

# INNOVATION ET DECISIONS SOUS INCERTITUDE : LE CAS DES INVESTISSEMENTS EN TECHNOLOGIES DE L'INFORMATION

## INNOVATION AND DECISION UNDER UNCERTAINTY :THE CASE OF IT INVESTMENT

Diop Sidy

Cerna- Centre d'économie Industrielle – École des Mines de Paris  
60 boulevard saint-michel, 75 272 Paris cedex 06

### Résumé

Les technologies de l'information (TI) issues des inventions récentes dans les systèmes de numérisation et de transfert des données mettent à la disposition des firmes des innovations importantes. Les décisions d'investissements dans les TI doivent être analysées à travers les théories de la décision en milieu incertain du fait de la forte instabilité, caractéristique des premières périodes de diffusion de certaines innovations. En effet, cette période est marquée par une incertitude sur la viabilité des différentes technologies, sur celle des standards, ou encore sur les impacts au niveau de l'appareil productif. La théorie des choix sous incertitude est marquée par une grande diversité, ainsi que d'importantes controverses. Le point défendu dans cet article est la nécessité dans le cas des TI de considérer la distinction entre risque (ou situations probabilisables) et incertitude (situations non probabilisables), introduite par Knight en 1921. En effet, la nouveauté comme la forte spécificité de ces technologies, rendent difficile la construction de probabilités objectives. Le recours aux probabilités dites « subjectives » construites sur la base des croyances des décideurs butent sur la problématique de la rationalité limitée des décideurs, ainsi que sur la manipulation de ces croyances par les « experts » (cabinets de conseils par exemple). Ainsi la notion d'incertitude radicale est appropriée à l'analyse des investissements TI. Elle peut être décomposée en deux étapes : l'incertitude qualitative qui concerne l'identification des effets introduits par les TI dans les structures productives et l'incertitude quantitative (où les probabilités affectant l'occurrence des effets identifiés sont inconnus). Enfin, la prise en compte du caractère dynamique de l'incertitude permet de mieux intégrer l'arrivée de nouvelles informations affectant son niveau (options réelles par exemple).

### Summary

Information technology (IT) resulting from the recent inventions in digitalization and transfer systems make available significant innovations to firms. Investment decisions in IT must be analyzed through decision theory under uncertainty, because of the strong instability characteristic of the first periods of innovation diffusion. Indeed, this period is marked by an uncertainty of the viability of various technologies, those of the standards applicable to such technologies, or impacts on organizations. The theory of choices under uncertainty is itself marked by a great diversity, as well as strong controversies. The position defended in this article is the need in the case of IT for considering the distinction between risk (situations where probabilities can be used) and uncertainty (where probabilities cannot be used), a distinction introduced by Knight in 1921. Indeed, the novelty, as well as the strong specificity of these technologies make difficult the construction of objective probabilities. The recourse to "subjective" probabilities built on the basis of the decision makers beliefs come up against a problem of limited rationality of decision makers, and on the manipulation of these beliefs by "experts". Thus the concept of radical uncertainty is appropriate to IT investments analysis, and can be split up into two steps : 1) qualitative uncertainty, which relates to identification of effects introduced by IT into the productive structures and 2) quantitative uncertainty in which the probabilities of the identified effects are unknown. Lastly, taking into account the dynamic character of uncertainty makes possible the better integration of new information affecting uncertainty levels (real options theories for example).

---

## Introduction

La décision d'investissement est par nature un pari sur l'avenir. C'est un engagement durable qui a un impact important sur le système de production de l'entreprise (contraintes techniques de production). Cette dimension temporelle est importante car ce « pari » comporte des risques et peut avoir des conséquences à plus ou moins long terme sur la firme. Lorsqu'il s'agit d'investissement dans une innovation technologique comme les technologies de l'information (TI), la décision est encore plus délicate. En effet, les innovations TI se caractérisent par un processus de diffusion soumis à des aléas du point de vue des caractéristiques de la technologie et par l'introduction de changements importants dans la nature des produits ou des processus de la firme. Les investissements TI sont potentiellement source de ruptures sur le fonctionnement et l'organisation de l'entreprise difficile à prévoir. Ainsi, les décisions d'investissement TI sont prises dans un environnement caractérisé par la présence d'une forte incertitude.

Il est pourtant stratégique pour les firmes d'investir dans ces technologies, afin de bénéficier des gains de productivité potentiels engendrés par la numérisation des données. Aussi, il est important de trouver les outils de traitement de l'incertitude appropriés afin de faciliter la prise de décision et d'améliorer la visibilité des conséquences financières de la décision. La littérature économique qui s'intéresse à ce type de problème se regroupe sous le nom de « théorie de la décision en milieu incertain ». Ce champ de la littérature économique est toutefois marqué par une forte diversité, ainsi que d'importantes controverses concernant ses applications. On propose de classer ces apports théoriques en deux grandes catégories, en se basant sur la distinction introduite par Knight (1921) [10] entre risque (approches probabilistes) et incertitude (approches non probabilistes). Il s'agit d'éclaircir les questions suivantes : quels champs de la théorie de la décision permettent de traiter l'incertitude dans le cas des investissements TI ? Peut-on utiliser les mêmes outils quels que soient les niveaux d'incertitude ? Nous allons présenter différents types de théories de décision sous incertitude, et montrer en quoi ils sont (on ne sont pas) applicables aux technologies de l'information.

