

HEC MONTRÉAL

AFFILIÉE À L'UNIVERSITÉ DE MONTRÉAL

Nouvelle économie et rendements du capital humain

par

Mathieu Trépanier

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures

en vue de l'obtention du grade de

Maître ès sciences en gestion

option économie appliquée

Juin 2004

© Mathieu Trépanier, 2004

Université de Montréal
Faculté des études supérieures

Ce mémoire intitulé :
Nouvelle économie et rendements du capital humain

présenté par :
Mathieu Trépanier

a été évalué par un jury composé des personnes suivantes :

Pierre-Thomas Léger
président-rapporteur

Benoit Dostie
directeur de recherche

Paul Lanoie
membre du jury

Résumé :

Dans ce mémoire, nous testons l'hypothèse que l'utilisation de l'ordinateur n'entraîne des gains de productivité que lorsque la firme utilise un ensemble de pratiques organisationnelles complémentaires. L'information détaillée sur les pratiques organisationnelles et sur la rémunération des travailleurs est obtenue à l'aide de l'enquête sur le milieu de travail et les employés (EMTE 1999 et 2000). Il s'agit d'une enquête canadienne longitudinale et liée qui nous permet de prendre en compte à la fois l'hétérogénéité non-observée des travailleurs et des firmes avec l'estimation d'un modèle linéaire mixte de détermination du salaire. Nos résultats suggèrent un rendement faible mais positif pour l'utilisation de l'ordinateur. De plus, la taille du rendement dépend de l'utilisation de certaines pratiques organisationnelles.

Mots clés:

Salaire; Nouvelles technologies; Ordinateur; Modèles mixtes; Base de données employeur-employées liées; Pratiques organisationnelles de la firme.

Abstract :

In this thesis, we test the hypothesis that computer use will lead to productivity gains only if the firm uses a set of organizational practices that permit so. Detailed data on organizational practices and workers' compensation is obtained through a Canadian longitudinal linked employer-employee database called the Workplace and Employee Survey (WES 1999 and 2000). Linked data allow us to take into account both worker and firm unobserved heterogeneity through the estimation of a linear mixed model of wage

determination. Our results suggest a small but positive computer-wage premium which size is related to a set of organizational practices.

Key words:

Wage; New technologies; Computers; Mixed models; Linked employer-employee data, Organizational Practices of the Firm.

Table des matières

1. Introduction	10
1.1. Inégalités salariales	11
1.2. Données et estimations économétriques	13
1.3. Plan du mémoire	15
2. Revue de littérature	18
2.1. Déterminants des changements dans la structure salariale	19
2.2. Niveau d'agrégation	21
2.3. Principales études empiriques	22
2.3.1. Krueger (1993)	22
2.3.2. DiNardo et Pischke (1997)	25
2.3.3. Entorf et Kramarz (1997)	27
3. Le modèle	38
3.1. Modèle de l'identité comptable de Mincer	39
4. Returns to Computer Use and Organizational Practices of the Firm	45
4.1. Introduction	47
4.2. Literature Review	49
4.2.1. Results from Wage Regressions Estimation	49
4.2.2. Results for Production Function Estimation	52
4.3. Statistical Model	53
4.4. Estimation	55
4.5. Data	57

4.5.1. Variables Used	59
4.5.2. Descriptive Statistics.....	61
4.6. Results.....	61
4.6.1. Controlling for Unobserved Ability.....	62
4.6.2. Controlling for Organizational Practices.....	64
4.7. Conclusion.....	67
5. Conclusion	95
A. Annexe	97
a. REML.....	98
i. ML sur les résidus MCO.....	98
ii. Prise en compte des degrés de libertés	100
iii. Le modèle à effets fixes : un cas particulier du modèle mixte...	102

Liste des tableaux

1. Description des variables.....	80
2. Pourcentage d'utilisateur de l'ordinateur par catégorie.....	83
3. Statistiques descriptives.....	85
4. Estimés MCP.....	88
5. Comparaison des estimés «pooled OLS», effets fixes et effets mixtes.....	89
6. Autres spécifications pour «pooled OLS» et effets mixtes.....	91
7. Échantillon complet.....	93

Liste des abréviations

- BLUE: Meilleur estimateur linéaire sans biais (Best Linear Unbiased Estimator).
- BLUP: Meilleur prédicteur linéaire sans biais (Best Linear Unbiased Predictor).
- EMTE: Enquête sur le milieu de travail et les employés.
- HK : Indice pour le niveau de capital humain de la main-d'œuvre d'une firme.
- IT : Technologie de l'information (Information technology).
- ML : maximum de vraisemblance.
- NT : Nouvelles technologies.
- OLS : Moindres Carrés Ordinaires.
- REML: Maximum de vraisemblance restreint.
- SAT : Scholastic assessment test (examen d'admission au premier cycle universitaire aux États-Unis).
- SMSA : Zone statistique métropolitaine standard.
- TI : Technologies de l'information.
- WES : Workplace and Employees Survey.
- WLS : Weighted Least Squares.
- WO : Indice de l'intensité de l'utilisation de pratiques organisationnelles de décentralisation.

Remerciements

Maintenant au terme de ce projet, je souhaite exprimer toute ma gratitude aux nombreuses personnes et organismes qui en ont permis la réalisation. Tout d'abord, au Conseil de Recherche en Sciences Humaines du Canada (Initiative pour la Nouvelle Économie) et au Centre Inter-universitaire Québécois de Statistiques Sociales (CIQSS) pour leurs soutiens financiers. Ensuite, à Paul Lanoie, à Pierre-thomas Léger ainsi qu'à de nombreux participants aux conférences annuelles 2004 de la Société Canadienne de Sciences Économiques et de la «Canadian Economic Association» pour des suggestions judicieuses. Enfin, à Benoit Dostie pour des conseils et des suggestions de grandes valeurs ainsi que pour le plaisir que le travail en sa compagnie m'a apporté.

Note aux lecteurs

Le chapitre 4 du présent mémoire est constitué d'un article co-écrit avec Benoit Dostie (Return to Computer Use and Organizational Practices of the Firm). L'introduction de cet article est un travail joint. Les sections «Literature Review», «Data», «Results» et «Conclusion» sont l'œuvre principale de Mathieu Trépanier. Les sections «Statistical Model» et «Estimation» sont l'œuvre principale de Benoit Dostie.

Chapitre 1

Introduction

1.1 Inégalités salariales

Depuis près de deux décennies, les inégalités salariales ont augmenté substantiellement, notamment aux États-Unis. Les chercheurs notent principalement la hausse du rendement associé à l'éducation et à l'expérience, alors qu'ils observent une diminution de l'écart salarial homme/femme¹. Bien que la majorité des études sur ce sujet s'intéresse à la situation américaine, de nombreuses analyses portent sur les inégalités salariales au Canada².

La croissance des inégalités est relativement bien documentée, cependant il n'y a pas de consensus quant à ses causes. Sur ce point, plusieurs explications ont été avancées. Notons l'accroissement du rôle du commerce international, l'affaiblissement du pouvoir des institutions sur le marché du travail, notamment les syndicats, la diminution de la taille des cohortes de travailleurs qualifiés et le changement technologique, particulièrement l'introduction des nouvelles technologies de l'information dans les milieux de travail.

Sans nier l'intérêt des autres explications, notre analyse s'inscrit dans la voie du changement technologique. Deux approches ont été utilisées afin de tester l'hypothèse du changement technologique. Une première approche consiste à estimer des fonctions de productions et à regarder la relation entre l'utilisation de la technologie et les gains de productivité. Cette approche conclue à l'existence de gains de productivité (Bresnahan, Brynjolfsson, et Hitt

¹Le lecteur pourra consulter Card, Kramarz, et Lemieux (1999), Katz et Murphy (1992) et Murphy et Welch (1992).

²Voir Baker et Solon (1999) et Card, Kramarz, et Lemieux (1999).

(2002), Bertschek et Kaiser (2004) et Cappelli et Carter (2000).) Le second test consiste à estimer des équations de salaires et à vérifier si l'utilisation de l'ordinateur entraîne un gain salarial. Les résultats récents de cette seconde littérature tendent à rejeter l'existence de gains salariaux (Entorf et Kramarz (1997), Entorf, Gollac, et Kramarz (1999).)

Notre objectif principal est donc de tenter de réconcilier ces deux types de résultats. D'abord, nous estimons une équation de salaires à l'aide de la méthodologie «mixte»³ afin de vérifier si les entreprises rémunèrent l'utilisation de l'ordinateur. Par la suite, nous augmenterons nos équations de salaires afin de vérifier si la rémunération liée à l'utilisation de l'ordinateur est plus ou moins élevée dans les entreprises qui mettent en place des pratiques organisationnelles dites de «haute performance»⁴ que dans les firmes autrement identiques, mais qui n'ont pas implanté ces pratiques. En somme, nous considérons que le salaire nous renseigne sur la productivité marginale des travailleurs et nous nous demandons si le fait d'utiliser l'ordinateur entraîne un gain de productivité et si la taille de ce gain est influencée (positivement ou négativement) par les différentes pratiques organisationnelles de la firme.

Pour montrer l'intérêt de contrôler pour les pratiques organisationnelles, considérons que les technologies de l'information sont des technologies d'usage général⁵ (Bresnahan et Trajtenberg (1995).) La mise en place de technologies

³Voir les sections «Statistical Model» et «Estimation» du chapitre 4.

⁴À titre d'exemples, considérons les équipes de travail autonomes, les rotations de postes et les équipes de résolution de problèmes.

⁵Voir les sections 2.3.3 et «Statistical Model» du chapitre 4.

d'usage général a pour effet de réduire le coût d'innovations complémentaires (par exemple, l'utilisation à grande échelle du télégraphe a permis l'existence (en réduisant les coûts de communication) d'entreprises géographiquement dispersées.) Enfin, ces innovations complémentaires peuvent modifier à leur tour la productivité du travail (prenons l'exemple des pratiques organisationnelles.) L'effet global pourra donc être différent de l'effet isolé de l'utilisation de l'ordinateur au travail.

Pour expliquer l'effet sur le salaire, il faut ajouter que l'utilisation de la technologie en conjonction avec les pratiques organisationnelles peut avoir pour effet de modifier certains paramètres importants dans la détermination de la rémunération. Par exemple, le fait de travailler en équipe, ou dans une entreprise qui prend en compte les suggestions des employés peut avoir pour effet de rendre le travail plus agréable pour les travailleurs. Si c'est le cas, le travailleur pourra accepter le travail en contrepartie d'un salaire moindre. Il est également possible de concevoir que l'utilisation conjointe de la technologie et des pratiques organisationnelles modifient la capacité de l'employeur à contrôler le niveau d'effort de l'employé dans la réalisation de son travail. Dans ce cas, l'employeur pourra modifier le salaire afin d'inciter l'employé à fournir le niveau d'effort désiré.

1.2 Données et estimations économétriques

Nous utilisons les données provenant de l'enquête sur le milieu de travail et les employés (EMTE) réalisée par Statistique Canada en 1999 et 2000. Il

s'agit d'une enquête longitudinale qui contient à la fois de l'information sur les caractéristiques des travailleurs et sur celles des firmes qui les emploient. La base de données contient des informations sur 23 540 employés et 6271 firmes en 1999, 18 267 employés et 5320 firmes en 2000⁶. L'enquête couvre l'ensemble du territoire canadien à l'exception du Yukon, des Territoires du Nord-Ouest et du Nunavut. Elle recense des firmes dans tous les secteurs d'activités sauf la pêche, l'agriculture et l'élevage.

L'EMTE est donc un panel lié (Abowd et Kramarz (1999)), c'est à dire une base de données longitudinale qui nous renseigne à la fois sur les caractéristiques et les gains des travailleurs et des firmes. Ce point nous donne accès à de l'information à la fois sur les offreurs et sur les demandeurs de travail. C'est un aspect novateur de l'étude puisque l'essentiel des analyses antérieures ont utilisé des données soit sur l'offre, soit sur la demande de travail.

Nous estimons des équations de salaires de type Mincer augmentées afin de prendre en compte l'utilisation de la technologie. Une contribution importante de notre enquête est l'estimation d'équations de salaires avec deux termes, non-emboîtés, d'hétérogénéité non-observée⁷. En effet, à l'aide de la méthodologie mixte, nous estimons à la fois un terme d'hétérogénéité non-observée pour chaque individu et pour chaque firme. Cette approche est

⁶Lorsque nous nous intéresserons aux pratiques organisationnelles, notre échantillon aura une taille plus faible puisque certaines questions sont uniquement adressées aux établissements de plus de 10 employés. Pour plus de détails, voir la section «Data» du chapitre 4.

⁷Voir Abowd, Kramarz, et Margolis (1999).

rendue possible par la nature longitudinale et liée de l'enquête à notre disposition.

