

SOUARE MALICK

**ÉTUDE DES FACTEURS DÉTERMINANT LA PRODUCTIVITÉ
DES TRAVAILLEURS DANS LES CONTRATS INCITATIFS
EXPLICITES ET IMPLICITES**

**Mémoire
présenté
à la Faculté des études supérieures
de l'Université Laval
pour l'obtention
du grade de maître ès arts (M.A.)**

**Département d'économique
FACULTÉ DES SCIENCES SOCIALES
UNIVERSITÉ LAVAL**

DÉCEMBRE 1997



National Library
of Canada

Bibliothèque nationale
du Canada

Acquisitions and
Bibliographic Services

Acquisitions et
services bibliographiques

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

Our file Notre référence

The author has granted a non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

0-612-26274-X

Canada

RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous cherchons à savoir l'effet de l'ancienneté d'un travailleur dans une firme sur sa productivité lorsque les firmes de l'industrie ont accès à la même technologie, et que la firme et ses travailleurs sont liés par un contrat explicite ou implicite. Nos données proviennent des archives de deux compagnies qui s'occupent de la plantation d'arbres en Colombie-Britannique, Canada. Nous développons et estimons un modèle du genre principal-agent pour analyser la productivité des travailleurs en fonction de leurs caractéristiques observables (l'âge, le sexe, l'ancienneté et l'expérience) et le tarif à la pièce payé par la firme. Nos résultats montrent que dans une telle situation, lorsque le travailleur et la firme sont liés par un contrat explicite, l'ancienneté du travailleur dans la firme n'a pas d'effet sur sa productivité. Cependant, avec l'introduction des éléments implicites dans le contrat, l'ancienneté devient un facteur déterminant de la productivité des travailleurs. L'estimation indique que la productivité est une fonction croissante et concave de l'ancienneté des travailleurs. L'élasticité de la productivité par rapport à l'ancienneté est estimée à 0.0653. Nous attribuons ce résultat au fait que la conception de l'évaluation subjective par le travailleur dépendra de son ancienneté dans la firme.

Avant-propos

Mes remerciements vont à toutes les personnes qui, par leurs précieux conseils et encouragements, m'ont permis de mener le présent mémoire à bonne fin.

Tout particulièrement, je tiens à remercier mon directeur de recherche M. Bruce Shearer. Son intérêt constant, sa grande disponibilité, ses judicieux conseils, ainsi que son soutien financier m'ont permis de mener à terme ce travail.

Je me dois également de signifier ma gratitude à Mme Jeanne Côté, service de l'information et des télécommunications de l'Université Laval, pour son aide en SAS. Merci également aux MM. Jean-François Bertrand, Jimmy Royer et Pierre Gilbert pour leur aide en informatique.

Mes remerciements vont de plus à mes amis Lamine Télico et Traoré Mariame pour leur présence à mes côtés tout au long de ce projet.

Enfin, étant conscient de n'est pas cité certaines personnes à qui mes remerciements vont également, je les prie très sincèrement de m'en excuser.

Mais, à toutes et tous, je dis Merci.

À ma mère, à toute ma famille.

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ	i
AVANT-PROPOS	ii
TABLE DES MATIÈRES	iii
1. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE	1
2. DESCRIPTION DE LA PLANTATION D'ARBRES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE	7
3. REVUE DE LA LITTÉRATURE	10
3.1. Modèle linéaire d'un contrat incitatif explicite	11
3.1.1. Hypothèses	11
3.1.2. Détermination des paramètres du contrat	12
3.1.3. Analyse et intuitions	15
3.2. Mesures objectives et subjectives de la performance dans un contrat incitatif implicite	17
3.2.1. Environnement économique	17
3.2.2. Analyse et intuitions	18
3.3. Travaux empiriques	22
4. MÉTHODOLOGIE	24
4.1. Présentation des données	24
4.2. Modèle théorique	26
4.3. Choix de forme fonctionnelle du modèle empirique	31

5. ANALYSE ET COMMENTAIRES DES RÉSULTATS	35
6. CONCLUSION	40
BIBLIOGRAPHIE	42
ANNEXE	45

1. INTRODUCTION ET PROBLÉMATIQUE

L'économie de l'information est le domaine de la théorie économique qui a connu le plus grand développement au cours de la dernière décennie [Varian (1995)]. Dans ce mémoire, nous étudions les facteurs déterminant la productivité des travailleurs dans les contrats incitatifs explicites et implicites. Les contrats incitatifs impliquent des situations d'information asymétrique, c'est-à-dire des situations dans lesquelles un agent économique sait quelque chose qu'un autre agent ignore. En général, il existe deux types de problèmes d'information asymétrique :

- *le problème d'information cachée* : ce sont des situations où le type des agents n'est pas observable de sorte qu'un côté du marché doit estimer le type ou la qualité d'un produit sur base du comportement de l'autre côté du marché. Par exemple, un travailleur peut avoir une meilleure idée de ce qu'il peut produire que son employeur; mais en observant attentivement le comportement du travailleur, l'employeur pourrait être capable de déduire la productivité du travailleur. Mais cela est coûteux pour l'employeur.

- *le problème de comportement ou d'action cachée* : c'est une situation où un côté du marché ne peut observer les comportements ou les actions de l'autre côté. C'est ce problème qui nous intéresse ici, et l'imperfection de l'information vient du fait que l'employeur ne peut discerner parfaitement le comportement de son employé.

Lorsqu'un employeur ne peut observer le comportement de son employé, celui-ci peut choisir de fournir le minimum d'effort possible. Selon Frederick Taylor, le "père du management scientifique", « il est difficile de trouver un travailleur compétent qui ne dévoue pas un temps considérable à étudier comment il peut travailler aussi lentement que possible, tout en faisant croire à son employeur qu'il va à un bon rythme.»¹ Ainsi, si le niveau d'effort choisi par le travailleur ne correspond pas à l'intérêt de l'employeur, on a ce qu'on appelle un problème du hasard moral. Si l'employeur avait pu choisir lui-

¹ Frederick Taylor, *The Principles of Scientific Management* (New York and London : Harper, 1929).

même le niveau d'effort du travailleur, il choisirait un niveau d'effort différent de ce que préfère choisir le travailleur. Dans les relations de travail, le problème est très clair, car le travailleur fournit l'effort qui va générer des revenus et ne reçoit qu'une partie, souvent faible, des fruits de cet effort. De plus, si l'effort est coûteux et inobservable, on préfère fournir moins d'effort. Cependant, les problèmes du hasard moral peuvent survenir dans toute situation où l'on rencontre soit une divergence d'intérêts entre les individus; soit des personnes qui n'assument pas certaines conséquences de leurs actions; ou soit la surveillance et la vérification des comportements sont coûteuses ou impossibles.

L'une des réponses aux problèmes du hasard moral est d'élaborer un contrat incitatif. La question centrale, quand on essaie de mettre au point des mécanismes incitatifs est la suivante: «Comment puis-je amener quelqu'un à faire quelque chose pour moi d'une manière efficace ? » Posons cette question dans un contexte spécifique. Supposons que vous possédiez des arbres à planter, mais que vous ne puissiez pas les planter vous-même. Vous essayez dès lors d'engager quelqu'un pour planter les arbres pour vous. Quel type de système de compensation devriez-vous mettre en place?

Une solution pourrait consister à payer au travailleur un montant forfaitaire indépendant de l'output qu'il produit.² Mais, dans ce cas, il serait peu incité à travailler, puisque sa rémunération est indépendante de son output, il n'a aucun intérêt à planter des arbres supplémentaires.

Une autre solution consisterait à établir une relation directe entre le paiement du travailleur et la quantité d'output qu'il produit. Comme par exemple, un tarif à la pièce. Mais dans ce cas, peut se poser le problème de la qualité du travail fourni. Si un produit est de mauvaise qualité, cela va également à l'encontre des intérêts de l'employeur.

² L'output étant ici le nombre d'arbres plantés.

Un système de compensation basé sur la quantité d'output a l'avantage d'inciter le travailleur à produire plus, mais diminue sa motivation de s'assurer de la qualité de l'output. En général, la quantité d'output produite par un employé ne reflète pas sa contribution à la valeur de la firme. Cette contribution est souvent trop complexe et subtile pour être mesurée objectivement. Dans ce cas, tout contrat explicite sera basé sur une mesure objective imparfaite de la contribution du travailleur (comme la quantité et non la qualité) à la valeur de la firme. L'utilisation d'une telle mesure pousse le travailleur à adopter un comportement sous-optimal [Baker (1992).]

Cependant, beaucoup de firmes atténuent les effets des mesures objectives imparfaites en combinant les mesures objectives et les évaluations subjectives de la performance. Ces évaluations sont assurées par les managers ou les superviseurs qui sont supposés être bien placés pour observer le comportement des travailleurs. Même si de telles mesures subjectives sont imparfaites, elles peuvent compléter ou améliorer les mesures objectives disponibles. Ainsi, un contrat implicite³ basé sur des évaluations subjectives peut compléter ou remplacer un contrat explicite basé sur des mesures objectives de la performance. Les évaluations subjectives sont en général basées sur la coopération, la créativité, le sérieux, la qualité du travail et d'autres aspects subjectifs de la performance du travailleur. De ce fait, bien qu'un contrat explicite peut être légitimé par un juge; un contrat implicite ne peut l'être. Ainsi, les contrats implicites se réaliseront seulement si les deux parties le souhaitent, et dans ce cas, ils dépendent largement de la confiance entre les travailleurs et la firme.

Par ailleurs, la productivité des travailleurs dans une firme dépend largement de leur *capital humain* [Becker (1975).] Le capital humain se réfère aux connaissances et aux habilités acquises (suite à l'investissement ou entraînement) d'une personne qui augmentent ses capacités pour mener les activités à valeur économique. Il est utile de

³ On entend par contrat implicite, un contrat dans lequel certains éléments ne sont pas "légalement applicables", bien qu'il existe d'autres éléments explicites qui le sont.

distinguer entre le capital humain spécifique et non spécifique (général) à la firme. Le premier comprend les compétences et le savoir-faire qui sont seulement valorisés dans une firme particulière, tandis que le second se réfère aux capacités et au savoir-faire qui augmentent la productivité personnelle lorsqu'on travaille pour plusieurs employeurs différents. Normalement, on utilise le nombre d'années d'expérience générale comme une mesure de l'investissement en capital humain général et l'ancienneté dans une firme comme une mesure de l'investissement en capital humain spécifique. Si toutes les firmes d'une industrie ont accès à la même technologie, il n'y a pas d'investissement en capital humain spécifique.⁴ Dans ce cas, on devrait s'attendre à ce que l'ancienneté n'ait pas d'effet sur la productivité des travailleurs. C'est l'expérience générale qui importe.

Bien qu'il existe une littérature abondante sur la productivité des travailleurs, très peu de travaux empiriques dans ce domaine ont utilisé les données de l'observation directe de la productivité des travailleurs dans les firmes. Le plus souvent, par manque de données disponibles, on estime la productivité des travailleurs à partir de leurs salaires. Mais, les variations du salaire ne sont pas nécessairement liées à celles de la productivité [Hutchens (1989).]