Dans un premier temps, nous commencerons par analyser les investissements entrepris par les firmes dans les TI, en montrant en quoi ils s'inscrivent dans un environnement incertain. Dans une seconde partie, nous présenterons les différentes théories de traitement de l'incertitude selon le découpage proposé ci-dessus. Enfin, nous discuterons de la question de l'application de ces modèles aux investissements dans les technologies de l'information.

### I) Décisions d'investissement TI et incertitude

L'intégration des TI dans les structures productives des firmes s'inscrit aujourd'hui dans la mise en réseau des systèmes informatiques. Contrairement aux années 70-80, où l'informatique centralisée et peu communicante visait principalement à améliorer l'efficacité d'opérations précises et isolées, l'informatique de réseau a pour ambition d'intégrer l'ensemble des processus et des systèmes d'information de l'entreprise.

Deux inventions majeures ont changé la donne : le client/serveur et l'apparition d'un protocole de transmission universelle (TCP/IP), auxquels on peut ajouter les découvertes dans les techniques d'interconnexion et de mise en réseaux (Ethernet, Token Ring, réseau Wan, etc), ainsi que dans les techniques de commutation par paquets. De nouveaux potentiels d'« innovations IP » basés sur la convergence entre informatique et télécommunications sont dès lors à la disposition des firmes : nouveaux systèmes de distribution et de communication, nouvelles méthodes de travail, nouveaux canaux de relation client, etc. Elles ont pour spécificité de permettre d'exploiter le caractère transversal de la numérisation de l'information. En effet, il est désormais possible avec les TI, de stocker, traiter, diffuser l'ensemble des informations résultant de l'interaction entre les différentes unités organisationnelles de l'entreprise, mais également entre la firme et ses partenaires externes. Ainsi, les entreprises peuvent intégrer rapidement ces informations dans leur processus de production, créer de nouveaux actifs « numériques » ou les combiner avec les « actifs traditionnels », et bénéficier ainsi des gains de productivité.

Toutefois, dans les premières phases de diffusion d'une innovation, l'incertitude est très forte. En effet, le choc technologique se fait de façon continue et aléatoire : incertitude sur le rythme des innovations incrémentales futures, et sur la fiabilité des anciennes versions. Par ailleurs, l'action des concurrents en matière d'adaptation est importante mais inconnue, ou encore les impacts au niveau de l'appareil productif sont peu connus (bouleversement des dispositifs organisationnels, incertitude sur les bénéfices et coûts de la technologie...). De ce fait plusieurs trajectoires potentielles d'innovations sont envisageables. Le problème provient du fait qu'elles ne sont pas toutes stables/viables. Par exemple dans la mise en place des processus innovants IP, neuf produits sur dix sont des échecs commerciaux<sup>1</sup>. De plus au sein d'une même trajectoire, il existe une incertitude sur les modèles d'exploitation économiques appropriés à ces nouvelles possibilités. Ainsi avant l'explosion de la bulle spéculative sur les valeurs technologiques, les investissements TI sont marqués par une forte diversité qui se retrouve tant au niveau de la variété des projets TI (places de marché, ERP<sup>2</sup>, réseaux d'échanges privés, CRM<sup>3</sup>, ...) qu'au niveau des montants en jeu (407 milliards de dollars aux États-Unis en 1999<sup>4</sup>).

Les décisions d'investissement durant cette période s'appuient pour la plupart sur des évaluations basées sur une modélisation du risque. Or, comme on vient de le rappeler, les TI sont caractérisées par une forte incertitude. Cette incertitude reste généralement synonyme de risque dans la conscience collective. Il est pourtant important de distinguer les deux notions lorsqu'on investit dans une innovation technologique. En effet, la littérature économique a depuis les travaux de Knight (1921) [10] montré que les deux concepts n'étaient pas équivalents.

---

<sup>1</sup> Source : journal du net 24 mai 2004.

<sup>2</sup> Entreprise ressource planning : systèmes d'information visant à gérer l'ensemble des fonctions verticales de l'entreprise : achats, production, logistique ...

<sup>3</sup> Customer relationship management : logiciel de gestion de la relation client.

<sup>4</sup> Chiffres du Bureau of the census, US department of commerce.