À notre connaissance, il s'agit de la première étude à s'intéresser à la question du lien entre les pratiques organisationnelles et l'utilisation de la technologie en estimant des équations de salaires. Il s'agit également de la première étude sur le lien entre l'utilisation de la technologie et le salaire avec la méthodologie mixte.

Nos résultats montrent l'existence d'une prime salariale pour l'utilisation de l'ordinateur de l'ordre de 4.8%. De plus, nos estimés suggèrent un lien entre la taille de la prime et l'utilisation par la firme de différentes pratiques organisationnelles.

1.3 Plan du mémoire

Le chapitre 2 est consacré à la revue de la littérature. Le chapitre 3 présente une justification théorique pour la spécification utilisée. Le chapitre 4 est constitué de l'article intitulé : «Return to Computer Use and Organizational Practices of the Firm». L'introduction de l'article est suivie d'une revue de la littérature (section 4.2.) Ensuite, la section 4.3 présente le modèle statistique, alors que la section 4.4 traite de l'estimation. La section 4.5 présente les résultats obtenus. Enfin la section 4.6 conclue. Le travail se termine par une courte conclusion générale.

Références

- Abowd, J. M. et F. Kramarz (1999). The Analysis of Labor Markets using Matched Employer-Employee Data. Dans *Handbook of Labor Economics*, Volume 3B, pp. 2629–2710. Handbook in Economics, vol. 5. Amsterdam ; New York and Oxford : Elsevier Science, North-Holland.
- Abowd, J. M., F. Kramarz, et D. N. Margolis (1999). High Wage Workers and High Wage Firms. *Econometrica* 67(2), 251–333.
- Baker, M. et G. Solon (1999). Dynamique et inégalité des revenus chez les hommes au Canada, 1976-1992 : Analyse fondée sur des dossiers fiscaux longitudinaux. No 130, Division de l'analyse des entreprises et du marché du travail, Statistique Canada.
- Bertschek, I. et U. Kaiser (2004). Productivity Effects of Organizational Change : Microeconomic Evidence. *Management Science* 50(3), 394–404.
- Bresnahan, T. F., E. Brynjolfsson, et L. M. Hitt (2002). Information Technology, Workplace Organization and the Demand for Skilled Labor : Firm Level Evidence. *Quarterly Journal of Economics* 117(1), 339–376.
- Bresnahan, T. F. et M. Trajtenberg (1995). General Purpose Technologies : "Engines of Growth" ? *Journal of Econometrics* 117(1), 83–108.
- Cappelli, P. et W. Carter (2000). Computers, Work Organization and Wage Outcomes. NBER Working Paper Series, Working Paper No. 7987.

- Card, D., F. Kramarz, et T. Lemieux (1999). Changes in the Relative Structure of Wages and Employment : A Comparison of the United States, Canada and France. *Canadian Journal of Economics* 32(4), 843–877.
- Entorf, H., M. Gollac, et F. Kramarz (1999). New Technologies, Wages, and Workers Selection. *Journal of Labor Economics* 17(3), 464–491.
- Entorf, H. et F. Kramarz (1997). Does Unmeasured Ability Explain the Higher Wages of New Technology Workers? *European Economic Review* 41, 1489–1509.
- Katz, L. F. et K. M. Murphy (1992). Changes in the Relative Wages, 1963-1987, Supply and Demand Factors. *Quarterly Journal of Economics* 107(1), 35–78.
- Murphy, K. M. et F. Welch (1992). The Structure of Wages. *Quarterly Journal of Economics* 107(1), 285–326.

Chapitre 2

Revue de littérature

L'objet de ce chapitre est de situer le présent travail à l'intérieur d'une ligne de recherche précise, de présenter les principales études empiriques effectuées et d'identifier leurs lacunes.

2.1 Déterminants des changements dans la structure salariale

Depuis maintenant plus de deux décennies, de nombreux chercheurs se sont intéressés à la question des changements observés dans la structure salariale. Ils constatent notamment une hausse du salaire relatif des travailleurs qualifiés et de l'écart attribuable à l'origine ethnique ainsi qu'une diminution de l'écart salarial homme/femme¹. À cet égard, nous recensons quatre voies d'explications possibles.

Une première explication est soutenue par Murphy et Welch (1991). Ils attribuent les changements observés dans la structure salariale américaine à une réduction de l'emploi dans le secteur manufacturier. Cette baisse serait liée aux déficits commerciaux que connaissent les États-Unis dans les années 1980. Les auteurs soutiennent que le commerce international exercerait une pression à la hausse sur la demande relative de travailleurs qualifiés aux États-Unis. C'est l'explication par le commerce international.

Une seconde explication (Bluestone et Harrison (1988)) suggère que le recul de l'emploi dans le secteur manufacturier et l'érosion du pouvoir des syndicats auraient causé la détérioration des conditions salariales relatives

¹Le lecteur pourra se référer à l'étude de Bound et Johnson (1992).

des cols bleus de sexe masculin dans de nombreuses industries.

Une troisième explication (Murphy et Welch (1989)) se concentre sur le ralentissement du rythme de croissance de la population de travailleurs qualifiés pour expliquer l'augmentation de leur salaire relatif.

Enfin, une quatrième explication est soutenue par Mincer (1993). Il attribue les changements dans la structure salariale à d'importants changements technologiques, notamment ce qu'il est convenu d'appeler la «révolution informatique».

Dans une étude importante, Bound et Johnson (1992) testent le pouvoir explicatif de ces quatre hypothèses. Ils montrent que bien qu'aucune des explications ne soit rejetée par les données utilisées, l'hypothèse du changement technologique domine largement au sens pratique.

Notre étude s'inscrit dans la voie tracée par les études de Bound et Johnson (1992) et de Mincer (1993). Toutefois, plus qu'un test de la validité de l'hypothèse du changement technologique biaisé en faveur des travailleurs qualifiés, notre objectif principal sera l'identification de l'effet de l'utilisation de l'ordinateur au travail sur le salaire d'un individu et la relation entre cet effet et les pratiques organisationnelles de la firme.

2.2 Niveau d'aggrégation

À l'intérieur de cette ligne de recherche, deux grandes approches sont utilisées². La première utilise des données agrégées au niveau de la firme pour un petit nombre de secteurs, généralement à l'intérieur de l'industrie manufacturière.

Ces données permettent notamment de proposer des réponses sur le lien entre l'utilisation de la technologie et les changements dans la structure salariale au niveau agrégé. Le lecteur pourra se référer à Bartel et Sicherman (1999), Autor, Katz, et Krueger (1998), Berman, Bound, et Griliches (1994) et Doms, Dunne, et Trostke (1997). Le consensus dans cette littérature est à l'effet qu'il existe une relation positive entre l'utilisation de la technologie et la productivité des entreprises³.

La seconde approche utilise des données désagrégées, ou données micro-économiques (Krueger (1993), DiNardo et Pischke (1997), Entorf et Kramarz (1997), Chennells et Reenen (2002), Anger et Schwarze (2003), Lee et Kim (2004) et Dolton et Makepeace (2004).) Cette approche rend plus difficile la mise en relief d'un lien entre l'utilisation de la technologie et le changement dans la structure salariale agrégée, cependant elle est beaucoup plus pertinente dès lors qu'il s'agit de déterminer si l'utilisation de la technologie génère des gains de productivité au niveau individuel et donc une hausse du

²Il existe une troisième approche qui utilise des études de cas (voir Autor, Levy, et Murnane (2002).)

³Voir la section «Results from Production Function Estimation» du chapitre 4 pour plus de détails.

salaire. C'est sur cette seconde approche que nous allons nous concentrer.

2.3 Principales études empiriques

2.3.1 Krueger (1993)

Krueger (1993) s'intéresse à l'effet de l'introduction de l'ordinateur dans le milieu de travail sur le salaire des travailleurs. La question qu'il pose est la suivante: «...est-ce que les employés qui utilisent l'ordinateur au travail obtiennent un salaire supérieur du fait de leurs compétences informatiques et est-ce que cette prime peut expliquer une bonne part des changements dans la structure des salaires?»⁴

Afin de répondre à cette question, Krueger utilise des microdonnées provenant d'une enquête américaine réalisée en 1984 et en 1989⁵. Il estime des équations de salaires de type Mincer, augmentées pour inclure une variable dichotomique indiquant l'utilisation d'un ordinateur au travail, à l'aide de la méthode des Moindres Carrés Ordinaires:

$$\ln w_i = X_i\beta + \delta C_i + \epsilon_i \quad (1)$$

où w_i est le taux horaire de l'individu i , X est une matrice de variables démographiques, C est une variable binaire indiquant l'utilisation de l'ordinateur au travail, β et δ sont des vecteurs de coefficients et ϵ est le résidu statistique.

⁴Traduction libre de Krueger (1993) en page 34.

⁵Current Population Survey (CPS), 1984 et 1989.

Krueger estime plusieurs spécifications en faisant varier le contenu de la matrice X (variables démographiques). Il utilise l'expérience et l'expérience au carré, le niveau d'éducation, la race, le statut marital, le genre, un terme d'interaction entre le sexe et le statut marital, ainsi qu'une série de variables binaires indiquant l'appartenance à un syndicat, si l'individu est un vétéran de la guerre du Vietnam, s'il travaille à temps partiel et s'il réside dans une grande ville⁶.

Krueger obtient une prime salariale pour l'utilisation de l'ordinateur qui varie entre 15 et 20% selon la spécification et l'année retenue. Dans tous les cas, le coefficient est fortement significatif.

L'article est fondateur en ce sens qu'il constitue un premier test micro-économique de l'hypothèse de l'effet du changement technologique sur les salaires. Cependant, de par l'insuffisance des données à la disposition de l'auteur, deux critiques principales ont été formulées.

Premièrement, Krueger omet l'habilité intrinsèque des travailleurs (ou le capital humain non-observé) dans ces estimations. Afin de corriger cette situation, il a recours à des méthodes indirectes (résultats de l'examen SAT⁷ comme approximation). Cependant, s'il subsiste une corrélation entre l'utilisation de l'ordinateur au travail et l'habilité non-observée, alors le problème d'endogénéité demeure.

⁶La variable indique si l'individu réside dans une SMSA (Standard Metropolitan Statistical Areas ou zones statistiques métropolitaines standards).

⁷L'examen SAT (Scholastic Assessment Test) est un examen d'admission au premier cycle universitaire aux États-Unis.

Prenons un exemple simple pour illustrer la situation. Soit l'équation (1) estimée par Krueger et posons que le modèle de la population inclut une variable supplémentaire (non-observée) h , l'habilité intrinsèque des travailleurs. Supposons que les corrélations conditionnelles entre cette variable et l'ensemble des variables explicatives soient non-négatives:

$$\text{corr}(h, x_j | x_{i \neq j}, C) \geq 0 \quad \forall i, j = 1, \dots, k$$

et supposons que

$$\text{corr}(h, C | x) > 0.$$

Dans ce cas, en posant que l'habilité entre positivement dans l'équation de salaires, l'estimateur du coefficient de l'utilisation de l'ordinateur de l'équation (1) va en moyenne surestimer le coefficient de la population.

Deuxièmement, les données utilisées ne contiennent pas d'information sur la taille de la firme ni sur l'ancienneté accumulée par un travailleur chez son employeur actuel. Il est ici possible de développer un argument similaire au précédent. Si une des variables omises est partiellement corrélée avec une ou plusieurs variables observées, alors l'estimateur de la forme réduite sera biaisé. L'argument de Krueger est à l'effet qu'une telle corrélation est probablement très faible, mais il ne peut prouver cette affirmation.

Krueger montre que l'utilisation de l'ordinateur est corrélée à un salaire plus élevé, mais il ne propose pas de réponse satisfaisante sur la causalité. Pour que nous puissions conclure que l'utilisation de l'ordinateur au travail

entraîne le paiement d'une prime salariale, il nous faudrait d'abord montrer que l'utilisation de l'ordinateur accroît la productivité des travailleurs et donc que la demande de travail qualifié (à supposer que les nouvelles technologies sont un complément au travail qualifié) augmente. Il sera donc nécessaire de posséder des données longitudinales.

2.3.2 DiNardo et Pischke (1997)

DiNardo et Pischke (1997) offrent une illustration percutante de la critique de l'omission de l'habileté de l'individu dans l'équation de salaires. Leur question est: « Est-ce que l'important écart salarial attribué à l'utilisation de l'ordinateur au travail est vraiment un rendement associé aux compétences informatiques ou est-ce que les travailleurs plus productifs ont davantage tendance à utiliser l'ordinateur au travail? »⁸

Les auteurs utilisent des données d'enquêtes allemandes⁹ afin de proposer une réponse à cette question.

Les résultats obtenus (par Moindres Carrés Ordinaires) sont très comparables à ceux de Krueger (1993) quant à la taille de la prime salariale liée à l'utilisation de l'ordinateur au travail. Les deux études montrent que la prime croît dans le temps, suggérant ainsi une croissance rapide de la demande pour ces compétences.

