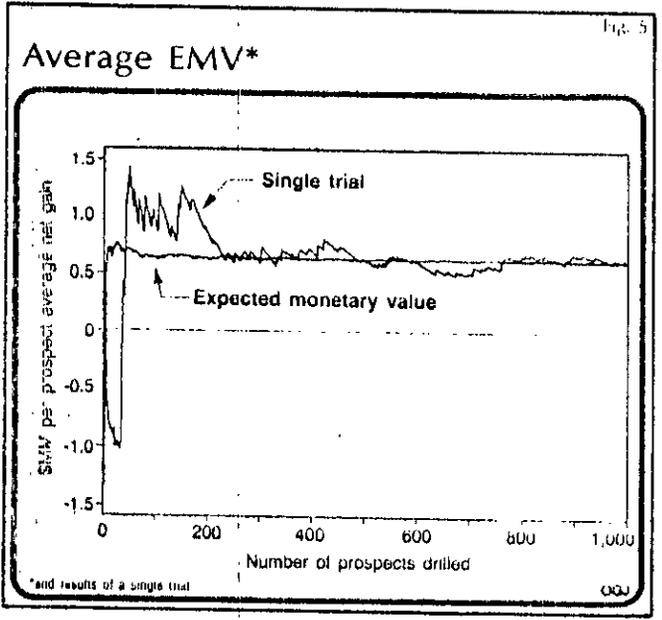
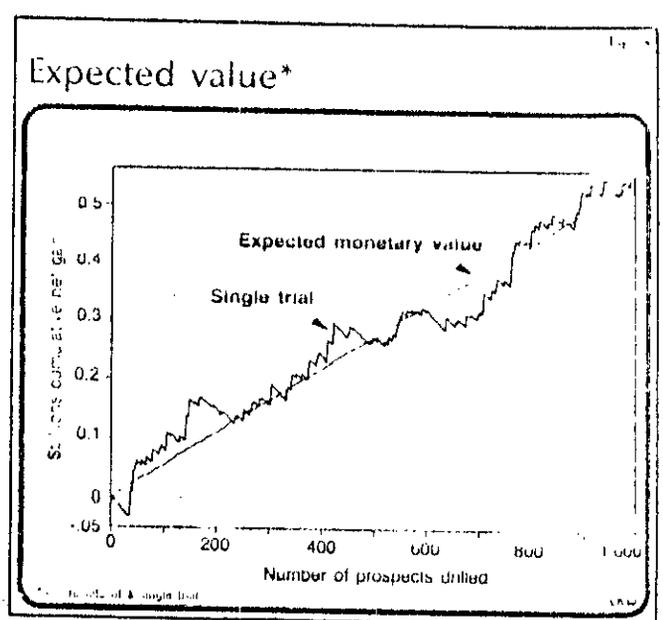
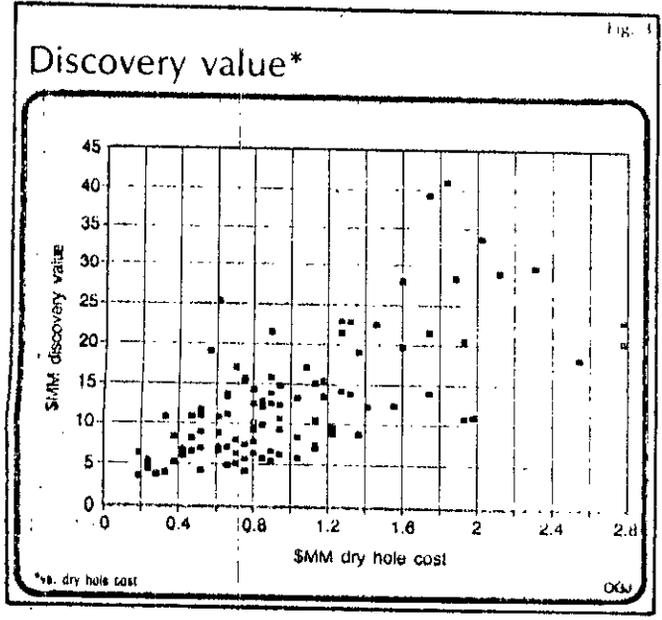
The model and assumptions. A simple prospect model is used for the exploration simulation. Each prospect is characterized by discovery value, dry hole cost, and discovery chance of success.

A random number function is used to "test" or "drill" the prospect. This function provides a random value between 0 and 1. If this sample number is greater than the chance of success, then the test is declared a dry hole and the dry hole cost is subtracted from the cumulative net monetary gain. Otherwise the test is a discovery and the discovery value is added.

This simulation can easily be duplicated using a spreadsheet program, a programming language, or other type of analysis tool. The only difficulty is accumulating the data and managing thousands of trials.

Representative prospects. The author developed a file of 100 represen-





tative prospects, all with positive EMVs, for use in the experiments. This provides a more realistic model than if all prospects are assumed identical. Table 1 profiles the example prospects.

The original values were adjusted, somewhat, so that an average Dry Hole Cost value is \$1 million. This should be regarded as including the dry test well costs, lease costs, geologic and geophysical costs, and an allocation of overhead. Note that scale is immaterial to our subject question when we have a neutral attitude about risk; it is the ratio of discovery value to test well cost that is that affects the confidence function. With the data used, the average discovery could be:

- 1.4 million bbl/year net initial production, 30%/year decline yielding 3.8 million BOE net ultimate recovery;

- \$10 million field development cost (including the discovery well);
- Internal rate of return (IRR) after-tax of 25%;
- Expected value discounting at 10.5% (assumed cost of capital) after-tax of \$0.56 million;
- Finding costs of \$4.75/bbl; and
- Discovery payout in 1.2 years.

It will be important for one to be able to compare these base assumptions to the types and economics of prospects available to one's own company. Later, a sensitivity diagram is presented to show the impacts of different assumptions.

Field sizes, represented by discovery net present values (discovery values), typically were assumed to follow a lognormal distribution. Fig. 2 shows potential discovery values vs. discovery chances of success. Fig. 3 shows discovery values vs. test well costs.

Remember, the test well costs includes all costs that would be attributed to a dry hole.

Simulation technique. Monte Carlo simulation, so-named because of the gambling analogy, is a straightforward technique used to analyze real world scenarios when certain parameters are represented by probability distributions. In this case, discovery value, dry hole cost, and chance of success are the random variables characterized by the prospect life. The simulation method allows solving complex problems involving risk and uncertainty in a simple and elegant way.

During typical simulation runs for this article, results for 1,000 trial exploration programs were generated in parallel. A well is drilled in each program, and the results are tallied. This repeats until a time or other predetermined limit is reached. Each

Fig. 4

Sensitivity to changes*

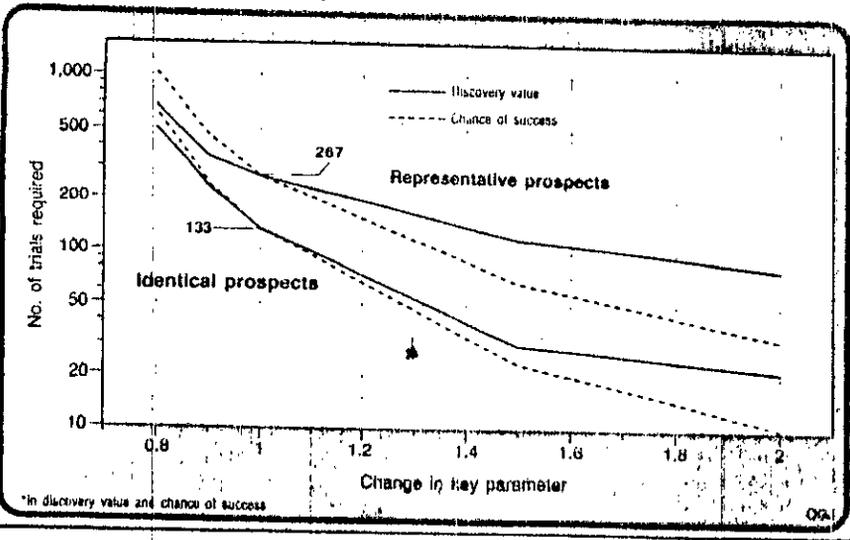


Fig. 7

The author...



Schuyler

John R. Schuyler, PE, is a consultant and educator in the area of business modeling and decision tools. His previous experience includes employment as VP/petroleum evaluation engineer for Security Pacific National Bank, planning and evaluation analyst and manager-business systems for Cities Service Co., senior management consultant with a national CPA firm, and VP-administration for a retail/service company. He received BS and MS degrees from Colorado School of Mines and an MBA from University of Colorado.