## II) Revue de la littérature sur le traitement du risque et de l'incertain

### Risque et incertitude

En environnement incertain, le choix des agents économiques peut être modélisé par le calcul des probabilités des événements futurs. La méthode consiste à élaborer un modèle structurel ayant un certain nombre de paramètres, auxquels on associe une distribution de probabilité. Il existe deux façons de trouver ces probabilités (Knight, 1921) [10]. Soit il est possible d'attacher aux événements une distribution de « probabilité logique » à travers un calcul a priori (jeu de loterie ou de dés par exemple) ; soit il existe une observation des données empiriques permettant de dégager des « probabilités statistiques »<sup>5</sup>. Mais si cette distribution de probabilités dite « objectives » n'est pas disponible, cette modélisation n'est plus adaptée. On passe d'une situation de risque à une situation d'incertitude où il est impossible d'établir les probabilités d'occurrence en raison du caractère unique et spécifique de l'événement. La distinction introduite par Knight entre risque et incertitude a pour point de départ l'explication de la nature et rôle de l'entrepreneur. En effet, selon Knight (1921)<sup>6</sup> [10], l'entrepreneur n'assume pas le risque lié à l'innovation (contrairement aux idées reçues). Ce sont les banques qui assurent le rôle d'évaluation du risque, la décision de financement de l'innovation leur appartient. Dès lors, il convient de distinguer la rémunération du banquier comme preneur de risques et le profit de l'entrepreneur soumis à une imprévisibilité plus grande (incertitude). De même Keynes (1931) [9] distingue les deux notions « Par l'expression connaissance « incertaine », mon intention n'est pas simplement de distinguer ce qui est su avec certitude de ce qui est seulement probable... Le sens dans lequel j'utilise ce terme est celui selon lequel la perspective d'une guerre européenne était incertaine, ou encore le prix du cuivre et le taux de l'intérêt dans vingt ans, ... En ces matières, il n'y a pas de fondement scientifique sur lequel on puisse formuler, de façon autorisée, quelque raisonnement probabiliste que ce soit. Nous ne savons pas tout simplement »<sup>7</sup>. Accepter la ligne de partage (incertitude/ risque) signifierait que, dans certaines circonstances dites d'« incertitude radicale », il faudrait renoncer à la rationalité instrumentale<sup>8</sup> de l'agent économique ; autrement dit renoncer à la possibilité d'aboutir à un classement cohérent des alternatives possibles.

Toutefois afin de faciliter la prise de décision dans ce cas, d'autres auteurs font l'hypothèse que les individus se comportent comme s'ils attribuaient aux événements incertains une probabilité « subjective ». Ce sont donc les croyances personnelles des agents sur les états de la nature qui déterminent ces probabilités (Savage, 1954) [14]. Ce type de modélisation intègre également, dans la formation de ces croyances,

l'influence de l'environnement du décideur tel que l'avis d'un ou plusieurs experts (Gajdos, Tallo, Vergnaud, 2002) [5]. Cette approche selon laquelle les probabilités dépendent des degrés de croyances des agents s'oppose à l'approche « objectiviste » exposée en premier (défendue par les post-keynésiens). Une spécificité de l'approche subjectiviste réside dans le fait qu'elle n'opère aucune distinction entre risque et incertitude.

La notion d'incertitude au sens de Knight a depuis été reprise par certains auteurs, qui ont contribué à éclairer l'impact de cet apport dans la théorie de la décision en milieu incertain.

### L'incertitude qualitative et quantitative

Il existe deux niveaux d'incertitudes au sens de Knight (Kourilsky et Viney, 2000) [11]. Le premier niveau est qualifié d'incertitude qualitative (ou scientifique). Il apparaît lorsque l'incertitude concerne des théories en concurrence. Par exemple deux théories scientifiques peuvent être exactes (scientifiquement), sans que l'on sache ex-ante laquelle correspond à la réalité. Ce type d'incertitude provient soit d'un problème d'identification des effets, soit de l'identification des causes. Dans les deux cas, il n'y a pas de relation de causalité établie pour le phénomène étudié. Dans la recherche de la bonne relation de causalité, on considère que l'information dont dispose le décideur lui permet de connaître les théories et leurs « vraisemblances » associées. Zadeh (1978) [20] montre qu'on peut parler de gradation de possibilités entre les différentes théories ou relations de causalité. Il s'agit de comparer et classer les théories selon leur degré de possibilité, calculé à partir d'opérateur maximum et minimum et l'attitude du décideur<sup>9</sup>. De même Chevassus-au-Louis (2000) [3] parle de plausibilité (classement des différentes théories selon leur degré de plausibilité). Ce critère a un caractère qualitatif avec des modalités non mesurables : vraisemblance du type « faible », « moyenne » ou « forte »<sup>10</sup>. De plus, lorsque l'on cherche à valider une théorie parmi plusieurs en concurrence, l'utilisation des probabilités conduit à des résultats erronés comme le montre l'exemple suivant (Skackle, 1967) [16].

