

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recharge Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Minier
Mémoire de Master en Génie Minier

**Critères de décision d'investissement appliqués au tableau de trésorerie
d'une mine**

Réalisé par :

TALBI Linda

Sous la direction de :

Dr A.AIT YAHATENE

Présenté et soutenu publiquement le 03/07/2017

Composition du Jury :

Promoteur : Mr. AIT YAHATENE Abderezak

Dr, ENP Alger

Président : Mme. MERCHICHI Amira

MAA, ENP Alger

Examineur : Mr. GACEM Rachid

MAA, ENP Alger

ENP 2017

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recharge Scientifique



Ecole Nationale Polytechnique
Département Génie Minier
Mémoire de Master en Génie Minier

**Critères de décision d'investissement appliqués au tableau de trésorerie
d'une mine**

Réalisé par :

TALBI Linda

Sous la direction de :

Dr A.AIT YAHIA TENE

Présenté et soutenu publiquement le 03/07/2017

Composition du Jury :

Promoteur : Mr. AIT YAHIA TENE Abderezak

Dr, ENP Alger

Président : Mme. MERCHICHI Amira

MAA, ENP Alger

Examineur : Mr. GACEM Rachid

MAA, ENP Alger

ENP 2017

ملخص

قرارات الاستثمار قرارات استراتيجية للشركة. هذه القرارات تتميز بكونها "لا رجعة فيها" مما يجعل عواقبها وخيمة في حالة عدم نجاحها. لهذا السبب، يجب ان يدرس كل مشروع استثمار بصرامة وجدية. لتقييم مدى فعالية وربحية اي مشروع نلجأ الى معايير القرار.

هذه المعايير طبقناها على جدول التدفقات النقدية لمنجم من اجل دراسة ربحية مشروع استغلال.

الكلمات المفتاحية: استثمار، ربحية، معايير القرار، جدول التدفقات النقدية.

Abstract

Investment decisions are strategic decisions for the company. These decisions are "irreversible" which means their consequences dramatic in case of failure. This is why every investment project must be carefully studied.

In order to assess the efficiency and profitability of a mining project, we need decision criteria.

We have applied these criteria to the cash-flow statement of a mine in order to study the profitability of a mining project.

Keywords: Investment, profitability, decision criteria, cash-flow statement.

Résumé

Les décisions d'investissement sont des décisions stratégiques pour l'entreprise. Ces décisions revêtent un caractère « irréversible » qui rend leurs conséquences dramatiques en cas d'échec. À cet égard, tout projet d'investissement doit être rigoureusement étudié.

Pour évaluer la rentabilité d'un projet minier, nous avons recours à des critères de décision.

Ce sont ces critères que nous avons appliqués au tableau de trésorerie d'une mine pour étudier la rentabilité d'un projet minier.

Les mots-clés : investissement, rentabilité, critères de décision, tableau de trésorerie.

Remerciements

En préambule au présent projet de fin d'études, Je remercie Dieu Tout Puissant de m'avoir donné la volonté et le courage de mener à bien ce mémoire.

Je remercie chaleureusement mon promoteur **Docteur A.AIT YAHMETENE** pour son dévouement, sa générosité et ses conseils pertinents et avisés.

Enfin, je remercie les membres du Jury pour avoir accepté d'évaluer ce travail.

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail à :

- ❖ Mes chers parents.
- ❖ Ma sœur.
- ❖ Mon frère.
- ❖ Mes camarades et mes amis.
- ❖ Toutes les personnes qui ont aidé à la réalisation de ce mémoire.

Je tiens à leur témoigner mon affection. Que Dieu les protège et les bénisse.

Table des matières

Liste des figures	
Liste des tableaux	
Abréviations	
Introduction générale	10
Chapitre I : Investissements miniers	13
I.1. Introduction	14
I.2. Définition d'un gisement	14
I.3. Paramètres qui influencent la possibilité d'exploitation d'un gisement	15
I.4. Étude de faisabilité	17
I.5. Investissements miniers	19
I.6. Conclusion	21
Chapitre II : Critères de prise de décision d'investissement	22
II.1. Introduction	23
II.2. Classification de projets	23
II.3. Organisation des données nécessaires à la méthode d'évaluation	23
II.4. Critères de décision pour l'évaluation des investissements	24
II.4.1. Critères de décision en avenir certain	24
II.4.1.1. Critères empiriques	24
II.4.1.1. Critères fondés sur l'actualisation	26
II.5. Conclusion	31
Chapitre III : Application des critères de prise de décision au tableau de trésorerie d'une mine	33
III.1. Calcul pour $i=12\%$	34
III.1.1. Données du projet	34
III.1.2. Calcul des critères empiriques	37
III.1.3. Calcul des critères fondés sur l'actualisation	38
III.1.4. Résultats et interprétation	40
III.2. Calcul pour $i=10\%$ et comparaison des résultats des 2 projets	42
III.2.1. Présentation des résultats	42

III.2.2. Comparaison entre les résultats des 2 projets.....	42
Conclusion générale	43
Bibliographie	44

Liste des figures

Figure II. 1 : Schéma des flux financiers.....	27
Figure II. 2 : Organigramme « Choix des critères de décision ».....	32

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Études de faisabilité	17
Tableau 111.1 : Données du projet.....	34
Tableau 111.2 : Tableau de trésorerie.....	35
Tableau 111.3 : FNT et FNT actualisés.....	36
Tableau 111.4 : Résultats des critères de prise de décision pour $i=12\%$	40
Tableau 111.5 : Résultats des critères de prise de décision pour $i=10\%$	42

Abréviations

DR : Délai de Récupération

TMR : Taux Moyen de Rendement

FNT : Flux Net de Trésorerie

CF : Cash-Flow

VAN : Valeur Actuelle Nette

TRI : Taux de Rentabilité Interne

DA : Délai d'Amortissement

IP : Indice de Profitabilité

Introduction Générale

Introduction générale :

Les étapes successives de la reconnaissance d'un gisement mettent en évidence des séquences de décisions qui nécessitent à chaque fois une évaluation spécifique, de plus en plus précise.

Les différentes méthodes utilisées s'adaptent à ce besoin de précision croissante, depuis l'indice de minéralisation jusqu'au gisement exploitable. Les données nécessaires deviennent de plus en plus nombreuses et doivent être de plus en plus fiables au fur et à mesure qu'on s'approche de la décision finale : gisement exploitable ou non.

On part donc d'un indice, c'est-à-dire d'une anomalie locale dans la composition chimique ou minéralogique de la roche.

Pour transformer cet indice en cible à prospecter, il faut essentiellement s'assurer que l'anomalie possède une certaine permanence dans le massif rocheux.