Profile of example prospects

Table 1

	Range		Average
	Low	High	
Discovery value	\$3,627	40,980	12,776 MM
Dry hole cost	\$0.188	2.779	1.000 MM
Discovery chance of success	\$0.059	0.215	0.113 MM
Expected monetary value	\$0.081	2.241	0.557 MM
EMV/dry hole cost	0.115	3.290	0.557

Number of prospects to achieve a fraction of expected monetary value with a certain confidence level

Table 2

Confidence	Target goal, fraction of EMV or better						
	0.500	0.600	0.700	0.800	0.900	0.950	0.975
0.500	10	13	16	23	37	69	11
0.600	32	51	78	163	472	1,552	4,330
0.700	92	143	267	487	1,949	6,529	30,110
0.800	92	331	606	1,353	4,688	20,662	
0.900	221	751	1,327	2,950	10,795		
0.950	752	1,221	2,197	4,889	19,675		
0.975	1,063	1,752	3,114	6,771	26,963		

Target goals without values were not realized after 50,000 prospect tests.

exploration program and each test use successive prospects from the inventory file. After the initial 100 prospects are exhausted, they are recycled.

Fig. 4 shows the cumulative expected value and results of a single trial. The cumulative net gain happened to stay close to the EMV projection line. The EMV curve is lumpy because the prospects each have different parameters. Note the "sawtooth" characteristics: The cumulative net gain trends downward for most tests, then jumps up when a discovery is made.

In the long run, the random errors are diluted and the per prospect average will converge to the average expected value. This is shown in Fig. 5.

Some surprising results. Now to answer the question of this article: How many prospects are enough? 1,000 parallel trials were run, and the results sorted and aggregated. The result for the average, EMV, and two confidence bands are shown in Fig. 6.

One may be surprised at the features of the confidence bands. First, the standard deviation, measuring the dispersion of possible outcomes, increases with the number of prospects drilled. Second, these results are approximately symmetrical about the expected EMV line. And third, most important, the number of prospects needed to achieve a reasonable confidence is very large. For example,

about 100 prospects need to be drilled to be 90% confident of break-even or better. And about 300 prospects are needed for a 97.5% or better confidence of break-even.

Table 2 shows this same data in dimensions of confidence and EMV goal fraction. For example, about 267 prospects must be drilled to be 70% confident of achieving 70% of the EMV projection or better.

Separate tests showed that additional details to characterize the prospects, such as several possible reserve sizes, have only a moderate increasing effect on the variance. However, if the portfolio is sufficiently detailed to include the interdependencies of plays, the effect is to increase the variances in the results presented here, i.e., even more prospects are needed.

The results are highly sensitive to the prospect parameters. McCray (1968) reported break-even with 95% confidence after only 20 test wells using a .60 chance of success and a Discovery Value/Dry Hole Cost ratio = 2.55.

Fig. 7 shows the sensitivity of the model and changes in parameters (upper curves). The base case was 70% of EMV, which required 267 test wells on average. For example, doubling the Discovery Value (halving the Dry Hole Cost) has the same effect: reduces this to about 81 required test wells. Similarly, doubling the success rate reduces this to about 33 wells.

One may be tempted to think his prospects are better than those in the base portfolio. He can do a reality check by comparing with the economics the author used. On average, the representative prospects shown depict an exploration program with about a 25% after-tax rate of return.

The lower part of curves in Fig. 7 show the results obtained if only a few prospects are used in the model.

EXPLORATION

Modeling an exploration program: Insensitivity to prospect ranking criteria

John R. Schuyler
Consultant
Aurora, Colo.

Monte Carlo simulation techniques have long been used in the petroleum industry.

The applications reported in the literature usually involve a single decision, such as bonus bidding on offshore tracts.

This article presents the results of experimenting with several alternate decision policies. The author found that the end value differences between decision criteria were not as great as he had expected and hoped for. This is the important point in this article and has surprised the persons who have seen the experiment results. The simulation model is also shown to be an excellent vehicle for planning an exploration program.

Decision rules. A decision rule based on EMV was introduced in the first article (OGJ, Dec. 11, p. 86). It can be readily shown that Present Value (PV) calculated at the company's marginal cost of capital provides the best measure of value: EMV is simply the probability-weighted average of PVs for all possible outcomes. All prospects with a positive EMV are considered economic. For a company with unlimited capital, the most attractive prospect is the one with the highest EMV.

For real world companies, capital constraints usually limit the number of prospects and the participation interests. The decision rule is modified, then, to rank the drilling opportunities by a *risk-weighted Profitability Index*: Risk-weighted PI = EMV / Expected Costs.

Expected Costs are calculated in the same manner as EMV. There is variation in usage, but the author believes the costs for this purpose should include only those which would be experienced during the planning period, i.e., the period corresponding to the capital constraint. Other variations include using only dry hole costs or using the risked field development costs. As the results that follow show, the choice of denominator in the risk-weighted PI calculation isn't particularly critical.

The decision model. The experiment objective was to determine the decision strategy which maximized the net worth of the company at the end of the planning horizon. The author used three 1 year planning cycles in generating the results shown.

Seven scenarios with a different decision criterion were used to rank prospects at the start of each year:

1. Risk-weighted PI, discounting at 10.5% (the after-tax cost of capital)
2. EMV, discounting at 10.5%/year
3. LMV, discounting at 20%/year
4. EMV, discounting at 6%/year

(the after-tax cost of bank financing)

5. No ranking
6. Risk-weighted finding cost = Expected reserves/testwell cost
7. Risk-weighted payout (using a ceiling of 20 years)

The prospects are drilled until the exploration budget is exhausted. He assumes that capital funding to develop newly discovered fields will be secured separately. Participation in a prospect is limited to the greater of \$200,000 or 1% of the exploration budget. Uneconomic prospects are not drilled, even if budget money remains.

The company model. Because there are many variables and interrelationships, the author felt that a simple single-point-in-time model would be inadequate. Therefore he chose to build a full simulation model of a hypothetical exploration and production company. In this way, no important details are distorted or obscured by gross simplifications.

Simulation is generally the most practical way to incorporate judgments about risk and uncertainty into a decision model (decision tree analysis rapidly becomes unworkable beyond about five random variables). The main output is a probability distribution for the value measure. The *expected value* (EV) is the mean (average) of this distribution. It is very important to realize that the result calculated using the expected value for each input parameter will usually give you a different result. That is, the expected value calculated using random variable probability distributions is different from the value calculated using the expected value of each random variable.

A portfolio of 100 representative prospects is used for the model. Table 1 summarizes the range of eight input data items and four desirability measures for each prospect. The test well costs include lease, geologic, and geophysical costs. Many of these prospects are uneconomic and never drilled. The

Table 1

Example prospects portfolio

	RANGE		AVERAGE	
	LOW	HIGH		
Chance of success	0.107	0.248	.170	
Testwell cost	\$0.396	6.672	1.763	MM
Development costs	\$0.656	145.858	14.535	MM
Initial production	0.150	0.491	0.266	MMboe/yr
Annual decline	0.049	0.454	0.169	/yr
Production delay	0	3	1.250	yrs
Fixed costs	\$0.046	1.813	0.552	MM
Variable cost fraction	0.101	0.198	0.149	
Payout	0.5	never	3.1*	yrs
PV at 10.5%/year	\$-83.243	16.208	0.806	MM
Expected monetary value	\$-16.678	2.021	-1.3051	MM
Profitability index	-0.637	3.272	0.178	

*For those which do. †Because many prospects are uneconomic

data, except for test results, are recycled every 100 prospects. Whether a prospect will, if drilled, result in a discovery is determined independently for each new series of 100 prospects.

The core model is fairly involved, with about 100 variables representing the properties and business economics. Interested persons may contact the author for a list of data items and additional assumptions.

Simple depletion and tax calculations are included. The base \$18 oil price is escalated 1%/year in current dollars. Base inflation escalates 5%/year.

Oil prices and inflation are modeled as having large volatility. The company's estimate of initial production, decline rate, and chance of success are also subject to random errors. Thus, prospects that look good from the economic analysis can turn out poorly even if the test well results in a field discovery.

A simulation pass starts the company with existing production, bank debt, and a prospect inventory. Prices and inflation are projected, although only current values are available for determining the bank loan borrowing base and prospect economics.