Supposons qu'il existe trois théories en concurrence (H1, H2, H3) pour l'explication d'un phénomène. On pose,  $\Pi(H1) = \Pi(H2) = \Pi(H3) = 1$ . Ce qui revient à dire que les trois théories sont possibles, avec  $\Pi$  la distribution de probabilité. En utilisant la théorie des probabilités, on donnerait une probabilité égale à 1/3 pour chaque théorie. Si on introduit un choc exogène dans un second temps, avec l'arrivée d'une nouvelle théorie (sans information sur la vraisemblance des anciennes théories) :

- La distribution des possibilités devient :  $\Pi(H1) = \Pi(H2) = \Pi(H3) = \Pi(H4) = 1$ .
- L'utilisation de la théorie des probabilités conduirait à attribuer à chaque théorie une probabilité de 1/4 (autrement dit les trois premières théories sont devenues moins « probables »).

<sup>5</sup> Ces observations empiriques peuvent également être déduites, comme dans la méthode « case based theory » de Gilboa et Schmeidler (1995) qui se base sur l'analogie aux choix passés. Nous reviendrons sur cette méthode dans la section 3.

<sup>6</sup> On retrouve la même idée chez Schumpeter

<sup>7</sup> Revue française d'économie, 1990 vol 4.

<sup>8</sup> Ramener les choix à une logique de calcul, à une question de formalisation et d'outil.

<sup>9</sup> Quelques spécificités de cet outil : il n'y a pas de lien entre la possibilité d'une théorie et celle des autres théories, le degré de possibilité d'une théorie et son événement complémentaire ne sont que faiblement liés (contrairement à la théorie de probabilités).

<sup>10</sup> Une différence de plus par rapport aux probabilités provient du fait qu'on ne puisse calculer ni la somme, ni la moyenne des vraisemblances.

Deuxièmement, même si une théorie est prouvée, l'incertitude peut subsister. Ce deuxième niveau d'incertitude survient lorsque l'ensemble des événements possibles est connu, et que les probabilités associées à chaque événement ne le sont pas. On parle alors d'incertitude quantitative : à chaque événement est associée une fréquence, mais qui n'est pas toujours évidente à observer. Elle peut être de plusieurs niveaux : totale, partielle ou probabilisable.

- Dans le cas d'incertitude totale, on peut utiliser des opérateurs du type Minmax ou Maxmin<sup>11</sup> qui permettent de prendre des décisions sans informations sur les états de la nature, en fonction du degré d'aversion à l'incertitude du décideur.
- Dans le cas d'incertitude partielle, pour chaque événement, on connaît un intervalle dans lequel peut se trouver la probabilité (Jaffray, 1989) [8]. Il y a une incertitude sur la valeur de la « vraie probabilité », on peut uniquement donner des bornes sur cette valeur.
- L'incertitude probabilisable réintroduit le calcul des probabilités.

Les développements récents de la théorie des choix sous incertitude ont permis d'élaborer des outils permettant de prendre en compte le caractère dynamique de l'incertitude afin d'intégrer l'arrivée de nouvelles informations affectant son niveau. C'est par exemple la méthode des options réelles que l'on a choisi de présenter ci-dessous.

#### Exemple d'outil de traitement dynamique de l'incertitude : les options réelles

Les progrès dans le domaine scientifique et technologique entraînent la nécessité d'avoir une gestion dynamique de l'incertitude. L'arrivée de nouvelles informations peut accroître, diminuer ou n'avoir aucun effet sur le niveau d'incertitude. Par exemple dans le cas d'incertitude qualitative, les vraisemblances associées aux théories peuvent changer. De même, en cas d'incertitude quantitative, les fréquences établies ou l'étendue des distributions de probabilité peuvent varier.

Les options réelles permettent le passage d'une évaluation statique à une évaluation dynamique de l'incertitude<sup>12</sup>. Elles prennent en compte trois dimensions des investissements à la fois : l'incertitude sur les revenus futurs, l'irréversibilité de l'investissement et l'opportunité de reporter l'investissement. Dans la méthode classique des valeurs actualisées

nettes (VAN) seules les possibilités présentes sont prises en compte. Les opportunités futures ou encore la possibilité d'abandonner ou différer le projet ne sont pas considérées<sup>13</sup>. La méthode des VAN peut conduire à rejeter un projet dont l'investissement initial est élevé avec des retours faibles, mais pouvant aboutir à des opportunités de croissance futures. L'option consiste à se réserver des marges de souplesses pour intégrer dans l'évaluation présente, les conséquences d'événements imprévisibles. Elle s'avère particulièrement adaptée dans l'analyse de certaines décisions d'investissement caractérisées par des coûts fixes initiaux importants et par un développement séquentiel.