Étant sur une cible, il faut essayer d'en faire un gisement potentiel, ce qui nécessite la définition d'une enveloppe du corps minéralisé (forme, volume, profondeur) avec une première fourchette de tonnages et de teneurs et des essais de traitement au laboratoire.

C'est le stade de la pré-étude économique où le type de gisement permet d'envisager un certain type d'exploitation (ciel ouvert ou souterrain, extraction en masse ou sélective, type de traitement de minerai...). De cette approche globale résulte un ordre de grandeur des coûts d'exploitation et d'investissement et il est possible de faire appel à des abaques donnant un résultat économique (rentabilité prévisionnelle) en fonction de quelques paramètres importants : tonnage global, teneur moyenne, cadence de production, prix de la substance extraite.

Pour transformer le gisement potentiel en un gisement défini ; il faut préciser la répartition spatiale des teneurs et tonnages de minerais, envisager une méthode d'exploitation adaptée à la morphologie fine du gisement, développer un flow sheet du traitement et étudier la vente de la production.

Toutes ces études de préfaisabilité peuvent être synthétisées dans une pré-évaluation de la rentabilité prévisionnelle du projet, qui prend en compte le maximum de données avec leurs incertitudes et qui fournit non pas un résultat unique, mais une fourchette de résultats possibles, ou mieux une distribution de probabilité des résultats.

Il reste à passer au gisement exploitable, ce qui nécessite tout un ensemble d'études de faisabilité.

Des variantes seront généralement possibles, à partir du schéma de base. L'étude de ces variantes et de la sensibilité du résultat économique aux paramètres les plus importants seront des éléments fondamentaux de la décision, puisqu'il s'agit de prévisions et non de la réalité qui sera forcément différente.

En définitive, on présentera une comptabilité prévisionnelle de l'entreprise d'exploitation du gisement mettant en évidence, année par année, les recettes et dépenses prévues, les besoins de financement et le bilan de l'entreprise.

Le rapport de faisabilité synthétise toutes les informations (données et résultats) qui peuvent être tirées de l'étude du projet lui-même et de ses interactions avec le secteur minier par le biais de la commercialisation et avec le secteur financier par le biais du financement.

Le reste est affaire de **stratégie de l'entreprise** pour décider si, oui ou non, le projet doit être réalisé, à quel moment, et avec quels choix des paramètres : dimension de la mine, degré de mécanisation, chronologie de la réalisation du projet et de l'exploitation des différentes parties du gisement.

Afin de maximiser leurs revenus, les entreprises planifient des stratégies en fonction des ressources disponibles. Elles évaluent généralement toutes les possibilités d'investissement, puis sélectionnent un ensemble de projets dans lesquels elles peuvent investir. Cette sélection se fait sur la base de certains critères :

- Critères techniques, qui ne font pas appel à l'actualisation :

- Le Délai de Récupération « **DR** »,

- Le Taux Moyen de Rentabilité « **TMR** ».

- Critères fondés sur l'actualisation :

- Le Délai d'Amortissement « **DA** »,

- La Valeur Actuelle Nette « **VAN** »,

- L'Indice de Profitabilité « **IP** »,

- Le Taux de Rentabilité Interne « **TRI** ».

Ce mémoire porte sur l'application des différents critères de décision pour l'évaluation d'un projet minier à partir du tableau de trésorerie d'une mine, réalisé à l'aide d'une application sur Excel.

Chapitre I : Investissements miniers

I.1. Introduction

Dans tout projet minier, les études relatives à la conception d'une mine et à l'évaluation économique sont d'une importance particulière. En effet, il est primordial de savoir à l'avance et d'une manière aussi précise que possible si les investissements qui seront engagés sont rentables ou pas. Il s'agit alors de se projeter dans le futur pour analyser le fonctionnement de l'entreprise minière qui gère le projet et faire son analyse sur les niveaux de performances techniques et financières.

Mais avant de passer à l'évaluation économique, il faut d'abord définir le gisement et évaluer la possibilité d'exploitation.

I.2. Définition d'un gisement

Un gisement est une accumulation de substance utile présente en concentration suffisante pour être extraite en générant des profits.

Un gisement est défini par :

- Sa géologie (structure géologique, minéralisation, types de roche...)
- Sa géométrie (morphologie, taille, continuité, pendage, épaisseur, direction, profondeur...)
- Ses caractéristiques géo-mécaniques (masse volumique, densité, dureté, cohésion, angle de frottement interne, résistances mécaniques...)
- Ses réserves (teneur, tonnage, réserves prouvées, réserves probables ...)
- Sa localisation (appartenance administrative ...)
- Ses limites géographiques (nord, sud, est, ouest...)
- Son environnement (végétation, eaux de surface, populations, infrastructures, agriculture ...)
- Ses conditions climatiques (précipitation, vents ...)
- ...

La modélisation des caractéristiques du gisement est l'étape comprise entre la géologie de sondages (échantillonnage, analyses chimiques...) et la planification minière. C'est la première phase d'un projet d'exploitation sur laquelle se base principalement la faisabilité du projet. Elle vise à :

- comprendre et visualiser la géologie, la géochimie et la structure du gisement et des terrains encaissants ;
- évaluer la potentialité d'exploitation (volumes et teneurs extractibles) ;
- planifier et organiser la future exploitation (lignes directrices de la méthode d'exploitation).

I.3. Paramètres qui influencent la possibilité d'exploitation d'un gisement [1]

A. Teneur et tonnage

Pour qu'un gisement soit exploitable, il faut qu'il contienne plus qu'une concentration minimale et un tonnage minimal d'une valeur marchande.

La plupart des gisements qui sont à la fois grands et de fortes teneurs ont été exploités et il reste désormais des gisements petits et à forte teneur et d'autres gisements beaucoup plus grands mais avec de plus faibles teneurs. Dans tout gisement, la teneur du minerai est variable.

Si la société a besoin d'une ressource, si aucun substitut ne peut être trouvé, et si le recyclage n'est pas suffisamment efficace pour répondre à la demande, alors le prix de cette ressource augmente, et des roches de plus faibles teneurs deviennent des minerais. Il y a bien sûr des limites et des complications à ce modèle, mais ce type d'argument nous amène à penser que théoriquement, les ressources en de nombreux métaux ne seront jamais épuisées. Cela ne signifie pas que les besoins de l'industrie seront toujours assouvis. Il est possible que d'autres facteurs comme la minimisation des modifications environnementales, encouragées par la société civile limitent ou stoppent l'exploitation de certains types de gisements.