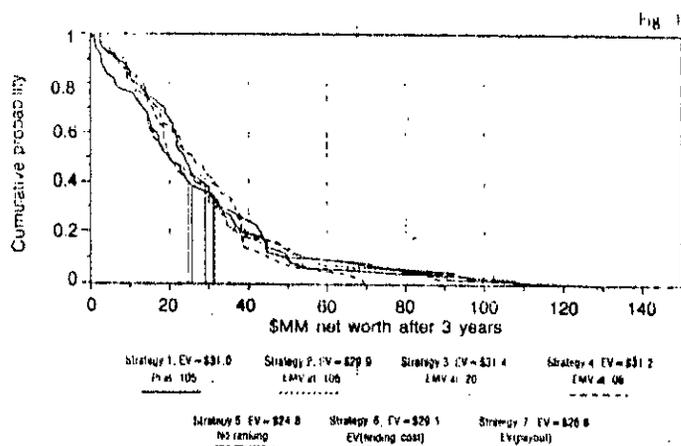
An exploration drilling budget is calculated based upon such factors as available credit, development drilling requirements, and net cash from production operations. This is assumed to be an aggressive company, and all available funds are targeted for exploration.

New prospects are added to the inventory each year so that test well costs are about three times the current budget. The prospects are then ranked according to the current decision criteria before simulated drilling begins. Drilling advances until either the exploration budget is exhausted or until no economic prospects remain. Discoveries are added to existing reserves. Cash flow, debt amortization, overhead, taxes, etc., are calculated to determine the company's financial position at the end of the year. The process is repeated for a preset number of years, and then for the next strategy and trial.

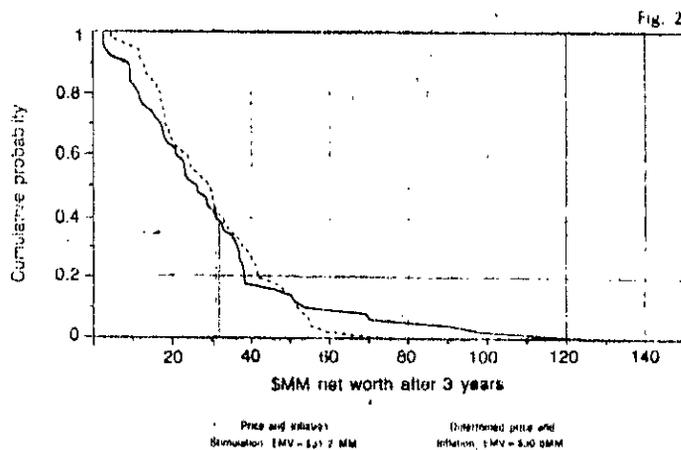
Experiment results. Fig. 1 shows the results of the seven alternate decision strategies. These are cumulative frequency-type curves showing the probability that the result is greater than or equal to the x-axis value. Ranking the strategies requires close examination and is best done by comparing the average results. The strategy averages approximate the expected value for the company's ending net worth. The plots of net worth as a function of cumulative probability are

Exploration program simulation*

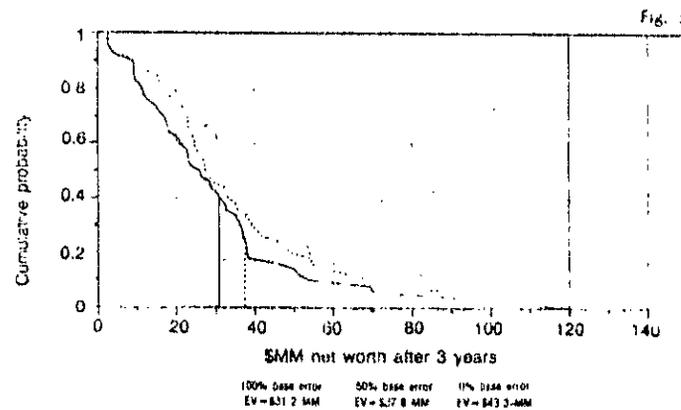
Base case for 7 decision strategies



Base case vs. determined price and inflation case



Base case with 100%, 50%, and 0% base error in estimates of IP, D, and COS



more tightly grouped than I had expected.

The blind ranking, Strategy 5, had the worst results, as expected. A no-exploration strategy (not shown) has an ending net worth of \$19.8 MM. So even random prospect selection resulted in a 25% increase (\$19.8-24.8 MM) to net worth over the 3 years. Strategies 6 and 7, ranking by risk-weighted finding costs and payouts, performed only slightly better.

The best results were obtained with EMV-based decision rules. It is surprising was that there are no clear winners. In fact, the theoretical optimum Strategy 1 came in third. Strategy 3, EMV computed using a 20% discount rate, actually showed the best results, a 58% increase (\$19.8-31.4) over no drilling. PI and EMV's at 10.5% and 6%, Strategies 1, 2, and 4 also performed well. Because the program is so computationally intensive, an overnight run was needed to get the 50 trials represented by the data shown. The differences are not inconsistent with the standard deviations of the results. With additional trials, PI should emerge with a slight advantage.

In hindsight, it is obvious that good ranking criteria *should* produce similar results. This is because the good prospects will always be drilled, and the inferior ones will always be dropped. Only the marginal prospects will be selected differently by alternate strategies. The author compared ranking sequences for alternate criteria and found that the prospects traded ranking places perhaps one to three positions. Typically, 48 of the top 50 prospects are the same.

Another feature of Fig. 1 is the variability of the results. Fig. 2 shows that a large portion of the variance is due to random sampling for price and inflation. The greater remaining portion of the variance is due to the differences between prospects and the high-risk nature of exploration.

Fig. 3 shows the effects of reducing the base error by better risk analysis. The prospect parameters being estimated are discovery chance of success, initial production, and decline rate. The 100% is the base case shown also in Figs. 1 and 2. The 0% case shows the results to be achieved if initial production, decline, and chance of success could be forecast perfectly. A "perfect" estimate of the chance of success still does not tell whether there is oil; instead, this would be an estimate supported by the evidence from drilling many similar prospects in the area. Reducing the errors to zero is obviously unattainable. But the midway, 50%, improvement may be possible by using deci-

sion analysis techniques to enhance professional judgment. The improved information, with 1/2 the original expected error, would be worth \$6.4 (\$37.0-31.2 million) million to the company.

Discussion. During his career, the author has strongly advocated PI and EMV for decision-making. The simulation model shows that the choices are not critical as to (1) whether to use PI or EMV and (2) which discount rate to use. The performance differences are slight, but for optimizing net monetary gain, the best choices are:

- For a single decision or an unlimited capital condition, choose the alternative(s) with the highest expected monetary value (EMV).

- When building an investment portfolio under a capital constraint, rank alternatives using risk-weighted profitability index (EMV / expected value of costs).

In addition to acquiring good prospects, the best performance improvement can be made by improving the

estimates used in the drilling evaluation. The value of additional better information can be estimated so that you can objectively decide about acquiring additional seismic, paying bottom hole contributions, etc.

Demonstration of the company simulation model was perhaps more important than the experimental results. A model of your company, its prospects, and your decision process is a very powerful management tool.

Acknowledgments

Dr. Paul D. Newendorp provided the idea for this and the first article in this series. I greatly appreciate the comments, suggestions, and encouragement of Dr. Newendorp and Dr. John A. Pederson. The full company simulation model builds upon work I did while working for Security Pacific National Bank. I appreciated the sponsorship of Jeffrey P. Anderson and Orhan M. Salman in allowing me to explore how decision analysis can be applied to mezzanine financing.

The U.S. oil and gas industry in review: 1988

Jeffrey Howard
Kirkpatrick Energy Associates
Denver

The second full year of industry operations following the oil price crash of early 1986 was completed in 1988. As with any other major market correction, volatility and uncertainty continued to govern the marketplace. However, by year-end, stability appeared to be returning as OPEC members vowed to abide by established

production limits and producers were encouraged by indications that the U.S. natural gas surplus had nearly dissipated. An analysis of the 1986-88 operating results for 211 publicly-traded U.S. oil and gas companies revealed the following:

1) Despite lower average oil prices in 1988, capital spending increased considerably over 1987, attributable to both higher levels of drilling and opportunistic reserve acquisitions.

2) The majors derived a much

Worldwide E&P capital spending - 1988

Table 1

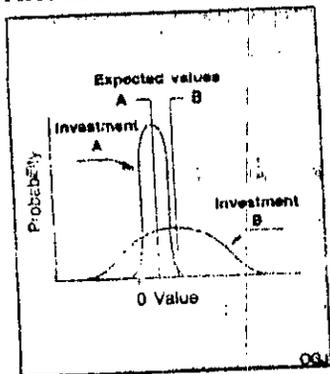
	1988 capital spending (\$ million)	Percentage change from 1987	1988 plowback percentage
Majors:			
Atlantic Richfield	\$2,800	201%	103%
Chevron	4,331	169%	131%
Amoco	6,792	157%	158%
Independents:			
Constock Resources	426	398%	757%
Mesa Limited Partnership	811	1385%	356%
Soniat Inc.	163	604%	181%
American Petroleum	662	408%	830%
Pacific Enterprises	685	382%	431%
Sanson Energy Company LP	25	333%	247%
PacifiCorp (NLRCO)	295	325%	601%
Burlington Resources	388	310%	134%
Fresidio Oil Company	124	269%	675%
Seagull Energy	31	266%	380%

Note: Plowback Percentage is defined as upstream capital spending divided by cash flow from oil and gas producing activities.