Afin de contrôler indirectement pour l'habileté intrinsèque des travailleurs,

⁸Traduction libre de DiNardo et Pischke (1997) en page 1.

⁹Les données proviennent d'enquêtes réalisées en 1979, 1985-86 et 1991-92 par l'Institut Fédéral de la Formation Professionnelle (BIBB) et par l'Institut de Recherche sur le Marché du Travail (IAB).

DiNardo et Pischke utilisent une technique astucieuse consistant à estimer une équation de salaire augmentée de variables binaires qui contrôlent pour l'utilisation du stylo, de la calculatrice ou de la chaise au travail. L'argumentation est la suivante, puisque l'essentiel de la population allemande peut facilement utiliser un stylo, que le recours à une calculatrice est très aisé, que l'utilisation de la chaise au travail ne demande pas de compétence particulière et que seulement 60%¹⁰ de la population active allemande utilise ces instruments au travail, alors le marché du travail ne devrait pas rémunérer davantage la possession de ces compétences abondantes.

Les résultats qu'ils obtiennent sont particulièrement intéressants. Une prime salariale de l'ordre de 9 à 14% pour ce qu'ils identifient comme des outils de travail de cols blancs (stylo, chaise et calculatrice) est obtenue, alors que la prime à l'utilisation de l'ordinateur est de l'ordre de 11 à 17%. Afin de vérifier que ces résultats ne sont pas simplement explicables par le fait que ces variables soient de bonnes approximations pour l'occupation, les auteurs incluent des variables dichotomiques pour l'occupation (à un niveau très désagrégé: jusqu'à 1071 variables pour l'occupation). Les nouveaux résultats sont plus faibles (4 à 7%), mais toujours positifs et significatifs. À noter qu'une étude canadienne (Morissette et Drolet (1998)) obtient des résultats très semblables à ceux de DiNardo et Pischke (1997) en regardant le lien entre l'utilisation du télécopieur et les salaires.

Une source potentielle de problèmes avec les résultats obtenus est que

¹⁰L'information est de DiNardo et Pischke (1997) en page 301.

l'utilisation du stylo, du téléphone, de la calculatrice ou de la chaise au travail pourraient être des approximations pour l'utilisation de l'ordinateur. Afin de vérifier ce point, les auteurs estiment une équation contenant à la fois une variable pour l'utilisation de l'ordinateur et une pour l'utilisation des autres outils. Encore une fois, les résultats sont statistiquement significatifs.

Sur le plan des critiques, nous pouvons dire que, bien que la stratégie de DiNardo et Pischke montre une piste intéressante, elle ne nous assure pas de l'exogénéité des variables explicatives. Il s'agit d'une méthode indirecte et nous souhaiterions pouvoir utiliser une méthode directe (mesurer l'habileté ou identifier un effet fixe (ou aléatoire) pour chaque individu). L'étude nous renseigne sur les erreurs possibles dans les résultats de Krueger, mais ne nous assure en rien de la validité des estimés du rendement associé à l'utilisation de l'ordinateur au travail.

Une seconde critique est formulée par Borghans et Weel (2004) qui argumentent que l'utilisation du stylo au travail serait un proxy pour les compétences d'expression écrite associées à une prime salariale de l'ordre de 4%. En ce sens, le fait que DiNardo et Pischke obtiennent que le marché rémunère l'utilisation de ces outils ne contredit pas nécessairement l'existence d'une prime à l'utilisation de l'ordinateur.

2.3.3 Entorf et Kramarz (1997)

Entorf et Kramarz (1997) sont, à notre connaissance, les premiers à tenter une réponse sur l'identification de la prime salariale liée à l'utilisation de

l'ordinateur au travail en utilisant des données de panels contenant à la fois des informations sur les travailleurs et sur les firmes qui les emploient.

Leur question est la suivante: « Si les travailleurs qui utilisent les nouvelles technologies de l'information (TI) sont mieux payés, est-ce parce qu'ils sont plus habiles ou parce que la nouvelle technologie augmente leur productivité?¹¹ »

Ils utilisent les données provenant d'une enquête française sur le marché du travail de 1987¹². Cette enquête leur donne accès à de l'information relativement détaillée sur l'utilisation de la technologie au travail et puisque l'enquête fait partie d'un panel tournant de trois ans, ils ont également accès à de l'information sur les travailleurs pour une période de trois ans. L'enquête permet aussi de lier ces informations avec des données sur les firmes qui emploient les travailleurs.

La méthodologie utilisée est d'estimer la prime liée à l'utilisation de l'ordinateur à l'aide des moindres carrés ordinaires. S'il existe une prime statistiquement significative alors, ils estiment un modèle qui contrôle pour l'hétérogénéité non-observée des firmes (effets fixes firmes) et ils regardent si la prime tient à l'intérieur des firmes. Si la prime demeure significative à l'intérieur des firmes, ils estiment une spécification qui tient compte de l'hétérogénéité non-observée chez les travailleurs (effets fixes individus). Dans ce cas, ils souhaitent vérifier si les travailleurs recevaient déjà un salaire plus

¹¹Traduction libre de Entorf et Kramarz (1997) en page 1489.

¹²Il s'agit de l'Enquête Emploi de 1985 à 1987 et du supplément de l'enquête de 1987, l'Enquête sur la Technique et l'Organisation du Travail auprès des Travailleurs Occupés.

élevé avant le début de l'utilisation de l'ordinateur au travail ou si la hausse se manifeste totalement dès le début de l'utilisation de la technologie ou encore si elle croît avec l'expérience dans l'utilisation de cette technologie.

Entorf et Kramarz définissent trois catégories de technologies, la première englobe les technologies qui laissent une grande autonomie à l'utilisateur (NT_1) (ordinateur personnel, traitement de texte, etc.), la seconde regroupe les technologies qui laissent une autonomie moyenne à l'utilisateur (NT_2) (les terminaux informatiques à réception ou à émission seulement) et la troisième renferme celles qui laissent peu d'autonomie à l'utilisateur (NT_3) (robots, lignes d'assemblages, etc.). Puisque l'enquête donne la date de première utilisation de la technologie chez le présent employeur de chaque travailleur, les auteurs construisent une variable qui donne l'expérience de chaque individu avec les technologies qu'il utilise présentement.

Entorf et Kramarz estiment d'abord le modèle suivant:

$$\ln w_i = \sum_{k=1}^3 \alpha_k NTk_i + X_i \beta + \sum_{k=1}^3 \delta_k \text{Exp}(NTk_i) + \epsilon_i \quad (2)$$

où la variable dépendante est le logarithme du salaire mensuel, les variables NTk_i correspondent aux variables binaires pour l'utilisation de chaque catégorie de technologie au travail, X_i est une matrice de variables socio-démographiques et le dernier terme mesure l'expérience avec chacune des catégories de technologie. Avec cette spécification (initialement sans les termes d'expériences avec la technologie), ils obtiennent que seule la technologie

qui laisse une grande autonomie à l'utilisateur a un impact significatif sur le salaire et que cet effet est de l'ordre de 16%. Il s'agit d'un résultat sensiblement équivalent à celui obtenu par Krueger. En introduisant l'expérience avec les catégories de technologie, la prime diminue à 6%, mais demeure significative. Le rendement attribuable à l'expérience serait de l'ordre de 3% pour la première année avec la technologie du groupe 1.

Les auteurs estiment ensuite le modèle suivant:

$$\ln w_i = \sum_{k=1}^3 \alpha_k N T k_i + X_i \beta + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \delta_{sk} \text{Exp}(N T k_i)^s + F_j(i) \gamma_j + \epsilon_i \quad (3)$$

où $F_j(i) \gamma_j$ est un effet fixe (toujours en coupe transversale) pour les firmes¹³. Les résultats obtenus sont fortement similaires à ceux de la spécification précédente. Enfin, en utilisant l'aspect longitudinal de leur enquête, ils estiment l'équation suivante:

$$\ln w_{it} = \sum_{k=1}^3 \alpha_k N T k_i + X_{it} \beta + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \delta_{sk} \text{Exp}(N T k_i)^s + u_i + \epsilon_{it} \quad (4)$$

où u_i est un effet fixe pour l'individu. Avec cette spécification, la prime à l'utilisation d'une technologie dans le groupe 1 n'est plus statistiquement différente de zéro. Cependant le rendement associé à l'expérience avec la technologie du groupe 1 persiste, bien que plus faible qu'initialement (de l'ordre d'un peu moins de 1 % pour la première année). Les résultats sont

¹³Les firmes sont indicées par j . L'exposant s indique que les termes d'expérience avec la technologie entre en niveau ainsi qu'au carré.

qualitativement similaires lorsqu'ils incluent des variables indicatrices pour l'occupation.

Les résultats sont donc très différents pour l'analyse longitudinale. Alors que pour l'analyse en coupe transversale de Krueger (1993), le rendement à l'utilisation de l'ordinateur au travail est de l'ordre de 15% à 20%, l'analyse longitudinale de Entorf et Kramarz (1997) montre que seule une prime pour l'expérience accumulée avec la technologie persiste. Quelques critiques du travail de Entorf et Kramarz ont été formulées. Premièrement, lorsqu'un des travailleurs de leur échantillon change d'employeur à l'intérieur de la période considérée, ils postulent que ce travailleur n'utilisait pas de nouvelle technologie chez le premier employeur. Il apparaît pertinent d'inclure, si possible, le parcours réel du travailleur (dans le cadre de l'étude d'Entorf et Kramarz, cela était impossible.)

En second lieu, ils estiment soit un modèle à effets fixes pour les firmes, soit un modèle à effets fixes pour les individus, mais pas les deux ensemble. Or, comme le montrent Abowd, Kramarz, et Margolis (1999), bien que l'effet individu soit plus important pour expliquer le salaire d'un employé que l'effet firme, les deux effets sont numériquement et statistiquement significatifs.

Dans une étude subséquente, Entorf, Gollac, et Kramarz (1999) montrent que l'introduction des deux termes d'hétérogénéité non-observée dans l'équation de salaires n'a pas d'effets qualitatifs sur le rendement lié à l'utilisation de l'ordinateur au travail ou sur la prime associée à l'expérience avec l'utilisation de l'ordinateur.

Enfin, ces résultats jettent un doute à propos du rôle de l'utilisation des TI en tant que facteur explicatif de la croissance des inégalités salariales. En fait, il est même difficile de réconcilier ces résultats avec le consensus dans la littérature macroéconomique qui relie la récente accélération de la croissance de la productivité du travail à l'investissement dans les TI (en particulier voir Jorgensen (2001) et Oliner et Sichel (2000)). Bien que les investissements en TI aient été élevés durant les décennies 80 et 90, il semble que la croissance de la productivité ait décollé seulement lorsque les firmes ont appris à utiliser ces technologies de façon efficace à travers un processus d'essais et d'erreurs. En fait, plusieurs études au niveau des firmes montrent que la combinaison de l'utilisation des TI avec des pratiques organisationnelles appropriées mène à un plus haut niveau de productivité pour la firme (Bresnahan, Brynjolfsson, et Hitt (2002), Cappelli et Carter (2000), Bertsek et Kaiser (2004) et Hitt et Brynjolfsson (2002)). Ces études suggèrent que l'utilisation de l'ordinateur au travail entraînera de gains salariaux plus (ou moins) importants lorsque combinée avec certaines pratiques organisationnelles. À titre d'exemples de pratiques organisationnelles, notons la réduction du nombre d'échelons hiérarchiques, les équipes de travail autonomes, la rotation des postes, la consultation auprès des employés, etc.

Bresnahan et Trajtenberg (1995) argumentent que les nouvelles technologies de l'information ne constituent pas simplement un investissement traditionnel en capital, mais sont plutôt des technologies d'usage général (general-purpose technologies). Ces technologies sont caractérisées par le

fait qu'elles contribuent non-seulement à une plus grande productivité de façon directe, mais également indirectement en permettant des innovations complémentaires. En fait, on peut définir les technologies d'usage général comme celles qui réduisent le coût d'autres innovations. Un exemple classique est celui du télégraphe qui a rendu possible l'existence d'entreprises géographiquement dispersées (Milgrom et Roberts (1992).)

À cet égard, Bresnahan, Brynjolfsson, et Hitt (2002) montrent que, lorsqu'une entreprise choisit une mauvaise combinaison de nouvelles technologies et de changements organisationnels, les gains de productivité sont très faibles voir nuls ou négatifs, alors que lorsque les firmes réalisent un meilleur appariement, les gains sont plus élevés.

Nous avons donc montré l'importance de prendre en compte l'hétérogénéité non-observée des travailleurs (ou l'habilité intrinsèque) dans l'estimation d'une équation de salaire afin de contrôler pour l'endogénéité de l'utilisation de l'ordinateur au travail. De plus, nous avons suggéré qu'il est pertinent d'inclure un contrôle pour l'hétérogénéité non-observée de la firme¹⁴. Enfin, une justification de l'inclusion des pratiques organisationnelles de la firme dans l'équation de salaire a été fournie.