B. Nature du minerai

Plusieurs autres facteurs influencent fortement la possibilité d'exploitation d'un gisement. Un facteur important est la nature du minerai. Les caractéristiques à prendre en considération sont par exemple : le type de minéraux, la taille des grains et la texture du minerai. Ces caractéristiques influencent le coût de l'exploitation minière : Les minerais sédimentaires friables et peu résistants sont creusés plus facilement que les roches magmatiques plus dures et un corps minéralisé compact et regroupé est beaucoup plus facile à exploiter qu'un corps minéralisé discontinu et entrecoupé de failles.

Ces caractéristiques influencent également le coût de la purification du métal. En effet la taille des grains et la dureté du minerai influencent le coût de son broyage en fine poudre. Cette opération est généralement nécessaire pour les purifications en raffinerie ou en fonderie.

Mentionnant également dans cette partie les éléments mineurs qui augmentent ou diminuent la valeur d'un minerai. Dans de nombreux cas, le minerai contient d'autres métaux à des concentrations inférieures aux teneurs limites d'exploitation, mais si ces métaux sont récupérés lors de la purification du minerai principal, ils peuvent contribuer de manière significative à la rentabilité d'un gisement. Des exemples de ces métaux « bonus » sont l'or et l'argent contenus dans les minerais de cuivre et les platinoïdes contenus dans les minerais de nickel. En revanche, la présence de petites quantités d'autres métaux peut compliquer le processus d'extraction et diminuer la valeur du minerai. C'est le cas des « métaux toxiques » parmi lesquels le phosphore que contient parfois le minerai de fer.

C. Localisation du gisement

La valeur et la viabilité d'un gisement sont réduites lorsqu'il est éloigné des régions industrielles et peuplées, lorsqu'il est situé dans un climat hostile ou dans une région politiquement instable. Tous ces facteurs augmentent le coût de l'exploitation minière, le coût du transport des produits et le risque d'une exploitation.

La localisation géologique est également un paramètre important. La profondeur d'un gisement a une influence majeure sur le coût d'exploitation. Un gisement peu profond peut être exploité à ciel ouvert, qui est une alternative bien moins onéreuse qu'une exploitation souterraine.

D. Facteurs économiques, politiques et techniques

Les critères économiques et politiques peuvent influencer considérablement la viabilité d'un gisement. Dans certains cas, ils favorisent l'installation d'une exploitation et augmentent la valeur d'un gisement, tandis que dans d'autres cas, ils empêchent toute exploitation.

Le développement technologique a une influence positive sur les exploitations minières : c'est grâce à l'amélioration des techniques d'extraction et de traitement que nous sommes capables d'exploiter des minerais de moins en moins concentrés.

I.4. Études de faisabilité [2]

Ce sont l'ensemble des études qui permettent d'arriver à la conclusion qu'un projet minier est faisable. Cet ensemble d'étude peut être synthétisé dans un rapport dit de faisabilité. Cet ensemble d'études recouvre :

- La connaissance du gisement ;
- La connaissance du minerai ;
- La connaissance du marché ;
- La connaissance du contexte général (politique, social et économique).

Le tableau suivant résume les données nécessaires à la rédaction d'un rapport de faisabilité :

Tableau I.1 : Études de faisabilité

Localisation, topographie et climat	<ul style="list-style-type: none"> • Carte du site • Carte topographique • Droit sur la propriété • Historique • Production passée
Caractérisation de la géologie et des ressources	<ul style="list-style-type: none"> • Taille du gisement • Teneur en minéraux et en métaux • Qualité du massif rocheux et des épontes • Localisation du gisement dans l'espace • Composition du minerai et du stérile
Planification des infrastructures	<ul style="list-style-type: none"> • Faut-il construire des routes, camps, complexes. • Énergie disponible ou non

Planification de l'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Ce qu'on extrait • Méthode d'exploitation (souterraine ou ciel ouvert) • Équipement d'exploitation
Essais de traitement et conception de l'usine de traitement	<ul style="list-style-type: none"> • Méthode pour extraire les minéraux ou les métaux de la roche hôte • % de récupération des minéraux ou des métaux
Planification de la gestion des eaux et des résidus des opérations minières	<ul style="list-style-type: none"> • Besoin en approvisionnement en eau • Exigences de qualité concernant l'évacuation des eaux • Élimination des résidus de manière sûre
Planification environnementale et socioéconomique	<ul style="list-style-type: none"> • Principales questions abordées dans les études environnementales et socioéconomiques. • Dans quelle mesure les plans tiennent-ils compte de ces questions.
Plan de fermeture et de restauration	<ul style="list-style-type: none"> • Meilleures approches en matière de fermeture et de restauration • Estimation des coûts
Estimation des coûts d'exploitation	<ul style="list-style-type: none"> • Main-d'œuvre totale • Quel type et quelle quantité d'équipement et approvisionnement

	<p>faudra-t-il pendant l'exploitation (selon la taille de la mine)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Coûts annuels d'exploitation
Coûts en capital	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts liés à la planification, à la conception, à l'obtention des permis et à la construction des installations
Analyse financière	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts des emprunts nécessaires ou financement • Coûts et revenus annuels • Profits ou pertes

I.5. Investissements miniers [3]

A. Définition économique de l'investissement

« Tout sacrifice des ressources fait aujourd'hui dans l'espoir d'obtenir dans le futur, des résultats certes étalés dans le temps, mais d'un montant total supérieur à la dépense initiale. »

B. La nature des investissements

Communs à toutes les mines :

- Généraux
 - Accès au site
 - Préparation du site
 - Approvisionnement en énergie, en eau
 - Étude de faisabilité
 - Équipements
 - Supervision du projet et constructions provisoires
 - Fonds de roulement
- Usine de traitement
 - Bâtiments
 - Équipements

- Installation de surface
 - Pistes
 - Infrastructures de transport
 - Services auxiliaires
 - Complexe de la mine

C. Les paramètres essentiels de l'investissement - Mine à ciel ouvert

- La production journalière de minerai brut + stérile
- Le tonnage de découverte préalable
- La dimension des pelles et camions
- L'indice de broyabilité (indice de Bond) pour le concassage et le broyage
- La productivité moyenne pour les effectifs
- Le type d'équipement pour la consommation d'énergie

D. Coût d'investissement - Mines à ciel ouvert

L'estimation du coût d'investissement des mines à ciel ouvert sera faite par la somme des estimations partielles suivantes :

- Préparation du site
- Découverte préalable du corps minéralisé
- Équipements miniers
- Installations d'entretien d'équipements miniers
- Énergies, lignes de transmission, eau
- Étude de faisabilité
- Supervision du projet, constructions provisoires
- Encadrement de pré-production
- Fonds de roulement

I.6. Importance des décisions d'investissement [4]

Les décisions d'investissement sont des décisions stratégiques dont les conséquences sur l'entreprise sont portées sur le long terme.