Decision rules using the EMV concept and attitude toward risk: An improved approach

Fig 1

Alternatives



John R. Schuyler
Consultant
Aurora, Colo.

The simulation models described in the previous three papers illustrate ways to analyze transaction and strategy decisions. In all cases the stated objective has been to maximize the expected end net worth of the company.

It is common practice in the petroleum industry to risk-adjust reserve values for categories other than Proved Developed Producing. Usually,

the intent is to compensate for downside exposure (rather than the effect of uncertainty in competitive bidding). Reserve category adjustments introduce a risk averse bias into the analysis. Downside exposure is reduced at a cost of forgoing a portion of expected profits. This paper shows how to calculate the cost of a risk-averse attitude. It also presents a more logical and consistent way to incorporate your attitude toward risk into the decision process.

Decision rule, risk attitude
A decision rule is a procedure for selecting from among decision alternatives. Usually, the rule is to select the alternative which provides the highest value measure.

Value is most often measured in dollars, but this need not be the case. However, a straight dollar measure would be used by someone who is solely trying to maximize a dollar value position. Such a person is *risk-neutral* about money. To a risk-neutral de-

142

Demonstrating alternative decision rules

```

VALMEAS.BAS      Demonstrating Alternative Decision Rules      06-21-1989  17:54
                                                Seed:  -180

Run parameters:
No. of investment opportunities:      50
Average first year net cashflow:$    10.000 MM
Standard deviation:$                  5.000 MM
Average annual cashflow decline:     0.100 (for 5 year lives)
Standard deviation:                   0.025
Mean Deviation of value estimate:    0.200 times the value mean

Annual Cost of Capital:               0.100 /yr
Alternate PV Factor2:                 0.750
Annual discount Rate 2:               0.060 /yr
Cashflow value Factor3:               1.000
Cashflow value years:                 2

Strategy 0: Take any investment offered
Strategy 1: Invest if PV @ .100 > 0.
Strategy 2: Invest if 0.750 times PV @ .060 > 0.
Strategy 3: Invest if cost is less than value determined by summing
            first 3 years and multiplying by 1.000

Part I. Comparing value measures:

Below are the net average per investment cash position after 5 years if all
investments are acquired at the full value indicated by the corresponding
value measure.

A positive value results when the true values are, on average, UNDERSTATED:

Strategy   Avg Future Net Cash (FV)   Present Value (PV)   Error Fraction
-----
1          -0.769                        5.726                0.176
2           9.224                        5.656                0.174
3           9.110

Average true value of investments = 32.532

Part II. Comparing strategies for unlimited capital

Strategy 0   Strategy 1   Strategy 2   Strategy 3
-----
Number of investments:      50           33           24           23
Total investments:         1404.5       785.9       538.0       506.0
Ending net cash position:   357.8       425.9       353.5       340.1
PV @ CoC of ending net cash: 222.2       264.4       19.5       211.2
Average PV per investment:  4.443       8.013       9.145       9.183

Part III. Comparing strategies, available capital = $ 250.0 MM

Strategy   No. Investments   Ending Net Cash
-----
0          9                481.9
1         11                642.2
2         11                642.2
3          12                619.2

End of report
    
```

cision maker, a \$10 million gain is as good as a \$10 million loss is bad. And a \$100 million gain is 10 times as valuable as a \$10 million gain.

In reality, few people are neutral about money. Many would greatly prefer an 80% chance of winning \$1,000 to a 0.8% chance of winning \$100,000 even though both gambles have the same \$800 expected value. Also, most persons would try to avoid a situation where there is a 50% chance of winning \$10,001 and a 50% chance of losing \$10,000, even though the expected value is slightly positive. Companies exhibit the same behavior as individuals, although the dollar amounts may be scaled up several orders of magnitude.

Fig. 1 is an illustration of two investment alternatives. The height of the probability function is proportional to the likelihood of the x-axis value being realized. Alternative B has a higher expected value but also has a greater range of possible outcomes. The width of the curve, usually measured by the standard deviation statistic, represents risk or uncertainty. By definition, the area under a probability curve equals one (100% probability). Many persons would choose A despite its lower expected value rather than face the potential downside of B. This is an example of *risk aversion*. This means there is a diminishing utility of greater dollars and an amplified negative utility for losses. The author will be showing a meaningful way to be conservative and still perform an objective, risk-neutral analysis.

Best value measure

In making decisions aimed at optimizing the value of the firm, you need a good way to value alternatives. There are dozens of techniques used by appraisers to determine value. Most techniques involve present value discounting to recognize the time value of money (a time preference). Other approaches include such methods as applying cashflow or production multipliers and summing sev-

Exponential risk profile curve

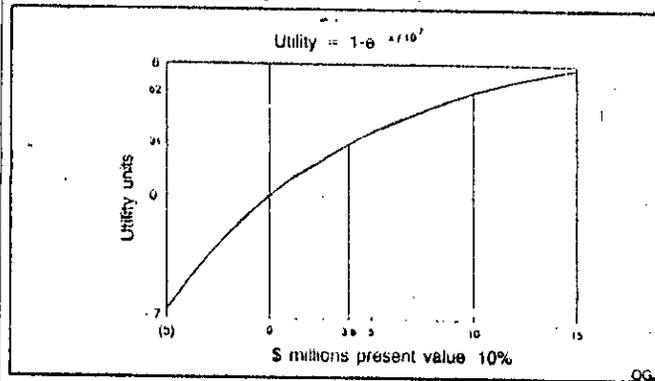


Fig 3

Demonstration*

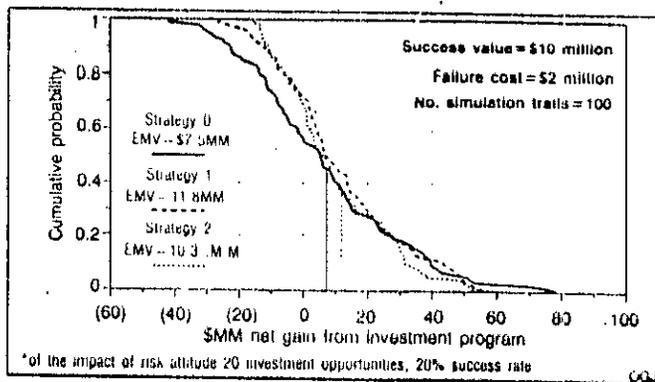


Fig 4

Demonstrating*

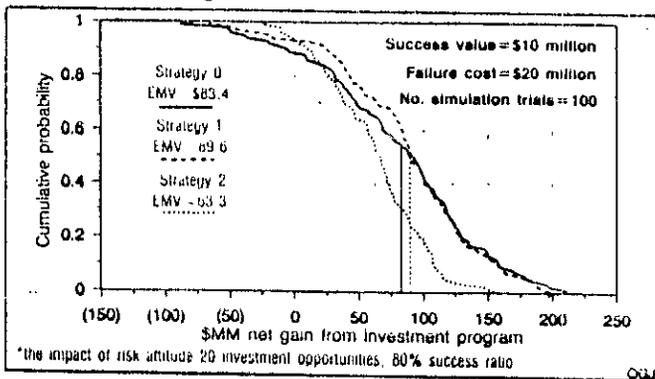


Fig 5

eral years of projected cash-flow.

How might we settle the issue of what method is best? To make an appealing and convincing argument, the author developed a simple simulation program which allows one to try various appraisal alternatives. The asset to be appraised is a five-year cashflow with a constant decline rate. Probability distributions are used to represent uncertainty in estimating initial cashflow rate and annual decline rate.

Assume that one pays his full appraised value for an asset. Also assume that the purchase is financed, with debt being repaid from cash flow. If the appraised value, with perfect foresight, equals the actual value, then the net balance will be zero at the end of the cashflow life. You might recognize this as the *internal rate of return (IRR)* condition. That is, if one buys the asset at actual value, and end up with zero net cash at the end of the transaction, then IRR equals the cost of

capital (financing interest rate).

Taxes are not represented in the demonstration model but should be considered in most real analyses. Because interest expense is deductible, the asset value, in the context of what can be paid, is increased with financial leverage. However, paying the higher amount and deducting taxes still maintains the relationships discussed in the preceding paragraph. The best value measure is still the present value of the net cash flow using the after-tax cost of capital as the discount rate.