¹⁴Un point qui sera davantage discuté dans le chapitre 3 ainsi que dans les sections «Introduction» et «Statistical Model» du chapitre 4.

Références

- Abowd, J. M., F. Kramarz, et D. N. Margolis (1999). High Wage Workers and High Wage Firms. *Econometrica* 67(2), 251–333.
- Anger, S. et J. Schwarze (2003). Does Future PC Use Determine Our Wages Today ? Evidence from German Panel Data. *Labour* 17(3), 337–360.
- Autor, D. H., L. F. Katz, et A. B. Krueger (1998). Computing Inequality : Have Computers Changed the Labor Market ? *Quarterly Journal of Economics* 113(4), 1169–1213.
- Autor, D. H., F. Levy, et R. J. Murnane (2002). Upstairs, Downstairs : Computer and Skills on Two Floors of a Large Bank. *Industrial and Labor Relations Review* 55(3), 432–447.
- Bartel, A. P. et N. Sicherman (1999). Technological Change and Wages : an Interindustry Analysis. *Journal of Political Economy* 107(2), 285–325.
- Berman, E., J. Bound, et Z. Griliches (1994). Changes in the Demand for Skilled Labor within U.S. Manufacturing : Evidence from the Annual Survey of Manufacturers. *Quarterly Journal of Economics* 109(2), 367–397.
- Bertschek, I. et U. Kaiser (2004). Productivity Effects of Organizational Change : Microeconomic Evidence. *Management Science* 50(3), 394–404.
- Bluestone, B. et B. Harrison (1988). *The Great U-Turn : Corporate Re-*

- structuring and the Polarization of America*. New York : Basic Books.
- Borghans, L. et B. T. Weel (2004). Are Computer Skills the New Basic Skills? The Returns to Computer, Writing and Math Skills in Britain. *Labour Economics* 11(1), 85–98.
- Bound, J. et G. Johnson (1992). Changes in the Structure of Wages in the 1980's : an Evaluation of Alternative Explanations. *American Economic Review* 82(3), 271–392.
- Bresnahan, T. F., E. Brynjolfsson, et L. M. Hitt (2002). Information Technology, Workplace Organization and the Demand for Skilled Labor : Firm Level Evidence. *Quarterly Journal of Economics* 117(1), 339–376.
- Bresnahan, T. F. et M. Trajtenberg (1995). General Purpose Technologies : "Engines of Growth" ? *Journal of Econometrics* 117(1), 83–108.
- Cappelli, P. et W. Carter (2000). Computers, Work Organization and Wage Outcomes. NBER Working Paper Series, Working Paper No. 7987.
- Chennells, L. et J. V. Reenen (2002). Technical Change and the Structure of Employment and Wages : A Survey of the Microeconomic Evidence. Dans Y. L. Nathalie Greenan et Jacques Mairesse (Eds.), *Productivity, Inequality, and the Digital Economy : A Transatlantic Perspective*. Cambridge, Massachusetts; London, England : The MIT Press.
- DiNardo, J. E. et J.-S. Pischke (1997). The Returns to Computer Use Revisited : Have Pencils Changed the Wage Structure Too? *Quarterly*

Journal of Economics 112(1), 291–303.

Dolton, P. et G. Makepeace (2004). Computer Use and Earnings in Britain.

The Economic Journal 114(1), C117–C129.

Doms, M., T. Dunne, et K. R. Trostke (1997). Workers, Wages and Technology. *Quarterly Journal of Economics* 112(1), 253–290.

Entorf, H., M. Gollac, et F. Kramarz (1999). New Technologies, Wages, and Workers Selection. *Journal of Labor Economics* 17(3), 464–491.

Entorf, H. et F. Kramarz (1997). Does Unmeasured Ability Explain the Higher Wages of New Technology Workers? *European Economic Review* 41, 1489–1509.

Hitt, L. M. et E. Brynjolfsson (2002). Information Technology, Organizational Transformation, and Business Performance. Dans Y. L. Nathalie Greenan et Jacques Mairesse (Eds.), *Productivity, Inequality, and the Digital Economy : A Transatlantic Perspective*. Cambridge, Massachusetts; London, England : The MIT Press.

Jorgensen, D. (2001). Information Technology and the U.S. Economy. *American Economic Review* 91(1), 1–32.

Krueger, A. B. (1993). How Computers Have Changed the Wage Structure : Evidence from Microdata. *Quarterly Journal of Economics* 108(1), 33–60.

Lee, S.-H. et J. Kim (2004). Has Internet Changed the Wage Structure Too? *Labour Economics* 11(1), 119–128.

- Milgrom, P. et J. Roberts (1992). *Economics, Organization and Management*. Englewood Cliffs, NJ : Prentice-Hall.
- Mincer, J. (1993). Human Capital Responses to Technological Change in the Labor Market. Dans Jacob Mincer et Mark Blaug (Eds.), *Studies in Human Capital : Collected Essays of Jacob Mincer*. Edward Elgar Publishing Inc.
- Morissette, R. et M. Drolet (1998). Computers, Fax Machines and Wages in Canada : What Really Matters ? Business and Labour Market Analysis, Statistics Canada.
- Murphy, K. M. et F. Welch (1989). Wage Premiums for College Graduates : Recent Growth and Possible Explanations. *Educational Researcher* 18(1), 17–26.
- Murphy, K. M. et F. Welch (1991). The Role of International Trade in Wage Differentials. Dans M. Koster (Ed.), *Workers and their Wages*, pp. 33–69. Washington, DC : American Enterprise Institute.
- Oliner, S. et D. Sichel (2000). The Resurgence of Growth in the Late 1990s : Is Information Technology the Story? *Journal of Economic Perspectives* 14(1), 3–22.

Chapitre 3

Modèle et estimation

Dans cette section, nous fournissons une justification pour la spécification générale de l'équation de salaire.

3.1 Modèle de l'identité comptable de Mincer

Afin de motiver les spécifications utilisées, nous présentons ici une version simple du modèle de l'identité comptable de Mincer (1974). Mincer postule que le revenu observé d'un individu est une fonction de son revenu potentiel moins les investissements nets en capital humain:

$$w_t = E_t - C_t. \quad (5)$$

Le modèle postule qu'à chaque période le revenu potentiel E_{t+1} dépend des investissements passés en capital humain $C_t = k_t E_t$.

$$\begin{aligned} E_{t+1} &= E_t + C_t \rho_t \\ &= E_t [1 + k_t \rho_t] \end{aligned} \quad (6)$$

où ρ_t est le rendement de l'investissement en capital humain fait au temps t et k_t est la portion du revenu potentiel investie au temps t . En procédant par récursion, on obtient que

$$E_t = \prod_{j=0}^{t-1} (1 + k_j \rho_j) E_0. \quad (7)$$

Mincer fait ensuite une série d'hypothèses visant à simplifier l'expression du revenu potentiel:

- l'éducation formelle est définie comme la période pendant laquelle $k = 1$ et elle a lieu au début de la vie;
- le rendement de l'éducation formelle est constant $\rho_t = \rho_s \forall t \leq s$ (où s indique le moment de la fin de l'éducation formelle);
- le taux de rendement des investissements post-éducation formelle est aussi constant $\rho_t = \rho_0 \forall t > s$

L'expression du revenu potentiel devient

$$E_t = (1 + \rho_s)^s \prod_{j=s}^{t-1} (1 + k_j \rho_0) E_0. \quad (8)$$

En prenant le logarithme naturel, on obtient

$$\ln E_t = \ln E_0 + s \ln(1 + \rho_s) + \sum_{j=s}^{t-1} \ln(1 + k_j \rho_0). \quad (9)$$

Puisque ρ_s et ρ_0 devraient être assez petit, il est possible d'approximer par

$$\ln E_t \approx \ln E_0 + s \rho_s + \rho_0 \sum_{j=s}^{t-1} k_j. \quad (10)$$

Afin d'inclure une relation entre le salaire et l'expérience sur le marché du travail, Mincer fait l'hypothèse que les investissements en capital humain après

la période de scolarité formelle sont une fonction linéairement décroissante de l'expérience de travail:

$$k_{s+x} = k\left(1 - \frac{x}{T}\right). \quad (11)$$

Mincer fait aussi l'hypothèse que la durée de la vie active (T) est indépendante du niveau de scolarité (s).

$$\ln E_{x+s} = [\ln E_0 - \rho_0 k] + \rho_s s + \left[\rho_0 k + \frac{\rho_0 k}{2T} \right] x - \frac{\rho_0 k}{2T} x^2 \quad (12)$$

L'expression pour le salaire observé est donc donnée par

$$\begin{aligned} \ln w(s, x) &\approx \ln E_{x+s} - k\left(1 - \frac{x}{T}\right) \\ &= [\ln E_0 - \rho_0 k - k] + \rho_s s + \left[\rho_0 k + \frac{\rho_0 k}{2T} + \frac{k}{T} \right] x - \frac{\rho_0 k}{2T} x^2 \\ &= \beta_0 + \rho_s s + \beta_1 x + \beta_2 x^2. \end{aligned} \quad (13)$$

Nous avons donc une justification théorique pour une spécification qui inclut l'éducation en nombre d'années ainsi que l'expérience et son carré comme variables explicatives du logarithme du salaire observé. En plus de ces variables, nous ajoutons des contrôles démographiques¹(le genre, l'état civil, la race, l'occupation, l'appartenance à un syndicat, le capital humain non-observé (effets individus) et un terme d'interaction pour le fait d'être une femme et d'être mariée.) Le dernier contrôle nous permet d'identifier un

¹Le modèle statistique est discuté dans la section 4.3 du mémoire.

effet différencié pour le mariage selon le sexe. Nos spécifications incluent également l'ancienneté et l'ancienneté au carré. Il s'agit d'une autre source de capital humain qu'il est possible d'introduire dans un modèle théorique sur une base semblable à celle de l'expérience.

En ce qui concerne les firmes, nos variables explicatives seront la taille (4 catégories), le secteur d'activité (14 catégories), l'hétérogénéité non-observée, les pratiques organisationnelles (et les changements organisationnels) ainsi que des variables d'interactions entre les pratiques organisationnelles (changements organisationnels) et l'utilisation de l'ordinateur par le travailleur.

L'inclusion de la taille de l'entreprise dans l'équation de salaire peut se justifier de plusieurs façons, notamment si l'on pense que le travailleur préfère travailler dans une entreprise de petite taille (division du travail moins importante.)

L'hétérogénéité non-observée des firmes est une mesure des pratiques de compensation spécifiques à la firme et représente un montant que la firme paye à chacun de ses travailleurs. Il est également possible d'interpréter ce terme comme une mesure d'un capital organisationnel non-observé ou d'une habilité managériale non-observée. Ce terme nous permet donc de capter les particularités propres à chaque firme qui ont un effet sur la productivité du travail, mais qui ne sont pas observables par l'économètre (par exemple, la qualité du management, la culture organisationnelle, etc.)

Enfin, la prise en compte de variables binaires pour les différentes pratiques organisationnelles (et changements organisationnels) ainsi que les ter-

mes d'interactions nous permettent d'exploiter les liens potentiels entre l'utilisation de ces pratiques et la productivité du travail.

3.2 Estimations

Le modèle statistique mixte ainsi que la méthodologie d'estimation par la vraisemblance maximale restreinte (REML) sont présentés aux sections «Statistical Model» et «Estimation» du chapitre 4. À la suite de la lecture de ces sections, le lecteur pourra souhaiter consulter l'annexe 1 afin d'éclaircir certains points au sujet de l'estimation par la vraisemblance maximale restreinte.

Références

Mincer, J. (1974). *Schooling, Experience, and Earnings*. New York : NBER Press.

Chapitre 4

Return to Computer Use and

Organizational Practices of the Firm

Returns to Computer Use and Organizational Practices of the Firm¹

Benoit Dostie² and Mathieu Trepanier³

May 2004

¹We thank Paul Lanoie, Pierre-Thomas Léger, and participants in the 2004 CEA and SCSE Conferences for valuable comments. We acknowledge financial support from the Social Sciences and Humanities Research Council of Canada through the Initiatives on the New Economy program. The usual caveat apply.

²Institute of Applied Economics, HEC Montréal, University of Montréal, Montréal (Québec), H3T 2A7 ; IZA, CIRANO and CIRPÉE ; benoit.dostie@hec.ca

³Institute of Applied Economics, HEC Montréal, University of Montréal, Montréal (Québec), H3T 2A7 ; mathieu.trepanier@hec.ca

Abstract

In this paper, we test the hypothesis that computer use will lead to productivity gains only if the firm uses a set of organizational practices that permit so. Detailed data on organizational practices and workers' compensation is obtained through a Canadian longitudinal linked employer-employee database called the Workplace and Employee Survey (WES). Linked data allows us to take into account both worker and firm unobserved heterogeneity through the estimation of a linear mixed model of wage determination. Our results suggest a small but positive computer-wage premium which size is related to a set of organizational practices.