Ces décisions revêtent un caractère « irréversible » qui rend leurs conséquences dramatiques en cas d'échec. À cet égard, tout projet d'investissement doit être rigoureusement étudié.

L'étude des décisions d'investissement comporte :

- a. L'évaluation quantitative de la rentabilité d'un projet après avoir défini le critère d'évaluation. Un projet n'est retenu que si la somme des recettes générées est, suivant les prévisions adoptées, supérieure à l'investissement initial.
- b. L'analyse des risques du moment qu'un investissement est un pari sur l'avenir, qui n'est jamais connu avec certitude.
- c. L'analyse et la réflexion stratégiques qui permettent de préciser les objectifs de l'entreprise et ses grandes options à long terme.
- d. Les facteurs qualitatifs ou non financiers qui jouent un rôle dans l'évaluation du projet.

I.7. Conclusion

Au terme de ce chapitre, on retient les points suivants :

- Une fois le gisement identifié, il faut aborder l'ensemble des problèmes d'évaluation économique ;
- L'estimation des investissements est très importante pour l'évaluation de tout projet minier ;
- Le caractère unique de l'investissement minier, réalisé sur mesure pour un gisement donné ;
- Le caractère lourd de l'investissement minier qui une fois réalisé va peser sur toute la durée de vie de la mine, quelle que soit l'évolution du contexte économique et quelles que soient les particularités du gisement découvert au cours de l'exploitation.

Chapitre II : Critères de prise de décision d'investissement

II.1. Introduction

Chaque décision d'investissement est un pari pour l'avenir. L'analyse de l'incertitude et du risque est donc une composante essentielle de l'évaluation des propositions d'investissement. En outre, l'analyse décisionnelle et les procédures associées à la prise de décision en situation de certitude, de risque, ou d'incertitude sont très importantes pour atteindre les objectifs de l'entreprise.

II.2. Classification de projets [4]

On distingue des projets dépendants et des projets indépendants.

Deux projets sont dits « indépendants » si l'échéancier des flux de trésorerie de l'un n'est pas modifié par la réalisation ou non de l'autre. Ils sont dits « dépendants » dans le cas contraire.

Lorsque deux projets dépendants tels que la réalisation de l'un permet l'amélioration des revenus et/ou la réduction des coûts de l'autre, les projets sont dits complémentaires.

II. 3. Organisation des données nécessaires à la méthode d'évaluation [3]

L'évaluation finale -celle qui apparaît dans le rapport de faisabilité- est, bien entendu, celle qui nécessite la plus grande masse d'informations, de natures diverses et avec la meilleure précision possible.

- **Le cash-flow annuel** est la différence entre *les entrées* et *les sorties de fonds*.
- **Les entrées** sont essentiellement le produit des ventes de concentrés.
Il s'y ajoute les emprunts effectivement reçus et tous les apports de capitaux d'actionnaires éventuels, dans la phase initiale principalement.
- **Les sorties** sont de nature plus variée : dans la phase initiale il s'agit surtout du paiement des entreprises qui réalisent la mine et des intérêts intercalaires portant sur les premiers emprunts ; plus tard lorsque le rythme de croisière sera atteint, les sorties de fonds seront principalement : les remboursements des emprunts et les intérêts correspondant aux sommes non encore remboursées ; les dépenses d'exploitation ou coûts opératoires (main d'œuvre, fournitures, énergie) ; les taxes et impôts ; les investissements de renouvellement.
- **Les taxes et impôts** dépendent de la politique économique du pays et pour une part au moins, des résultats de l'exploitation.

- **Le produit des ventes** dépend de la quantité et de la qualité produites et des conditions de commercialisations.
- **Les coûts opératoires** sont très dépendants des techniques utilisées pour extraire et traiter le minerai, ainsi que du degré de mécanisation des opérations, qui fixe les besoins en main d'œuvre et en matériel.
- **La cadence d'exploitation et la durée de vie** sont liées par le niveau des réserves exploitables, lesquelles dépendent du gisement, mais aussi du contexte économique.

II. 4. Critères de décision pour l'évaluation des investissements [3][4][5]

Il existe différents critères d'évaluation :

- En avenir certain ;
- En avenir aléatoire ;
- En avenir incertain.

Dans la partie qui suit on expliquera uniquement les critères de décision en avenir certain.

II. 4.1 Prise de décision en avenir certain

Parmi les critères d'évaluation retenus, on distingue généralement :

- Les critères dits techniques ou empiriques qui ne font pas appel à l'actualisation des flux financiers.
- Les critères financiers fondés sur l'actualisation des flux de trésorerie ou cash-flows.

II. 4.1.1. Critères empiriques :

a. Le temps de récupération du capital investi (DR)

Ce critère se trouve sous diverses appellations : durée de remboursement (ou de recouvrement du capital), le délai de récupération ; en anglais : pay-out (ou pay-back) time (ou period). Le délai de récupération (DR) correspond à la durée nécessaire pour que la somme cumulée des flux de trésorerie positifs du projet d'investissement soit égale au montant d'investissement et assure son remboursement, On arrête le calcul de ces cumuls pour la 1^{ère} valeur de K telle que le cumul associé à D_K vérifie :

$$\checkmark D_{K-1} < 0$$

$$\checkmark D_K \geq 0$$

$$DR = K - 1 + \frac{0 - D_{K-1}}{D_K - D_{K-1}}$$

$D_k = -I_0 + FNT_1$ (non actualisé) + ... + FNT_k (non actualisé).

Avec :

$K-1$: la date qui correspond au dernier cumul des FNT négative

K : la date qui correspond au premier cumul ≥ 0

D_K : cumul qui correspond à la date K .

D_{K-1} : cumul qui correspond à la date $K-1$.

Selon ce critère, un projet d'investissement est accepté si son temps de récupération est inférieur ou égal à une durée de référence qu'aucun principe financier ne peut déterminer. Et en présence de projets incompatibles, est retenu le projet avec le plus faible temps de récupération. L'avantage de ce critère (DR) est qu'il prend en considération des échéances correspondant aux encaissements futurs. De plus, il favorise les rentrées rapides (liquidités des actifs) et prend naturellement en compte le risque de liquidité ; ce qui permet à l'entreprise de saisir de nouvelles opportunités de s'adapter aux modifications de l'environnement.

En revanche, il présente certains inconvénients :

- Il considère avec la même importance tous les premiers flux monétaires jusqu'au délai de recouvrement du capital initial tandis qu'il néglige tous les flux postérieurs à cette date.
- Par souci de liquidité, le critère de rentabilité est complètement délaissé.
- Il pénalise les investissements à long délai de récupération, caractéristique des investissements de croissance.