Ainsi, l'objectif de ce travail est d'étudier les facteurs déterminant la productivité des travailleurs dans les contrats incitatifs explicites et implicites lorsque toutes les firmes d'une industrie ont accès à la même technologie. Plus précisément, nous cherchons à savoir si l'ancienneté peut être un facteur déterminant de la productivité des travailleurs avec l'introduction des éléments implicites dans le contrat. Il s'agit en quelque sorte de déterminer le rôle joué par la confiance entre la firme et ses

⁴ De plus, contrairement aux travailleurs, aucune firme n'a intérêt à investir dans la formation des travailleurs pour augmenter leur capital humain général. Un tel investissement aura pour conséquence de faire monter la pression du marché pour augmenter le salaire des travailleurs, reflétant l'augmentation de leur productivité et de leur valeur pour les autres employeurs. Cependant, lorsque les travailleurs et la firme sont liés par des contrats de long terme, il peut être intéressant pour la firme d'investir dans le capital humain général des travailleurs.

travailleurs dans les contrats implicites. C'est avec le temps passé ensemble que la firme gagnera ou non la confiance de ces travailleurs ou vice versa.

Pour réaliser ce travail, nous utiliserons les données provenant des archives de deux compagnies qui s'occupent de la plantation d'arbres en Colombie-Britannique, Canada. En 1995, la première compagnie a payé ses travailleurs en utilisant des mesures objectives et subjectives de la performance tandis qu'à la même année, la seconde a payé ses travailleurs en utilisant uniquement des mesures objectives.

L'industrie de plantation d'arbres convient bien pour mener une telle étude parce que l'output des travailleurs est facilement observable et le système de compensation varie à travers les firmes et quelques fois à l'intérieur d'une même firme. De plus, toutes les firmes ont accès à la même technologie. D'autre part, il existe une autre raison pratique pour étudier cette industrie en Colombie-Britannique : la province de Colombie-Britannique produit environ vingt-cinq pour cent (25 %) du bois tendre (utilisé pour la charpente) en Amérique du Nord. Ainsi, toute politique affectant l'offre du bois dans cette province peut avoir des implications importantes non seulement sur le marché du bois en Amérique du Nord mais aussi sur le marché mondial du bois ⁵.

Le plan du travail est le suivant : dans la prochaine section, nous allons décrire brièvement en quoi consiste la plantation d'arbres et indiquer les raisons qui justifient l'utilisation des mesures subjectives par les firmes concernées. La section 3 est consacrée à la revue de la littérature. Dans cette partie, nous présentons d'abord deux modèles théoriques permettant de développer les intuitions d'un système incitatif optimal, en utilisant la formule de compensation qu'on observe fréquemment dans l'industrie de plantation d'arbres: la règle de la rémunération linéaire (tarif à la pièce). Ensuite, nous parlons de quelques études empiriques qui ont mis en évidence le gain de

⁵ La province de Colombie-Britannique est divisée en trois régions - Le littoral, l'intérieur Nord et l'intérieur Sud - chacune de ces régions produit plus de bois que n'importe quelle autre province du Canada ou d'un État des États-Unis [Paarsch & Shearer (1996).]

productivité dû aux politiques de compensation de la firme. La section 4 est destinée à la méthodologie, et là nous présentons nos données, notre modèle théorique et le choix de la forme empirique de ce modèle. Dans la section 5, nous analysons et commentons les résultats obtenus. Enfin, nous concluons dans la section 6.

2. DESCRIPTION DE LA PLANTATION D'ARBRES EN COLOMBIE-BRITANNIQUE

Bien que physiquement épuisante, la plantation d'arbres est une tâche "simple". Elle implique d'abord le creusement d'un trou avec une pelle spéciale, on place ensuite un arbre dans ce trou et l'on couvre ses racines avec de la terre, en s'assurant que l'arbre est bien droit et que les racines sont entièrement recouvertes. Le niveau d'effort requis pour effectuer cette tâche dépend du terrain sur lequel on plante les arbres. Par exemple, si le sol est dur, le creusement du trou de plantation prendra plus de temps et d'effort que si le sol était mou. En général, ces conditions de plantation peuvent varier fortement d'un endroit à un autre. Cependant, toutes les firmes dans l'industrie utilisent les mêmes techniques de plantation, et ces firmes sont engagées soit par le gouvernement ou soit par des compagnies privées qui s'occupent de la récolte d'arbres.

Les firmes qui s'occupent de la plantation d'arbres sont souvent assez petites, employant généralement moins d'une centaine de travailleurs. Ces firmes s'intéressent aux deux aspects de l'output du travailleur : quantité et qualité. Tandis que la quantité est intéressante pour des raisons évidentes, la qualité de la plantation peut déterminer le taux de survie des arbres plantés.

La survie des arbres dépend de plusieurs aspects du processus de plantation: d'abord, le lieu de plantation doit être acceptable; deuxièmement, il doit y avoir un espacement adéquat tant entre les arbres nouvellement plantés qu'entre ces arbres et les arbres existants; troisièmement, le trou de plantation doit être suffisamment large et profond pour s'assurer que les racines ne seront pas endommagées; enfin, l'arbre doit être placé verticalement dans le trou de plantation afin que les racines ne soient pas pliées. Les arbres mal plantés ne survivront pas, et cela expose la firme à des amendes de la part du gouvernement et réduit ses chances d'obtenir des contrats dans le futur. Ainsi, la qualité de la plantation est aussi une préoccupation majeure des firmes.

L'une des possibilités dont disposent les firmes pour s'assurer de la qualité de la plantation, est que les planteurs travaillent sous la supervision d'un chef d'équipe qui est responsable de la surveillance de l'output des travailleurs. Généralement, c'est ce surveillant qui est chargé de l'évaluation subjective des planteurs dans les contrats implicites. La plupart des firmes emploient un surveillant pour chaque groupe de dix travailleurs et ce ratio est relativement constant dans les contrats. Cette pratique est en désaccord avec les prédictions des modèles théoriques des contrats qui suggèrent que ce ratio est l'un des éléments du contrat qui devrait varier selon les conditions de plantation. Une raison possible pour maintenir ce ratio constant est qu'il pourrait exister des coûts de transaction associés à sa modification à chaque fois que les conditions de plantation changent.⁶

La formule de compensation la plus utilisée dans l'industrie de plantation est le tarif à la pièce. Ce système de rémunération a l'avantage d'inciter le planteur à travailler dur, et par conséquent, à planter beaucoup d'arbres mais diminue sa motivation de s'assurer que les arbres sont bien plantés. Généralement, les zones de plantation sont divisées en différents lots. Pour chaque lot, la firme décide du tarif à la pièce (ou de sa partie explicite) en tenant compte du nombre d'arbres qu'un travailleur peut planter par jour et du salaire espéré par les planteurs. En d'autres termes, le tarif à la pièce tient compte de la difficulté relative des conditions de plantation et serait en général corrélé négativement avec la productivité.

D'une manière générale, un contrat incitatif explicite établit un certain lien entre le paiement du travailleur et l'output qu'il produit. Comme par exemple, le tarif à la pièce. Malheureusement, il est rare de trouver des situations dans lesquelles le niveau d'effort fourni par le travailleur et l'output qui en résulte soient parfaitement corrélés. Dans de nombreuses situations, le comportement des personnes ne détermine que

⁶ Pour plus d'explication concernant le rôle des coûts de transaction dans la détermination des formes de contrats, voir [Ferrall & Shearer (1994).]

partiellement le résultat, et il est impossible d'isoler précisément l'effet de leur action. La plantation d'arbres permet d'observer une situation de ce genre. Le nombre d'arbres plantés par un travailleur dépend en partie de son effort, mais aussi des autres conditions qui ne sont pas contrôlables par lui (par exemple, l'état du terrain sur lequel les arbres sont plantés). Un effet similaire est le cas où le niveau d'effort détermine complètement l'output, qui ne peut être mesuré précisément mais plutôt estimé avec des erreurs aléatoires. Dans ces situations, l'output n'est qu'un *signal* de l'effort. Les contrats explicites basés seulement sur de telles mesures imposent des risques aux travailleurs (qui sont généralement *averse au risque*) en faisant dépendre leurs revenus des facteurs aléatoires et incontrôlables. Dans les contrats implicites également, les employés pourraient voir les évaluations subjectives comme une source de risques, parce qu'elles sont aussi basées partiellement sur des éléments hors de leur contrôle. Par conséquent, la définition du système incitatif optimal doit tenir compte de ce problème d'inférence.

3. REVUE DE LA LITTÉRATURE

Le rôle des mécanismes incitatifs dans la détermination du comportement des agents est d'une importance majeure pour les économistes. Dans le domaine d'économie du travail, plusieurs études théoriques portent sur la forme optimale des contrats entre la firme et ses travailleurs; voir par exemple, Hart et Holmstrom (1985), Holmstrom et Milgrom [1990,1987], Milgrom & Roberts (1992), Baker, Gibbons & Murphy (1994) et Baker (1992). Dans un domaine apparenté et récemment développé, l'économie du personnel, Lazear [1995, 1998] considère les systèmes de compensation comme des instruments politiques de la firme qui peuvent être utilisés pour atteindre la productivité optimale des travailleurs.

L'outil standard des économistes pour modéliser la plupart des problèmes d'incitation est le modèle *principal-agent*. Une personne, le *principal*, souhaite inciter une autre personne, l'*agent*, à adopter un comportement coûteux pour ce dernier. Le principal peut ne pas être en mesure d'observer directement le comportement de l'agent, mais il peut être en mesure d'observer un résultat, y , qui est déterminé, au moins en partie, par le comportement de l'agent. Le problème du principal consiste donc à mettre au point un paiement incitatif versé par lui à l'agent, $S(y)$, qui incite ce dernier à agir dans le meilleur intérêt du principal.

La relation entre un employé et son employeur est un exemple du problème principal-agent, où le premier est l'agent, et le second, le principal. L'employeur souhaite que le travailleur fasse le plus d'effort possible de façon à produire le plus possible, tandis que le travailleur souhaite, en toute rationalité, faire un choix qui maximise sa propre utilité compte tenu de son effort et du système de rémunération. Pour comprendre les intuitions de ces problèmes, nous développons respectivement le modèle linéaire d'un contrat incitatif explicite de Holmstrom & Milgrom (1987) et le

modèle de Baker, Gibbons & Murphy (1994) utilisant des mesures objectives et subjectives de la performance du travailleur dans un contrat incitatif implicite.

3.1 LE MODÈLE LINÉAIRE D'UN CONTRAT INCITATIF EXPLICITE

3.1.1 HYPOTHÈSES

Soit e , le niveau d'effort réalisé par l'agent, et $y = e + \eta$ l'output observé par le principal, qui est supposé neutre au risque. La variable aléatoire η représente les faits qui ne sont pas contrôlables par l'agent et nous supposons qu'elle admet une distribution normale de moyenne *nulle* et de variance σ^2 . En moyenne, l'output est exactement déterminé par le niveau d'effort de l'agent. Par souci de simplicité, nous supposons que le prix de l'output est égal à 1 de sorte que y mesure également la valeur de l'output.

