

Titre: Analyse de sensibilité robuste de la faisabilité économique de projets d'investissements
Title:

Auteurs: Daniel Leblanc, Federico Pasin, & Philippe F. Riel
Authors:

Date: 1990

Type: Rapport / Report

Référence: Leblanc, D., Pasin, F., & Riel, P. F. (1990). Analyse de sensibilité robuste de la faisabilité économique de projets d'investissements (Rapport technique n° EPM-RT-90-12). <https://publications.polymtl.ca/9530/>
Citation:

 **Document en libre accès dans PolyPublie**
Open Access document in PolyPublie

URL de PolyPublie: <https://publications.polymtl.ca/9530/>
PolyPublie URL:

Version: Version officielle de l'éditeur / Published version

Conditions d'utilisation: Tous droits réservés / All rights reserved
Terms of Use:

 **Document publié chez l'éditeur officiel**
Document issued by the official publisher

Institution: École Polytechnique de Montréal

Numéro de rapport: EPM-RT-90-12
Report number:

URL officiel:
Official URL:

Mention légale:
Legal notice:

27 AOÛT 1990

EPM/RT-90/12

(ANALYSE DE SENSIBILITE ROBUSTE) DE LA
FAISABILITE ECONOMIQUE DE PROJETS
D'INVESTISSEMENTS

août
Daniel (Leblanc, ^{ETAL} professeur agrégé
Fédérico Pasin, étudiant à la maîtrise
Philippe F. Riel, chercheur

Département de génie industriel

École Polytechnique de Montréal
Août 1990

Tous droits réservés. On ne peut reproduire ni diffuser aucune partie du présent ouvrage, sous quelque forme que ce soit, sans avoir obtenu au préalable l'autorisation écrite de l'auteur.

Dépot légal, 3^e trimestre 1990
Bibliothèque nationale du Québec
Bibliothèque nationale du Canada

Pour se procurer une copie de ce document, s'adresser au:

Service de l'édition
École Polytechnique de Montréal
Case postale 6079, Succursale A
Montréal (Québec) H3C 3A7
(514-340-4000)

Compter 0,10 \$ par page (arrondir au dollar le plus près) et ajouter 3,00 \$ (Canada) pour la couverture, les frais de poste et la manutention. Régler en dollars canadiens par chèque ou mandat-poste au nom de l'École Polytechnique de Montréal. Nous n'honorons que les commandes accompagnées d'un paiement, sauf s'il y a eu entente préalable dans le cas d'établissements d'enseignement, de sociétés ou d'organismes canadiens.

RESUME

On observe présentement une incertitude croissante dans l'environnement interne et externe des projets industriels. L'analyse de sensibilité des conditions de faisabilité économique fournit des informations essentielles pour les décisions à prendre sur ces projets. On propose ici une méthodologie générale basée sur des méthodes de la période de recouvrement (pay-back) et du taux de rendement interne, familières aux décideurs, qui permet de dégager les conditions robustes au sens statistique du terme pour la faisabilité lorsque les taux, les cash flows et la durée de vie du projet peuvent varier. De plus, la méthode permet au décideur de mesurer son exposition au risque monétaire. Le cas des projets purs, mixtes, avec ou sans valeur de revente variable sont traités.

On observe présentement une incertitude croissante dans l'environnement interne et externe des projets industriels. Ce phénomène a plusieurs origines parmi lesquelles on peut certainement identifier les changements technologiques profonds et rapides qui rendent obsolètes beaucoup d'informations découlant de l'expérience, la concurrence élargie qui ne permet plus de longues périodes de protection pour le démarrage de projets et l'évolution plus chaotique des agrégats macroéconomiques et en particulier du taux d'intérêt et du taux de change.

Dans un tel contexte, il est important d'évaluer les projets selon différents scénarios possibles de leur environnement. Si l'on définit la faisabilité économique comme une situation de rentabilité positive ou nulle, étant donné l'incertitude sur ces environnements, les décideurs se contenteront souvent de dégager et d'estimer la vraisemblance des conditions de faisabilité économique sur un spectre d'environnements possibles plutôt que d'estimer le niveau de rentabilité économique du projet conditionnellement à un environnement trop particulier. Notons qu'il suffit d'incorporer dans le coût du capital une marge pour que la faisabilité économique contienne une condition de profitabilité minimale acceptable.

De plus, comme l'indiquent plusieurs études (Pinardon[6]), l'évaluation de la rentabilité d'un projet n'est plus le critère principal lorsqu'on arrive à un haut niveau de décision; tous les projets rendus à ce niveau ont des zones de rentabilité positive. Il n'en subsiste pas moins le problème d'évaluer ces zones en regard de l'évolution prévue des environnements et des stratégies et critères de ces décideurs. Des analyses de sensibilité semblent alors des outils appropriés pour répondre à ces besoins.

La robustesse (comprise au sens des statisticiens) des conditions de faisabilité dans le contexte d'incertitude signalé précédemment est alors un élément important dans la prise de décision, puisqu'elle décrit en quelque sorte la marge de manoeuvre future du décideur et son

exposition au risque. Cette robustesse de la faisabilité est mesurable par les plages de variations des facteurs de l'environnement qui assurent cette faisabilité. Ces plages sont définies sur des niveaux de facteurs tout au long du cycle de vie du projet. Les facteurs qui seront considérés dans ce travail sont le coût du capital, le taux de réinvestissement hors projet, la durée de vie, les cash flows et le risque monétaire du projet.