Au final, c'est un critère qui accorde la priorité à la sortie au détriment de la rentabilité des projets d'investissement.

b. Le Taux Moyen de Rendement (TMR)

Le taux moyen de rendement est rencontré dans la littérature financière sous différents noms : le taux de rentabilité comptable, taux de rendement comptable, taux de rentabilité simple, en anglais : conventional return on investment.

Le taux moyen de rentabilité de l'investissement est le rapport du revenu moyen annuel net au coût initial de l'investissement.

$$TMR = \frac{\frac{1}{n} \sum FNT}{I_0}$$

I_0 : investissement initial

FNT : Flux Net de Trésorerie

n : nombre d'année du projet

II. 4.1.2. Critères fondés sur l'actualisation (ou critères temporels)

a. La règle d'or

Évaluer un projet d'investissement conduit à comparer le capital investi à l'ensemble des cash-flows (flux nets de trésorerie) liés au projet et donc il ne faut jamais comparer ou égaler deux ou plusieurs capitaux sans avoir, au préalable, ramené ces capitaux à une même date, appelée date d'évaluation ou date d'équivalence.

b. La valeur actualisée des cash-flows annuels

Tous les cash-flows ayant été calculés et disposés sous la forme d'un échéancier annuel, il reste à prendre en compte le temps.

En effet, on ne peut considérer de la même manière un cash-flow disponible à la fin de la 3^{ème} année et un cash-flow qui ne sera réel qu'à la fin de la 10^{ème} année. La technique d'actualisation permet de prendre en compte « le temps », en considérant tout simplement qu'une unité monétaire actuelle (disponible aujourd'hui) est équivalente à un peu plus qu'une unité monétaire qui sera disponible seulement dans un an :

1 unité actuelle = $(1 + i)$ unité dans un an

Inversement on peut dire que la Valeur Actuelle d'une unité disponible dans un an est un peu moins qu'une unité disponible maintenant :

1 unité dans un an = $\frac{1}{1+i}$ unité actuelle

« i » est le taux d'actualisation. Il est exprimé en %.

Le taux d'actualisation d'un projet est un taux minimal de rentabilité en dessous duquel un investisseur considère qu'il n'a pas d'intérêt à investir ses capitaux. Ceci veut dire qu'à partir d'un taux d'actualisation donné l'investisseur peut prendre la décision d'investir ou non.

Ce taux dépend de plusieurs variables :

- les taux d'intérêt monétaires ;
- la dépréciation monétaire ;
- les taux de rendements de certains placements sur le marché.

En généralisant le principe de l'actualisation des cash-flows, on peut affecter à toute transaction monétaire effectuée pendant l'année n et donc à tous les cash-flows une valeur actuelle :

$$\text{Valeur Actuelle du Cash-flow} = \frac{\text{CF}}{(1+i)^n}$$

$1/(1+i)^n$ est le coefficient d'actualisation.

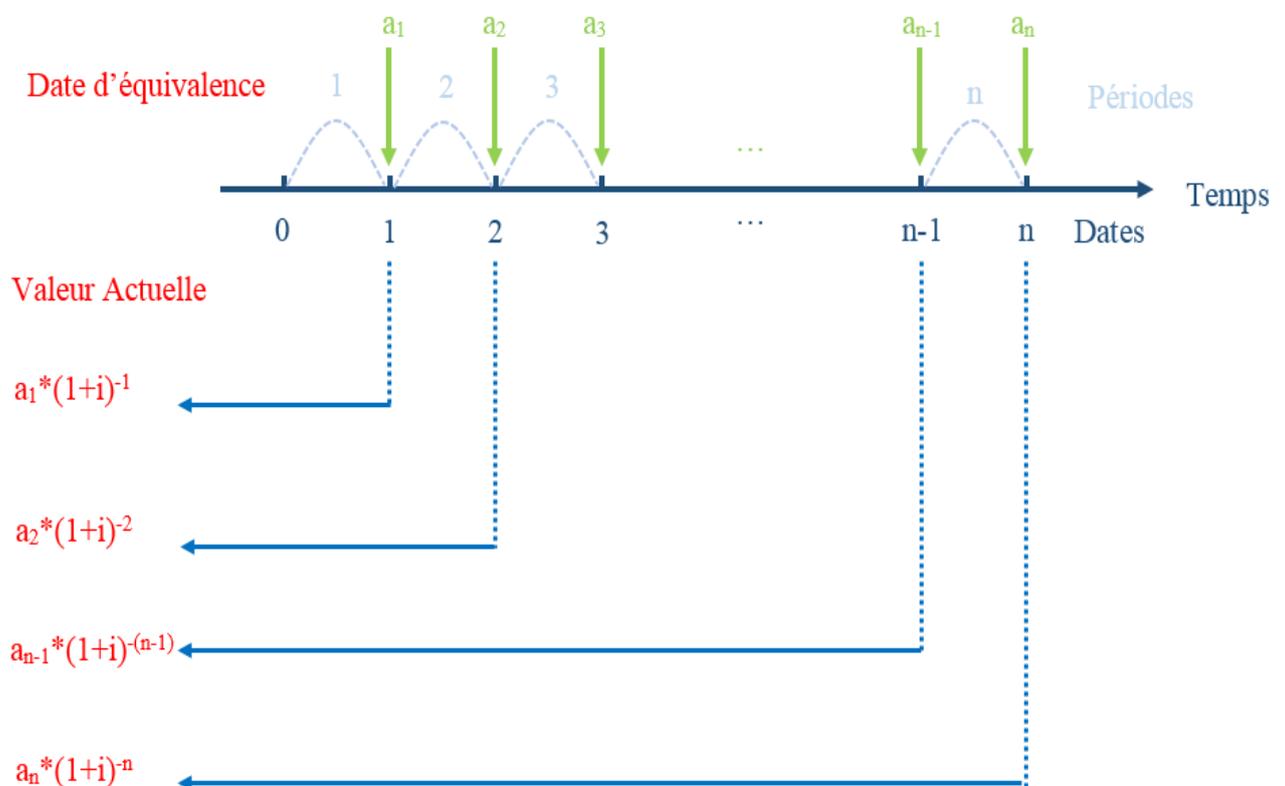


Figure II. 1 : Schéma de flux financiers

La somme des Cash-flows futurs actualisés est la Valeur Actuelle Nette du projet à la date zéro

$$\text{VAN} = \text{Valeur Actuelle Nette} = -I_0 + \sum_1^n \frac{\text{CF}}{(1+i)^n}$$

c. La Valeur Actuelle Nette

La valeur actuelle nette (VAN) est aussi appelée bénéfice actualisé ou encore Discounted Cash Flow (DCF). On sait que les agents économiques éprouvent une préférence pour le présent par rapport à l'avenir, préférence que l'on quantifie à l'aide du taux d'actualisation. Dans un projet d'investissement, on prend en compte cette préférence pour le présent en transformant toutes les valeurs comptables relatives à un projet en valeurs actuelles. Et l'on fait la somme des flux de trésorerie ainsi corrigés. La valeur actualisée du projet est la somme des cash-flows annuels actualisés au taux choisi « i » sur toute la durée du projet.