KEY WORDS: Wage; New technologies; Computers; Mixed models; Linked employer-employee data, Organizational Practices of the Firm.

4.1 Introduction

In this paper, we test whether the use of information technology at work leads to higher wages. In the microeconomic literature, two methodologies have been used to answer this question and a second related one. A first strand of the literature uses wages as a measure of worker productivity and examines the link between computer use and wage gain while controlling for worker selection. This literature finds negligible returns to computer use (post DiNardo and Pischke (1997)). The second strand of the literature is based on production-function estimation and links some measure of firm performance to investments in new technologies. This later literature presents recent evidence that investments in information technology lead to higher productivity (Bresnahan, Brynjolfsson, and Hitt (2002) and Cappelli and Carter (2000).) However, those productivity gains depends on the firm's use of certain organizational practices, like team work, decentralization, etc.

In order to reconcile the two sets of contradictory results, we use a linked employer-employee data set containing information on both wages at the worker level and organizational practices at the firm level. Doing so allows us to control for organizational practices at the firm level in our wage regressions. Our OLS and fixed-individual effects results are similar to those found in the literature where the estimated wage premium are 20% and 0%, respectively. However, once we account for unobserved firm heterogeneity in addition to worker heterogeneity using a mixed model of wage determination, we find that the return to computer use settles to about 4.8 percent. Thus, consistent with Krueger (1993), we find evidence of a positive and significant return to computer use. This, however, is different from the results of Entorf and Kramarz (1997) and Entorf, Gollac, and Kramarz (1999). Furthermore, in accordance with the intuition from the productivity growth literature, we find evidence that the return to computer use is linked to organizational practices at the firm level.

In order to see the value of our mixed methodology, it is important to understand what firm unobservable heterogeneity¹ might capture in a theoret-

¹Or unobserved organizational capital or unobserved managerial ability. Interpreta-

ical sense. Unobserved firm heterogeneity is a measure of employer-specific compensation policies and is paid to all workers of the same firm. Firms may differ in some unobserved (for the econometrician) way and these differences might affect either labour productivity, employee satisfaction with his work² and/or the employer's control level over the work of his employee. In these cases, unobserved heterogeneity might affect wages (e.g. management quality.)

Assume, as Hitt and Brynjolfsson (2002) argue, that IT is a general-purpose technology³. Consequently, the use of IT will lower the cost of some complementary innovations (we consider organizational innovations such as decentralization, teamwork, etc.) Also assume that firms are heterogeneous in the cost reduction they face (for the co-innovations) when implementing IT and that these organizational innovations affect labour productivity. Finally, assume that firms decide to use IT depending on their observable and unobservable characteristics as well as the observable and unobservable characteristics of their workers and, that they make co-innovation decisions based on these characteristics and especially on their cost level. Then, as long as firms make their co-innovation decisions by considering these characteristics, controlling for both terms of unobserved heterogeneity in our model of wage determination provides a sensible solution for both endogeneity problems of computer use and choice of organizational practices.

In the next section, we briefly review the two main approaches that have been used to link investment in new technologies and firm performance, focusing on empirical methodologies and results. We then turn to our statistical model, data description, results and conclusion.

tion of worker's unobserved heterogeneity as unobserved human capital should cause no difficulty.

²A variation in the level of disutility of labor.

³Using a general purpose technology lowers the cost of co-innovations (Bresnahan and Trajtenberg (1995) and Hitt and Brynjolfsson (2002).)

4.2 Literature Review

Two main approaches exist to estimate the impact of technology use on productivity⁴. The first approach is characterized by running wage regressions at the worker level while controlling for computer use (Krueger (1993), DiNardo and Pischke (1997), Entorf and Kramarz (1997), Autor, Katz, and Krueger (1998), Entorf, Gollac, and Kramarz (1999), Chennells and Reenen (2002), Anger and Schwarze (2003), Lee and Kim (2004) and Dolton and Makepeace (2004)). The second approach uses firm (or industry) level data to estimate production functions, generally within the manufacturing sector (see especially Bartel and Sicherman (1999), Berman, Bound, and Griliches (1994), Doms, Dunne, and Trostke (1997) and Autor, Katz, and Krueger (1998)). The focus of this literature, while initially about the relationship between the use of new technologies, productivity gains and relative demand for qualified workers, has recently been used to link the use of technology to organizational practices at the firm level (Cappelli and Carter (2000), Bertsek and Kaiser (2004), Bresnahan, Brynjolfsson, and Hitt (2002) and Hitt and Brynjolfsson (2002)).

4.2.1 Results from Wage Regressions Estimation

In a widely cited study, Krueger (1993) estimates wage equations augmented for the use of a computer at work (C) by Ordinary Least Squares (OLS) using US microdata given by the Current Population Survey⁵. More specifically, Krueger estimates:

$$\ln w_i = X_i\beta + \delta C_i + \epsilon_i \quad (15)$$

where X denotes a matrix of demographic variables and where w denotes hourly wage. Krueger's specification includes a quadratic term in experience, years of education, race, marital status, gender as well as an interaction between gender and marital status. He also controls for union status, being

⁴Actually there is a third one that uses case studies to show the impact of computer use on job design (see Autor, Levy, and Murname (2002).)

⁵Current Population Survey (CPS), 1984 and 1989.

a Vietnam veteran, working part-time and living in a metropolitan area⁶. He finds that computer use on the job is related to a 15 to 20 percent wage premium (depending on the specification and on the year.)

Following studies on this topic focused on two criticisms of Krueger's methodology. First, Krueger (1993) does not adequately control for intrinsic ability (or unobserved human capital) even though he uses SAT⁷ scores as its proxy in a subsample. Second, he does not control for employer characteristics. Thus, Krueger (1993)'s contention that the potential correlation between computer use and firm characteristics is probably very small could not be tested.

In a subsequent study, DiNardo and Pischke (1997) investigate the importance of selection in explaining Krueger (1993)'s results. More specifically, they question the assumption of exogenous computer use. Simply because firms may be more likely to give computers to their most productive workers. If this is the case, Krueger (1993)'s estimates of the computer-wage premium are likely to be biased. In DiNardo and Pischke (1997), the authors argue that the use of widely available "white collars" tools such as pencils, chairs, etc. at work should not yield a premium to workers using them. Using German data⁸, however, they find that workers who use these tools at work earn 9 to 14 percent more than nonusers who are otherwise observationally identical. They conclude that if there is an important selection effect in the use of pencils (which is what the return to the use of pencils suggests), then we should expect that selection is also important for the use of computers. If we assume the selection effect is responsible for 9-14% of the OLS wage premium, then return for computer use should fall to about 4-7%.

Entorf and Kramarz (1997) are, to our knowledge, the first to examine the computer wage premium using panel data⁹ to control for individual

⁶SMSA (Standard Metropolitan Statistical Areas.)

⁷Scholastic Assessment Test.

⁸Their data comes from surveys performed in 1979, 1985-86 and 1991-92 by the Federal Institute for Vocational Training (BIBB) and the Institute for Labor Market Research (IAB).

⁹They use data from the Enquêtes Emploi (French Labor Force Surveys) of 1985-87

unobserved heterogeneity (ability) using person fixed effects. Their database includes detailed information on the use of technology as well as on the characteristics of the workplace. They define three categories of technology. The first (NT_1) encompasses technologies that allow for a large part of autonomy to the user (e.g.: personal computers, word processors, etc.) The second (NT_2) includes technologies that allow for average autonomy to the user (for example, computer terminals for reception or emission only, etc.) The third (NT_3) includes technologies that leave little autonomy to the user (e.g.: robots, assembly chains, etc.) Given that the survey gives the date of the first use of the technology with the present employer, the authors are able to construct three variables that can proxy experience with each of the technological categories ($Exp(NTk)$).

The author's estimate a version of equation (15) augmented with this additional information given by:

$$\ln w_{it} = \sum_{k=1}^3 \alpha_k NTk_{it} + X_{it}\beta + \sum_{s=1}^2 \sum_{k=1}^3 \delta_{sk} Exp(NTk_{it})^s + u_i + \epsilon_{it} \quad (16)$$

where w denotes monthly wage, X contains demographic information and firm characteristics and u denotes an employee fixed effect¹⁰. With this specification, Entorf and Kramarz (1997) find that there only subsists a small return for experience with the technology of the first group (wage premiums for the use of any type of technology is small and statistically insignificant). In a subsequent article, Entorf, Gollac, and Kramarz (1999) show that accounting for workplace unobserved heterogeneity simultaneously with worker unobserved heterogeneity (as Abowd, Kramarz, and Margolis (1999)) does not change their earlier conclusion.

The consensus in the computer-wage-premium literature (post DiNardo and Pischke (1997)) appears to be that apart from a small return to experience with the technology, there is no significant return to the use of a

and from Enquête sur la Technique et l'Organisation du Travail auprès des Travailleurs Occupés (TOTTO) of 1987.

¹⁰Experience with the technology enters the wage equation in a quadratic form (s).

computer¹¹.

4.2.2 Results from Production Function Estimation

The second important strand of research is concerned with estimation of production functions. Initially, studies focused on testing whether or not the use of technology is related to an increase in qualified labour demand. More recently, however, attention has focused on the relationship between IT use, productivity and organizational practices. We focus on this later part of the literature.

Bresnahan, Brynjolfsson, and Hitt (2002) test the hypothesis that skill-biased technological change¹² is the result of a mixture of complementary changes that comprise IT and organizational practices. In a cross-sectional setting, they find that firms choosing high IT and low organizational practices (WO)¹³ (or the opposite) or low IT and low WO have lower productivity gains than firms that choose high IT and high WO. They also find complementarity between the level of human capital (HK) and WO as well as between HK and IT¹⁴.

The basic idea behind Bresnahan, Brynjolfsson, and Hitt (2002)'s analysis is that IT investment does not relate to traditional capital investment but rather to general-purpose technology (Hitt and Brynjolfsson (2002)). General-purpose technology can be defined as technology that induces cost reductions in other innovations. A classical example of such a technology is the telegraph. As telegrams became widely available, geographically disperse firms became viable (hence a technological innovation induced a cost reduction in an organizational innovation¹⁵.)

Cappelli and Carter (2000) use a survey of U.S. establishments¹⁶ to

¹¹See Dolton and Makepeace (2004) for a different result.

¹²The skill biased technological change hypothesis explains the growing wage inequalities by complementarity between IT and qualified work (see, for instance, Bound and Johnson (1992) and Card and DiNardo (2002)).

¹³Their measure of WO is an index that reflects different measures of workplace organization: greater use of teams, greater delegation, etc.

¹⁴See also Bertschek and Kaiser (2004) and Hitt and Brynjolfsson (2002).

¹⁵See Milgrom and Roberts (1992).

¹⁶They use data from the Educational Quality of the Workforce National Employer

look at firm level average wage equations in relation with the use of high performance workplace practices and computer use. Using pooled OLS, they find that the use of the computer and teamwork are associated with higher wages, especially for front-line workers. For managers, it is computer use by their subordinates that explain higher wages.

From this discussion, one can conclude that there appears to be a consensus in this literature about the positive relationship between the use of technology, the use of organizational practices and firm productivity (or average wage in the case of Cappelli and Carter (2000).) Nonetheless, there is still disagreement as to the size of the effects.

This section shows a gap between the results from wage regressions and those from production-function estimations. We hypothesize that the difference is related to the type of control for the endogeneity of computer use (instrumental variables, fixed effects or mixed effects which we discuss in the next section) and to the inclusion of organizational practices in the estimation.

4.3 Statistical Model

To model wage determination, we use a two-factor analysis of covariance with repeated observations along the lines of Abowd and Kramarz (1999):

$$y_{it} = \mu + \mathbf{x}_{it}\beta + \theta_i + \psi_{j(i,t)} + \epsilon_{it} \quad (17)$$

with

$$\theta_i = \alpha_i + \mathbf{u}_i\eta \quad (18)$$

where y_{it} is the (log) wage rate observed for individual $i = 1, \dots, N$, at time $t = 1, \dots, T_i$. Person effects are identified by i , firm effects by j as a function of i and t , and time effects by t . μ is a constant, \mathbf{x}_{it} is a matrix containing demographic information for employee i at time t as well as information concerning the workplace j to which the worker i is linked. Although β and η can be fixed or random, we assume they are fixed in our estimations.

Survey (EQW-NES) of 1994 and 1997.

All other effects are random. Personal heterogeneity (θ_i) is a measure of unobserved (α_i) and observed ($\mathbf{u}_i\eta$) human capital and follows the worker from firm to firm. Employer heterogeneity (ψ_j) is a measure of firm-specific compensation policies and is paid to all workers of the same firm. ϵ_{it} is the statistical residual.