Après avoir précisé cette analyse, on montre pourquoi les méthodes de la période du *payback* (P.B.) et du taux de rendement interne (T.R.I.) permettent dans ce contexte des analyses de sensibilité robuste sur la faisabilité économique d'un projet. Ceci explique certainement la popularité de ces méthodes (section 1). On propose alors une méthodologie générale combinant ces deux critères appliqués au cas de projets purs et mixtes d'investissements interruptibles ou non avec ou sans valeur de revente. L'analyse de sensibilité proposée fait intervenir d'abord trois paramètres à la fois, la durée de vie et le coût du capital et les cash flows (Section 2), puis quatre paramètres à la fois (Section 3) lorsque la valeur de revente est variable. Pour donner une plus grande robustesse aux résultats de l'analyse, lorsque la faisabilité dépend de la valeur du taux de réinvestissement hors projet des soldes périodiques positifs, l'hypothèse d'un taux nul est retenue.

La méthodologie proposée est facilement opérationnalisable sur micro-ordinateur à l'aide d'un chiffrier (par exemple avec les logiciels Trapeze [8] ou Quattro Pro [7] et la présentation graphique qui est retenue se prête à une interprétation directe pour la prise de décision.

SECTION 1. UTILITÉ DE LA PÉRIODE DU PAYBACK ET DU TAUX DE RENDEMENT INTERNE DANS UN CONTEXTE D'INCERTITUDE.

Selon les enquêtes menées dans l'industrie, la période du *payback* et le taux de rendement interne restent encore les méthodes les plus utilisées pour évaluer les projets d'investissement. La substitution par des méthodes à priori plus performantes et précises comme la valeur

actuelle nette (V.A.N.), est relativement lente dans le temps contrairement aux attentes. Comme l'avait proposé Weingartner [10], les raisons de cette popularité doivent être comprises avant que l'on veuille développer de meilleures solutions. C'est le but de la présente analyse.

Des biais culturels comme la formation et l'expérience des décideurs en place, peuvent certainement expliquer en partie pourquoi cette progression est lente. Toutefois, les choix actuels de méthodes par les décideurs sont certainement plus optimaux qu'il n'y paraît a priori aux théoriciens. En effet, les méthodes du P.B. et du T.R.I. sont certainement des choix judicieux pour évaluer des projets avec des incertitudes sur l'environnement interne ou externe. Ces incertitudes peuvent porter au niveau de la durée de vie (interruption volontaire ou forcée du projet avant l'échéance prévue), les coûts du capital (et de financement) et sur les niveaux des cash flows avec une mention particulière sur la valeur de revente.

Ainsi le P.B.¹ est la période la plus proche pour laquelle le projet a un solde accumulé non négatif. Ceci est souvent interprété dans un sens étroit de récupération de l'investissement initial. Présenté différemment, la période du P.B. correspond aussi à la durée de vie la plus courte qui assure qu'un projet interruptible soit rentable pour un coût de capital donné et pourvu que les cash flows prévus jusqu'à cette période se réalisent. En d'autres termes, elle fixe l'horizon au-delà duquel les cash flows positifs pourront éventuellement baisser sans que la rentabilité du projet devienne négative. Cette méthode prend donc en compte des variations possibles sur les cash flows les plus éloignés lesquels sont en fait ceux les plus entachés d'incertitude. Ceci est une hypothèse rationnelle. La méthode du P.B. est l'une des rares méthodes qui s'attaque à ce problème de la variabilité des cash flows.

¹Dans la suite de cet article, on fait l'hypothèse de P.B. actualisés et le taux d'actualisation est pris comme synonyme de coût du capital. Ce coût contient aussi les primes de risque et marges que le décideur pourrait ajouter pour s'impliquer dans le projet. L'approche proposée suppose que l'on n'a pas une connaissance précise de ce coût.

De son côté, le T.R.I. est le coût (unitaire) maximal du capital que le projet pourra supporter sans avoir besoin des entrées provenant de réinvestissement des soldes périodiques positifs à l'extérieur du projet. Ceci permet de prendre en compte les incertitudes tant sur les coûts du capital que sur les taux de placement hors projet. En effet, il suffit que tous les coûts du capital quelque soit leur origine et composition (coûts d'opportunité, coût moyen pondéré du capital, prime de risque, marges par exemple) soient inférieurs au T.R.I., pour assurer la rentabilité du projet. Il est important de noter que ceci reste vrai si ces coûts de capital sont variables dans le temps. Ceci permet entre autres de prendre en compte aisément l'incertitude sur les coûts futurs provenant des projets alternatifs écartés. De même au niveau du réinvestissement hors projet, les opportunités et conditions de placement futurs surtout de court terme, éloignés dans le temps et pour des montants relativement peu élevés comme c'est le cas souvent des soldes périodiques positifs d'un projet, sont généralement mal connues des décideurs. Une méthode dont les résultats sont indépendants de la valeur des taux de réinvestissement de ces soldes périodiques positifs hors du projet est certainement appropriée pour traiter cette incertitude.

Notons ici que la méthode du P.B. permet une incertitude sur les cash flows alors que celle du T.R.I. l'accepte pour les taux. La méthode proposée dans cet article combine les avantages complémentaires des deux.

On observe présentement une incertitude croissante dans l'environnement interne et externe des projets industriels qui sont soumis à évaluation. Ce phénomène a plusieurs origines parmi lesquelles on peut certainement identifier les changements technologiques profonds et rapides qui rendent obsolètes beaucoup d'informations tirées de l'expérience. Ainsi, l'évolution technologique se faisant par générations qui se succèdent de plus en plus rapidement, les informations acquises avec les équipements d'une génération précédente sont souvent peu significatives pour celles de la génération suivante.