d. Utilisation directe de la VAN

Avec la VAN d'un projet on dispose d'un moyen de comparaison très facile entre différents projets :

- ✓ On doit considérer que tout projet ayant une VAN positive mérite d'être pris en considération, puisqu'il est susceptible de créer de la richesse.
- ✓ Celui qui a la VAN la plus élevée est celui qui doit être retenu si les projets sont substituables.

e. Le Taux de Rentabilité Interne (TRI)

Pour un projet sans emprunt, sans inflation, sans impôt, la VAN est une donnée intrinsèque au projet, qui ne dépend que de son intérêt et de « i % ».

La VAN étant décroissante lorsque « i % » croît, il est normalement possible de trouver une valeur particulière « i₀ » de « i » qui annule la VAN.

$$\text{VAN} (i = i_0) = 0$$

Dans ce cas il n'y a pas de surplus par rapport à un placement bancaire au même taux et ce taux est par conséquent le taux de rentabilité interne du projet TRI

$$\text{VAN} (\text{TRI}) = 0$$

$$-I_0 + \sum_1^n \frac{CF}{(1 + TRI)^n} = 0$$

Le taux de rentabilité interne des capitaux investis est le taux d'intérêt du placement bancaire qui conduirait à la même fortune finale.

f. Le Délai de Récupération Actualisé (Délai D'Amortissement, DA)

À la différence du délai de récupération (DR), Le délai d'amortissement (DA) prend en considération l'actualisation. Le DA est donc la période d'exploitation requise pour récupérer le montant de l'investissement initial et sa rémunération à un taux égale au taux d'actualisation.

$$DA = K - 1 + \frac{0 - D'_{K-1}}{D'_K - D'_{K-1}}$$

Tel que:

$D'_K = I_0 + FNT_1$ (actualisé) + ... + FNT_K (actualisé).

$K-1$: est la date qui correspond au dernier cumul des FNT négative.

K : la date qui correspond au premier cumul ≥ 0 .

D'_K : cumul qui correspond à la date K .

D'_{K-1} : cumul qui correspond à la date $K-1$.

I_0 : l'investissement initial.

$i\%$: est le taux d'actualisation.

Un simple projet d'investissement indépendant ne sera retenu que si sa période de récupération est inférieure à sa durée utile (durée d'exploitation).

Ce critère est caractérisé par :

- L'impossibilité de distinguer les projets avec différentes VAN,
- La difficulté de se prononcer sur la date butoir appropriée

Ce critère n'accorde aucune importance aux flux de trésorerie après la date butoir et la décision d'investissement est basée sur le temps qu'il faut pour récupérer l'investissement.

g. L'indice de rentabilité (profitabilité IP) :

L'indice de rentabilité ou indice de profitabilité est défini comme le rapport entre les cashflows net actualisés et l'investissement initial. L'indice de rentabilité s'écrit comme suit :

$$IP = 1 + \frac{VAN}{I_0}$$

Ainsi, cet indice mesure la rentabilité d'un projet par unité monétaire initialement investi. Un projet d'investissement est rentable si « ce qu'il rapporte » est supérieur à « ce qu'il coûte ».

Si $IP > 1$, le projet a donc une VAN positive

Si $IP < 1$, la VAN du projet est négative, ce dernier est jugé non rentable.

Règle de décision :

- Pour les projets indépendants, un projet sera jugé rentable lorsque son indice de rentabilité est supérieur à 1.
- Pour les projets mutuellement exclusifs, on retient le projet dont l'IP est supérieure à 1 et le plus élevé.

Remarque :

L'IP est utile en cas de comparaisons entre plusieurs projets à investissement différent. En outre, l'IP est étroitement lié à la VAN, il présente donc les mêmes limites que la VAN.

La prise de décision ne concerne pas que l'avenir certain, elle concerne aussi l'avenir incertain. Ce dernier peut se deviser en deux : avenir incertain probabilisable et non-probabilisable.

II.5. Conclusion

On conclut que les critères empiriques ne peuvent être utilisés comme des critères précis d'évaluation des projets. Cependant, ils constituent des instruments d'informations pour gérer le financement d'un investissement. Leur simplicité permet un calcul rapide et une présentation compréhensible.

Les critères fondés sur l'actualisation sont généralement plus fiables pour évaluer la rentabilité d'un projet ou choisir un projet parmi d'autres.

Pour choisir un projet parmi deux, trois ou plusieurs, on utilise les indicateurs suivants :

La VAN (Valeur Actuelle Nette) et le TRI (Taux de Rentabilité Interne) si les capitaux investis sont égaux.

Sinon, on peut utiliser le TRI (Taux de Rentabilité Interne) et l'IP (Indice de Profitabilité).

Parfois, il peut y avoir discordance entre les différents critères. L'organigramme suivant montre justement comment choisir correctement les critères de décisions :