If there are a limited number of possible outcomes for a decision, the present value of each outcome is multiplied by its probability, and these products are summed. This yields the *expected monetary value (EMV)* for the outcome. For a continuous range of outcomes, EMV is the mean (or average) of the present value probability distribution.

A run report from the first demonstration program is shown as Fig. 2. Four alternative decision strategies are to be tested. Strategies 2, 3, and 4 have their own value measures:

Strategy 0: no value measure; accepting all investments as presented

Strategy 1: present value at the cost of capital rate

Strategy 2: a factor (.75 shown) times present value at an alternative discount rate (shown rate 2 = .06/year)

Strategy 3: a multiple (1.0 shown) times the sum of several years (3 shown) cash-flow.

Part I compares the ending cash position for Strategies 1-3 if the acquisition price equals the respective strategy's value measure. The same 50 hypothetical investments are made for each strategy scenario. Strategy 1 provides the value (.0478) closest to zero, i.e., closest to the true value. This value approaches zero as the number of investments increases, and as the mean deviation of value estimate decreases. Thus, almost by definition, the true value of a cashflow is found to be the present value dis-

counted at the cost of capital.

Part II shows the results for the four decision rules. A hypothetical price for the asset was calculated as the average of the three value measures. Except for Strategy 0 which accepts all investments, the decision rule is to accept the investment if the value measure is greater than the price. With the parameters chosen, Strategies 2 and 3 undervalue the proposed investment and, thus, make fewer investments. Strategy 1 is the clear winner here, and, over the long run, will provide a higher value than any other strategy.

In part III, the decision rule is modified to reflect limited capital. In this situation, the ranking criterion is the value measures divided by the investment cost. When the value measure is a PV, the results is called a *profitability index* (PI). The new decision criteria are used to get "the most bangs for the bucks." The results shown were obtained by ranking 100 investment opportunities and then acquiring as many, in sequence, as the available capital would allow. Note that all three ranking strategies produce about the same result. This is because there is a strong positive correlation between the three strategy value measures. This effect caused me unexpected difficulty when working with the exploration company model described in the second paper: Superior prospects (investments) are always approved, and the clearly undesirable ones are always declined.

Impact of risk attitude

When evaluating several alternatives for a single decision, the analysis is very sensitive to value measures. And intentional or unintentional biases, such as introduced by risk adjustments, can have a striking effect on the expected outcome. Achieving the optimum result over a series of investments requires a logical and consistent approach.

Each person has his or her own risk attitude, and this attitude can be encoded as a *risk profile curve*, also called a *preference function* or *utility*

curve. There are no right or wrong risk attitudes. This characteristic is based upon the individual's deep-seated values and beliefs. A good decision is simply one which is consistent with the attitudes (values) and judgments (data, beliefs) of the decision maker at the time of the decision.

A person's risk profile can be encoded as a utility function. This is a curve with utility drawn as a function of outcome value. Encoding decision maker's risk attitude is usually done during an interview with a trained decision analyst. The risk profile is determined through a series of questions about potential risks which would be acceptable to the decision maker. For example, a person, representing his or her company, might be asked what potential gain would be necessary to offset a 50% risk of losing \$200,000. A series of such hypothetical investments places points on the risk profile curve. When the risk profile represents the attitude to be used throughout a company, it is a succinct and complete statement of *risk policy*.

Fig. 3 shows an example risk profile curve. Many persons have risk profiles which would have very different shapes from the curve shown here. It is the author's my opinion that as persons learn more about decision analysis, their risk profile curves will approach this shape. The y-axis is in arbitrary units, often called *utils*. The dashed straight line through the origin is the profile of a risk-neutral decision maker. In reading the curve, for example, a \$10 million present value outcome has a value of about .62 utils. In recognizing risk attitude, we will want to maximize utility rather than maximize dollars.

One can see on the graph that a \$10 million gain has about the same magnitude utility as does a \$5 million loss. Thus, a decision maker with this risk profile would be approximately indifferent to an investment with a 50-50 chance of gaining \$10 million or losing \$5 million. This is

calculated in the same manner as EMV, is approximately zero.

Now consider a situation where there is a 50% chance of gaining \$10 million and 50% chance of zero gain. What is this opportunity worth to the decision maker? The expected utility is $.5 \times .62 = .31$ utils. If you draw a line across from .31 to the risk profile curve, and then down to the x-axis, you get a value of about \$3.8 million. This is the *certainty equivalent* value of the opportunity to the decision maker. He or she has no preference between \$3.8 million in hand and a 50% chance of gaining \$10 million. Thus, the decision maker is willing to forego \$1.2 million of expected value ($.5(10) - 3.8$) in order to avoid risk. Large companies have much straighter, more risk-neutral curves than individuals and smaller companies; this is what makes the insurance industry possible.

Impact of risk adjustments

How do we measure the financial impact of a conservative risk policy?

Economic projections for evaluation purposes are traditionally conservative. Non-producing reserves are usually discounted for risk with factors reflecting performance evidence or reserve category. For example, proved producing might be valued at 100%, while proved undeveloped might be valued at 25% of the expected value projections. Pricing and other assumptions, also, are frequently conservative. The adjustments are probably in the right direction, but we have no way of knowing whether they are consistent with the decision maker's attitude.

More logical and more consistent results will be obtained if the risk attitude is incorporated only at the last stage of the analysis. The base analysis can then be objective, using the best estimates for all parameters. This allows the decision maker's (or company's) risk policy to be applied consistently.

Demonstration

A second demonstration program was developed to

show the impact of risk attitude in the decision rule. This program operates similar to the first program's Part II analysis (see Figure 2). A risk-weighted profitability index (value measure / expected investment) could have been used, but this provides little advantage when the investments are all about the same size. Three decision strategies are compared:

Strategy 0: accept all investments

Strategy 1: accept if Expected Monetary Value > 0

Strategy 2: accept if Expected Utility > 0

When using the program, your rough-cut risk profile is determined you answer the probability at which you would be indifferent to gamble between a stated gain and a stated loss. This is sufficient to determine parameters for an exponential risk profile function.

Fig. 4 shows the results obtained from a 100-trial simulation of 20 potential investments. This is a cumulative frequency type curve, showing the probability that an outcome will be equal to or greater than the (x-axis) amount. There is a 20% chance of investment success, which is somewhat analogous to oil and gas exploration. The average investment cost is \$2 million, and the average success value is \$10 million (beyond recouping the \$2 million investment). The entire investment is lost if the project fails. Over the long run, Strategy 1 based on PI at the cost of capital, will outperform any other strategy. Strategy 2, based on expected utility, is the most selective and makes the fewest investments. In doing so, it bypasses other investments which are profitable and recognized by the EMV criterion. Reducing the downside is at a high cost. Risk aversion cost this company about \$15 million, the difference between Strategies 1 and 2.

Fig. 5 shows the results obtained when simulating investments with a high, 80%, success rate. Here, the average investment is \$20 million and the average success value (beyond recouping the in-

vestment) is \$10 million. In this example, the risk-averse Strategy 2 has even poorer results than Strategy 0 which accepted all investments. The expected monetary value criterion yields about \$26 million better results than expected utility. If this is too high a price to pay for reducing the downside exposure, then the decision maker should rethink his or her risk policy.

Summary

The author has demonstrated, by experiment, that the best measure of monetary value is PV of the net cash flow discounted at the cost of capital. The risk-weighted PV, EMV, provides a superior decision criterion when net monetary gain is to be maximized and when the situation is unaffected by a capital constraint. EMV divided by the expected investment cost should be used when capital is limited.

Risk considerations can

and should be segregated from the fundamental transaction analysis. Then judgments about physical, operating, and financial parameters can be made with complete objectivity. If appropriate, the decision maker's attitude toward risk is incorporated at the end of the decision process. This allows the cost of risk aversion to be measured as the sacrifice in expected monetary value. When applied across many decisions, the impact of risk adjustments can be great, often higher than one expects or desires.

Acknowledgments

Thanks go to Dr. Paul D. Newendorp and Dr. John A. Pederson for their helpful comments about an early draft of this paper and for their encouragement. We hope these papers will generate some interesting discussions and lead to greater application of decision analysis techniques.

NORTH DAKOTA

Continued Bakken success is reported at horizontal drilling in North Dakota.

Slawson Exploration Co. 1-18 Spinnaker-Federal, SE SE 18-142n-101w, Billings County, made 1,204 bbl of oil in 21 days from the Bakken during September 1989, according to Petroleum Information of Denver.

The Williston basin wildcat discovery is 14 miles north of Medora, one and one half mile southwest of Bakken oil at Ash Coulee field.

And, 4 miles north-northwest, Meridian Oil Co. completed a wildcat discovery at Elkhorn Ranch/Roosevelt,

SE SE 25-143n-102w, making 2,415 bbl of oil in 12 days during September, according to the PI report. This well was also drilled as a horizontal hole.