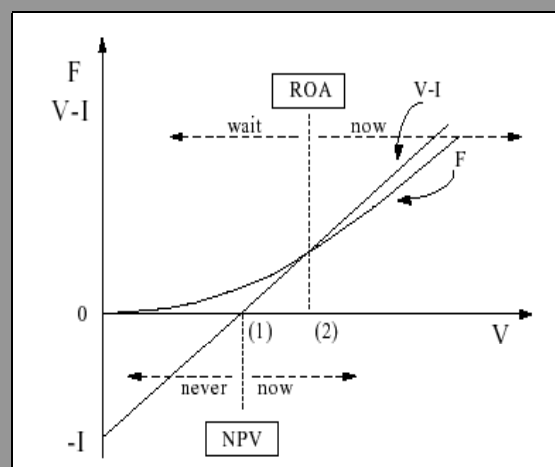
L'exemple théorique suivant illustre la différence entre les options réelles et la VAN :

Soit  $V$  la valeur actuelle d'un investissement donné,  $I$  son coût et  $V-I$  son bénéfice. Selon le critère de la valeur actualisée nette (VAN) lorsque cette valeur est positive on peut investir. Avec une analyse par les options réelles, on considère qu'une fois la décision d'investissement prise, l'option n'existe plus. La valeur de l'option aujourd'hui ( $F_0$ ) doit donc être considérée comme un coût d'opportunité à l'investissement, il convient de la rajouter au coût de l'investissement ( $I$ ). Le critère de décision devient :

- $V < I + F_0$  : attendre avant d'investir
- $V \geq I + F_0$  : investir

Le principe est illustré dans le graphique suivant :

Figure 1 : ROA\* Vs NPV\*\*



Source : Cassimon & Meersman (1997)

\* Real option analysis ou analyse par les options réelles

\*\* Net present value, ou valeur nette actualisée

La valeur d'option ( $F$ ) peut être élevée lorsque l'attente est bénéfique. C'est le cas en présence d'incertitude forte. Les entreprises retardent leurs investissements en attendant des informations nouvelles sur les conditions du marché, qui réduisent l'incertitude. Intuitivement, plus le degré d'incertitude est élevé, plus la valeur de l'investissement doit être supérieure à son coût avant que l'on décide effectivement d'investir<sup>14</sup>.

de revenus futurs est assimilée à la volatilité des cash-flows anticipés.

<sup>13</sup> Cette méthode ne prend donc pas en compte la « rationalité adaptative » des firmes qui ajuste leur stratégie d'investissement lorsque l'incertitude varie afin d'intégrer les informations nouvelles.

<sup>14</sup> Cette affirmation n'est valable qu'en cas d'irréversibilité des investissements.

<sup>11</sup> Le critère Maxmin est utilisé lorsque la stratégie du décideur est prudente, il revient à prendre la décision qui donne le meilleur résultat dans le pire des cas.

<sup>12</sup> La modélisation passe par l'application des options financières aux investissements : on considère que l'investisseur détient une option d'achat, qui sur une période donnée, donne à l'investisseur le droit (et non l'obligation) de payer un certain prix fixé (le coût de l'investissement) pour un actif. Lorsque la décision est prise, l'option est exercée. Le coût de l'investissement représente le prix d'exercice de l'option. La valeur de l'option correspond à la valeur actuelle cash-flows, augmentée des nouvelles opportunités. L'incertitude concernant les flux

Dans d'autres situations, la valeur de l'option peut être faible voire négative. Par exemple, lorsque la pression concurrentielle est forte, le manque à gagner important ou de façon générale lorsque la décision de reporter l'investissement s'avère coûteuse. Il faut donc arbitrer entre le coût de la décision de report de l'investissement (risque de laisser échapper des opportunités), et les gains de l'attente consécutifs à l'obtention de nouvelles informations.

Comme présenté dans la première section les décisions d'investissements dans les TI s'inscrivent dans le cadre de la théorie des choix sous incertitude, toutefois l'application des différents outils disponibles est souvent délicate.

### III) Application des outils de traitement du risque et de l'incertitude aux investissements TI

#### Limites de l'utilisation des outils de probabilités dans les investissements TI

Les probabilités (objectives) des états de la nature sont en général construites à partir de régularités objectives ou de façon logique. Or, les innovations TI introduisent des ruptures majeures avec une forte incertitude liée au caractère inédit des phénomènes qu'elles engendrent et à l'instabilité du processus de diffusion des technologies. Il est donc difficile, lorsqu'on investit dans une technologie IP, d'associer dès le début (par exemple avant l'éclatement de la bulle Internet) aux coûts/bénéfices de la technologie une distribution de probabilité objective, car il existe peu d'observations des faits. Par exemple, les entreprises qui ont les premières investies dans les solutions CRM souffraient d'un manque de connaissances précises sur le choix des standards, la nature des transformations internes, l'ampleur des coûts d'intégration, la nature des bénéfices réels, ... Les différentes fréquences sur les états de la nature étaient alors inobservables.

En l'absence de probabilités objectives, beaucoup de firmes ont utilisé des probabilités subjectives pour fonder leur décision d'investissement dans les TI, ce qui pose également un problème. En effet, lorsque les décideurs ont formulés ces probabilités, ils ont été largement influencés (durant toute la période d'investissement massif dans les TI) par les croyances des experts ayant une notoriété dans le milieu (experts). Gajdos, Tallon, et Vergnaud (2002) [5] montrent comment, même lorsqu'il n'existe pas de consensus entre différents experts, ces derniers connaissant les critères de choix des décideurs sont en mesure de biaiser leur estimation<sup>15</sup>. Dans les TI, les croyances globales étaient influencées par les cabinets de conseil, les analystes financiers ainsi que les sociétés de services et d'ingénierie informatique. Ces acteurs avaient des intérêts directs dans la vente de produits TI, et l'on peut supposer qu'ils tendaient à sous-estimer les probabilités d'occurrence d'événements non désirables (coûts d'intégration par exemple) et à surestimer d'autres événements (bénéfices de la technologie par exemple).