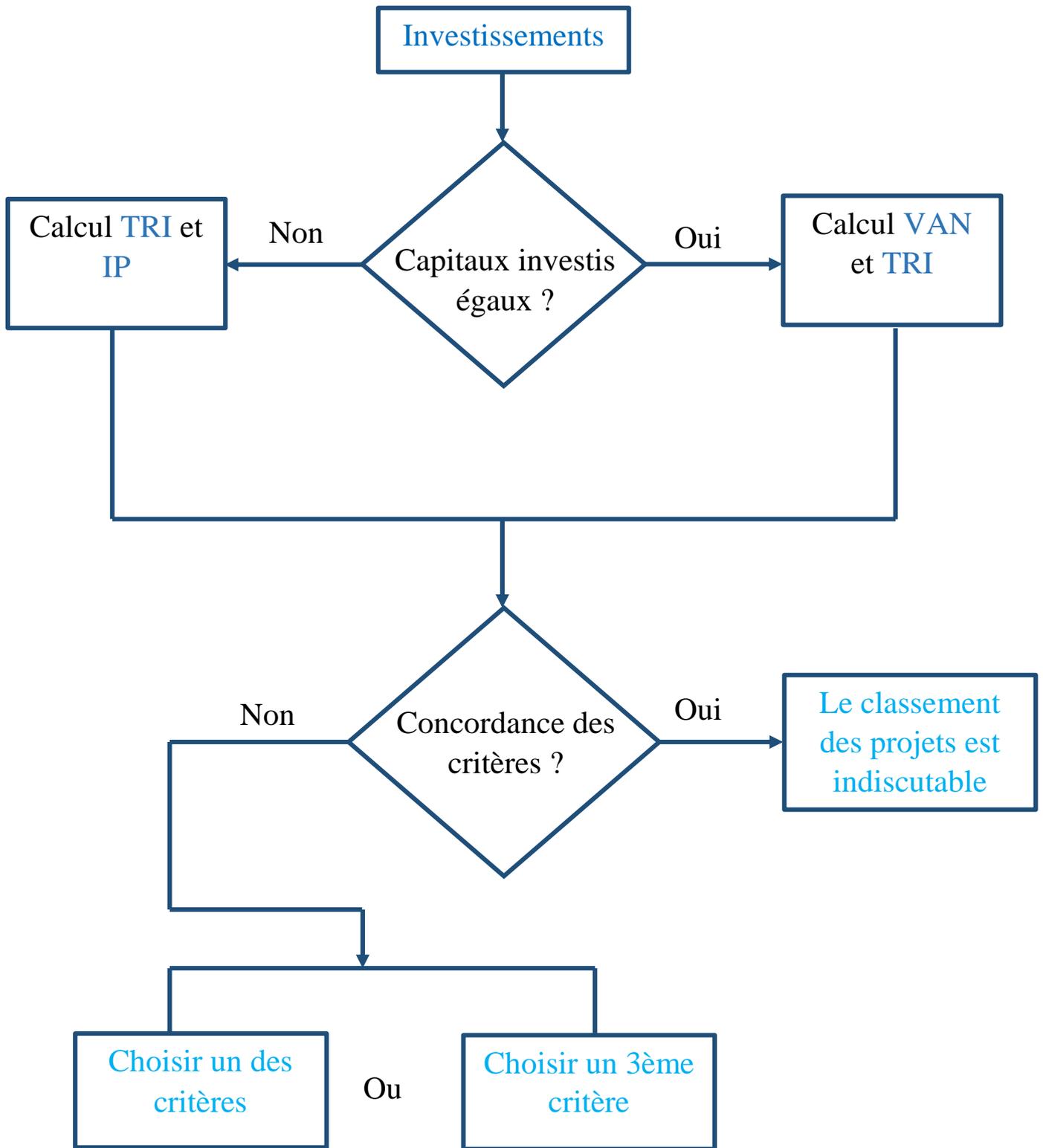


Figure II. 1 Organigramme « choix des critères de décision »

Chapitre III : Application des critères de prise de décision au tableau de trésorerie d'une mine

III.1. Calcul pour $i= 12\%$ **III.1.1. Données du projet :****Tableau 111.1 : Données du projet**

Données du projet	
I_0	130 400 000
i	12 %
n	10

Tableau III.2 : Tableau de trésorerie

Rubriques	1 ^{ère} Année	2 ^{ème} Année	3 ^{ème} Année	4 ^{ème} Année	5 ^{ème} Année	6 ^{ème} Année	7 ^{ème} Année	8 ^{ème} Année	9 ^{ème} Année	10 ^{ème} Année	Total
Résultats Nets	-10 718 046	-10 553 625	-10 553 625	-6 986 958	-6 986 958	16 738 091	16 738 091	16 738 091	17 319 749	17 319 749	39 054 559
Amortissements	40 506 667	40 506 667	40 506 667	35 940 000	35 940 000	6 334 000	6 334 000	6 334 000	6 334 000	6 334 000	225 070 000
C.F. Brut	29 788 621	29 953 042	29 953 042	28 953 042	28 953 042	23 072 091	23 072 091	23 072 091	23 653 749	23 653 749	264 124 559
C.F. Brut Cumulé	29 788 621	59 741 662	89 694 704	118 647 746	147 600 788	170 672 878	193 744 969	216 817 060	240 470 809	264 124 559	264 124 559
Remboursement	C.I	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	C.E	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C.F. Net	29 788 621	29 953 042	29 953 042	28 953 042	28 953 042	23 072 091	23 072 091	23 072 091	23 653 749	23 653 749	264 124 559
C.F.Cumulé	29 788 621	59 741 662	89 694 704	118 647 746	147 600 788	170 672 878	193 744 969	216 817 060	240 470 809	264 124 559	264 124 559

Tableau III.3 : FNT et FNT actualisés

	Année 0	1 ère Année	2 ème Année	3 ème Année	4 ème Année	5 ème Année	6 ème Année	7 ème Année	8 ème Année	9 ème Année	10 ème Année	Total
Coef d'Act	1	0,8929	0,7972	0,7118	0,6355	0,5674	0,5066	0,4523	0,4039	0,3606	0,3220	
I ₀	-130 400 000											-130 400 000
FNT	-130 400 000	29 788620,67	29 953041,72	29 953041,72	28 953041,72	28 953 041,72	23 072 090,88	23 072 090,88	23 072 090,88	23 653 749,19	23 653 749,19	133 724 558,57
FNT Act	-130 400 000	26 596982,74	23 878381,48	21 319983,46	18 40 181,44	16 428 733,43	11 689 039,27	10 436 642,20	9 318 430,54	8 529 779,09	7 615 874,18	23 814 027,83

III.1.2. Calcul des critères empiriques :**A. Le Délai de Récupération (DR) :**

$$DR = K - 1 + \frac{0 - D_{k-1}}{D_k - D_{k-1}}$$

$$K = 5$$

$$D_k = 17\,200\,787,57$$

$$D_{k-1} = -11\,752\,257,16$$

$$DR = 5 - 1 + \frac{0 - (-11\,752\,257,16)}{17\,200\,787,57 - (-11\,752\,257,16)} = 4,41$$

$$DR = 4,41$$

B. Le Taux Moyen de Rendement (TMR) :

$$TMR = \frac{\frac{1}{n} \sum FNT}{I_0}$$

$$n = 10$$

$$\sum FNT = 264\,124\,558,57$$

$$TMR = \frac{0,1 * 264\,124\,558,57}{130\,400\,000} = 0,2025 = 20,25 \%$$

$$TMR = 20,25\%$$

III.1.3. Calcul des critères fondés sur l'actualisation :**A. La Valeur Actuelle Nette (VAN) :**

$$\text{VAN} = -I_0 + \sum \text{FNT actualisés} = -130\,400\,000 + 154\,214\,028 = 23\,814\,028$$

$$\text{VAN} = 23\,814\,028$$

B. Délai d'Amortissement (DA)

$$D1 = K - 1 + \frac{0 - D'_{k-1}}{D'_k - D'_{k-1}}$$

$$K = 8$$

$$D'_k = 7\,668\,374,56$$

$$D'_{k-1} = -1\,650\,055,98$$

$$DR = 8 - 1 + \frac{0 - (-1\,650\,055,98)}{7\,668\,374,56 - (-1\,650\,055,98)} = 7,18$$

$$\text{DA} = 7,18$$

C. L'indice de profitabilité (IP) :

$$IP = 1 + \frac{VAN}{I_0} = 1 + \frac{23\,814\,028}{130\,400\,000} = 1,183$$

$$IP = 1,183$$

D. Le Taux de Rendement Interne (TRI) :

Nous savons que :

$$VAN (TRI) = 0$$

$$-I_0 + \sum_1^n \frac{CF}{(1 + TRI)^n} = 0$$

En résolvant cette équation grâce à la valeur cible d'Excel on trouve :

$$TRI = 17 \%$$

III.1. 4. Résultats et interprétation :