Notons que e et η ne sont pas observés séparément; seulement leur somme, y , est observée, et plusieurs combinaisons différentes de e et η peuvent donner le même niveau observé de y . Ainsi, un grand effort peut être compensé par la malchance, ou un faible effort peut être masqué par la bonne chance.

Supposons que le système d'incitation choisi par le principal soit linéaire, de sorte que la rémunération incitative versée par le principal à l'agent soit $s(y) = \alpha + \beta y = \alpha + \beta e + \beta \eta$, où α et β sont les paramètres à déterminer. Le contrat de compensation consiste donc à payer à l'agent un salaire de base fixe, α , plus un salaire variable (βy) en fonction de l'output de l'agent. Le paramètre β représente la rémunération par unité d'output.

Cette hypothèse du système d'incitation linéaire n'est pas pour autant restrictive ici, car la formule de compensation linéaire est la plus fréquemment utilisée dans l'industrie de plantation d'arbres.

Soit $c(e) = \frac{1}{2}k e^2$, le coût de l'effort e pour le travailleur, où k est une constante positive.

Supposons que l'agent ait une fonction d'utilité caractérisée par une aversion absolue pour le risque constante, $u(w) = -e^{-rw}$, où $r > 0$, représente l'aversion absolue pour le risque et w la richesse de l'agent. Celle-ci est simplement égale à $s(y) = \alpha + \beta y$.

3.1.2 DÉTERMINATION DES PARAMÈTRES DU CONTRAT

La fonction d'utilité de l'agent représentée par $u(w) = -e^{-rw}$ peut être transformée comme suit : la richesse de l'agent est égale à sa rémunération $s(y) = \alpha + \beta y$, y étant distribué selon une loi normale, la richesse le sera également, mais de moyenne $\bar{w} = \alpha + \beta e$ et de variance $\sigma_w^2 = \beta^2 \sigma^2$. Dans ce cas, l'utilité espérée de l'agent dépend linéairement de la moyenne et de la variance de la richesse.⁷ Il en résulte que l'utilité attendue de l'agent associée au paiement incitatif $s(y) = \alpha + \beta y$ sera donnée par:

⁷ $E(u(w)) = -\int e^{-rw} f(w) dw = -e^{-r\left[\bar{w} - \frac{r}{2}\sigma_w^2\right]}$. (Pensez au calcul que l'on fait pour trouver la fonction génératrice des moments d'une distribution normale). Remarquons que l'espérance de l'utilité est croissante par rapport à $\bar{w} - \frac{r}{2}\sigma_w^2$. Ceci signifie que l'on peut procéder à une transformation monotone de l'espérance de l'utilité, $u(\bar{w}, \sigma_w^2) = \bar{w} - \frac{1}{2}r\sigma_w^2$.

$$\alpha + \beta e - \frac{\beta^2 r}{2} \sigma^2.$$

Cette expression est également appelée l'*équivalent certain* du revenu aléatoire de l'agent, où le second terme représente la *prime de risque*.

L'agent souhaite maximiser la différence entre cette fonction d'utilité et le coût de l'effort, $C(e)$:

$$\text{Max}_e \alpha + \beta e - \frac{\beta^2 r}{2} \sigma^2 - c(e).$$

Ceci nous donne la condition du premier ordre

$$\beta = c'(e). \quad (3.1)$$

Telle est la *contrainte de compatibilité du mécanisme incitatif* : l'agent choisira le meilleur niveau d'effort pour lui-même compte tenu du système d'incitation choisi par le principal. Ce dernier n'est pas en mesure de choisir directement le comportement de l'agent : il peut seulement l'influencer par son choix d'un paiement incitatif.

Le principal étant neutre vis-à-vis du risque, sa fonction d'utilité est de la forme:

$$E[y - s(y)] = E[e + \eta - \alpha - \beta e - \beta \eta] = (1 - \beta)e - \alpha$$

Le problème de maximisation du principal consiste donc à déterminer les valeurs optimales de α et β sous la contrainte d'incitation (3.1) et sous la contrainte que l'agent reçoive une utilité de réserve \bar{u} . Ce problème peut s'écrire comme suit :

$$\text{Max}_{\alpha, \beta, e} (1 - \beta) e - \alpha$$

tel que $\beta = c'(e)$.

$$\alpha + \beta e - \frac{\beta^2 r}{2} \sigma^2 - c(e) \geq \bar{u}. \quad (3.2)$$

La contrainte (3.2) nous donne la *contrainte de participation* (où la contrainte de *rationalité individuelle*) : l'agent peut avoir d'autres opportunités qui lui procurent un certain niveau d'utilité de réserve, et qui oblige le principal à s'assurer que l'utilité de l'agent sera au moins égale à ce niveau de réserve pour l'inciter à participer. A l'optimum, cette contrainte sera satisfaite avec égalité. Ainsi, après substitution de ces contraintes dans la fonction-objectif et simplification, le problème du principal se présente sous la forme :

$$\text{Max}_e e - \frac{c'(e)^2 r}{2} \sigma^2 - c(e) \quad (3.3)$$

En différenciant, on obtient la condition du premier ordre

$$1 - r c'(e) c''(e) \sigma^2 - c'(e) = 0 \quad (3.4)$$

En résolvant pour $\beta = c'(e)$, on trouve

$$\beta^* = \frac{1}{1 + r c''(e) \sigma^2} = (1 + r k \sigma^2)^{-1} \quad (3.5)$$

$$\text{De } \beta = c'(e) = k e, \text{ on trouve } e^* = k^{-1} \beta = (1 + r k \sigma^2)^{-1} k^{-1} \quad (3.6)$$

Le profit net du principal déterminé à partir de (3.3) (en supposant $\bar{u} = 0$) est :

$$p^* = (1 + rk\sigma^2)^{-1} (2k)^{-1} \quad (3.7)$$

3.1.3 ANALYSE ET INTUITIONS

a)- L'équation $\beta^* = \frac{1}{1 + rk\sigma^2}$ représente les caractéristiques essentielles de la solution.

En l'absence de risque ($\sigma^2 = 0$), le tarif à la pièce est égal à 1: le système d'incitation optimal est de la forme: $S(y) = \alpha + y$. Par contre, dans une situation d'incertitude ($\sigma^2 > 0$), le tarif optimal doit être inférieur à 1, de sorte que chaque agent partage une partie du risque. Plus l'incertitude est grande, ou plus l'agent manifeste de l'aversion pour le risque, plus le tarif optimal devrait être petit. Il faut alors ajuster α à la hausse pour satisfaire la contrainte (3.2).

Lorsque le comportement de l'agent est *caché*, la rémunération incitative explicite ne peut être basée que sur l'output. Dans ce cas, les revenus de l'agent sont alors nécessairement aléatoires et le système incitatif optimal impliquera un certain degré de partage des risques entre le principal et l'agent.

Le principal souhaiterait moins payer l'agent en cas de diminution de l'output, mais il ne peut savoir si cette diminution est due à un manque d'effort de ce dernier ou simplement à la malchance. S'il sanctionne trop lourdement un faible output (en prenant par exemple $\beta = 1$), il impose trop de risque à l'agent, et par conséquent, il devra augmenter la rémunération moyenne pour compenser cette prise de risque. En cas d'assurance complète ($\beta = 0$), l'agent ne s'intéresse plus au résultat; il n'est pas incité

à choisir le comportement souhaité par le principal. S'il est rémunéré quel que soit son effort, pourquoi travaillerait-il dur ?

Cependant, dans un contexte où il n'existe pas de problème de risque moral, la solution optimale pour le principal est l'assurance complète de l'agent, c'est-à-dire, choisir $\beta = 0$. C'est l'arbitrage auquel est confronté le principal dans son élaboration d'un système incitatif optimal.

En conclusion, la détermination du contrat incitatif optimal implique l'équilibre entre les bénéfices retirés de l'assurance de l'agent par le principal et les coûts d'incitation que crée une telle assurance. En d'autres termes, il s'agit d'équilibrer les coûts de risque imposé à l'agent et les gains incitatifs résultant d'un tel risque.

b)- Le paramètre β est interprété comme la mesure de *l'intensité des incitatifs* fournis par le principal à l'agent, tel que, un contrat est plus incitatif qu'un autre (toutes choses égales par ailleurs) si le premier contrat spécifie une plus grande valeur de β . Cette appellation est justifiée par le fait que si l'agent augmente son niveau d'effort d'une unité, selon la relation $S(y) = \alpha + \beta y$, sa compensation moyenne augmentera de β dollars.

De plus, l'augmentation du niveau d'effort de l'agent de e à \bar{e} nécessite l'augmentation de l'intensité incitative de β à $\bar{\beta}$. La différence entre $\bar{\beta}$ et β peut être déterminée à partir de (3.1) comme suit :

$$(\bar{\beta} - \beta) = (\bar{e} - e) c''(e)^8$$

⁸ Penser à l'équation d'une droite passant par deux points, $(\bar{\beta}, \bar{e})$ et (β, e) , dont la pente est $c''(e)$.

c)- Les valeurs optimales du niveau d'effort de l'agent et le profit net du principal en situation d'information complète (c'est-à-dire en absence de risque, $\sigma^2=0$) sont respectivement $e = k^{-1}$ et $p = (2k)^{-1}$ [voir (3.6) et (3.7)]. Remarquons que les rapports e^*/e et p^*/p sont égaux à $(1 + rk\sigma^2)^{-1}$. Ce qui permet de constater que l'imperfection de l'information diminue à la fois l'effort réalisé par l'agent et le profit net du principal. De plus, dans certaines situations d'information imparfaite, si l'agent est très peu averse au risque et/ou le coût marginal de l'effort est presque plat, alors le niveau d'effort réalisé par l'agent et le profit net du principal seront proches de leurs valeurs en situation d'information complète.

3.2 MESURES OBJECTIVES ET SUBJECTIVES DE LA PERFORMANCE DANS UN CONTRAT INCITATIF IMPLICITE

3.2.1 ENVIRONNEMENT ÉCONOMIQUE

Considérons un jeu répété entre une firme et un travailleur. A chaque période, le travailleur choisit un niveau d'effort inobservable e , qui détermine stochastiquement sa contribution (y) à la valeur de la firme. Pour simplifier, supposons que y est égale à un ou zéro. Définissons le niveau d'effort du travailleur comme étant la probabilité de $y=1$: $Prob\{y=1|E\}=e$, où $e \in [0,1]$. Comme Baker (1992), les auteurs [Baker, Gibbons & Murphy (1994)] supposent que la performance du travailleur (sa contribution à la valeur de la firme) est trop complexe et subtile pour être vérifiée par une tiers personne et par conséquent, elle ne peut-être la base d'un contrat légitime. Par contre, on suppose que y peut-être évaluée d'une manière subjective et donc faire l'objet d'un contrat implicite.