Une autre méthode pour déterminer les probabilités, consiste à utiliser l'analogie aux choix passés (Gilboa et Schmeidler, 1995) [6]. Si les décideurs n'ont pas le temps d'attendre pour de nouvelles informations (action dans l'urgence), l'expérience du passé constitue une solution. L'investisseur prend des décisions par analogies au passé en choisissant les actes qui ont donné de bons résultats, et ceci pour des problèmes qui paraissent similaires à celui qui est posé. Ce critère peut, par exemple, pousser une firme à acheter son infrastructure TI chez un fournisseur qu'elle a jugé satisfaisant dans le passé. En effet, cela permet de diminuer l'incertitude sur la qualité de la prestation fournie. Ici ce type d'approche est réalisable, car il existe un historique de la relation client/fournisseur sur l'achat d'une autre technologie par exemple. Par contre, dans la mesure où les technologies IP sont inédites et fortement spécifiques, la construction des probabilités dans l'analyse coûts/bénéfices est difficilement réalisable<sup>16</sup>.

Toutefois, si les connaissances sont souvent embryonnaires dans un premier temps (où l'utilisation des probabilités est délicate), au fur et à mesure de la diffusion de la technologie, on assiste à une baisse du niveau d'incertitude. Le processus de diffusion des innovations IP s'accompagne d'un phénomène d'apprentissage qui rend moins aléatoire l'exploitation des nouvelles possibilités. Par exemple au moment où sont apparues les ERP, les coûts d'intégrations de ces systèmes étaient incertains. À l'heure actuelle, on arrive à trouver des estimations de ces coûts, grâce à l'expérience des firmes qui ont les premières investies dans ces technologies. Il s'avère qu'ils sont cinq fois supérieurs aux coûts d'acquisition du logiciel<sup>17</sup>. Walley (1991) [18] parle de « probabilités imprécises », dans le sens où il existe une distribution de probabilités objectives, qui n'est pas connue au moment de la prise de décision.

Les outils de probabilités sont à utiliser avec précaution. Le rattachement des technologies de l'information à l'incertitude au sens de Knight est dans les premières périodes de leur diffusion utile à la compréhension des décision d'investissement TI.

#### L'incertitude

L'incertitude qualitative sur les causes d'un phénomène correspond à une situation où l'on connaît ses effets, mais où on recherche encore les explications (exemple une maladie). À l'opposé, l'incertitude sur l'identification des effets apparaît souvent au moment d'introduction de nouveautés : produit, marché, technologie... (Kourilsky-Viney, 2000) [11]. C'est le cas des investissements TI. Il existe une incertitude sur les effets/impacts au niveau de l'appareil productif de l'intégration de ces technologies. Par exemple, l'incertitude sur la productivité des technologies de l'information a fait l'objet d'un long débat entre économistes. Lorsque a été identifié le paradoxe de Solow, il existait différentes relations de causalité (ou différentes théories), mais aucune

<sup>15</sup> En cas d'agrégation par « moyennage » par exemple, les experts exagèrent leur avis afin de tirer cette moyenne vers le haut.

<sup>16</sup> Au contraire lorsque par exemple une firme qui a déjà investi dans une centrale de traitement des déchets désire réinvestir dans une nouvelle unité, elle peut utiliser les probabilités observées dans le premier cas pour construire ses outils d'aide à la décision.

<sup>17</sup> Chiffres Adonix, 2003.

information ne permettait alors de statuer sur son fondement<sup>18</sup>. De même, durant les premières phases de diffusion de ces technologies, il existe une incertitude qualitative sur les modèles d'affaires électroniques associés à ces investissements : phase de tâtonnement sur les modèles d'affaires capables d'exploiter ces nouvelles possibilités<sup>19</sup>. Toutefois, même si l'incertitude existait, elle a été écartée par un grand nombre de décideurs qui durant la période pré-krach considéraient par exemple que la règle du « *first mover advantage* » était la bonne, même si à l'époque peu d'informations ne permettait de statuer sur la vraisemblance de cette théorie.

Dans ce cas, la prise de décision peut donc s'appuyer sur la plausibilité ou le degré de possibilité des différentes théories. Toutefois ces deux outils dépendent de la quantité d'information disponible, elle même liée au degré de consensus entre les experts qui déterminent la « consistance scientifique des hypothèses » (Chevassus-au-Louis, 2000) [3]. Ainsi, les critiques formulées sur la manipulation des croyances peuvent également s'appliquer ici. Quant à l'incertitude quantitative, dans le cas des TI, elle concerne les probabilités d'occurrence des différents effets identifiés, comme la probabilité pour une firme donnée de tirer des bénéfices de l'utilisation des TI. Ainsi, on peut avoir des hypothèses plausibles (les TI entraînent une hausse de la productivité), avec une faible probabilité d'occurrence. Une fois la relation de causalité établie, il n'est pas garanti que toute firme qui investit dans les TI enregistrera une hausse de sa productivité. Cet aspect dépend d'autres facteurs, comme les compétences disponibles, la réorganisation de la firme... Dans ce cas, l'utilisation des probabilités est possible dès lors qu'il existe des données empiriques.