Le tableau suivant récapitule les résultats des critères calculés précédemment :

Tableau III.4 : Résultats des critères de prise de décision pour $i = 12\%$

I₀	130 400 000
i	12%
n	10
DR	4,41
TMR	20,25 %
VAN	23 814 028
DA	7,18
IP	1,183
TRI	17%

✓ Le délai de récupération (DR) correspond à la durée nécessaire pour que la somme cumulée des flux de trésorerie positifs du projet d'investissement soit égale au montant d'investissement et assure son remboursement. Pour ce projet le DR est égal à **4,41**. Donc la durée nécessaire pour rembourser l'investissement initial est de **4 ans 4 mois et 28 jours**.

✓ Le TMR peut être comparé au taux de rentabilité moyen que la firme obtient annuellement avec l'ensemble de ses actifs en place.

Dans le cas général, le TMR constitue un instrument grossier de mesure de la rémunération du capital. Il ne peut alors être un critère d'acceptation ou de rejet d'un projet pour les raisons suivantes :

- La répartition des flux dans le temps n'est pas considéré ;
- Le TMR est calculé à partir d'un résultat après amortissement et impôt. Alors que les flux de trésorerie liés à l'exploitation d'un projet diffèrent sensiblement du résultat comptable.

- Le choix du taux de référence pour juger le taux de rentabilité calculé d'un projet est assez arbitraire.

Le TMR calculé pour ce projet est égal à **20,25%**. Ce dernier devra être comparé à un taux de référence pour juger de la rentabilité du projet.

- ✓ La VAN est égale à **23 814 028** (supérieure à 0). Par conséquent ce projet mérite d'être réalisé.
- ✓ DA est égal à 7,15. Ce qui veut dire que le délai d'amortissement est de **7ans 2mois et 4 jours**. DA est supérieur à DR car il est fondé en considération l'actualisation.
- ✓ La VAN est positive donc l'IP devrait être supérieur à 1.
Effectivement, $IP = 1,183$. Ce projet est donc jugé rentable. (On rappelle que l'IP est souvent utilisé pour comparer 2 projets avec différents investissements.)
- ✓ Le TRI est égal à 17 %. En d'autres termes, la valeur de « i » qui annule la VAN est égale à 17%. Cette valeur est supérieure au taux d'actualisation du projet qui est égal à 12%.

III.2. Calcul pour $i = 10\%$ et comparaison des résultats des 2 projets ($i=12\%$ et $i=10\%$) :**III.2.1. Présentation des résultats :**

Les résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau III.5 : Résultats des critères de prise de décision pour $i = 10\%$

I_0	130 400 000
i	10%
n	10
DR	4,41
TMR	20,25%
VAN	36 469 754
DA	6,45
IP	1,28
TRI	17 %

III.2.2 Comparaison entre les résultats des 2 projets :

Le taux d'actualisation a une influence majeure sur les résultats des critères de prise de décision. Ce dernier est de 10% pour le projet 2 et de 12% pour projet 1.

La baisse du taux d'actualisation entraîne les résultats suivants :

- ✓ Le DR et le TMR des 2 projets ($i=10\%$ et $i=12\%$) sont égaux (car leur calcul n'est pas fondé sur l'actualisation).
- ✓ Le DA du projet 2 ($i = 10\%$) est inférieur à celui du projet 1 ($i=12\%$).
- ✓ La VAN et l'IP du projet 2 sont supérieurs à ceux du projet 1.

Par conséquent, entre 2 projets, on privilégiera toujours celui dont le taux d'actualisation est le plus petit quand les investissements sont égaux.

Conclusion générale :

Chaque entreprise minière est confrontée à des difficultés de prise de décision pour évaluer la rentabilité d'un projet ou pour choisir entre plusieurs projets concurrents celui qui rapporte le plus.

Prendre la bonne décision est donc l'un des plus grands défis des entreprises car il est primordial de savoir à l'avance et d'une manière aussi précise que possible si les investissements qui seront engagés sont rentables ou pas.

Tout part de l'évaluation économique qui permet d'abord de sélectionner un ensemble de projets réalisables selon certains critères de décision puis de choisir le projet le plus rentable, c'est-à-dire, celui qui crée le plus de richesse.

Il existe plusieurs critères d'évaluation, à savoir :

- Critères d'évaluation en avenir certain
- Critères d'évaluation en avenir probabilisable
- Critères d'évaluation en avenir incertain

Les critères que nous avons appliqués au tableau de trésorerie d'une mine sont ceux employés en avenir incertain. Ces derniers sont divisés en 2 catégories :

- 1) Critères dits techniques ou empiriques qui ne font pas appel à l'actualisation des flux financiers.
- 2) Critères financiers fondés sur l'actualisation des flux de trésorerie ou cash-flows.

Ces critères nous ont permis d'évaluer la rentabilité d'un projet minier et de mieux comprendre le concept de l'actualisation en comparant deux projets qui ne diffèrent que par le taux d'actualisation.

Bibliographie

- [1] Nicolas Arndt, Clément Ganino, Stephen Kesler ; « Ressources minérales, origine, nature et exploitation » 2^{ème} édition, 2015
- [2] Eric Trembley, La compréhension des différents modes d'exploitation minière et les enjeux qui y sont associés, PDF, 19 Mars 2010
- [3] Michel Duchene (Conférences) Économie de l'entreprise minière, Ecole Nationale Supérieure Des mines de Paris, Novembre 1993, 3^{ème} édition
- [4] Kosseir Aboubakre, Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du diplôme de MBA en Gestion des entreprises ; Thème : Optimisation d'un portefeuille de projets en exploration pétrolière, 2013
- [5] Abderezak Ait Yahiatene, cours d'économie 2, Ecole Nationale Polytechnique