Estimation of (17) on large-scale data sets as been achieved by Abowd, Kramarz, and Margolis (1999) while treating firm and person effects as fixed. Our focus on a mixed-model specification for wage determination is done without loss of generality since it can be shown that the Least Squares estimates of the fixed effects are a special case of the mixed model estimates (see Abowd and Kramarz (1999)).

In full matrix notation, we have

$$y = X\beta + U\eta + D\alpha + F\psi + \epsilon \quad (19)$$

where : y is the $N^* \times 1$ vector of earnings outcomes; X is the $N^* \times q$ matrix of observable time-varying characteristics including the intercept; β is a $q \times 1$ parameter vector; U is the $N^* \times p$ matrix of time invariant person characteristics; η is a $p \times 1$ parameter vector; D is the $N^* \times N$ design matrix of the unobserved component for the person effect; α is the $N \times 1$ vector of person effects; F is the $N^* \times J$ design matrix of the firm effects; ψ is the $J \times 1$ vector of pure firm effects; and ϵ is the $N^* \times 1$ vector of residuals.

Finally, we assume α and ψ to be distributed normally :

$$\begin{bmatrix} \alpha \\ \psi \\ \epsilon \end{bmatrix} \sim N \left(\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} \sigma_\alpha^2 I_N & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_\psi^2 I_J & 0 \\ 0 & 0 & \Lambda \end{bmatrix} \right) \quad (20)$$

where

$$\Lambda = \begin{bmatrix} \Sigma_1 & 0 & \dots & & 0 \\ \dots & \dots & & & \dots \\ 0 & \dots & \Sigma_i & \dots & 0 \\ \dots & & & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \Sigma_N & \end{bmatrix}$$

and

$$\Sigma_i = V(\epsilon_i)$$

4.4 Estimation

Parameters estimates are obtained in two steps. We first use Restricted Maximum Likelihood (REML) methods to get parameter estimates for the variance components in (20). We then solve the mixed equations to get estimates for the other parameters in the full model (19). We discuss each of those two steps in turn.

REML methods involve applying maximum likelihood (ML) to linear functions of y , i.e. $K'y$ (McCulloch and Searle (2001)). Note that K' is specifically designed so that $K'y$ contains none of the fixed effects (β and η in our case) which are part of the model for y . Thus, REML is simply ML applied on $K'y$ and can be interpreted as maximizing a marginal likelihood.

Each vector of K is chosen so that $k'y = 0$ or $K'[X \quad U] = 0$. With $y \sim N(X\beta + U\eta, V)$ it follows that

$$K'y \sim N(0, K'VK)$$

where $V = DD'\sigma_\alpha^2 + FF'\sigma_\psi^2 + \Lambda$ is the covariance of earnings implied by (20). The REML log-likelihood is therefore

$$\log L_{REML} = -\frac{1}{2}(N^* - r) \log 2\pi - \frac{1}{2} \log |K'VK| - \frac{1}{2} y'K(K'VK)^{-1}K'y \quad (21)$$

There are two advantages of using REML. First, variance components are estimated without being affected by the fixed effects. This means that the variance estimates are invariant to the values of the fixed effects. Second, in estimating variance components with REML, degrees of freedom for the fixed effects are taken into account implicitly whereas with ML they are not¹⁷. Both methods have the same merits of being based on the maximum likelihood principle and parameter estimates inherit the consistency,

¹⁷REML estimates are also invariant to whatever set of contrasts are chosen for $K'y$ as long as K' is of full rank (Searle, Casella, and McCulloch (1992)).

efficiency, asymptotic normality and invariance properties that follow.

Maximization of the likelihood function (21), while providing us with estimates for the variance components in (20), will not yield estimates for the random and fixed effects. In a second step, we obtain estimates for the random and fixed effects using a set of equations developed by Henderson, Kempthorne, Searle, and Krosigk (1959). These equations have become known as Henderson's Mixed Model Equations (MME) and simultaneously yield the Best Linear Unbiased Estimates (BLUE) of the fixed effects and Best Linear Unbiased Predictors (BLUP) of the random effects for known values of the variance components and Λ ¹⁸. Define the matrix of variance components as

$$\Omega = \begin{bmatrix} \sigma_\alpha^2 I_N & 0 \\ 0 & \sigma_\psi^2 I_J \end{bmatrix}. \quad (22)$$

For the particular structure implied by (19) and (20), the MME are

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ U' \end{bmatrix} \Lambda^{-1} [X \ U] & \begin{bmatrix} X' \\ U' \end{bmatrix} \Lambda^{-1} [D \ F] \\ \begin{bmatrix} D' \\ F' \end{bmatrix} \Lambda^{-1} [X \ U] & \begin{bmatrix} D' \\ F' \end{bmatrix} \Lambda^{-1} [D \ F] + \Omega^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\eta} \\ \hat{\alpha} \\ \hat{\psi} \end{bmatrix} &= \\ = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ U' \end{bmatrix} \Lambda^{-1} y \\ \begin{bmatrix} D' \\ F' \end{bmatrix} \Lambda^{-1} y \end{bmatrix}. & \end{aligned} \quad (23)$$

Estimates for Λ and Ω are obtained from the REML step.

Two important points should be made about the estimates for $(\hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\alpha}, \hat{\psi})$. First, mixed model solutions $(\hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\alpha}, \hat{\psi})$ converge to the least squares solutions as $|\Omega| \rightarrow \infty$ (if $\Lambda = \sigma_\epsilon^2 I_{N^*}$). In this sense, the least squares solutions are a special case of the mixed model solutions. Second, unlike the usual random effects specification considered in the econometric literature, (19)

¹⁸BLUE and BLUP estimates make us feel quite confident that a full information approach would not yield any better (in the sense of lower variance) estimator, although it might if we were to use a different class of estimators.

and (20) do not assume that the random effects are orthogonal to the design (X and U) of the fixed effects (β and η), that is we do not assume $X'D = X'F = U'D = U'F = 0$. If this were the case, we could solve for $\hat{\beta}$ and $\hat{\eta}$ independently of $\hat{\alpha}$ and $\hat{\psi}$.

Identification of individual and firm random effects comes from the longitudinal and linked aspects of the data as well as from distributional assumptions. For individual effects, identification comes from the repeated observations for each individual over time and from distributional assumptions. Identification of firm effects comes from both the fact that firms regroup many workers and from distributional assumptions¹⁹.

4.5 Data

We use data from the 1999 and 2000 versions of the Workplace and Employee Survey (WES) conducted by Statistics Canada. The survey is both longitudinal and linked in that it documents the characteristics of the workers and of the workplaces over time. We restrict our sample to employees who in 2000 had the same employer than in 1999 and to those who have non-missing answers for our variables of interests. For the 1999 version of the survey, there are 23 540 employee respondents. Of this number, 18 267²⁰ still had the same employer and responded in 2000. For workplaces, 5733 responded in 1999 and 5 320 in 2000²¹.

When we consider the effect of organizational design on pay, we must restrict our sample further. This is necessary, since the questions on work practices are intended only for establishments with more than 10 employees and because there is some non-response to these questions. The final sample size is then 19 098 employees with 3771 workplaces in 1999 and 15 048 employees and 3647 workplaces in 2000.

¹⁹See equation 20.

²⁰The 2000 version of WES contains information on 20 779 employees. From this number, 2512 correspond to workers who stop being employed by a workplace in the sample or to workers linked to a workplace that did not respond in 2000.

²¹For 1999, we deleted the 586 non-response from workplaces. We also removed a total of 745 workplaces in 2000 (these are the workplaces associated with the 2512 employees that were deleted from the 2000 sample.)

The target population for the "workplace" component of the survey is defined as the collection of all Canadian establishments who paid employees in March of the year of the survey. The survey, however, does not cover Yukon, Northwest territories and Nunavut. Establishments operating in fisheries, agriculture and cattle farming are also excluded. For the "employee" component, the target population is the collection of all employees working, or on paid leave, in the workplace target population.

WES is a complex design survey in that units are not chosen through simple random sampling. Before proceeding to the sampling of workplaces, Statistics Canada divides the target population into strata. These strata consist of 14 business sectors, 6 regions and 3 business sizes (hence 252 strata). Every unit is then assigned a sampling weight (the inverse of the probability of selection). The sample for the workplaces comes from the "Business registry" of Statistics Canada which contains information on every business operating in Canada. Employees are then sampled from an employees list provided by the selected workplaces. For every workplace, a maximum number of 12 employees is selected and for establishments with less than 4 employees, all employees are sampled. In the case of total non-response, respondents are withdrawn entirely from the survey and sampling weights are recalculated in order to preserve representativeness of the sample.

To control for the design effect in our estimations, we weighted our analyses with the final sampling weights for employees as recommended by Statistics Canada.

WES²² selects new employees and workplaces in odd years (at every third year for employees and at every fifth year for workplaces). Hence, the survey can only be representative of the whole target population during these re-sampling years. The fact that employees are followed only for periods of two years imposes a limit on our capacity to perform longer linked longitudinal analyses.

²²Abowd and Kramarz (1999) classify WES as a survey in which both the sample of workplaces and the sample of workers are cross-sectionally representative of the target population.

For cost reasons, WES does not follow employees when they move from one employer to another. This particular aspect of the data precludes us from controlling for both employee and firm unobserved heterogeneity in a fixed-effect setting.

4.5.1 Variables Used²³

Demographic informations²⁴ for employees are obtained from the "employee's" questionnaire and information for firms²⁵ is obtained from the "workplace's" questionnaire. Regarding technology, we have information on the use of a computer at work. We also have information regarding experience with a computer and use of other types of technologies²⁶. Among all employees in our sample, 58.5% were computer users in both years, 33.8% were non-users in both years, 2.7% used the computer only in 1999 and 5.0% used it only in 2000. For the workplace's organizational practices, we have information on the use of various practices for non-managerial employees and

²³See table 1.

²⁴Education, gender, marital status, race, work experience, tenure, occupation, union status, use of technology, etc.

²⁵Size, business sector, organizational practices, etc.

²⁶The relevant questions are:

- "Do you use a computer in your job? Please exclude sales terminal, scanners, machine monitors, etc.. these are covered in another question. (By a computer we mean a microcomputer, mini-computer personal computer, mainframe computer or laptop that can be programmed)"
- "Considering all jobs you have held, how many years have you used a computer in a work environment?"
- "Do you use a computer-controlled or computer-assisted technology in the course of your normal duties? For example, industrial robots, retail scanning systems, etc."
- "Do you use any other machine or technological device for at least one hour a day in the course of your normal duties? This question is meant to be inclusive and would include, for example, cash registers, sales terminals scanners, manual typewriters, industrial vehicles or machines."

for organizational changes during the years of the survey²⁷. While information on organizational change was collected in both years, information on organizational practices was collected only in 1999.

Regarding organizational changes (and practices), we aggregate the variables into six groups according to the level of correlation between them²⁸. We called the first group "organizational practices 1". It comprises: greater integration among functional areas, increase in the degree of centralization and re-engineering. We labeled the second group as "organizational practices 2". It is composed of increase in the degree of decentralization²⁹, reduction in the number of managerial levels, downsizing, adoption of flexible working hours, greater reliance on job rotation and implementation of total quality management. The third group is "organizational practices 3". It encompasses: greater reliance on external suppliers, greater inter-firm collaboration in R&D and production, increase in the use of temporary workers, increase in the use of part-time workers and increase in the use of overtime hours. The fourth group is labeled "organizational practices 4". It is composed of use of employee suggestion, information sharing with employees and use of flexible job design. The fifth group is "organizational practices 5". It encompasses: use of problem solving teams, use of self-directed groups and the use of joint labor-management committee. Finally, the last group is "organizational practices 6". It contains all other organizational changes³⁰.

²⁷The relevant questions are:

- "For non-managerial employees, which of the following practices exist on a formal basis in your workplace?" (See table 1 for a detailed list of organizational practices.)
- "Has your workplace experienced any of the following forms of organization change between April 1st 1998 (1999) and March 31st 1999 (2000)?" (See table 1 for a detailed list of organizational changes.)

²⁸We grouped variables that are highly and positively correlated.

²⁹Correlation between decentralization and centralization is high but negative hence they do not belong to the same group.

³⁰Further details on the construction of these variables are provided in table 1.

4.5.2 Descriptive Statistics

Table 2 shows the probability of computer use at work for various demographic categories for both 1999 and 2000. For 1999 (2000), approximately 60 percent (65 percent) of the Canadian workforce used a computer at work. Female individuals, not part of a union with a high level of education and whose occupation is that of a manager, of a clerk or of a professional are clearly more likely to use the computer than male individuals, member of a union with low educational level and whose occupation is that of a production worker without certificate. Workers in the "finance and insurance", "business services" or "information and cultural" sectors are also more likely to use a computer at work than those not in these sectors.