D'autre part, de nouveaux phénomènes apparaissent. Par exemple, l'intégration fait apparaître des effets systèmes importants (congestion, synergie etc...) qui font que les performances d'un équipement sont très différentes dépendant s'il est isolé ou intégré dans un réseau. La prévision précise de la performance est donc souvent très difficile. Dans un autre ordre d'idée la mondialisation des marchés rend l'appréciation de la concurrence plus aléatoire; ceci force en particulier à raccourcir la prévision des délais de rentabilisation des projets. Finalement, la grande variabilité des agrégats macroéconomiques peut affecter significativement les performances économiques d'un projet. Il suffit de penser aux effets des taux d'intérêts sur les charges de financement de projets intensifs en capital comme le sont la plupart des projets d'automatisation ou des taux de change sur les recettes ou les coûts d'un projet ayant des implications internationales. Dans ces contextes d'incertitude qui semblent une tendance lourde de l'évolution actuelle, le choix d'outils permettant des analyses de sensibilité selon différents scénarios est certainement judicieux de la part des décideurs.

Au niveau du processus de prise de décision, H.Simon [9] et March[4] entre autres, ont établis que la plupart des décisions étaient prises en pratique dans un contexte de rationalité limitée. Le caractère incomplet de l'information sur les projets et la situation de l'entreprise et son environnement, et l'incertitude non probabilisable qui en découle, rendent souvent les comportements d'optimisation inaccessibles. La situation optimale est impossible à déterminer ou si elle peut théoriquement l'être, c'est avec une échéance située au delà de l'horizon temporel de l'action (voir Lorino[3] p.114). Par exemple, la détermination précise du taux d'actualisation n'est pas envisageable de façon réaliste pour la plupart des petites entreprises compte tenu des ressources limitées dont elles disposent et du coût fixe moyen de calcul prohibitif que ceci supposerait par projet, auxquels il faut ajouter la contrainte de délais souvent très courts qui sont impartis pour l'évaluation et la décision. Pour les mêmes raisons, la différenciation des taux d'actualisation selon les projets n'est pas chose courante dans les plus grandes entreprises.

Pour ces différentes raisons qui affectent la qualité des estimés de cash flows, de durée de vie et de taux, le décideur renoncera souvent à la précision d'un estimé de rentabilité comme la V.A.N.² ou l'indice de profitabilité par exemple, pour s'assurer d'abord des conditions limites robustes de faisabilité économique (i.e. de rentabilité positive). Comme il a été montré plus haut les méthodes du P.B. et du T.R.I. sont alors des outils appréciés dans ces situations. Nous proposons de combiner maintenant les avantages de ces méthodes pour obtenir des analyses de sensibilité plus générales sur les environnements.

SECTION 2. ANALYSE DE SENSIBILITÉ DE LA FAISABILITÉ DE PROJETS AVEC VALEUR DE REVENTE NULLE.

Rappelons que lorsqu'on considère un projet d'investissement simple³, les principales propriétés des critères du P.B. et du T.R.I. peuvent se résumer ainsi:

- Le projet sera assurément faisable dès que l'on a acquis les cash flows estimés jusqu'à la période du P.B. comprise, pourvu que les cash flows ultérieurs ne deviennent pas négatifs et ceci pour tout coût du capital qui n'est pas supérieur à celui qui a servi à déterminer la période du P.B. et pour tout taux de réinvestissement (positif) des soldes périodiques positifs;

² Il est à noter que cette précision est généralement peu robuste. La V.A.N. retient l'hypothèse que les marchés de capitaux sont parfaits en posant que les coûts du capital des soldes périodiques négatifs et les taux de réinvestissement des soldes positifs sont égaux et constants dans le temps.

³ Par définition, la somme des cash flows d'un investissement est positive. Un projet pur a tous ses soldes périodiques non-positifs lorsqu'évalués au taux qui annule sa valeur finale. Un projet pur est simple s'il a un seul changement de signe dans sa série de cash flows. Les autres projets purs sont dits non-conventionnels. Les projets non-purs sont des projets mixtes.

- Le projet sera assurément faisable si le coût du capital reste inférieur au T.R.I. sur toute la durée de vie du projet et ceci quelque soit le taux (positif) de réinvestissement des soldes périodiques positifs, pourvu que les cash flows ne soient pas inférieurs à ceux estimés;

Cette indépendance par rapport aux valeurs du taux de réinvestissement des soldes périodiques positifs a été abondamment discutée dans la littérature sous le thème de "the fallacy of the reinvestment rate assumption" (Voir par exemple Lohmann [2]) dans cette revue. Il est toutefois important de noter aussi que les résultats précédents restent valides si les taux sont variables dans le temps. En d'autres termes, on ne fait plus nécessairement l'hypothèse de marchés de capitaux parfaits lorsqu'on applique ici ces critères puisque l'on accepte des taux différents et variables dans le temps.

Il est bien connu que la propriété du T.R.I. est aussi valide pour les projets purs non-conventionnels, donc pour l'ensemble de la classe des projets purs. Toutefois ceci n'est pas le cas pour celle du P.B. puisque les cash flows négatifs pourraient se trouver après la période du P.B. pour des projets non-conventionnels.