### Gestion dynamique de l'incertitude

Les investissements TI ont des effets à long terme sur l'appareil productif. Les risques et incertitudes de l'intégration de ces technologies sont amenés à évoluer. En prenant en compte cette dimension temporelle, les options réelles offrent une lecture intéressante de l'évolution des stratégies d'investissement dans les TI. En effet, durant la période pré-krach, les entreprises impliquées dans la numérisation accordaient à certaines théories une très forte plausibilité (rendements croissants, « *winner takes all* », accroissement de la pression concurrentielle, ...). Dans ce cas la valeur d'option était considérée faible, voire négative. Les décisions de report des projets TI étaient d'un point de vue stratégique perçues comme dangereuses, ce qui a favorisé la multiplication des projets d'investissements TI. À l'heure actuelle beaucoup de firmes ont gelé leurs projets informatiques et attendent avant d'investir dans les nouvelles applications comme la dématérialisation des transactions inter-firmes par exemple. La valeur d'option est positive, les acteurs attendent une baisse du niveau d'incertitude pour exercer leur option.

Toutefois, l'application de la théorie des options réelles à l'analyse des

investissements TI fait face à une grande limite liée à la représentation qui y est faite de l'incertitude (Boucher, 2002) [1]. En effet, dans les modèles d'options réelles l'incertitude est représentée par la volatilité du prix de l'actif sous-jacent, c'est à dire par la variance des chocs qui perturbent le taux de croissance des revenus. Ceci revient à dire que l'incertitude au sens de Knight est identifiée à un risque (volatilité des rendements de l'actif). La valorisation d'un investissement ne peut donc se faire qu'à partir d'un historique ou sur la base d'une comparaison avec des investissements similaires, données justement absentes en situation d'incertitude de Knight. Les modèles de décision sous incertitude proposées par les options réelles sont en réalité des modèles de décisions sous risque (avec possibilité de trouver une distribution de probabilité). Or, comme analysé précédemment, cette distribution est difficile à trouver dans les premières phases de diffusion d'une innovation technologique.

Pour continuer à utiliser les options réelles dans un contexte d'incertitude, il devient nécessaire de construire des probabilités subjectives (afin de déterminer le paramètre de volatilité). Se pose alors un autre problème car dans les modèles d'options réelles, la valeur d'une option est croissante avec le risque. Dès lors, il suffit de considérer que l'entreprise peut investir dans des projets risqués dans le futur pour augmenter sa valeur présente (Schwartz et Moon, 2000) [15]. Ainsi cette méthode peut entraîner des niveaux élevés de valorisation lorsque les paramètres sont mal spécifiés (risque de surévaluation de la rentabilité des projets incertains). Ce problème est illustré par Schwartz et Moon dans le cadre un exercice de valorisation de firmes Internet : « *Even with a very real chance that a firm may go bankrupt, if the initial growth rates are sufficiently high, and if there is enough volatility in this growth rate over time, then valuations can be what would otherwise appear to be dramatically high. In addition, we find a large sensitivity of the valuation to initial conditions and exact specification of the parameters* ». Si l'on estime la valeur de l'entreprise *Amazon* avec la méthode des options réelles, les auteurs montrent qu'une hausse de la volatilité du taux de croissance des revenus de 3 à 3,3 %, entraîne une augmentation de la valeur de la société de 20 %, ce qui correspond à une hausse de 1,1 milliard de dollars.

### Conclusion

L'intégration des innovations TI dans les structures productives des firmes s'accompagne de phénomènes non complètement maîtrisés : rythme d'innovation aléatoires, instabilité des standards, changements organisationnels, comportements d'adoption, ..., . Ces facteurs complexifient les décisions, en plaçant les investisseurs dans un univers peu prévisible.

Il est utile dans ce cas, de distinguer les situations risquées des situations incertaines. Cette distinction introduite par Knight est centrale. Dans l'application de la théorie de la décision aux investissements, le risque est traité en intégrant le caractère aléatoire des bénéfices et coûts auxquels on associe une distribution de probabilités. On décide en

---

<sup>18</sup> On peut toutefois distinguer les relations qui sont au stade d'hypothèse de travail, de celles qui sont pratiquement établies.