PI notes that September 1989 figures show that two more similar wells were drilled as Bakken producers in McKenzie County. The Meridian 14-27H MOI, SW SW 27-145n-101w, made 495 bbl of oil from the Bakken in 3 days during September.

In Pierre Creek field, Meridian reports 6,185 bbl of oil from the Bakken in 17 days at 44-7H MOI in SE SE 7-146n-102w.

TEXAS

Swab tests got 397 b/d of oil from the Pennsylvanian Marmaton at Phillips Petroleum Co. 1 Parmele "D", Section 90-1C-GH&H Survey, Sherman County.

The Texas Panhandle well paid through pays at 5,488-5,507 ft.

In Lipscomb County, Maxus Exploration Co. 1-240

Oliver Walters et ux, Section 240-43-H&TC Survey, flowed 2.2 MMcfd of gas on open flow tests of the Pennsylvanian Aloka sand at 9,744-53 ft. Well is in South Beal Upper Morrow field.

In Crockett County, West Texas, Amax Oil & Gas Co. 3 McMullan "C", Section 3, Block P, TCRR Survey, 11

miles southeast of Ozona, Davidson Ranch gas field, flowed 1.5 MMcfd of gas on choke from perforations in the Pennsylvanian at 7,794-8,027 ft.

The 3 Wilkins in Section 13, Block KL, GC&SF Survey, flowed 1.030 MMcfd of gas on choke from 7,847-8,011 ft. Open flow was 4.9 MMcfd of gas.

The 3 Wilkins "A", Section 13, flowed 1.7 MMcfd of gas on choke from 7,930-3,040 ft.

East Texas action includes a new extension well to Ei-

leen Sullivan Glen Rose field in Leon county, 4 miles northeast of Centerville. Art Machin & Associates 1 Baker, John Belden Survey, A-55, flowed 1,511 Mcfd of gas on choke and 89 bbl of condensate from the Glen Rose at 8,652-55 ft on choke.

This well extends the field three quarters of a mile to the northwest. The field now has seven gas-condensate producers and is over 3 miles long, according to Petroleum Information's East Texas report.

ROCKY MOUNTAINS

Dakota Cretaceous J sand is the pay for a new discovery in northeastern Colorado's Denver basin area.

Newport Exploration Inc. 23-7 J B. Harbert, NE SW 7-4s-55w, Washington County, Colorado, pumped 101 b/d of oil from the J-2 sand at depths of 5,037-43 and 5,074-82 ft.

Other Rockies news includes a Lad area strike in 20 Crook County, 20 miles east of Weston in the Powder River basin of Wyoming. The Lario Oil & Gas 11 Shepherd, SW SW 17-54n-67w, pumped 172 b/d of oil from the Pennsylvanian Minnelusa at 5,955-90 ft.

This well is in Lad field which has produced more than 2.3 million bbl of oil and 21.4 million cu ft of gas since 1971, according to Petroleum Information data.

A new well in the San Juan basin flowed 6,084 Mcfd of gas and 250 b/d of water from the Fruitland coal seam. Meridian Oil Co. 483 Northeast Blanco Unit, SW NE 36-31n-7w, Rio Arriba County, N.M., flowed on choke from the Fruitland at 2,860 to 3,140 ft.

Well is in Basin-Fruitland field.

One of the most active wildcatting areas in the business today is along the Kansas-Colorado border in Las Animas arch country.

Union Pacific Resources has drilled a dozen Pennsylvanian Morrow wells in Harker Ranch field area, 11 miles northeast of Cheyenne

Wells, Colorado. Petroleum Information of Denver notes that this play is being worked 2-6 miles generally north of Morrow oil and gas production in the Arapahoe field area. UP has been working with several Murfin Drilling Co. rigs and a Norseman Drilling Co. unit at Harker Ranch.

Latest new test in the play is 41-10 Donald in North half of NE 10-13s-43w, Cheyenne County.

Murfin's rig will dig to 5,500 ft and the Morrow. Discovery well at Harker Ranch was TXO 1 Harker in SW SE 35-12s-43w, completed on the pump for 55 b/d of oil from the lower Morrow at 5,244-49 ft. This well was later abandoned after making about 2,000 bbl of oil. A twin well was drilled, but there are no details.

WYOMING

Indian Tree field in the Powder River basin has a third producing oil well.

Pacific Enterprises Oil Co. 43-33' Lois-Federal, NE SE 33-51n-70w, eastern Campbell County, was completed on the pump for 5/5 b/d of oil from the Pennsylvanian Minnelusa "A" zone at 8,048-8,666 ft. Location is on the eastern flank of the basin and is a 40-acre west offset to the 13-34 well, completed last summer pumping 505 b/d of oil from the Minnelusa at 8,584-8,610 ft.

The discovery well in SE SE 33 pumps 65 b/d of oil.

Managing exploration: the organization, manager, geologist

Jerry N. Cox
Salem, Ore.

Prospect generation is an old problem with majors and large independents and appears to have gotten much worse during the last 10 years.

It is a problem of size, management style, and company organization. It is also a problem with people, hiring practices, and motivation. Motivating explorationists is a lesser problem with small companies and independents. Because of their smaller size, these firms lack a complex bureaucracy and generally have a superior leadership comprised of people who are survivors. The fact is, an explorationist does not last in the world of the independent if he or she does not produce.

The geologist's work is to a great extent intangible and difficult to measure. While basic principles will still apply, the geophysicist has a definitive amount of data to work with, and there is a beginning and an end. Output can be measured and at least has the appearance of being tangible. Herein lies much of the problem; the only "facts" a geologist has to work with is the information gathered from a borehole or a surface outcrop. Information gathering and interpretation can sometimes be quite time consuming, and the accuracy and ultimate value of the work may take years to verify.

In the recent past, additional problems plagued the exploration manager. Geologists and geophysicists born during the depression who bridged the "no hire" gap of the fifties and sixties had become middle aged managers and supervisors. The new hires were of a generation who never heard stories of the depression, hard times, the "Big War", and loyalty. Consequently, values, ideas of security, work ethics, ambition, company loyalties, etc., were different. Managers of the seventies and eighties had a very difficult time understanding the younger generation. Couple this with the demand of the last decade for explorationists and the subsequent availability of high paying jobs spelled disaster for most exploration depart-

ments. Actually, in spite of having different values, basic things which motivate geologists and geophysicists are not much different now than they were 30 years ago. What has changed is the way management does things.

Motivating the employee has been a subject of extensive research in corporations and academia. Motivating technical people has been addressed to a more limited degree. Motivating the creative geologist is a subject that has received almost no attention. Some will say that managing geologists is no different than managing engineers, accountants, or anyone else. Wrong! Managing geologists is different. Anyone who has ever supervised, or been associated with, geologists for any length of time will verify this. A petroleum geologist bridges the chasm between the research scientist and the technocrat. He has to use the science of geology, which is primarily deduction with few proofs, to produce a tangible product having a practical purpose. He has to live with being wrong in his chosen field 90% of the time. He has to work with and endure the not so subtle criticism of those who live in a more orderly and less risky world. His personality has to be such to contain these onslaughts to his self-esteem and still maintain the optimism so necessary to the explorationist.

The organization. The first thing a company does when in trouble is reorganize.

New charts are made and people play musical chairs. This lasts for 3 or 4 years. Generally, if things do not improve, upper and subsequently middle management is changed, new charts are made, and the company reorganizes again. Top management may or may not stay the same. Company "culture" nearly always stays the same. Rare is the CEO who can come in and change a company's culture; the entrenched bureaucracy will not let him. So the reorganization cycle repeats itself over scores of years. Needless to say,

when an exploration program takes four, five, or even 10 years to develop, continuous reorganization and movement of people is devastating to the exploration effort.

This organizational metamorphoses has been observed in numerous corporations and is probably the natural result of the decline and decay of an aging business. Increased size and complexity of these companies necessitate a more complex organization and cumbersome bureaucracy. This in turn necessitates more control, and finding new reserves becomes increasingly subordinated to managing the asset. Financial people become more and more influential with upper management and have an increasing effect on decision making and operations. In many cases, a banker mentality sets in, sapping the vitality essential to successful exploration. Organization is geared towards business and not towards the primary function of finding oil and gas.

When monthly financial statements, management reporting, and constant justification of your existence becomes the primary concern of the exploration arm of the business, you know you're in trouble.

Organizational structure and the organization chart by themselves are really not problems, since the conduct of an oil and gas concern is fundamentally a problem of top and upper level management. However, since there are some types of organizations better for exploration than others, basic structural design should be examined.