Par ailleurs, le niveau d'effort choisi par le travailleur affecte une seconde mesure (p) de sa performance. On suppose également que p est égale à un ou zéro. Cependant, à la différence de y , p peut-être objectivement mesuré et donc être à la base d'un contrat explicite.

Avant de choisir son niveau d'effort e , le travailleur reçoit de l'information privée ($\mu > 0$) concernant l'effet de e sur y et p . Supposons que la probabilité de $p=1$ soit μe . Étant donné μ et e , les éventualités que $y=1$ et $p=1$ sont indépendantes. Lorsque μ est proche de 1, un grand effort augmente à la fois y et p . Lorsque μ est proche de 0, un grand effort fait augmenter uniquement la valeur de y . Si μ est beaucoup plus grand que 1, peu d'effort augmente la valeur de p et non celle de y . En conséquence, la mesure objective de la performance est une approximation imparfaite de la contribution du travailleur à la valeur de la firme. Supposons que $E\{\mu\}=1$. Ainsi, en moyenne, p est une mesure non biaisée de y .

A chaque période, le contrat de compensation consiste à payer au travailleur, un salaire de base (S), un bonus implicite (α) lorsque l'évaluation subjective $y=1$ et un bonus explicite (β) lorsque la mesure objective $p=1$. La firme et le travailleur observent les réalisations de p et y à chaque période.

Soit $C(e) = \frac{1}{2}ke^2$, le coût de l'effort fourni par le travailleur.

3.2.2 ANALYSE ET INTUITIONS

Étant donné que le contrat implicite n'est pas légitime, la firme peut ne pas respecter son engagement implicite. C'est-à-dire, même lorsque la mesure subjective de la performance du travailleur $y=1$, la firme peut choisir de ne pas payer le bonus (α).

C'est à ce niveau que la confiance entre la firme et le travailleur est pertinente. Si le travailleur a confiance en la firme et qu'il pense qu'elle respectera le contrat implicite, son problème après avoir observé une valeur de μ est

$$\text{Max}_e s + e\alpha + \mu e\beta - \frac{1}{2}ke^2,$$

dans ce cas, le niveau d'effort optimal du travailleur sera

$$e^*(\mu, \alpha, \beta) = \frac{\alpha + \mu\beta}{k} \quad (3.8)$$

Par ailleurs, si le travailleur ne fait pas confiance en la firme, c'est-à-dire, il pense que même si $\gamma=1$, la firme ne lui payera pas le bonus implicite (α), son niveau d'effort optimal devient

$$e^*(\mu, \beta) = \frac{\mu\beta}{k} \quad (3.9)$$

Ainsi, l'incitation du système de compensation (s, α, β) dépend de la confiance du travailleur en la firme.

Remarquons également que le niveau d'effort (3.9) correspond au choix optimal du travailleur dans un contrat purement explicite.

Dans les deux cas, le travailleur acceptera le contrat proposé par la firme si son utilité espérée (avant d'observer μ) est au moins égale à son salaire de réserve w_r :

$$E_\mu \{ s + e^* \alpha + \mu e^* \beta - C(e^*) \} \geq w_r \quad (3.10)$$

A chaque période, le profit espéré de la firme (mais avant que le travailleur n'observe la réalisation de μ) est

$$E_{\mu} \left\{ e^* - [s + e^* \alpha + \mu e^* \beta] \right\} \quad (3.11)$$

Le salaire de base (s) optimal de la firme est tel que (3.10) sera satisfaite avec égalité. Dans ce cas, en substituant (3.10) dans (3.11), nous obtenons, selon le niveau d'effort du travailleur [(3.8) ou (3.9)], le profit espéré de la firme par période

$$V(\alpha, \beta) = E_{\mu} \left\{ e^*(\mu, \alpha, \beta) - \frac{1}{2} k e^*(\mu, \alpha, \beta)^2 - w_r \right\} \quad (3.12)$$

$$V(\beta) = E_{\mu} \left\{ e^*(\mu, \beta) - \frac{1}{2} k e^*(\mu, \beta)^2 - w_r \right\} \quad (3.13)$$

Ce modèle est similaire à certains égards à ceux de Shapiro & Stiglitz (1984) et MacLeod & Malcomson (1989).⁹ Cependant, dans ces derniers modèles, l'incitation vient de la menace de résiliation du contrat de travail, tandis que dans ce modèle, l'incitation provient du paiement de la performance du travailleur sans résiliation du contrat. De plus, dans ce modèle, c'est la firme et non le travailleur qui est incitée à renoncer à son engagement implicite.

Dans un contrat d'une seule période (ou à la période finale d'un contrat limité), la firme choisira de ne pas payer le bonus implicite même lorsque $y=1$, et le travailleur (anticipant la décision de la firme) choisira de fournir le niveau d'effort déterminé par (3.9); également la firme (anticipant la décision du travailleur) ne payera pas le bonus.¹⁰

⁹ Le modèle de MacLeod & Malcomson (1989) est plus général par rapport à ce modèle et à celui de Shapiro & Stiglitz (1984).

¹⁰ Dans un marché de travail où la firme est soucieuse de sa réputation, elle choisira toujours de payer le bonus implicite lorsque $y=1$ et cela quelque soit l'horizon du contrat de travail.

Pour formaliser le rôle de la confiance, considérons que le contrat de travail dure indéfiniment. Supposons que dès le départ, le travailleur fournit le niveau d'effort déterminé par (3.8) et que la firme paye le bonus (α) lorsque $y=1$ et cela jusqu'à ce que la firme dévie, auquel cas le travailleur choisira de fournir pour toujours le niveau d'effort déterminé par (3.9).

Ainsi, à chaque période, la firme choisira de payer le bonus implicite (α) si et seulement si

$$\frac{V(\alpha, \beta) - V(\beta)}{r} \geq \alpha \quad (3.14)^{11}$$

Où r est le taux d'actualisation de la firme.

L'intuition de cette analyse est la suivante: pour r et β donnés, lorsque le bonus implicite est élevé, la firme choisira de ne pas respecter son engagement. De plus, pour un β donné, le bonus subjectif optimal diminue lorsque le taux d'actualisation augmente ou vice versa.

Pour faire le lien avec le modèle linéaire de Holmstrom & Milgrom (1987), considérons que la firme et le travailleur sont liés par un contrat explicite, auquel cas, le niveau d'effort optimal du travailleur est déterminé par (3.9)

$$e^*(\mu, \beta) = \frac{\mu\beta}{k}$$

¹¹ Cette équation s'obtient en résolvant l'inégalité suivante:

$$V(\alpha, \beta) + (1+r)^{-1} V(\alpha, \beta) + (1+r)^{-2} V(\alpha, \beta) + \dots \geq V(\alpha, \beta) + \alpha + (1+r)^{-1} V(\beta) + (1+r)^{-2} V(\beta) + \dots$$

Où le côté gauche est la valeur présente du profit de la firme en respectant son engagement implicite et le côté droit est la valeur présente du profit en cas de déviation de la firme.

Ainsi, la firme déterminera le bonus explicite (β) de manière à maximiser son profit espéré par période (3.13)

$$\text{Max}_{\beta} E_{\mu} \left\{ \frac{\mu\beta}{k} - \frac{1}{2}k \left(\frac{\mu\beta}{k} \right)^2 - w_r \right\}$$

En résolvant la condition de première ordre avec $E\{\mu\}=1$ et $E\{\mu^2\}=1+Var(\mu)$, on trouve

$$\beta^* = \frac{E_{\mu}\{\mu\}}{E_{\mu}\{\mu^2\}} = \frac{1}{1+Var(\mu)} \quad (3.15)$$

A chaque période, le profit espéré de la firme est alors de

$$V(\beta^*) = \frac{1}{2k[1+Var(\mu)]} - w_r \quad (3.16)$$

Les expressions (3.15) et (3.16) révèlent les mêmes intuitions que (3.5) et (3.7). C'est-à-dire, plus la variance de μ est grande, plus la mesure objective de la performance du travailleur devient une approximation imparfaite de sa contribution à la valeur de la firme et dans ce cas, la réponse optimale de la firme est de choisir un faible β^* .

3.3 TRAVAUX EMPIRIQUES

Plusieurs études empiriques ont également mis en évidence le gain de productivité, «l'effet incitatif», dû aux politiques de compensation de la firme. Par exemple, Paarsch & Shearer (1996) mesurent le gain de productivité réalisé quand les travailleurs sont payés à la pièce plutôt qu'au taux fixe, en utilisant les données d'une compagnie qui

s'occupe de la plantation d'arbres en Colombie-Britannique. Ils développent et estiment un modèle simple du genre principal-agent pour analyser le comportement des travailleurs sous les deux systèmes de paye. L'estimation structurelle du modèle en incluant directement dans l'estimation la décision optimale de la firme concernant son choix du système de paye selon les conditions de plantations, suggère que l'effet incitatif compte pour 9.1 % de la productivité observée quand les travailleurs sont payés à la pièce.

Lazear (1996) trouve que l'introduction d'un système de paiement pour la performance dans une compagnie qui s'occupe du montage des vitres de voitures, a augmenté la productivité individuelle des travailleurs de 20 %.

Lawler (1971) rapporte dans sa revue de littérature que la productivité des travailleurs a augmenté de 10 à 20 % grâce à l'introduction des plans d'incitation individuelle.

Mitchell, Lewin & Lawler (1990) estiment le gain de productivité à 8.4 % suite l'utilisation d'un système de partage des profits.

Jones & Kato (1995) utilisant les données de panel japonaises pour étudier les effets des politiques d'employé actionnaire sur la productivité, estiment le gain de productivité de l'ordre de 4 à 5 %.

4. MÉTHODOLOGIE

4.1 PRÉSENTATION DES DONNÉES

Nos données proviennent des archives de deux compagnies qui s'occupent de la plantation d'arbres en Colombie-Britannique, Canada. En 1995, la première firme a payé ses travailleurs en utilisant des mesures objectives et subjectives de la performance (le contrat implicite), tandis qu'à la même année, la deuxième firme a payé ses travailleurs en utilisant uniquement des mesures objectives de la performance des travailleurs (contrat explicite). Ces firmes utilisaient un système de rémunération à la pièce; et les travailleurs ont été observés sur une période de presque sept (7) mois.

Les zones de plantation sont divisées en différents lots par les firmes. Pour chaque lot, elles décident du tarif à la pièce (ou de sa partie explicite) en tenant compte du nombre d'arbres qu'un travailleur peut planter par jour et du salaire espéré par les planteurs. En d'autres termes, le tarif à la pièce tient compte de la difficulté relative des conditions de plantation et devient ainsi une variable endogène.

En général, les travailleurs plantaient les arbres à des endroits différents par jour.

Le tarif à la pièce dans la première firme était composé de deux parties : une partie explicite et une partie implicite. Le superviseur détermine la partie implicite pour chaque travailleur en fonction de son attitude envers le travail, son comportement avec les autres travailleurs, son sérieux, la qualité de sa plantation et d'autres aspects subjectifs de sa performance. Le tarif à la pièce payé au travailleur était le produit des deux parties. Cependant, à la différence de la partie explicite du tarif à la pièce, le bonus implicite est déterminé une fois dans l'année (à la fin de la session de plantation) pour chaque travailleur.