Table 3 presents descriptive statistics. It shows that average education in the sample is slightly higher than "some college education", that 52.5 percent of the employees are members of a union, that 42.1 percent are females and that 56.5 percent are married. Around 43 percent of the employees are technician and almost 19 percent are professional while 16 percent are clerical workers. The most represented sectors are "labour-intensive tertiary" and "education and health services" with 24.1 and 21.5 percent respectively. 55 percent of the workplaces in the sample use at least one organizational practices from group 1. The same is true for practices of the second group. From group 3, around 48 percent of the workplaces use one or more practices. Group 4 represents the most used practices (67.8 percent), while 58.4 percent of the workplace in the sample use at least one practice in group 5. Finally, practices from group 6 (other practices) are used by 2.7 percent of the workplaces.

4.6 Results

Table 4 reproduces Krueger (1993)'s main estimations. Columns 1 and 4 show Weighted Least Squares (WLS) estimates for a specification without a dummy for the use of a computer. Columns 2 and 5 present WLS estimates

of Krueger's wage equation³¹ for 1999 and 2000, respectively. Columns 3 and 6 augment these last equations with dummy variables for worker's occupation.

Table 5 compares the estimates of a specification that adds experience with the computer, use of CAT or other technologies, tenure and firm size for pooled OLS (columns 1 and 2), individual fixed effects (columns 3 and 4) and for mixed effects³² (columns 5 and 6). Columns 2, 4 and 6 present estimates for a specification that also includes dummy variables for organizational practices and for interactions between computer use and organizational practices. The specification is similar to Entorf and Kramarz (1997)'s.

Table 6 presents various specifications estimated by pooled OLS and mixed effects. Columns 1 and 4 show estimates for the specification of columns 1, 3 and 5 of table 5 but without industry and occupation dummies. Columns 2 and 5 present estimates for a specification that omits all technological variables. Columns 3 and 6 show estimates of a specification that includes both technological variables and workplace practice dummies but not interaction dummies between practices and technology use.

Table 7 reproduces table 5 but for the whole sample (that is we do not include controls for workplace practices since these variables contain information solely for workplaces with more than 10 employees). Columns 1, 3 and 5 show estimates without industry and occupation dummies while in columns 2, 4 and 6, these variables are included.

4.6.1 Controlling for Unobserved Ability

From table 4, which reproduces some of Krueger's estimates, we can see that the cross-sectional computer wage premium is roughly 20 percent for both years. These results are both numerically and statistically significant. These results are also very much in line with Krueger's estimates (15 to 20

³¹We do not control for living in a Standard Metropolitan Statistical Areas (SMSA) and for being a Vietnam veteran.

³²When estimating our mixed model specifications, we test the hypothesis that all firm effects (unobserved organizational capital) are zero with a likelihood ratio approach and reject it strongly each time.

percent). To avoid redundancy, we discuss only estimates from column 6. Results show that being part of a union is associated with a wage gain of 14.2 percent, while one more year of education yields a 3.6 percent wage increase (down from 6 percent when there is no control for occupations and the use of the computer). Wage is a concave function in experience (the first year of experience is worth 2.7 percent) and neither race nor working part-time have a significant influence on wages. Unmarried female workers earn 12.5 percent less than unmarried males. Finally married women earn 24 percent less than married males.

Column 1 of table 5 shows pooled OLS estimates of the wage equation (this specification now includes experience with the computer and its square, tenure and its square, dummy variables for the use of CAT or other technologies as well as dummy variables for the size of the workplace.) We find that using the computer is associated with a premium of 10.0 percent. Using computer assisted technologies (CAT) is associated with no significant return. However, using other technologies generates a statistically significant negative return. Also, the return to experience with the computer is close to 1.3 percent for the first year of computer usage. Other estimates have the expected sign (with the exception of working part-time which is associated with a significant and positive wage premium.) We thus have a substantial reduction in the computer wage premium when we control for experience with the technology, for tenure, for firm size and for the type of technology used.

Column 3 shows employees fixed-effects estimates. We find that using the computer is not associated with a statistically significant wage premium. Using CAT or other technologies is also not significant. We find no statistically significant premium for experience with the computer. Note that almost no estimates are statistically significant for the fixed effects methodology.

Column 5 shows estimates for the mixed-effects model of wage determination. In this case, we see a positive and statistically significant wage premium for computer use at work of 4.8 percent³³. The return to experience

³³The reader may look at column 4 of table 6 and columns 5 and 6 of table 7 for an

with the computer is also statistically significant and roughly of 1.3 percent for the first year of computer use. Using CAT is not associated with a significant return, but using other technologies is still associated with a significant and negative return (note that "other technologies" include mostly machines or technological devices that demand relatively low skill levels from labor, like cash registers and sales terminals scanners.) Note the statistically significant and negative effect of working part-time. Being member of a union has a positive and statistically significant effect on wage.

The above results are different from those of Entorf and Kramarz (1997) since we have evidence of a positive and statistically significant computer wage premium using a quite general procedure which is a potential solution for the endogeneity problem of computer use. Possible explanations include: a different methodology, data from different years and samples coming from different economies (France and Canada.)

4.6.2 Controlling for Organizational Practices

Columns 2, 4 and 6 of table 5 show estimates of pooled OLS, employees standard fixed effects and mixed effects estimates for a model of wage determination that includes dummy variables for various organizational practices as well as for interaction between these practices and the use of a computer.

Consider the pooled OLS estimates in column 2. Controlling for organizational practices and interaction yields a computer wage premium (conditional on the use of no particular workplace practices) of 11.9 percent which is slightly higher than the pooled estimates without organizational practice and interaction dummies. Concerning the use of a particular organizational practices, we note that workers in firms which implemented at least one practices in our "organizational practices 5" earn a 6.0 percent wage premium and that workers in firms that implemented some practices from our "organizational practices 6" (other changes) earn a 9.4 percent higher wage than workers in firms that did not complete these "other changes"³⁴. Other

idea of the robustness of the computer wage premium to change in the specification or to change in the sample size.

³⁴See columns 3 and 6 of table 6 for results including workplace practices but without

practices do not yield a significant wage premium.

We now consider the case of workers using the computer in conjunction with the workplace making use of some kind of organizational practices. Using the computer in a workplace that has implemented some practices in our "organizational practices 4" is associated with an additional negative wage premium of 5.8 percent and using the computer in a workplace that has implemented some "other changes" is associated with a substantial additional negative return of 8.5 percent.

To show a clearer picture of the effect of computer use, we compute the marginal effect of computer use (at the mean of the observable variables.) We obtain a computer wage premium of 10.2 percent³⁵.

Column 4 shows the estimates for the employees standard fixed effects model. In this case, the computer wage premium (conditional on the use of no particular workplace practices) is close to 7.0 percent although non-significant. Only computer use by employees in workplaces that use some practices in our "organizational practices 4" or that implemented "organizational practices 6" lead to a significant wage premium. The marginal effect of computer use (computed at the mean of the observable variables) is 2.4 percent.

Finally consider column 6 of table 5. Once again, we have a statistically significant wage premium for the use of a computer (close to 9.2 percent, conditional on the use of no particular workplace practices (hence the computer-wage premium is not entirely dependent on the use of any organizational practice.)) There is also a statistically significant return to experience with the computer (0.9 percent for the first year). The use of CAT is not associated with a significant return on wage but the use of other technologies is associated with a significant and negative return. Also, being non-white and working part-time are associated with a statistically significant negative effect on wage, while being member of a union has a positive and statistically significant effect on hourly wage.

interaction with the use of technology.

³⁵A figure slightly higher than the pooled OLS computer-wage premium for the specification without practices and interactions.

Regarding the effect of organizational practices on the computer wage premium, we note that employees working for firms that implemented some changes included in our "organizational practices 2"³⁶ earn a 1.1 percent wage premium (albeit only marginally significant), workers in firms that implemented some changes in our "organizational practices 3" earn a negative premium of 1.9 percent and workers in workplaces that use some of our "organizational practices 4" earn a wage premium of 3.4 percent. Also, when workplaces use some practices from our "organizational practices 5", workers gain 3.5 percent on wage and in the case of firms implementing some other changes³⁷, there is a positive wage differential of 3.6 percent. Workers using the computer in a workplace that completed a change in our "organizational practices 3" earn an additional significant wage premium of 1.7 percent, using the computer in a firms that implemented some practices in our "organizational practices 4" is associated with an additional negative premium of 5.0 percent and those using the computer in a workplace that implemented at least one practice from our "organizational practices 5" earn an additional and marginally significant negative wage premium of 2.0 percent.

In order to show a more comprehensive picture of the effect of computer use on wages, we compute the marginal effect (at the mean of the observable variables). The wage increase associated with the use of a computer is then of 6.4 percent (a slightly higher figure than for the specification without practice and interaction dummies.)

The results listed above tend to go in the same direction as those of Bresnahan, Brynjolfsson, and Hitt (2002). We find that for some organizational practices the link with the computer-wage premium is significant and positive, for some other changes the link is significant and negative and for yet some others the link is not statistically significant.

Negative effects for interactions between computer use and organizational practices can be explained in many ways. First, it could be that

³⁶See section 4.5.1 or table 1 for a description of the variables for organizational practices and changes.

³⁷Group labeled organizational practices 6.

using some particular practices in conjunction with the computer is less productive than using the computer only. This could happen if the workplace choose a set of organizational practices that are substitute to the use of computer by employees. For instance, firms may be learning by doing and "right choices" may not be obvious. Also, we have information on practices implemented for all non-managerial employees and more than 40 percent of these employees are not computer user. Thus, it could be that workplaces implement the best practices overall but that these practices yield negative return for computer users. Second, it might be that working in a firm that has implemented these organizational practices in conjunction with using the computer yields a lower disutility of labor thus enabling the firm to entice the worker to accept a lower wage. Third, it could be that using the computer in conjunction with the firm making use of a particular organizational practice render the work of the individual easier to control by the employer. Thus lowering the need for an incentive pay. Of course, the reverse argument can be made in each case to explain a positive value for a particular practice or for an interaction term.

4.7 Conclusion

This paper presents a careful analysis of whether there exists a computer wage premium and whether this premium is related to organizational practices. Our mixed effects estimates suggest that an employee who uses the computer at work earns a 4.8 percent higher wage rate than a nonuser. This result is very different from that of recent papers that study the existence of the computer wage premium (Entorf and Kramarz (1997) and Entorf, Gollac, and Kramarz (1999).) We were able to identify a positive and statistically significant estimate of the computer wage premium using a methodology that controls for both firm unobserved heterogeneity and employee unobserved human capital. Contrary to standard random effect models, our estimation methodology allows for correlation between the random and fixed effects of our model. Furthermore, this methodology includes fixed effects models as a special case.

Our results also suggest that for some particular organizational practices, there is a positive relationship between the implementation of those practices by the workplace and the use of the computer. For some other practices the relationship is insignificant and for yet some others it is negative. Furthermore, our mixed-effect methodology show that there is a significant (both numerically and statistically) wage premium for computer use conditional on the use of no particular organizational practices. This suggests that wage gains from computer use can be higher if the "right" choice of practices is made, but that these practices do not determine the existence of the computer-wage premium altogether. It reflects the fact that the work environment is modified as a result of the introduction of the technology and that workplace organization has to adapt to this new reality. It is also consistent with the macroeconomic literature that suggests that the lag between the investment in technology and the appearance of the aggregate productivity gains are attributable to learning by doing.

Our results depend on some assumptions that we now discuss. First, as suggested by Borghans and Weel (2004), we must assume that computer use is a good proxy for computer skills. Since it seems difficult to think that computer use is randomly distributed, we might want to assume (in order to identify a treatment effect) that computer skills are distributed randomly and that, as a compensating differential story, people with greater computer skills tend to look for computer using jobs. Second, as Autor, Levy, and Murnane (2002) suggest, computer use might modify the job design. If the effect of computer use on job design is important³⁸, what we identify as a computer-wage premium does not need to be so. Third, in order to have consistent mixed-effect estimates, we must maintain the assumption of time-invariance of unobserved human capital for the employee and of unobserved heterogeneity for the firm. Fourth, our data do not allow for the identification of a match-specific effect (that is we lack sources of identification for this third term of unobserved heterogeneity.) If computer use depends on the quality of the match between the worker and the workplace, then

³⁸A question that Autor, Levy, and Murnane (2002)'s analysis cannot answer since they studied only a few cases.

the endogeneity problem of computer use would remain. Finally, we must rely on distributional assumptions for the random effects. An interesting analysis would be to look at the sensibility of the estimates using numerical methods and specifying different distributional assumptions.