The three categories of organization seen in the oil business are *centralized*, *decentralized*, and *matrix*. There are other categorizations, but these seem most descriptive. To clarify, the terms centralized and decentralized refer to the centralization or decentralization of *authority*, not the physical location of personnel.

A simplified version of the *centralized* organization is shown in Fig. 1. This type of structure was prevalent with oil companies during the early and middle years of discovery and growth. It was very effective with the smaller size and simpler business con-

cerns of those times. Generally, the company was run by a strong leader with entrepreneurial instincts.

Centralized organizational structure is directed more towards functional responsibilities. The oil business was characterized by having numerous district offices scattered throughout the various petroleum provinces. These offices were located in areas and basins based primarily on geology. Geologists and landmen were "on location" and focused their energy and attention, with few distractions, on the problems unique to their area. There was no such thing as a "development" geologist or an "exploration" geologist, you were just a "geologist." There may have been an individual responsible for development who was an assistant to the district geologist, but the geologist did everything from wellsite work to exploration. Training was superb. Dedication and esprit de corps was superb.

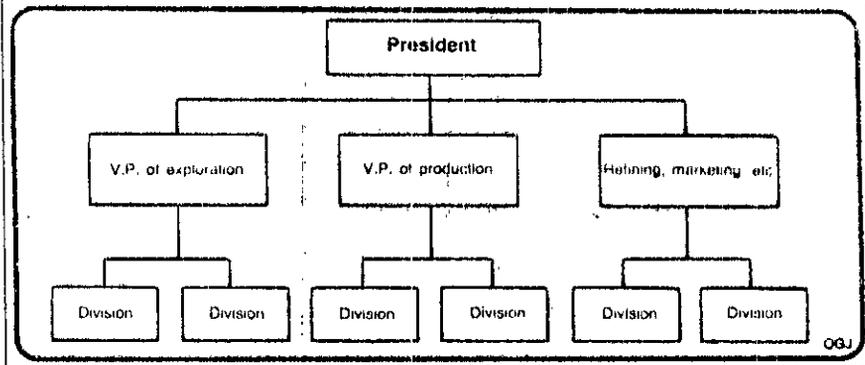
The district office reported to a division office where middle management and staff were located. The division office was centrally located in a petroleum province such as the Permian basin or the Midcontinent area. Some limited business functions were performed here, but its primary mission was to direct and coordinate the activities of the district offices and various geophysical crews.

The division offices reported directly to the home office—*Headquarters*. This was where all major decisions were made. The decision to drill wells, make plays, buy acreage—everything—was made here. The chief geologist was chancellor, and the vice-president of exploration was king.

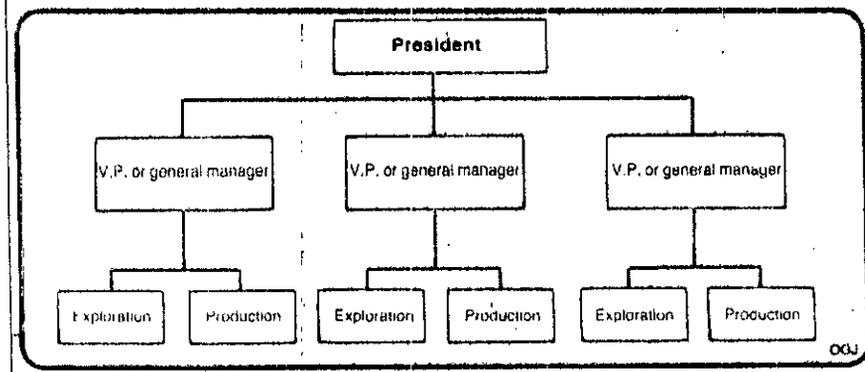
The advantage of this type of organization was the individual explorationist was little affected by the day to day routine of business and could concentrate directly and with little distraction on the function of finding oil and gas. When the majors pulled out of the districts on the theory "exploration can be done anywhere," they gave a tremendous practical advantage to independents and small companies.

The obvious disadvantage of the *centralized* organization is the speed of decision making. This can be agonizingly slow, and in the oil business speed can make or break a play. Another disadvantage is in negative authority. No one can say yes, but anyone up and down the chain of command can say no. A prospect can go through many layers of authority, each with the ability to say no, before it gets to the top rung of the ladder. Negative authority is not unique to the centralized system, it is present in all

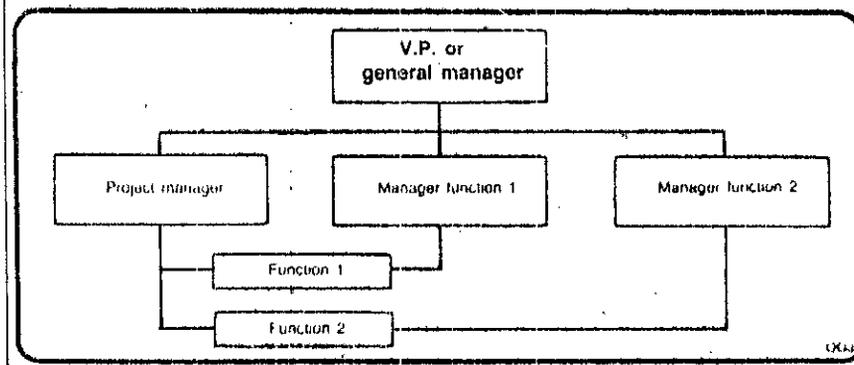
Centralized organization



Decentralized organization



Matrix organization



types of systems. There just seems to be more opportunity in this type of structure.

From a business point of view, the *decentralized* organization is wonderful (Fig. 2). Authority is distributed downward, speed of decision making can be equal to that of the independent and with greater resources. Efficiency is excellent, and each individual unit can function as a separate small company. It is certainly the most efficient, practical way to perform the business functions of a large concern. It is not good for exploration.

One of the problems is that information is too readily available. The

bureaucracy and upper management has an insatiable desire for more and more information. This unquenchable mania for reports, economics, and meetings becomes paramount. Information is king. The computer department grows like a cancer and is similarly destructive. Periodic attempts by management to cut paperwork results in more paperwork. The business function prevails over all other activities. This is fine if the primary function of the concern is to manage the asset. It is not a good environment if the primary function is to find new reserves.

Another disadvantage for explora-

tion is that there is a tendency for management to rely more on the dog and pony show to review prospects and plays. This is done in the interests of time and efficiency because all levels of management must get back to managing the business. The time, effort, and energy put into making slides and preparing speeches for these things are phenomenal. Sometimes opinions and decisions are overly influenced by the showmanship and speechmaking abilities of the presenter.

Under the centralized system the chief geologist and perhaps even the vice-president made trips to the districts and generally had a hands-on, informal approach to reviewing prospects. They had to, for they were the decision makers and they were held accountable for the success or failure of an exploration program.

While much authority in the decentralized system is passed downward, there appears to be a tendency to handle decisions by a group. In group or committee decisions accountability is shared. It is not necessary for any one person to be thoroughly familiar with all aspects of a drilling decision. Leadership in exploration becomes diminished.

The decentralized organization can be made to work reasonably well for exploration, but the inclination of this structure leans towards the business function. The exploration arm becomes more oriented towards satisfying business objectives than exploration objectives.

The matrix organization is not generally used for large groups such as exploration and production (Fig. 3). It is most often used for special projects or service groups. Special projects use is temporary, and the groups are dissolved when the program is over. It is characterized by having individuals with more than one supervisor. Different disciplines are merged to get a particular job done.

An oil company can be many things. It can be a fully integrated concern dealing with all activities from exploration to delivering the product to the customer or it can be a refining/marketing concern. It can be a business whose growth is dependent upon exploration, development, and production or one whose growth is dependent upon acquisition and merger. Management must decide what kind of business niche it is in and not have energies diffused and spent trying to be something it is not.

Once management decides what kind of business it is in then they must determine the fundamental activities required to conduct a successful operation. Organizational design should

be concerned with these activities and never be subordinated to functions that are not essential. Identification of these activities should be outlined and stated so that there is no misunderstanding by anyone what are the primary functions of the business. It is not necessary that company organization charts all look alike; modify them to fit the functional needs of individual units.

Management. Management is a reflection of the top man whether he is president of a subsidiary or chairman of a corporation.

No organization can work well if middle and lower management are not fully behind the goals and objectives of the corporation. Most managers are more concerned with the short term results that their performance is measured by than with the long term health of the organization. Altruistic devotion to duty by management would be wonderful to discuss but would be a fantasy, so it is up to top management to set an example and maintain an awareness of long term objectives.

Basically management is required to direct and conduct business functions and in order to do so must direct and motivate personnel to carry on activities in a superior fashion. Managements in large corporations generally do an overkill on managing people when all it really takes is some common sense dealing with personnel in a trustworthy manner.