<sup>19</sup> Par exemple « *first mover advantage* », « *second mover advantage* »

---

dans le cas d'investissement dans une place de marché électronique.

comparant l'espérance des bénéfices et l'espérance des coûts. Cette représentation n'est toutefois possible, que lorsqu'il existe des statistiques permettant de construire les probabilités objectives. Or, dans le cas des TI, peu de données empiriques existent à l'heure actuelle sur les effets induits par l'introduction de ces innovations technologiques. En outre ces innovations qui peuvent être considérées comme « majeures » sont marquées par une singularité (spécificité) forte. Les outils probabilistes sont difficilement applicables dans les investissements TI (du moins à l'heure actuelle). Cette limite concernant l'utilisation des probabilités objectives, il est également possible pour le décideur d'utiliser des probabilités dites « subjectives ». Dans ce cas, il suffit de prendre les croyances personnelles des décideurs sur la probabilité des états de la nature. Dans la mesure où les agents sont incapables d'envisager toutes les conséquences des décisions individuelles et collectives et de prédire l'arrivée de chocs exogènes, on tombe très vite sur une limite de cette démarche liée à rationalité limitée des agents. L'intégration de l'avis des experts ne résout que faiblement le problème et peut soumettre le décideur à une influence extérieure non négligeable (cabinets de conseils, SSII).

S'il est nécessaire de considérer les investissements dans les innovations IP dans le cadre de décision en milieu incertain, une nuance peut être introduite dès lors que l'on prend en compte le caractère dynamique du processus de diffusion des innovations et la baisse progressive du niveau d'incertitude. En conséquence on considère que les investissements TI regroupent plusieurs types de technologies qui n'en sont pas au même stade de diffusion. On commence par exemple à disposer de statistiques sur des technologies qui ont été intégrées dans les firmes depuis quelque temps (dans la numérisation des ressources humaines, ou celle des fonctions finances et comptables par exemple). Tandis qu'il demeure nécessaire d'analyser certaines technologies (disponibles depuis peu) dans le cadre d'incertitude (les solutions de gestion électronique de documents, les solutions *de supply chain*, ...).

Enfin, dans les situations d'incertitude (radicale) il est important de se démarquer de la démarche souvent adoptée pour représenter l'incertitude, qui consiste à adopter un outil qui induit automatiquement une certaine représentation de l'incertitude puis y incorporer l'incertitude (adopter le problème à l'outil). La démarche inverse consiste à adapter l'outil au problème (Bouglet, 2002) [2]. Pour cela il est impératif de décrire avec précision l'incertitude, et saisir ses spécificités. Caractériser les différents types d'incertitudes affectant les investissements TI est une étape importante, dans l'aide à la décision.

## Références

[1] Boucher C., La valorisation des sociétés de la nouvelle économie par les options réelles : vertiges et controverses d'une analogie, Revue d'économie financière n°72-3, 2003

[2] Bouglet T., Incertitude et environnement : essai de représentation et analyse des choix publics, Thèse de doctorat-Université Paris 1 Panthéon Sorbonne, décembre 2002

[3] Chevassus-au-Louis B, L'analyse du risque alimentaire : quels principes, quels modèles, quelles organisations pour demain ?, Conférence de l'OCDE sur la sécurité sanitaire des aliments issus d'OGM, Edimbourg 2000

[4] Dixit A., Pindick R., Investment under uncertainty, Princeton University Press, 1994

[5] Gajdos T., Tallo J.M., Vergnaud J.C, Controverse et prise de décision, Cahiers de la MSE Série Eurequa n°74, 2002

[6] ] Gilboa, I., Schmeidler, D, Maxmin expected utility with a non unique prior, Journal of Mathematical Economics, 1989

[7] Hirshleifer J., Riley J., The analytics of uncertainty and information, Cambridge university Press, 1994

[8] Jaffray J., Généralisation du critère de l'utilité espérée aux choix dans l'incertain régulier, Recherche Opérationnelle, 23, 237-267, 1989

[9] Keynes J.M. ,A treatise on probability, London Macmillan, 1921

[10] Knight F., Risk, uncertainty and profit, Houghton Mifflin Company published, 1921

[11] Kourilsky P., Viney G., Le Principe de précaution, Rapport au premier ministre, Paris, éd. Odile Jacob, 2000

[12] Laffont J. ,The economics of uncertainty and information, The MIT press, 1993

[13] Leahy J., Whited V., Toni M., The Effect of Uncertainty on Investment: Some Stylized Facts, Journal of Money, Credit and Banking, Vol. 28 (1) pp. 64-83, 1996

[14] Savage, S.L.,The foundations of statistics, NewYork, John Wiley, 1954

[15] Schwartz E., Moon M., Rational pricing of Internet companies, Financial analysts journal Vol 56 n° 3, 2000

[16] [Shackle G.L.S, Décision, déterminisme et temps, Dunod Editeur Paris, 1967

[17] Shapiro C., Varian H., Information rules, a strategic guide to the network economy, Harvard Business School Press, November, 1998

[18] Walley P., Statistical Reasoning and Imprecise Probabilities, Chapman & Hall, London, 1991

[19] Weiss A., Grenadier S, Investment in technological innovation ; an option pricing approach, Journal of financial economics, 1997

[20] Zadeh L., Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility, Fuzzy Sets and Systems 1:3-28, 1978