Au départ, nous disposons de 4006 observations sur 74 travailleurs de cette firme. Après la saisie des données, nous avons éliminé les observations ayant des valeurs manquantes pour certaines variables. Ainsi, il reste 1969 observations pour cette firme.

Ces observations contiennent des informations journalières sur les variables suivantes : la productivité (le nombre d'arbres plantés), le tarif à la pièce, le sexe, l'âge, l'ancienneté (le nombre d'années passées dans la firme), et le nombre d'années d'expérience générale. Nous disposons également de l'évaluation subjective (le bonus implicite) des 74 travailleurs de la firme.

Dans la deuxième firme, il y avait au départ 12011 observations sur 67 travailleurs. Après l'élimination des observations ayant des valeurs manquantes, nous disposons de 4021 observations sur 67 travailleurs. Ces observations contiennent également des informations journalières sur les mêmes variables que la première firme, à l'exception qu'il n'y avait pas de bonus implicite dans cette firme.

[Voir l'annexe page 4 pour plus de détails sur la construction des variables.]

Le tableau 1 à la page suivante présente les statistiques sommaires sur les données des deux firmes.

En moyenne, le tarif à la pièce était respectivement de 0.355 et 0.262 dans les contrats implicite et explicite. Comme on devrait alors s'y attendre, la moyenne du nombre d'arbres plantés est plus grande dans le contrat implicite (747.57) que dans le contrat explicite (553.78). La grande variabilité du nombre d'arbres plantés dans les deux firmes montre les variations dans les conditions de plantation.

Le bonus implicite varie entre 0.75 et 1.09. Lorsqu'il est inférieur à 1, il ajuste la partie explicite du tarif à la baisse et vice-versa. En moyenne, il est égal 0.98.

L'expérience, l'*ancienneté* et l'âge moyens sont respectivement de (11.10, 4.31, 33.42 ans) et (9.37, 6.49, 35.78 ans) dans les contrats implicite et explicite.

Tableau 1:

a)- Contrat Implicite

	Observations	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Nombre d'arbre plantés	1969	747.57	271.96	165.00	2460.00
Le bonus implicite	74	0.98	0.054	0.75	1.09
Tarif à la pièce	1969	0.355	0.101	0.167	0.695
Âge	1969	33.42	6.544	23.00	47.00
Expérience	1969	11.10	4.82	2.00	21.00
<i>Ancienneté</i>	1969	4.31	3.85	1.00	14.00

NB. Le tarif à la pièce est déjà ajusté par le bonus implicite.

b)- Contrat Explicite

	Observations	Moyenne	Écart-type	Minimum	Maximum
Nombre d'arbre plantés	4021	553.78	334.00	15.00	2200.00
Tarif à la pièce	4021	0.262	0.073	0.020	0.460
Âge	4021	35.78	8.10	16.00	49.00
Expérience	4021	9.37	4.56	1.00	20.00
<i>Ancienneté</i>	4021	6.49	3.85	1.00	20.00

4.2 MODÈLE THÉORIQUE

Dans notre modèle, nous supposons une fonction de technologie linéaire tel que la productivité d'un travailleur, Y , est déterminée par la fonction de production suivante :

$$Y = S e \quad (4.1)$$

C'est-à-dire que la productivité d'un travailleur est une fonction de son niveau d'effort, e , et d'un choc de productivité aléatoire, S . Le choc de productivité représente les conditions de plantation sur lesquelles le travailleur ne peut avoir aucune influence; comme par exemple, la nature du sol sur lequel les arbres sont plantés, les conditions climatiques, etc. Par ailleurs, nous supposons que S admet une distribution log-

normale; c'est-à-dire LnS est une variable normale de moyenne μ et de variance σ_s^2 . Nous introduisons également de l'information asymétrique entre les travailleurs et la firme sur les conditions de plantation. Le travailleur est supposé observer la valeur du choc de productivité avant de choisir son niveau d'effort, et par contre, la firme peut seulement observer les paramètres de la distribution du choc de productivité (c'est-à-dire, la moyenne et la variance).

Le système d'incitation choisi par nos deux firmes est linéaire, de sorte que la rémunération versée par la firme au travailleur est :

$$W(Y) = \alpha Y \quad (4.2)$$

où $\alpha = Z \cdot \theta(e)$, est le tarif à la pièce payé au travailleur. Tandis que Z est une partie explicite du contrat, θ est un bonus implicite déterminé en fonction de l'évaluation subjective de la performance du travailleur. Il dépend en partie du niveau d'effort fourni par le travailleur. Bien qu'il s'agit ici d'un contrat implicite, la formalisation reste la même pour un contrat explicite sauf que dans ce dernier cas $\theta = 1$, et donc $\alpha = Z$.

Soit $C(e) = \frac{k(x)}{2} e^2$, le coût de l'effort e , où x représente les caractéristiques personnelles du travailleur; k est une constante positive pour un travailleur donné durant une période déterminée. Étant donné la technologie, nous supposons que k dépend des variables suivantes : l'âge, le sexe et le nombre d'années d'expérience générale dans l'industrie de plantation. Dans une industrie avec investissements en capital humain spécifiques aux firmes, k dépendra aussi de l'ancienneté du travailleur dans la firme.

Le problème du travailleur consiste à maximiser son utilité, U , définie par :

$$\text{Max}_e U = W(Y) - C(e)^{12}$$

En remplaçant $W(Y)$ et $C(e)$ par leur valeur, le problème devient :

$$\text{Max}_e z\theta s e - \frac{k(x)}{2} e^2$$

Après avoir observé une valeur de S , le travailleur choisit son niveau d'effort qui égalise le bénéfice marginal de cet effort à son coût marginal. Ce qui nous donne alors :

$$z\theta s + zse \frac{\partial \theta}{\partial e} - ke = 0$$

$$e = \frac{z\theta s}{k} \left[1 + \frac{\partial \theta}{\partial e} e \right]$$

$$e^* = \frac{z\theta s}{k(x)} (1 + \varepsilon) \quad (4.3)$$

Où ε est l'élasticité (perçue par le travailleur) de l'évaluation subjective par rapport à l'effort.

Par conséquent, l'output du travailleur déterminé à partir de (4.1) est donné par :

$$Y = \frac{z\theta s^2}{k(x)} (1 + \varepsilon) \quad (4.4)$$

¹² Nous supposons implicitement que le travailleur est neutre au risque et que sa contrainte de participation est toujours satisfaite ; c'est-à-dire que $U = \bar{U}$ où \bar{U} est l'utilité de réserve du travailleur. L'hypothèse que les planteurs sont neutres au risque n'est pas pour autant restrictive [Voir les raisons dans Paarsch & Shearer (1996).]

Si nous prenons le logarithme naturel de (4.4), on obtient :

$$\ln Y = \ln(Z) - \ln(k(x)) + \ln(\theta(1 + \mathcal{E})) + 2\ln S \quad (4.5)$$

Cependant, l'élasticité (\mathcal{E}) perçue par le travailleur de l'évaluation subjective par rapport à l'effort dépend de son ancienneté (T) dans la firme. Pour comprendre l'intuition de cela, supposons qu'une firme et un travailleur se mettent d'accord pour que ce dernier travaille bien et que la firme lui payera un bonus implicite à la fin de chaque période. Au début du contrat, même si le travailleur connaît les éléments sur lesquels la firme se base pour déterminer le bonus, il ne sait pas comment la firme réagira à ses différents éléments. Il lui faudra par conséquent du temps pour comprendre comment la firme valorise les aspects subjectifs de sa performance. En d'autres termes, la conception du bonus implicite par le travailleur dépendra de son ancienneté dans la firme, et c'est dans ce sens que l'ancienneté (T) aura un effet sur la productivité des travailleurs.

Dans un contrat explicite, le bonus $\theta = 1$. Par conséquent, l'élasticité de l'évaluation subjective par rapport à l'effort, \mathcal{E} , est toujours égale à zéro.

Ainsi, pour les contrats implicite et explicite, nous pouvons écrire respectivement les modèles théoriques de la façon suivante :

$$Y_I = F(Z, T, x, S)$$

$$Y_E = F(Z, x, S) \quad (4.6)$$

Pour déterminer la forme empirique de ces modèles (et pour pouvoir comparer les résultats par la suite), nous faisons trois hypothèses qui sont très plausibles et qu'on rencontre fréquemment dans les travaux empiriques.

$$H_1 : \quad Y_i = \beta_0 + \delta D_i + \sum_{j=1}^4 \beta_{ji} X_{ji} + U_i, \quad (4.7)$$

$$H_2 : \quad \ln Y_i = \beta_0 + \delta D_i + \sum_{j=1}^4 \beta_{ji} \ln X_{ji} + U_i \quad (4.8)$$

$$H_3 : \quad \ln Y_i = \beta_0 + \delta D_i + \sum_{j=1}^4 \beta_{ji} X_{ji} + U_i \quad (4.9)$$

où :

$i = 1, \dots, n$; où n est le nombre d'observations ($n = 1969$ ou 4021).

β , β_0 et δ représentent les paramètres à estimer (β est un vecteur , β_0 et δ sont des scalaires).

Y représente la productivité journalière (le nombre d'arbres plantés par jour).

D est une variable binaire indiquant le sexe, elle est égale à 1 si le planteur est un homme et 0 sinon.

X est un vecteur représentant : l'âge, l'ancienneté dans la firme, le nombre d'années d'expérience générale et le tarif à la pièce.

$U_i \sim \text{Niid}(0, \sigma^2)$, représente le terme d'erreur.

Un problème très fréquent en économétrie appliqué est de choisir la transformation appropriée de la variable dépendante (et/ou des variables explicatives). Par exemple, lequel de ces trois modèles ci-dessus faut-il choisir étant donné qu'ils sont tous compatibles avec la théorie économique?

Il est clair qu'il n'est pas approprié de comparer la somme des carrés des erreurs ou le R^2 de ces modèles. Néanmoins, sous l'hypothèse de normalité des erreurs, on peut

comparer les logarithmes de la fonction de vraisemblance pour choisir un modèle. C'est ce que nous faisons dans la prochaine sous-section en utilisant la transformation Cox-Box.

4.3 CHOIX DE FORME FONCTIONNELLE DU MODÈLE EMPIRIQUE

La transformation Cox-Box est la transformation non-linéaire des variables la plus fréquemment utilisée en statistique et en économétrie [Davidson & Mackinnon (1993)]. Elle est définie par

$$B(y, \lambda) = \begin{cases} \frac{y^\lambda - 1}{\lambda} & \text{si } \lambda \neq 0 \\ \log(y) & \text{si } \lambda = 0 \end{cases}$$

où l'argument y doit être positif. Par la règle de l'Hôpital, $\log(y)$ est la limite de $\frac{y^\lambda - 1}{\lambda}$ lorsque $\lambda \rightarrow 0$. En pratique, λ prend généralement des valeurs dans l'intervalle $[-1, 1.5]$ [Davidson & Mackinnon (1993)].