As an example, one of many areas that is completely frustrating to the explorationist is in job descriptions, evaluations, performance ratings, and salary planning. Job descriptions for geologists of various levels are almost impossible to write. It can be done, but the results are useless. The geologist whether he is at a junior level or at a more senior level is called upon to do such a wide variety of things in pursuit of his trade it does not really matter that doing a basin study is not part of his job description. Skill levels past a certain experience point is not necessarily reflected in grade levels, it is more a function of time and ability.

Besides being of importance in an individual's feelings of advancement and self worth, grade levels from Geologist I to Supergeologist are used by management to justify salary ranges and salary increases. This is fine if it is used properly. It can be very effective if it is coupled with evaluations and performance ratings without a fixed salary budget.

However, most corporations have a fixed annual budget and performance ratings, and formulated salary increases never fit the budget. Higher management manipulates lower man-

agement appraisals to be within guidelines. Needless to say, the individual is not going to be happy when he finds out that the rating given them by his supervisor has been arbitrarily reduced to fit the budget. This is not conducive to trust and confidence in management.

Trust in management is essential in motivation of personnel. People can certainly be motivated without trust, but the autocratic supervisor and the manipulator and controller are no longer considered effective.

Managers. What is needed is leadership. Leadership is often equated with management. Inventories can be managed; cattle can be managed; people should be led. There are many schools on management, but virtually none teaching leadership. Hands on managers who communicate and understand that people work with you and not for you will result in the trust and confidence that has been lost for so many years. It starts at the top.

The geologist. What about people? Are they an organization's most valuable asset? They are if they are the right people.

Most management articles and seminars about personnel and motivation deal with technical and nontechnical people in a broad all-encompassing manner, considering everyone in the same mold. Knowing that each individual is a separate person with different talents, needs, and ambitions makes it virtually impossible to address the people problem in this manner with anything but a broad brush.

Geologists have to be looked at on an individual basis. Individual evaluations have to be made, and the individual fitted to the job. Don't put a structurally oriented geologist in a primarily stratigraphic area. Analyze their abilities, personality, and drive before making assignments.

Everyone has certain abilities that can be of benefit to an organization if the supervisor can place them in a position that these qualities can be utilized. If there are no jobs available in the organization to fit the peculiarities of an individual then the person should be let go. This determination should be made as early in their career as possible. It is both bad for the organization and tragic for the individual when an employee is fired at age 47 during a personnel reduction or as it is called in the trade—restructuring.

Geologists come in all sizes, shapes, and forms. There are the stars and the plodders. Ninety percent fall in the in-between category, and that's not all bad. There are such a variety of jobs in exploration that one needs a diverse group. An office full of stars

would no
to-day wa

It is a
graduates
ages of c
grees. Th
many ac
is tender
more int
ence and
ing man
to locate

A pers
Bran's ca
auditory
tion crea
to store
substitute
use it to
ideas and
answers
should t
managem

Or an
ment wil
al struct
for the ex
at the top
edgeable
offices c
would be

quarters
handle a
business
minimal
explorat
business
should be
for their
allocate
requests
that all
shaded
to a num

Work
physical
ability in
geologic
ble for
be kept
the expl
rectly w
through
decision
sible. Re
emotional
making
each ot
merited
al comp
personne
field.

Leave
long on
is unmat
musical
of the int
is that "I
for the re

Because
between

would not get much done in the day-to-day workplace.

It is a mistake to hire only college graduates with high grade point averages or only those with masters degrees. There is a danger of getting too many academics on your staff. There is a tendency for these people to be more interested in geology as a science and the computer as a fascinating manipulator of data than as tools to locate hydrocarbon deposits.

A person's ability to use the right brain's capacity to think in visual and auditory images is crucial to exploration creativity. The computer is great to store data, add and subtract, and to substitute as a draftsman—but do not use it to do your mapping. Divergent ideas and the ability to discover new answers is a way of thinking that should be fostered by exploration management.

Organize the exploration department with a centralized organizational structure. Delegate responsibility for the exploration effort to one person at the top who would have a knowledgeable staff to assist him. Division offices can be centrally located but would be better in the field. Headquarters and division staffs should handle all requests pertaining to the business needs of the corporation with minimal disturbance to the working explorationists. This separation of business and the primary function should be monitored by management for there is a propensity for staffers to alleviate their work load by making requests from the field. It is realized that all business functions cannot be shielded from field people, but keep it to a minimum.

Working explorationists should be physically separated from staff, preferably in a field office located in the geologic province they are responsible for. Titles and supervisors should be kept at an absolute minimum with the exploration manager dealing directly with individuals without going through intervening supervisors. Keep decision making levels as few as possible. Reward people financially and emotionally within the group without making everyone a supervisor. Give each office a salary budget to be meted out as needed, not on an annual company wide basis. Locate land personnel with exploration in the field.

Leave explorationists in an area long enough to have an expertise that is unmatched by companies playing musical chairs every few years. One of the intangible rewards of longevity is that "feel" for an area—an instinct for the rocks, oil, and people.

Because of cooperation problems between geological and engineering,

development work probably functions better under production. However, put development geology under exploration as it is the best training ground for new (and old) geologists. It is very difficult to transfer across discipline boundaries between exploration and production. Every geologist and geophysicist should spend a minimum of 2 years doing development work. Flow on earth can anyone look for oil fields if they do not know what traps oil in the first place.

Field offices should have access to quick decision making authority. Delegation of authority to buy leases and shoot seismic should be at as low a management level as practical.

Have a people consciousness that is aware that the proper people in the proper jobs can be a company's most

valuable asset.

A simple organization burdened with a minimum of administrative duties, hands on managers with good communication skills, and fitting personnel to jobs based on individual abilities and skills is a blueprint for a successful exploration effort. You will not have anyone coming up and asking, "How do I get prospects out of these people?" You will not only get prospects, but they will be "good" prospects—there is a difference. Remember it takes 4 or 5 years to build a good exploration team that will turn out a consistent stream of plays, projects, and prospects. Even longer if you have a high percentage of new explorationists.

Think long term. Be patient, the rewards are worth it.

COLORADO

New Morrow Pennsylvanian production is reported in eastern Colorado's Las Animas arch country.

Union Pacific Resources 1 Roth 41-27, 27-13s-42w, eastern Cheyenne County, 14 miles east-northeast of Cheyenne Wells, flowed 426 b/d of 38° gravity oil from the Morrow. Pay interval was not reported. An offset has been staked to the northwest.

Petroleum Information of Denver notes that this well is 3 miles north of an area being developed by UP on the north side of Arapahoe field. The company has completed four Morrow oil wells in the south half of

3-14s-42w

In eastern Colorado, Second Wind field, a Pennsylvanian Morrow sand pool opened last year by TXO Production Co., 18 miles southeast of Cheyenne Wells, produced 123,671 bbl of oil during this past February, according to Petroleum Information, Denver publication.

This well lies in the Las Animas arch section of eastern Colorado, just east of the Kansas line in Cheyenne County. Discovery well was 1 Kriss-A. It pumped 360 b/d of oil from the Morrow sand at 5,168-80 ft.

LOUISIANA

South Louisiana's Rayne field has a new outpost success at Quintana 1 Delmae Comeaux, 31-8s-3e, Acadia Parish. Flow was 4,134 Mcfd of gas and 332 b/d of condensate from the

Nodosaria "A" and Oligocene sands at 13,194-13,214 ft.

This new well lies 1¼ miles west-southwest of field production which extends into Lafayette Parish.

WEST VIRGINIA

Atlas of Upper Devonian/Lower Mississippian Sandstones in the Subsurface of West Virginia, publication No. C-43, \$12.72 postpaid (6% sales tax included) if mailed to a West Virginia address, or \$12 postpaid to out of state and tax-exempt entities.

Please include completed tax exemption certificate or direct pay permit. Order from Publication Sales, West Virginia Geological Survey, Box 879, Morgantown, W.Va. 26507-0879. Make checks payable to West Virginia Geological Survey.

West Virginia news includes an Oriskany gas well on the Eastern Over-

thrust Belt. Equitable Resources Exploration Co. 2533 Ruth Evans, Union District, Blackbird Knob Quadrangle, western Grant County, flowed 5.9 MMcf of gas from Oriskany at 7,929-8,010 ft. To the north in Pennsylvanian, Eastern States Exploration Co. completed an Upper Devonian step-out 4 miles southeast of Renovo in Clinton County, Wertz Hollow field. The well extends production 2 miles northeast. The 2 Commonwealth Tract 271 well, Section H, Renovo Last Quadrangle, Noves Township, flowed 2 MMcf of gas from Upper Devonian zones at 2,047-3,034 ft. Shut-in pressure was 1,960 psi.