Avant de reprendre le cas de ces projets purs non-conventionnels, on propose d'étendre la propriété de variabilité des cash flows ultérieurs contenus dans la méthode du P.B. à la méthode du T.R.I. Ceci peut aisément être fait pour les projets simples. Il suffit de calculer les T.R.I. des projets tronqués aux différentes périodes de la durée de vie. Si l'on retient seulement les taux positifs, ceux-ci sont croissants dans le temps puisqu'ils correspondent à des périodes où les cash flows sont non-négatifs.

On obtient ainsi une courbe d'arbitrage P.B.-T.R.I. qui délimite une zone de faisabilité économique très robuste puisqu'elle permet des variations de taux et de cash flows.

La méthode est illustrée avec le projet de l'exemple 1 pour des projets simples interruptibles et non-interruptibles. Si l'on retient un coût (variable) du capital ayant une valeur maximale $k_a^- = 10\%$, on constate que le P.B. actualisé est t_a . Ceci signifie aussi que pourvu que l'on ait acquis les cash flows prévus jusqu'à la période t_a , on est assuré d'une rentabilité positive dans la suite. Les conditions complémentaires sont que les cash flows ultérieurs ne deviennent pas négatifs⁴ ainsi que les taux de réinvestissement hors projet. La zone $abNt_a$ est donc une zone de faisabilité économique particulièrement robuste lorsque l'on aura atteint t_a dans le cycle de vie du projet.

Le décideur voudra aussi savoir quel est son risque monétaire maximal avant d'atteindre cette période t_A . Les soldes périodiques négatifs donnent cette mesure. Ceux-ci sont représentés en fonction du coût du capital sur la partie gauche du graphique (courbes $F_0, F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$). Pour un coût du capital maximal de 10%, le risque maximal de première période (F_0) sera de l'investissement initial de 100000\$, celui de seconde période (F_1) de 60000\$ et celui de troisième période (F_2) de 26000\$. Après, le risque est nul.

A l'inverse ce graphique déterminera le coût maximal du capital que le projet pourra supporter lorsque l'on se fixe une limite supérieure sur le risque monétaire. Si ce risque ne doit pas dépasser 60000\$, le coût maximal sera de 10%; il suffira de réaliser les cash flows des deux premières périodes pour avoir cette assurance.

Cependant, la généralisation du résultat précédent au cas des projets purs non-conventionnels n'est pas immédiate. La courbe d'arbitrage P.B.-T.R.I. qui est nécessairement monotone croissante pour les projets simples, ne l'est plus nécessairement pour les projets purs non-conventionnels. En effet, il suffit que la situation suivante se présente, pour que l'on ait une décroissance locale dans cette courbe; si le projet tronqué à la période t a un T.R.I. positif et que le cash

⁴ Le projet pourrait donc être aussi interrompu.

Projet se terminant en période:						
Période	5	0	1	2	3	4
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	50000		50000	50000	50000	50000
2	40000			40000	40000	40000
3	30000				30000	30000
4	15000					15000
5	9000					

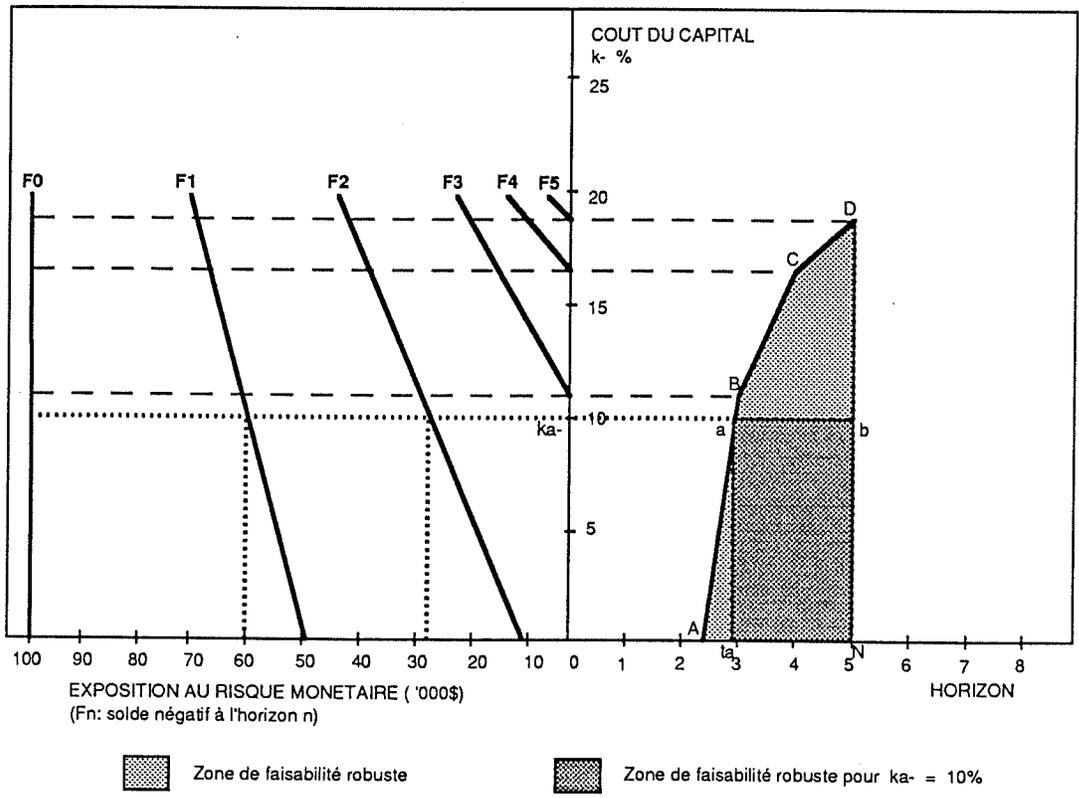
Table 1.1: cash flows du projet

Projet se terminant en période:						
Période	5	0	1	2	3	4
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	-68598		-	-	-60652	-66210
2	-41355			-	-27112	-36962
3	-19046				0	-12909
4	-7589					0
5	0					
TRI	18.60%		-	-	10.65%	16.20%

Note: pour les projets tronqués en 1 et 2 les TRI seraient négatifs.