Une raison de la popularité de cette transformation est qu'elle incorpore à la fois la possibilité d'aucune transformation des variables (lorsque $\lambda = 1$) et celle d'une transformation logarithmique (lorsque $\lambda = 0$). A condition qu'il existe une constante (l'intercepte) dans la régression, soumettre la variable dépendante (et/ou les régresseurs) à une transformation Cox-Box avec $\lambda = 1$, est équivalent à ne faire aucune transformation de la variable correspondante. Lorsque $\lambda = 0$, la transformation Cox-Box est équivalente à l'utilisation de $\log(y_i)$ comme variable dépendante (et/ou $\log(x_i)$ comme régresseur). Étant donné que ces deux cas particuliers sont très

plausibles, il est intéressant d'utiliser une transformation qui permet d'avoir les deux à la fois.

Ainsi, nos trois modèles empiriques se résument par le modèle Cox-Box suivant :

$$B(y_i, \lambda) = \beta_0 + \beta B(x_i, \lambda) + u_i, \quad u_i \sim \text{Niid}(0, \sigma^2) \quad (4.10)^{13}$$

Lorsque $\lambda = 1$, $\lambda = 0$, on retrouve respectivement le modèle H_1 et H_2 . Lorsque $\lambda = 0$ et $B(x_i, \lambda) = x_i$, on a le modèle H_3 .

Rappelons que si une variable aléatoire u admet la fonction de densité $f_1(u)$ et qu'une autre variable aléatoire y est reliée à u par $u = r(y)$, où la fonction $r(\cdot)$ est monotone et continûment différentiable, alors la fonction de densité de y est donnée par

$$f_2(y) = f_1(r(y)) \left| \frac{\partial r(y)}{\partial y} \right| \quad (4.11)$$

Le second facteur est la valeur absolue du Jacobien de la transformation, et il est par conséquent appelé le facteur Jacobien.

En appliquant (4.11) au modèle Cox-Box (4.10), on peut écrire le logarithme de la fonction de vraisemblance comme suit :

$$L(y, \beta_0, \beta, \lambda, \sigma) = -\frac{n}{2} \log(2\pi) - \frac{n}{2} \log(\sigma^2) - \frac{1}{2\sigma^2} \sum_{i=1}^n (B(y_i, \lambda) - \beta_0 - \beta B(x_i, \lambda))^2 + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^n \log(y_i) \quad (4.12)$$

¹³ Bien que $B(x_i, \lambda)$ représente l'ensemble des variables explicatives, cette transformation ne s'applique pas à la variable dummy (D) indiquant le sexe car cette dernière prend des valeurs 0 ou 1, alors que x doit être positif selon la définition de la transformation Cox-Box.

Le dernier terme est la somme sur toutes les observations du logarithme de

$$\frac{\partial B(y_i, \lambda)}{\partial y_i} = \frac{\partial}{\partial y_i} \left(\frac{y_i^\lambda - 1}{\lambda} \right) = y_i^{\lambda-1}$$

Si nous concentrons (4.12) par rapport à σ^2 , le logarithme de la fonction de vraisemblance devient¹⁴

$$L^c(y, \beta_o, \beta, \lambda) = C - \frac{n}{2} \log \left[\sum_{i=1}^n (B(y_i, \lambda) - \beta_o - \beta B(x_i, \lambda))^2 \right] + (\lambda - 1) \sum_{i=1}^n \log(y_i) \quad (4.13)$$

Où C est une constante qui ne dépend pas de β_o, β et λ . Donc, C sera la même pour toutes les transformations. Remarquons que le terme entre crochet est la somme des carrés des erreurs.

Mais, lorsque λ est inconnu et qu'il doit être estimé, il n'est pas approprié d'utiliser la méthode des Moindres Carrés car elle choisirait λ de manière à minimiser la somme des carrés des erreurs; ce qui n'a pas de sens ici.

Cependant, nous obtenons nos trois modèles en donnant des valeurs particulières à λ ; dans ce cas, bien qu'ils représentent des modèles contraints par rapport à (4.10), nous pouvons utiliser la méthode des Moindres Carrés Ordinaire (MCO) pour déterminer le logarithme de la fonction de vraisemblance concentrée de chaque modèle (L_1^c , L_2^c et L_3^c) [Davidson & Mackinnon (1993), P. 491]. Ainsi, pour savoir lequel de nos trois modèles est le meilleur, il faudra comparer les valeurs de L_1^c , L_2^c et L_3^c .

¹⁴ De (4.12), la concentration par rapport à la variance consiste à trouver σ^2 par la condition du premier ordre et de la remplacer par sa valeur.

Supposons que L_3^c est la plus grande valeur, ce qui permet de rejeter les deux premiers modèles par rapport au troisième. Si tel est le cas, les deux premiers modèles seront sûrement rejetés par rapport au modèle non contraint (4.10) car ce dernier est au moins aussi meilleur que le troisième modèle (modèle contraint).

Cette procédure peut être utilisée pour tester et possiblement rejeter un ou plusieurs modèles concurrents. Selon Sargan (1964), elle est largement utilisée dans les travaux empiriques pour choisir entre les modèles linéaire et log-linéaire. Récemment, elle a été proposée par Pollak & Wales (1991) comme une base pour choisir entre les modèles.

Ainsi, la méthode d'estimation sera les Moindres Carrés Ordinaires, qui consiste à estimer les paramètres en minimisant la somme des carrés des erreurs. Chacun des estimateurs nous donnera l'effet d'un changement marginal de la variable explicative correspondante sur la variable endogène (toutes choses égales par ailleurs). Après l'estimation, il faudra tester si nos variables sont significatives. En particulier, si la variable représentant l'ancienneté est significative.

5. ANALYSE ET COMMENTAIRES DES RÉSULTATS

Après l'estimation des trois modèles empiriques pour chacune des firmes (voir l'annexe), le modèle H₂ (modèle log-log) s'est avéré meilleur pour la firme de contrat implicite et alors que le modèle H₃ (modèle semi-log) s'est avéré meilleur pour la firme de contrat explicite. Ainsi, à l'exception de la variable homme, les coefficients du modèle H₂ représentent des élasticités¹⁵. Donc, seul les coefficients de cette variable sont directement comparables dans les deux modèles. Pour comparer les autres coefficients, il faudra diviser ceux du modèle «log-log» par la moyenne de la variable correspondante [voir les moyennes dans le tableau 1 (a)]¹⁶.

Les deux estimations sont présentées dans le tableau 2 ci-dessous.

Tableau 2

2.1- Contrat implicite [modèle « log-log »]

	Coefficient	Écart-type	P> t
Constante	7.54737	2.51923	0.0028
Ancienneté	0.06530	0.03190	0.0408
Ancienneté2	-0.03330	0.01524	0.0290
Homme	0.07758	0.01634	0.0001
Expérience	0.06484	0.08526	0.4225
Expérience2	-0.00794	0.02449	0.7455
Âge	-1.04064	1.46057	0.4762
Âge2	0.15410	0.20975	0.4626
Tarif à la pièce	-0.55091	0.02552	0.0001

Observation (n) = 1969; SCE=194.67593; R²=0.203; $\sum_{i=1}^n \log(y_i) = 12909.12$, $L_3^C + C = -18098.75$

¹⁵ Noter que la variable homme (Binaire) n'est pas en logarithme.

¹⁶ C'est-à-dire, $\frac{\partial}{\partial x_i} [\log(y_i)] = \frac{\partial}{\partial x_i} [\log(x_i)] = \frac{1}{x_i}$, qu'on évalue en \bar{x} .

2.2- Contrat explicite [modèle « semi-log »]

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	4.03673	0.23080	0.0001
Ancienneté	0.00607	0.01623	0.7085
Ancienneté ²	-0.00245	0.00077	0.0016
Homme	0.12590	0.04068	0.0020
Expérience	-0.04730	0.01808	0.0089
Expérience ²	0.00252	0.00078	0.0012
Âge	0.16627	0.01492	0.0001
Âge ²	-0.00245	0.00021	0.0001
Tarif à la pièce	-1.68900	0.15521	0.0001

Observation (n) = 4021; SCE=2066.13003; R²=0.098; $\sum_{i=1}^n \log(y_i) = 24472.14$, $L_2^C + C = -39819.16$

Nos estimations montrent que la productivité des planteurs est une fonction croissante et concave de l'ancienneté lorsque la firme et ses travailleurs sont liés par des contrats implicites. Par contre, l'ancienneté n'est pas significative dans le contrat explicite, mais elle l'est conjointement avec son carré. Dans ce cas, il faudra comparer l'effet de l'ancienneté sur la productivité des travailleurs dans les firmes. Rappelons que la moyenne de l'ancienneté est respectivement de 4.31 ans dans la firme de contrat implicite et de 6.49 ans dans la firme de contrat explicite. Dans le tableau 2.2, le coefficient de l'ancienneté (0.00607) nous donne de combien augmente le logarithme de la productivité lorsque l'ancienneté augmente d'une année supplémentaire (par rapport à la moyenne), tandis que dans le tableau 2.1, le coefficient de l'ancienneté (0.06530) représente l'élasticité de la productivité par rapport à l'ancienneté. Pour pouvoir les comparer, il faut diviser 0.06530 par 4.31. Ce qui nous donne une valeur de 0.01515. En comparant cette valeur à 0.00607, on trouve également que l'ancienneté a plus d'effet sur la productivité des travailleurs dans le contrat implicite malgré que la moyenne de l'ancienneté est plus grande dans le contrat explicite.

Dans le contrat explicite, la productivité apparaît être une fonction convexe décroissante de l'expérience. Ce qui semble être contre-intuitif. Cependant, une

explication alternative est que, contrairement aux autres variables, les données sur l'expérience sont moins fiables. C'est-à-dire, dans une activité saisonnière comme la plantation d'arbre, les firmes ne peuvent souvent vérifier l'expérience pré-compagnie¹⁷ des travailleurs, il peut donc être dans l'intérêt de ceux-ci de manipuler cette variable. Dans le contrat implicite, l'expérience, l'âge ainsi que leur carrés ne sont pas significatives. Il est possible que l'âge et l'expérience soient fortement corrélés. Pour analyser l'effet de l'âge indépendamment de l'expérience, nous enlevons la variable expérience dans la régression de contrat implicite, ce qui donne les résultats dans le tableau 3A. De là encore, l'âge et l'âge au carré ne sont pas significatifs. En retirant l'âge au carré, les résultats dans le tableau 3B montrent que l'âge est significatif.