Table 1.2: soldes périodiques évalués aux TRI

EXEMPLE 1: PROJET SIMPLE SANS VALEUR DE REVENTE



Zone de faisabilité robuste
 Zone de faisabilité robuste pour $k_a = 10\%$

Note: - les cash flows sont répartis de façon uniforme à l'intérieur des périodes.
 -aucune composition intrapériode n'est faite.

FIGURE 1. ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA FAISABILITE ECONOMIQUE D'UN PROJET SIMPLE SANS VALEUR DE REVENTE

flow en $t+1$ est négatif, alors le T.R.I. du projet tronqué en $t+1$ est inférieur au précédent. Un autre phénomène peut aussi se produire; les projets tronqués d'un projet pur non-conventionnel peuvent être mixtes. Ce cas est illustré par l'exemple 2. (tableau 2.2) dans lequel les projets tronqués aux périodes 5,6,7 sont des projets mixtes et en conséquence n'ont pas de T.R.I.

Ces deux phénomènes peuvent toutefois être pris en compte au niveau de la robustesse recherchée dans les conditions de faisabilité économique.

Si l'on désire avoir des résultats conservateurs et donc indépendants du niveau de taux de réinvestissement des soldes positifs hors projet, on fait l'hypothèse que ce taux est nul. Ces résultats auront alors la même qualité de robustesse que ceux dégagés pour les projets simples.

Pour intégrer cette hypothèse, il suffit de calculer des taux de rendement interne modifiés (T.R.I.M.) qui sont les coûts maximaux du capital que le projet peut supporter, avec l'hypothèse que chaque fois qu'il est excédentaire, le solde périodique qui est alors positif est placé à 0%, c'est-à-dire transporté à la période suivante⁵. Le T.R.I.M. calculé pour chacun des projets tronqués avec les soldes périodiques correspondants sont présentés au tableau 2.3 de l'exemple 2.

On peut alors tracer la courbe d'arbitrage (P.B.-T.R.I.M.) comme pour les projets simples soit ABCDEFG sur la figure 2. Celle-ci n'est cependant pas monotone croissante ce qui implique que pour un coût du capital égal à $k_a^- = 10\%$, le projet est rentable dans les périodes $[t_c, t_d]$ et $[t_a, N]$ mais pas durant $]t_d, t_a[$. De plus, la robustesse des conditions de faisabilité quant aux cash flows est moins forte entre

⁵ Le TRIM est différent du taux de rendement externe habituel (Park[5] (p.222) par exemple) dans lequel ce sont tous les cash flows positifs qui sont placés aux taux de réinvestissement spécifiés et non les soldes périodiques positifs. On peut montrer que ces TRIM sont uniques pour un taux de réinvestissement donné.

Projet se terminant en période:									
Période	8	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	-30000		30000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
2	45000			45000	45000	45000	45000	45000	45000
3	45000				45000	45000	45000	45000	45000
4	50000					50000	50000	50000	50000
5	-50000						-50000	-50000	-50000
6	30000							30000	30000
7	35000								35000
8	35000								

Table 2.1: cash flows du projet.

Projet se terminant en période:									
Période	8	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	-95431		-	-	-79077	-93082	-80828	-88090	-92668
2	-74700			-	-41255	-69566	-44581	-59026	-68675
3	-48967				0	-40623	-4408	-24703	-39242
4	-11082					0	45115	20828	1862
5	-63900						0	-25404	-47716
6	-50150							0	-28532
7	-27904								0
8	0								
k ^{-*}	25.43%		-	-	9.08%	23.08%	10.83%	18.09%	22.67%

Note: k^{-*} est négatif pour les périodes 1 et 2.

Table 2.2 Soldes périodiques évalués selon l'hypothèse des marchés de capitaux parfaits (c'est-à-dire avec coût du capital égal au taux de réinvestissement hors projet) et selon le coût du capital maximal (k^{-*})

Projet se terminant en période:									
Période	8	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	-95431		-	-	-79077	-93082	-79070	-87140	-92580
2	-74700			-	-41255	-69566	-41241	-57075	-68484
3	-48967				0	-40623	18	-21858	-38948
4	-11082					0	50018	24394	2257
5	-63900						0	-25605	-47742
6	-50150							0	-28523
7	-27904								0
8	0								
TRIM	25.43%		-	-	9.08%	23.08%	9.07%	17.14%	22.58%

Note: TRIM est négatif pour les périodes 1 et 2

Table 2.3 Soldes périodiques évalués selon l'hypothèse de rendement interne modifié (TRIM) c'est-à-dire avec taux de réinvestissement hors projet nul.

EXEMPLE 2: PROJET PUR NON-CONVENTIONNEL SANS VALEUR DE REVENTE

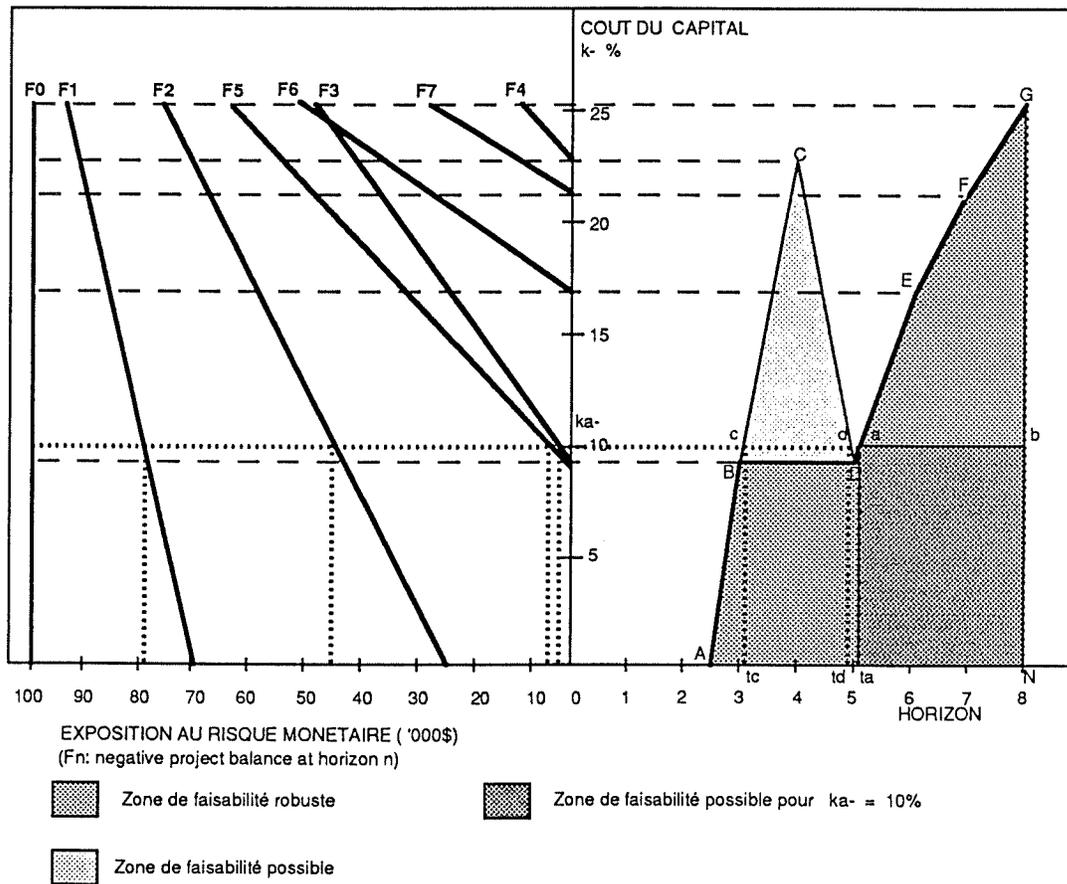


FIGURE 2. ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA FAISABILITE ECONOMIQUE D'UN PROJET PUR NON-CONVENTIONNEL SANS VALEUR DE REVENTE

t_c et t_d qu'à partir de t_a . En effet, à partir de t_a on peut dire que la faisabilité est assurée quelque soit les cash flows futurs non-négatifs. Ce n'est pas le cas à partir de t_c .

En conséquence, on ne peut accepter de disjonction sur les périodes du P.B. pour un coût de capital donné. Ceci conduit à définir ABDEFG comme courbe d'arbitrage P.B.-T.R.I.M., laquelle est monotone croissante et délimite les zones de faisabilité robuste comme dans le cas des projets simples. Les déductions que l'on peut tirer des soldes périodiques négatifs pour le risque monétaire maximal sont aussi semblables à celles des projets simples.

Finalement, on notera que le cas d'un projet mixte a été implicitement traité ici avec la notion de T.R.I.M. définie pour les projets tronqués mixtes d'un projet pur non-conventionnel. La méthode s'applique donc à tous les types de projets sans valeur de revente.

SECTION 3. ANALYSE DE SENSIBILITÉ DE LA FAISABILITÉ DE PROJETS INTERRUPTIBLES AVEC VALEUR DE REVENTE VARIABLE.

Dans la pratique le dernier cash flow d'un projet est analysé avec une attention particulière parce qu'il contient la valeur de liquidation et les effets fiscaux qui y sont attachés. De fait, la rentabilité du projet est généralement fortement dépendante de cette valeur de revente.⁶

Dans un article récent de cette revue, Aggarwal et Soenen [1] ont abordé ce problème sous l'angle de la rentabilité d'un projet interruptible avec valeur de revente variable. A cette fin, ils définissent la "valeur actuelle nette de terminaison" (VANT), comme une extension de la valeur présente nette dans laquelle " ...plutôt que de

⁶ La rentabilité est même essentiellement dans la valeur de revente et non dans les cash flow d'exploitation, pour les projets spéculatifs

terminer le projet uniquement à la fin de sa durée totale prévue, nous l'arrêtons plus tôt, liquidons ses actifs à ce moment, et ce de façon répétitive, à la fin de chaque année (précédent cette durée totale). " [p.43]. Le minimum de la courbe de la VANT en fonction du temps donne pour le coût du capital retenu, le risque monétaire maximal auquel l'entreprise est exposé avec ce projet.