Tableau 3

Contrat implicite sans la variable expérience : modèle « log-log »

	A. Modèle non contraint			B. Modèle contraint		
	Coefficient	Écart-type	P> T	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	5.95139	2.30379	0.0099	5.58073	0.15995	0.0001
Ancienneté	0.06160	0.02895	0.0335	0.06018	0.02758	0.0293
Ancienneté ²	-0.03049	0.01337	0.0227	-0.02965	0.01230	0.0160
Homme	0.08049	0.01579	0.0001	0.08074	0.01571	0.0001
Âge	-0.12233	1.34229	0.9274	0.09402	0.04569	0.0397
Âge ²	0.03149	0.19529	0.8719			
Tarif à la pièce	-0.54955	0.02551	0.0001	-0.54969	0.02549	0.0001
	SCE _{nc} =194.93050			SCE _c =194.93308		

Ainsi, il apparaît que la productivité augmente avec l'âge des planteurs dans les deux firmes. Ce qui n'est pas étonnant car la moyenne d'âge est respectivement de 33 et 36 ans avec des écart-type de 7 et 8 ans dans les contrats implicite et explicite. En d'autres termes, le plus vieux des planteurs dans les deux firmes (49 ans) n'a pas encore atteint l'âge à partir duquel la productivité commence à décroître.

¹⁷ C'est-à-dire, l'expérience acquise par le travailleur avant d'arriver dans la firme.

Le coefficient de la variable homme est positif mais très faible dans les deux estimations, ce qui montre que les hommes sont très légèrement plus productifs que les femmes dans les deux firmes.

Les estimations montrent également qu'il existe une relation négative entre le tarif à la pièce et la productivité des travailleurs dans les deux firmes. C'est-à-dire, lorsque le tarif à la pièce est élevé, les planteurs sont moins productifs que lorsque le tarif à la pièce est faible. Ce qui est contre intuitif. Rappelez-vous que le tarif à la pièce est l'intensité incitative du contrat [voir 3.1.3 (b)], par conséquent, on devrait s'attendre à ce que la productivité soit une fonction croissante du tarif à la pièce.

Ainsi, bien que ce résultat soit contradictoire aux intuitions de la théorie d'incitation, il est obtenu parce que les tarifs à la pièce sont déterminés par les firmes en fonction de la difficulté relative des conditions de plantation. En particulier, les firmes choisissent le tarif à la pièce après avoir observé les conditions moyennes de plantation, et ce tarif doit satisfaire la contrainte d'offre du travail des planteurs¹⁸. La productivité d'un travailleur est une fonction de son niveau d'effort et des conditions de plantation : il est plus facile de planter les arbres sur un terrain plat et mou que sur un terrain raide et dur. Dans les conditions de plantation favorables à la productivité, le nombre d'arbres plantés par le travailleur sera plus élevé pour un niveau d'effort donné. Puisque les planteurs sont payés en proportion de leur output et que l'effort est coûteux, ils préfèrent travailler (toutes choses égales par ailleurs) dans les conditions favorables : pour peu d'effort, ils plantent plus d'arbres. Par conséquent, pour que les planteurs acceptent de travailler dans les conditions défavorables, la firme doit augmenter le tarif à la pièce. Ainsi, le tarif à la pièce sera négativement corrélé avec la productivité.

Cependant, puisque les conditions de plantation sont inobservables par nous, elles entrent dans le terme d'erreur du modèle de régression. Dans ce cas, le tarif à la

¹⁸ C'est-à-dire, le planteur devra recevoir un certain salaire (salaire de réserve) pour pouvoir le conserver dans la firme.

pièce est une variable endogène et par conséquent, l'estimation de son coefficient sera biaisé car nous avons violé l'une des hypothèses de la méthode du Moindre Carré Ordinaire. C'est pourquoi, les modèles de régression simple ne sont pas capables d'identifier l'élasticité de l'effort par rapport au tarif à la pièce (l'effet incitatif).

Dans un travail récent, Paarsch & Shearer (1997) utilisent un modèle structurel pour contrôler l'endogénéité du système de paye et ils estiment l'élasticité de l'effort par rapport au tarif à la pièce à 2.2 (résultat obtenu en tenant compte également de l'hétérogénéité individuelle). C'est-à-dire, en maintenant les conditions de plantation fixes, lorsque le tarif à la pièce augmente de 1 %, la productivité des planteurs augmentera de 2.2 %. La connaissance de cette élasticité a des implications importantes pour les firmes qui utilisent un système de rémunération à la pièce. Stiglitz (1975) a montré que le tarif à la pièce optimal pour une firme doit être une fonction croissante de cette élasticité. C'est également la même intuition que nous avons montrée dans la sous-section 3.1.3 (b).

6. CONCLUSION

Bien qu'il existe une littérature abondante sur la productivité des travailleurs, très peu de travaux empiriques dans ce domaine ont utilisé les données de l'observation directe de la productivité des travailleurs dans les firmes. Le plus souvent, par manque de données disponibles, on estime la productivité des travailleurs à partir de leurs salaires. Mais, les variations du salaire ne sont pas nécessairement liées à celles de la productivité.

Dans ce travail, nous étudions les facteurs déterminant la productivité des travailleurs dans les contrats incitatifs explicites et implicites. Plus précisément, nous cherchons à savoir l'effet de l'ancienneté d'un travailleur dans une firme sur sa productivité lorsque les firmes de l'industrie ont accès à la même technologie, et que la firme et ses travailleurs sont liés par un contrat explicite ou implicite.

Nos données proviennent des archives de deux compagnies qui s'occupent de la plantation d'arbres en Colombie-Britannique, Canada. En 1995, la première firme a payé ses travailleurs en utilisant des mesures objectives et subjectives de la performance (contrat implicite), tandis qu'à la même année, la seconde firme a payé ses travailleurs en utilisant uniquement des mesures objectives (contrat explicite). Les deux compagnies utilisaient un système de rémunération à la pièce.

L'industrie de plantation d'arbres convient bien pour mener une telle étude parce que l'output des travailleurs est facilement observable et le système de compensation varie à travers les firmes et quelques fois à l'intérieur d'une même firme. De plus, toutes les firmes ont accès à la même technologie.

Nous développons et estimons un modèle du genre principal-agent pour analyser la productivité des travailleurs en fonction de leurs caractéristiques observables (l'âge, le sexe, l'ancienneté et l'expérience) et le tarif à la pièce payé par la firme.

Nos résultats montrent que dans une telle situation, lorsque le travailleur et la firme sont liés par un contrat explicite, l'ancienneté du travailleur dans la firme n'a pas d'effet sur sa productivité. Cependant, avec l'introduction des éléments implicites dans le contrat, l'ancienneté devient un facteur déterminant de la productivité des travailleurs. L'estimation indique que la productivité est une fonction croissante et concave de l'ancienneté des travailleurs. L'élasticité de la productivité par rapport à l'ancienneté est estimée à 0.0653. Nous attribuons ce résultat au fait que la conception de l'évaluation subjective par le travailleur dépendra de son ancienneté dans la firme. Pour comprendre l'intuition de cela, supposons qu'une firme et un travailleur se mettent d'accord pour que ce dernier travaille bien et que la firme lui payera un bonus implicite à la fin de chaque période. Au début du contrat, même si le travailleur connaît les éléments sur lesquels la firme se base pour déterminer le bonus, il ne sait pas comment la firme réagira à ses différents éléments. Il lui faudra par conséquent du temps pour comprendre comment la firme valorise les aspects subjectifs de sa performance. En d'autres termes, la conception du bonus implicite par le travailleur dépendra de son ancienneté dans la firme.

BIBLIOGRAPHIE

- Baker, G. (1992): "Incentive Contracts and Performance Measurement," *Journal of Political Economy*, 100, P. 598-614.
- Baker, G., Gibbons, R. & K. Murphy (1994): "Subjective Performance Measures in Optimal Incentive Contracts," *The Quarterly Journal of Economics*, 439, P. 1125-1156.
- Becker, G. (1975): *Human Capital*, New York : Columbia.
- Davidson, R. & J.G. Mackinnon (1993): *Estimation and Inference in Econometrics*, New York Oxford, Oxford University Press.
- Ferrall, C. & B. Shearer (1994): "Incentives, Team Production, Transaction Costs and the Optimal Contract : Estimates of an Agency Model Using Payroll Records." Department of Economics Discussion Paper Number 980, Queen's University, Kingston, Canada.
- Gibbons, R. (1987): "Piece-Rate Incentive Schemes," *Journal of Labor Economics*, V, P. 413-429.
- Griffiths, W., Hill, C., & G. Judge (1993): *Learning and Practicing Econometrics*, New York: John Wiley & Sons.
- Grossman, S. & O. Hart (1983): "An Analysis of the Principal-Agent Problem," *Econometrica*, 51, P. 7-45.
- Hart, O. & B. Holmstrom (1985): "The Theory of Contracts," in *Advances in Economic Theory: Fifth World Congress*, ed. by Truman Bewley. Cambridge : Cambridge University Press, P. 71-155.
- Holmstrom, B. & P. Milgrom (1990): "Multitask Principal-Agent Analyses: Incentive Contracts, Asset Ownership, and Job Design." *Journal of Law, Economics and Organization*, 7, P. 24-52.
- Holmstrom, B. & P. Milgrom (1987): "Aggregation and Linearity in the Provision of Intertemporal Incentives," *Econometrica*, 55 (2), P. 303-328.
- Hutchens, R. (1989): "Seniority, Wages and Productivity: A Turbulent Decade." *Journal of Economics Perspectives* 3(4), P.65-83.

- Jones, D. & T. Kato (1995): "The Productivity Effects of Employee Stock-Ownership Plans and Bonuses: Evidence from Japanese Panel Data," *American Economic Review*, 85, P. 391-413.
- Katherine, A. & J. Medoff (1980): "Experience, Performance, and Earnings," *The Quarterly Journal of Economics*, 381, P. 703-736.
- Lawler, E. (1971): *Pay and Organizational Effectiveness: A Psychological View*, New York: McGraw-Hill.
- Lazear, E. (1998): *Personnel Economics for Managers*, New York: John Wiley & Sons.
- Lazear, E. (1996): "Performance Pay and Productivity," Working Paper 5672. Cambridge, MA: National Bureau of Economics Research.
- Lazear, E. (1995): *Personnel Economics*, Cambridge, MA: MIT Press.
- Lazear, E. (1986): "Salaries and Piece Rates," *Journal of Business*, 59(3), P. 405-431.
- MacLeod, B. & J. Malcomson (1989): "Implicit Contracts, Incentive Compatibility, and Involuntary Unemployment," *Econometrica*, 57, P. 447-480.
- Milgron, P. & J. Roberts (1992): *Economics, Organisations, and Management*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, N. J.
- Mitchell, D., Lewin D. & E. Lawler (1990): "Alternative Pay Systems, Firm performance, and Productivity," in A. Blinder, ed., *Pay for Productivity: A look at the Evidence*. Washington: The Brookings Institution.
- Paarsch, H. & B. Shearer (1996): "Piece Rates, Fixed Wages and Incentive Effects: Statistical Evidence from Payroll Records," Cahier de Recherche 9623, CRÉFA, Département d'économique, Université Laval, Quebec.
- Paarsch, H. & B. Shearer (1997): "On the Elasticity of Effort for Piece Rates: Evidence from the British Columbia Tree-Planting Industry," Cahier de Recherche 9717, CRÉFA, Département d'économique, Université Laval, Quebec.
- Pollak, R.A. & T.J. Wales (1991), "The Likelihood Dominance Criterion: a new approach to model selection", *Journal of Econometrics*, 47, P. 227-242.
- Sargan, J.D. (1964): "Wages and Prices in the United Kingdom: a study in econometric methodology," in *Econometric Analysis for National Economic Planning*, eds. P.E. Hart, G. Mills and J.K. Whitaker, London, Butterworths; reprinted in *Quantitative*

Economics and Econometric Analysis, eds. K.F. Wallis and D.F. Hendry (1984), Oxford, Basil Blackwell.

Shapiro, C. & J. Stiglitz (1984): "Equilibrium Unemployment as a Worker Discipline Device," *American Economic Review* 74, P. 433-444.

Stiglitz, J. (1975): "Incentives, Risk, and Information: Notes Towards a Theory of Hierarchy," *Bell Journal of Economics and Management Science*, 6, P. 552-579.

Varian, Hal R.(1995): *Microeconomic Analysis*, Ed. W.W. Norton, New York.

Weiss, A. (1992): "Productivity Gains without Formal Training," Department of Economics, Boston University Working Paper Number 9, March.

ANNEXE

I - Contrat implicite

1. Modèle linéaire

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	1196.78	178.32	0.0001
Ancienneté	0.963	5.421	0.8591
Ancienneté ²	-0.276	0.425	0.5160
Homme	65.36	12.46	0.0001
Expérience	15.35	7.643	0.0446
Expérience ²	-0.605	0.306	0.0480
Âge	-11.72	11.62	0.3130
Âge ²	0.190	0.162	0.2406
Tarif à la pièce	-1115.45	55.19	0.0001

Observation (n) = 1969; SCE=118515682.81; R²=0.186; $L_1^C + C = -18302.40$

2. Modèle « semi-log »

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	6.95697	0.23179	0.0001
Ancienneté	0.01117	0.00704	0.1128
Ancienneté ²	-0.00099	0.00055	0.0718
Homme	0.07923	0.01620	0.0001
Expérience	0.01563	0.00993	0.1156
Expérience ²	-0.00057	0.00039	0.1513
Âge	-0.00358	0.01509	0.8122
Âge ²	0.00005	0.00021	0.7846
Tarif à la pièce	-1.41539	0.07172	0.0001

Observation (n) = 1969; SCE=200.19168; R²=0.180; $\sum_{i=1}^n \log(y_i) = 12909.12$; $L_2^C + C = -18126.26$

3. Modèle « log-log » (le bon modèle)

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	7.54737	2.51923	0.0028
Ancienneté	0.06530	0.03190	0.0408
Ancienneté ²	-0.03330	0.01524	0.0290
Homme	0.07758	0.01634	0.0001
Expérience	0.06484	0.08526	0.4225
Expérience ²	-0.00794	0.02449	0.7455
Âge	-1.04064	1.46057	0.4762
Âge ²	0.15410	0.20975	0.4626
Tarif à la pièce	-0.55091	0.02552	0.0001

Observation (n) = 1969; SCE=194.67593; R²=0.203; $\sum_{i=1}^n \log(y_i) = 12909.12$; $L_3^C + C = -18098.75$

II. Contrat explicite

1. Modèle linéaire

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	-254.69	101.75	0.0124
Ancienneté	-5.628	7.1577	0.4317
Ancienneté ²	-0.5602	0.3415	0.1010
Homme	89.414	17.937	0.0001
Expérience	-14.709	7.9708	0.0650
Expérience ²	0.8344	0.3421	0.0148
Âge	68.840	6.5796	0.0001
Âge ²	-1.0090	0.0906	0.0001
Tarif à la pièce	-993.70	68.428	0.0001

Observation (n) = 4021; SCE=401550806.4; $R^2=0.105$; $L_1^C + C = -39829.70$

2. Modèle « semi-log » (le bon modèle)

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	4.03673	0.23080	0.0001
Ancienneté	0.00607	0.01623	0.7085
Ancienneté ²	-0.00245	0.00077	0.0016
Homme	0.12590	0.04068	0.0020
Expérience	-0.04730	0.01808	0.0089
Expérience ²	0.00252	0.00078	0.0012
Âge	0.16627	0.01492	0.0001
Âge ²	-0.00245	0.00021	0.0001
Tarif à la pièce	-1.68900	0.15521	0.0001

Observation (n) = 4021; SCE=2066.13003; $R^2=0.098$; $\sum_{i=1}^n \log(y_i) = 24472.14$, $L_2^C + C = -39819.16$

3. Modèle « log-log »

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	-25.1192	2.50606	0.0001
Ancienneté	0.60165	0.11659	0.0001
Ancienneté ²	-0.23682	0.03320	0.0001
Homme	0.08653	0.04429	0.0508
Expérience	-0.57061	0.15324	0.0002
Expérience ²	0.14568	0.03707	0.0001
Âge	18.1380	1.46262	0.0001
Âge ²	-2.61978	0.20768	0.0001
Tarif à la pièce	-011883	0.02769	0.0001

Observation (n) = 4021; SCE=2105.59894; $R^2=0.080$; $\sum_{i=1}^n \log(y_i) = 24472.14$, $L_3^C + C = -39857.20$

Contrat implicite sans la variable expérience

- Modèle « log-log »

	A. Modèle non contraint			B. Modèle contraint		
	Coefficient	Écart-type	P> T	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	5.95139	2.30379	0.0099	5.58073	0.15995	0.0001
Ancienneté	0.06160	0.02895	0.0335	0.06018	0.02758	0.0293
Ancienneté2	-0.03049	0.01337	0.0227	-0.02965	0.01230	0.0160
Homme	0.08049	0.01579	0.0001	0.08074	0.01571	0.0001
Âge	-0.12233	1.34229	0.9274	0.09402	0.04569	0.0397
Âge2	0.03149	0.19529	0.8719			
Tarif à la pièce	-0.54955	0.02551	0.0001	-0.54969	0.02549	0.0001
	SCE _{nc} =194.93050			SCE _c =194.93308		

Contrat explicite sans la variable expérience

- Modèle « semi-log »

	Coefficient	Écart-type	P> T
Constante	4.15138	0.21889	0.0001
Ancienneté	-0.01732	0.01109	0.1182
Ancienneté2	-0.00071	0.00051	0.1669
Homme	0.15681	0.03794	0.0001
Âge	0.15211	0.13170	0.0001
Âge2	-0.00226	0.00018	0.0001
Tarif à la pièce	-1.71617	0.15529	0.0001

Construction des variables utilisées dans les estimations

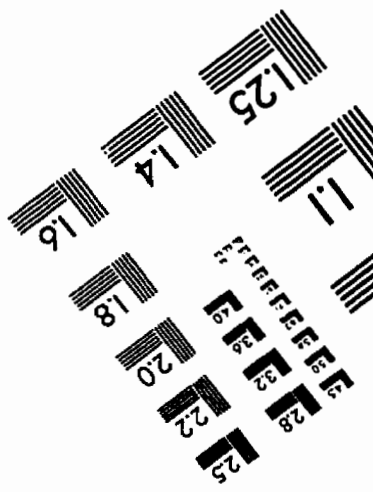
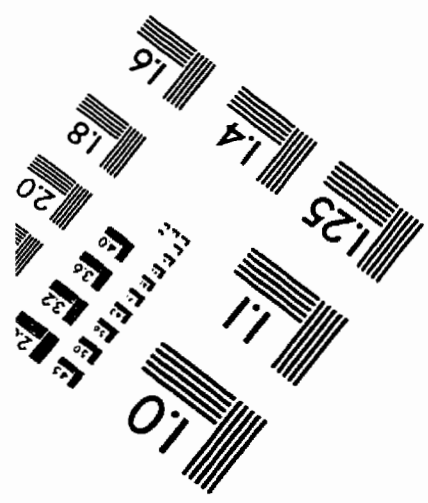
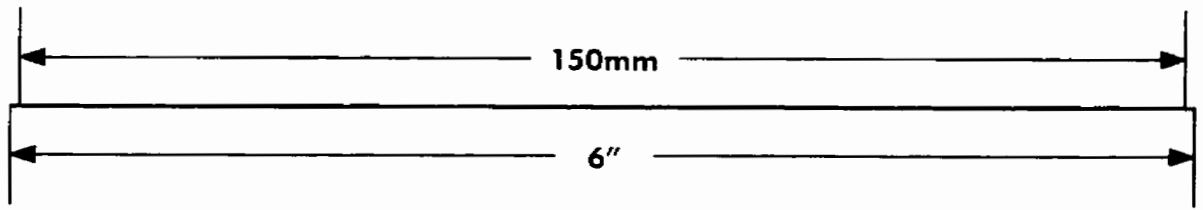
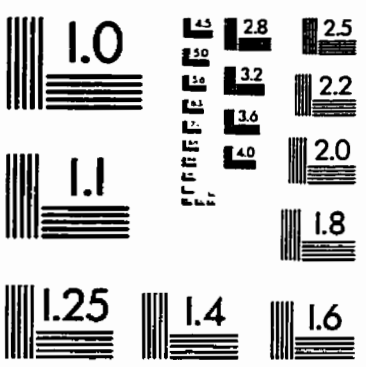
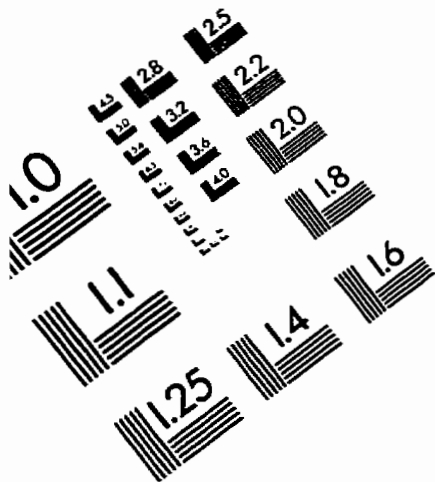
Rappelons que les travailleurs plantaient les arbres à des endroits différents par jour. Ainsi, la productivité journalière (le nombre total d'arbres plantés par jour) du travailleur est déterminée en faisant la somme de tous les arbres plantés par jour aux différents endroits.

Pour un travailleur donné, nous déterminons le tarif à la pièce journalier comme une moyenne pondérée des différents tarifs à la pièce payés au travailleur par jour. Les coefficients de pondération utilisés sont les proportions d'arbres plantés par jour aux différents endroits (c'est-à-dire, le nombre d'arbres plantés par jour à un endroit par rapport au nombre total d'arbres plantés par jour).

A partir de la date de naissance des travailleurs, nous avons construit la variable âge en faisant la différence entre l'année 1995 et l'année de naissance des travailleurs.

Les variables ancienneté et expérience (en nombre d'années) nous ont été fournies directement par les entreprises concernées.

IMAGE EVALUATION TEST TARGET (QA-3)



APPLIED IMAGE, Inc
 1653 East Main Street
 Rochester, NY 14609 USA
 Phone: 716/482-0300
 Fax: 716/288-5989

© 1993, Applied Image, Inc.. All Rights Reserved