La méthode proposée ici est une extension de l'approche d'Aggarwal et Soenen pour le critère de la faisabilité économique. En effet, on considère les conditions limites de rentabilité quelque soient les coûts de capital, selon différentes valeurs de reventes possibles et sans faire l'hypothèse implicite de marchés de capitaux parfaits contenue dans le concept de valeur actuelle nette. Comme chez Aggarwal et Soenen, l'exposition au risque monétaire maximal est mesurée par les soldes périodiques négatifs du projet, toutefois, on permet ici un jugement qualitatif au décideur sur l'origine de ce risque. En effet, il est intéressant pour la plupart des décideurs de savoir quelle partie du risque provient des cash flows d'exploitation et quelle partie provient de la valeur de revente.

Si l'on applique la méthode développée précédemment au projet décrit dans l'article d'Aggarwal et Soenen, on constate (figure 3.) que les zones de faisabilité robuste semblables à celles dégagées à la section précédente sont délimitées par ABCD si les valeurs de liquidation sont nulles et A'B'C'D'E'F'G', si les valeurs de liquidation sont celles prévues. Toutefois on remarque aussi que la rentabilité anticipée dès la période 2, avec un coût du capital de 10%, par Aggarwal et Soenen, suppose que non seulement les cash flows d'exploitation anticipés soient réalisés mais aussi et surtout que la valeur de liquidation des équipements soit celle prévue. Si cette valeur était nulle, il faudrait attendre la période 5 pour atteindre cette rentabilité. Le risque monétaire peut cependant être facilement décomposé avec la méthode proposée. Par exemple, avec un coût du capital de 10%, le risque monétaire à la fin de la seconde période serait nul si l'on peut revendre l'équipement à la valeur estimée de 50000\$. (En fait, le solde serait positif et égal à 6800\$). Cependant, si la valeur de

Projet se terminant en période:							Cash flow brut*	Valeur de liquidation **
Période	5	0	1	2	3	4		
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	0
1	38000		70000	38000	38000	38000	50000	0
2	32000			56000	32000	32000	40000	0
3	26000				42000	26000	50000	0
4	17000					17000	15000	0
5	13400						9000	0

Table 3.1: cash flows du projet avec valeur de liquidation nulle.

Projet se terminant en période:						
Période	5	0	1	2	3	4
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	-72216		0	-52208	-67783	-70794
2	-47593			0	-39704	-45020
3	-26455				0	-22979
4	-12158					0
5	0					
TRI	10.22%		-	-	5.78%	8.79%

Table 3.2: soldes périodiques évalués aux TRI pour les projets avec valeur de liquidation nulle.

Projet se terminant en période:							Cash flow brut*	Valeur de liquidation **
Période	5	0	1	2	3	4		
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	100000
1	38000		106000	38000	38000	38000	50000	60000
2	32000			86000	32000	32000	40000	50000
3	26000				66000	26000	50000	40000
4	17000					37000	15000	20000
5	13400						9000	10000

Table 3.3: cash flows du projet avec valeur de liquidation prévues.

Projet se terminant en période:						
Période	5	0	1	2	3	4
0	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000	-100000
1	-73886		0	-75663	-77347	-74705
2	-50668			0	-52218	-52197
3	-30691				0	-32829
4	-17339					0
5	0					
TRI	11.89%	-	6%	13.66%	15.35%	12.71%

Table 3.4: soldes périodiques évalués aux TRI pour les projets avec valeur de liquidation prévues.

*cash flow d'exploitation avant impôt ** valeur de liquidation aux prix du marché

Note: le taux de taxation de l'entreprise est de 40% et l'amortissement, linéaire.

EXEMPLE 3: PROJET AVEC VALEUR DE REVENTE VARIABLE (AGGARWAL -SOENEN[1])

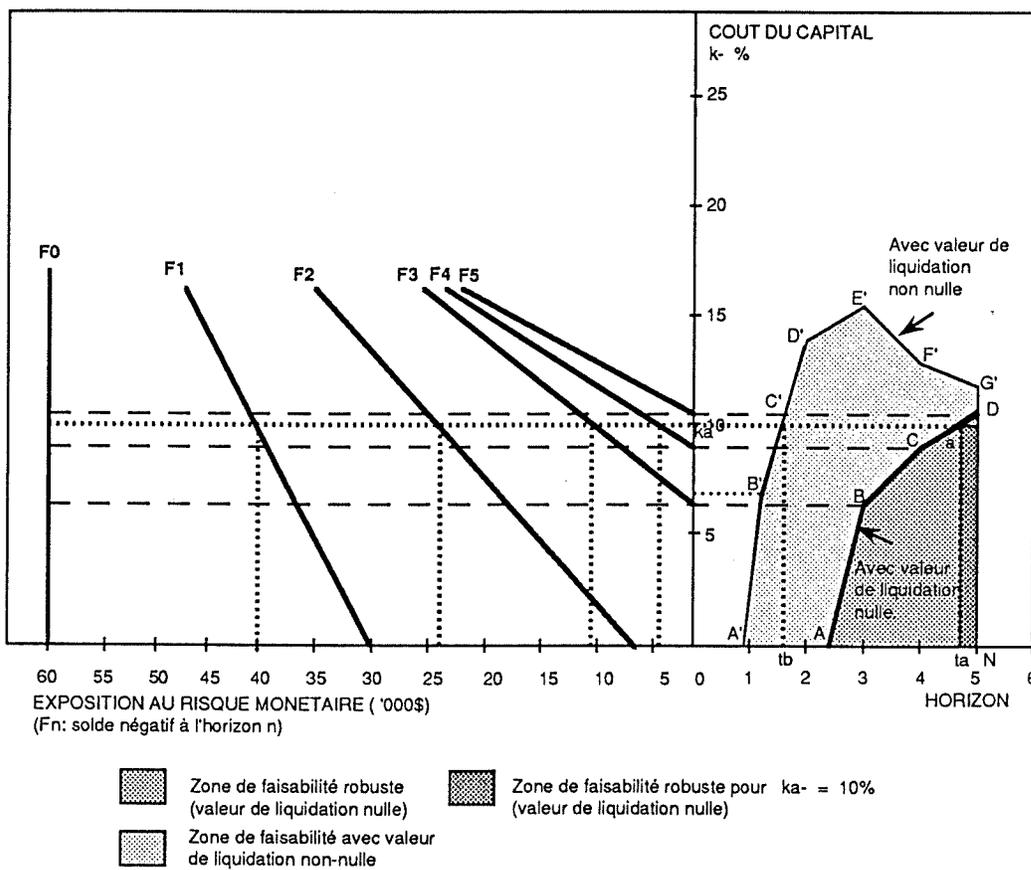


FIGURE 3. ANALYSE DE SENSIBILITE DE LA FAISABILITE ECONOMIQUE D'UN PROJET SIMPLE AVEC VALEUR DE LIQUIDATION VARIABLE. (EXEMPLE D' AGGARWAL-SOENEN, "THE SPEEDER" [6])

liquidation était nulle, la perte serait de 23200\$ (valeur donnée par F_2 sur la figure 3). Cette différence de 30000\$ sur un projet de 100000\$ sera certainement questionnée par tout décideur qui demandera alors des précisions sur la vraisemblance⁷ des estimés de la valeur de revente.

L'analyse de sensibilité présentée ici fournit immédiatement un élément de solution. La valeur de F_2 donne la valeur minimale acceptable sur la valeur de revente sans encourir de pertes (soit ici 23200\$). Ce sont les résultats d'exploitation qui permettent cette diminution de la valeur de revente.

On constate également sur la figure 3 qu'à des taux supérieurs à 11.89%, (point G'), le projet ne sera pas rentable si mené à terme et que par contre, pour tout taux inférieur à 10.22% (point D), il existe une date avant la fin du projet (t_a ici pour $k_a^- = 10\%$), après laquelle on est assuré de la faisabilité économique quelque soient les cash flows et la valeur de revente (non-négatifs).

Comme le soulignent justement Aggarwal et Soenen [p.39], "Ce type d'analyse est particulièrement importante pour des projets faisant face à une incertitude environnementale ou pour ceux qui doivent être terminés prématurément pour des raisons d'ordre technologique, de flexibilité stratégique, d'expropriation gouvernementale ou autres forces échappant au contrôle de la firme". Cependant, l'analyse de sensibilité proposée ici permet de prendre en compte cette incertitude dans un cadre d'hypothèses plus large que celui de la méthode proposée par ces auteurs.

⁷ ...et éventuellement s'assurer contre un risque trop élevé si des marchés existent pour cela.

CONCLUSION

Comme le signalent plusieurs études, les décideurs se sentent généralement plus à l'aise avec des présentations graphiques qu'avec des listes de nombres lorsque les données sont nombreuses. L'incertitude croissante dans l'environnement interne et externe des projets génère plus de ces informations à prendre en compte tant au niveau des scénarios que des critères de décision.

Dans ce travail nous avons tenté de coupler des analyses portant sur le cycle de vie du projet, sur les taux et sur les montants monétaires impliqués dans les conditions de faisabilité économique d'un projet. La présentation synthétique de concepts classiques et compris des décideurs est certainement l'un des points forts de la méthode proposée. L'autre est qu'elle peut s'appliquer à des situations de forte incertitude, situations fréquentes aujourd'hui dans l'évaluation de projets industriels.

REFERENCES

- [1] Aggarwal, R. Soenen, L.A., "Project Exit Value as a Measure of Flexibility and Risk Exposure", *The Engineering Economist*, Volume 35, Number 1, Fall 1989, pp.39-53.
- [2] Lohmann, J.R., "The IRR, NPV, and the Fallacy of the Reinvestment Rate Assumptions", *The Engineering Economist*, Volume 33, Number 4, Summer 1988, pp.303-330.
- [3] Lorino, P., "l'économiste et le manager", EDITIONS LA DECOUVERTE, PARIS, 1989.
- [4] March, J.G., "Bounded Rationality, Ambiguity, and the Engineering of Choice", *The Bell Journal of Economics*, Vol.9, Aut.78, pp.587-608.
- [5] Park, C.S., *Advanced Engineering Economy*, John Wiley & Sons, Inc. 1990.
- [6] Pinardon, F., *La rentabilité une affaire de point de vue, Logiques Economiques*, Edition l'Harmattan 1989.
- [7] Quattro Pro User's guide, Borland International, Inc. 1800 Green Hills Road P.O.Box 660001, Scotts Valley, CA 95066-0001.
- [8] Trapeze, Deltapoint Inc., 200 Heritage Harbor, Monterey, CA 93940.
- [9] Simon, H., *Models of Bounded Rationality*, MIT Press, Cambridge, Massachussets et Londres, 1982.
- [10] Weingartner, H.M., "Some New Views on the Payback Period and Capital Budgeting Decision", *Management Science*, Vol.15, No.12, pp.B594-B607, August 1969.

ÉCOLE POLYTECHNIQUE DE MONTRÉAL



3 9334 00289642 9