References

- Abowd, J. M. and F. Kramarz (1999). The Analysis of Labor Markets using Matched Employer-Employee Data. In *Handbook of Labor Economics*, Volume 3B, pp. 2629–2710. Handbook in Economics, vol. 5. Amsterdam; New York and Oxford: Elsevier Science, North-Holland.
- Abowd, J. M., F. Kramarz, and D. N. Margolis (1999). High Wage Workers and High Wage Firms. *Econometrica* 67(2), 251–333.
- Anger, S. and J. Schwarze (2003). Does Future PC Use Determine Our Wages Today? Evidence from German Panel Data. *Labour* 17(3), 337–360.
- Autor, D. H., L. F. Katz, and A. B. Krueger (1998). Computing Inequality: Have Computers Changed the Labor Market? *Quarterly Journal of Economics* 113(4), 1169–1213.
- Autor, D. H., F. Levy, and R. J. Murnane (2002). Upstairs, Downstairs: Computer and Skills on Two Floors of a Large Bank. *Industrial and Labor Relations Review* 55(3), 432–447.
- Bartel, A. P. and N. Sicherman (1999). Technological Change and Wages: an Interindustry Analysis. *Journal of Political Economy* 107(2), 285–325.
- Berman, E., J. Bound, and Z. Griliches (1994). Changes in the Demand for Skilled Labor within U.S. Manufacturing: Evidence from the Annual Survey of Manufacturers. *Quarterly Journal of Economics* 109(2), 367–397.
- Bertschek, I. and U. Kaiser (2004). Productivity Effects of Organizational Change: Microeconomic Evidence. *Management Science* 50(3), 394–404.
- Borghans, L. and B. T. Weel (2004). Are Computer Skills the New Basic Skills? The Returns to Computer, Writing and Math Skills in Britain. *Labour Economics* 11(1), 85–98.
- Bound, J. and G. Johnson (1992). Changes in the Structure of Wages

- in the 1980's: an Evaluation of Alternative Explanations. *American Economic Review* 82(3), 271–392.
- Bresnahan, T. F., E. Brynjolfsson, and L. M. Hitt (2002). Information Technology, Workplace Organization and the Demand for Skilled Labor: Firm Level Evidence. *Quarterly Journal of Economics* 117(1), 339–376.
- Bresnahan, T. F. and M. Trajtenberg (1995). General Purpose Technologies: "Engines of Growth"? *Journal of Econometrics* 117(1), 83–108.
- Cappelli, P. and W. Carter (2000). Computers, Work Organization and Wage Outcomes. NBER Working Paper Series, Working Paper No. 7987.
- Card, D. and J. E. DiNardo (2002). Skill Biased Technological Change and Rising Wage Inequality: Some Problems and Puzzles. *Journal of Labor Economics* 20(4), 733–783.
- Chennells, L. and J. V. Reenen (2002). Technical Change and the Structure of Employment and Wages: A Survey of the Microeconomic Evidence. In Y. L. Nathalie Greenan and Jacques Mairesse (Eds.), *Productivity, Inequality, and the Digital Economy: A Transatlantic Perspective*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- DiNardo, J. E. and J.-S. Pischke (1997). The Returns to Computer Use Revisited: Have Pencils Changed the Wage Structure Too? *Quarterly Journal of Economics* 112(1), 291–303.
- Dolton, P. and G. Makepeace (2004). Computer Use and Earnings in Britain. *The Economic Journal* 114(1), C117–C129.
- Doms, M., T. Dunne, and K. R. Trostke (1997). Workers, Wages and Technology. *Quarterly Journal of Economics* 112(1), 253–290.
- Entorf, H., M. Gollac, and F. Kramarz (1999). New Technologies, Wages, and Workers Selection. *Journal of Labor Economics* 17(3), 464–491.
- Entorf, H. and F. Kramarz (1997). Does Unmeasured Ability Explain

- the Higher Wages of New Technology Workers? *European Economic Review* 41, 1489–1509.
- Henderson, C., O. Kempthorne, S. Searle, and C. Krosigk (1959). The Estimation of Environmental and Genetic Trend from Records Subject to Culling. *Biometrics* 15(2), 192–218.
- Hitt, L. M. and E. Brynjolfsson (2002). Information Technology, Organizational Transformation, and Business Performance. In Y. L. Nathalie Greenan and Jacques Mairesse (Eds.), *Productivity, Inequality, and the Digital Economy: A Transatlantic Perspective*. Cambridge, Massachusetts; London, England: The MIT Press.
- Krueger, A. B. (1993). How Computers Have Changed the Wage Structure: Evidence from Microdata. *Quarterly Journal of Economics* 108(1), 33–60.
- Lee, S.-H. and J. Kim (2004). Has Internet Changed the Wage Structure Too? *Labour Economics* 11(1), 119–128.
- McCulloch, C. and S. Searle (2001). *Generalized, Linear and Mixed Models*. Wiley Series in Probability and Statistics, John Wiley and Sons Inc.
- Milgrom, P. and J. Roberts (1992). *Economics, Organization and Management*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Searle, S. R., G. Casella, and C. McCulloch (1992). *Variance Components*. New York: John Wiley and Sons.

Compensation	
ln(hourly wage)	Natural logarithm of the converted hourly wage.
Demographics	
Female	1 if employee is a female, 0 otherwise.
Married	1 if employee is married, 0 otherwise.
Education \in (1,13)	If employee has less than a high school education, then his level of education corresponds to the number of years of schooling completed.
Education=14	If employee has completed high school but has received no other training, then his level of education is 14.
Education=15	If employee has a trade or vocational diploma or certificate, then his level of education is 15.
Education=16	If employee has done some college, CEGEP, institute of technology or nursing school, then his level of education is 16.
Education=17	If employee has done some college education and hold a trade or vocational diploma or certificate, then his level of education is 17.
Education=18	If employee has completed college, CEGEP, institute of technology or nursing school, then his level of education is 18.
Education=19	If employee has done some university education, then his level of education is 19.
Education=20	If employee has completed teacher's college, then his level of education is 20.
Education=21	If employee has completed university certificate or diploma below the bachelor level, then his level of education is 21.
Education=22	If employee has completed an undergraduate diploma at the level of the bachelor, then his level of education is 22.
Education=23	If employee has completed a bachelor degree and a university certificate or diploma below the bachelor level, then his level of education is 23.
Education=24	If employee has completed a university certificate or diploma above the bachelor level, then his level of education is 24.
Education=25	If the employee has completed a master's degree, then his level of education is 25.
Education=26	If employee has completed a degree in medicine, dentistry, veterinary medicine, law, optometry or theology after another bachelor degree, then his level of education is 26.
Education=27	If the employee has earned a doctorate, then his level of education is 27.
When an employee holds multiple diplomas, except specially identified cases, we consider only the highest education level attain.	
Black	1 if employee has black parents or grandparents, 0 otherwise.
Other races	1 if employee has neither black nor white parents or grandparents, 0 otherwise.

Table 1: Variable description

<u>Use of technology</u>	
Computer	1 if the employee uses the computer at work, 0 otherwise.
CAT	1 if employee uses a computer-controlled or computer-assisted technology (e.g. industrial robots, retail scanning systems, etc.), 0 otherwise.
Other technologies	1 if employee uses other machine or technological device for at least one hour a day in the course of his normal duties (e.g. cash registers, sales terminals scanners, manual typewriters, etc.), 0 otherwise.
Exp. with computer	Years of experience with the computer.
<u>Union status</u>	
Union	1 if employee is member of a union or covered by a collective bargaining agreement, 0 otherwise.
<u>Job characteristics and experience</u>	
Part-time	1 if employee works usually less than 30 hours per week, 0 otherwise.
Experience	Number of years of work experience.
Manager	1 if employee has a managerial position, 0 otherwise.
Professional	1 if employee is a professional, 0 otherwise.
Technician/trades	1 if employee has a technical or trade position, 0 otherwise.
Sales/marketing	1 if employee has a marketing/sales position, 0 otherwise.
Clerical/administrative	1 if employee has a clerical/administrative position, 0 otherwise.
Production without certificate	1 if employee is a production, operation or maintenance worker with no trade/certification, 0 otherwise.
<u>Workplace characteristics</u>	
Very small	1 if workplace has between 1 and 19 employees, 0 otherwise.
Small	1 if workplace has between 20 and 99 employees, 0 otherwise.
Average	1 if workplace has between 100 and 499 employees, 0 otherwise.
Large	1 if workplace has 500 or more employees, 0 otherwise.
Natural resources	1 if workplace belongs to the industry of forestry, mining, oil, and gas extraction, 0 otherwise.
Labour tertiary	1 if workplace belongs to the industry of labour intensive tertiary manufacturing, 0 otherwise.
Primary manufacturing	1 if workplace belongs to the industry of primary product manufacturing, 0 otherwise.
Secondary manufacturing	1 if workplace belongs to the industry of secondary product manufacturing, 0 otherwise.
Capital tertiary	1 if workplace belongs to the industry of capital intensive tertiary manufacturing, 0 otherwise.

Table 1: Continued: Variable description

Construction	1 if workplace belongs to the industry of construction, 0 otherwise.
Transport	1 if workplace belongs to the industry of transportation, warehousing, wholesale, 0 otherwise.
Communication	1 if workplace belongs to the industry of communication and other utilities, 0 otherwise.
Retail	1 if workplace belongs to the industry of retail trade and consumer services, 0 otherwise.
Finance and insurance	1 if workplace belongs to the industry of finance and insurance, 0 otherwise.
Real estate	1 if the workplace belongs to the industry of real estate, rental and leasing operations, 0 otherwise.
Business services	1 if workplace belongs to the industry of business services, 0 otherwise.
Education and health care	1 if workplace belongs to the industry of education and health services, 0 otherwise.
Information and culture	1 if workplace belongs to information and cultural industries, 0 otherwise.
Variables linking employees with a workplace	
Tenure	Tenure in years.
Organisational Changes	
Organizational practices 1	1 if workplace has experienced change in organization in the form of a greater integration among different functional areas, an increase in the degree of centralization or re-engineering, 0 otherwise.
Organizational practices 2	1 if workplace has experience an increase in decentralization, a reduction in the number of managerial level, downsizing, implementation of total quality management, a greater reliance on job rotation and multiskilling or the adoption of flexible working hours, 0 otherwise.
Organizational practices 3	1 if workplace has experienced change in organization in the form of greater inter-firm collaboration in R&D and production, a greater reliance on external suppliers of products and services, a greater, reliance on part-time workers, a greater reliance on overtime hours or a greater reliance on temporary workers, 0 otherwise.
Organizational practices 4	1 if workplace uses employee' suggestions, flexible job design or if workplace shares information with employees, 0 otherwise.
Organizational practices 5	1 if workplace uses the following practices: problem solving team, self-directed groups or joint labour-management committee, 0 otherwise.
Organizational practices 6	1 if workplace has experienced change in organisation some other form, 0 otherwise.

Table 1: Continued: Variable description

Table 2: Percentage of workers using the computer at work by category

Groups	1999	2000
All workers	60.1	65.2
<u>Gender</u>		
Men	57.9	61.8
Female	63.5	68.3
<u>Race</u>		
White	60.9	65.2
Black	54.8	63.5
Other	60.7	65.1
<u>Union status</u>		
Union member	51.5	55.3
Nonunion	64.4	69.4
<u>Schooling</u>		
Less than high school	34.0	39.7
High school	52.1	56.4
Some college	65.0	67.6
College	66.5	71.0
Post college	83.7	85.4
<u>Occupations</u>		
Manager	81.9	88.4
Professional	84.7	87.7
Technician/trades	46.3	50.6
Marketing/sales	41.2	46.4
Clerical/administrative	84.8	87.3
Production without certificate	18.3	20.0

Table 2: Continued: Percentage of workers using the computer at work by category

Groups	1999	2000
<u>Industries</u>		
Forestry, mining, oil, and gas extraction	54.9	54.9
Primary product manufacturing	49.6	53.3
Secondary product manufacturing	56.4	59.1
Labour intensive tertiary manufacturing	40.0	45.4
Capital intensive tertiary manufacturing	67.6	67.3
Construction	37.6	34.8
Transportation, warehousing, wholesale	65.5	67.2
Communication and other utilities	66.8	69.9
Retail trade and consumer services	47.2	54.7
Finances and insurance	93.9	94.6
Real estate, rental and leasing operations	65.9	69.2
Education and health services	63.5	66.5
Information and cultural industries	86.1	88.9
Business services	79.6	85.1
<u>Experience</u>		
[0-10) years	61.7	66.6
[10-20) years	58.4	61.5
[20-30) years	55.9	61.2
[30 years and more	59.0	55.6
Source: The percentages were calculated from the data of the WES surveys of 1999 and 2000. The sample size is 23 540 for 1999 and 18 267 for 2000.		

Table 3: Descriptive statistics

	Mean	Std Dev.	5%	50%	95%
Ln(wage)	2.898	0.465	1.960	2.803	3.634
Education	16.017	3.571	10.000	16.000	22.000
Experience	19.148	10.285	1.000	16.000	35.000
Exp. squared (/100)	4.724	4.284	0.010	2.560	12.250
Tenure	8.523	7.573	0.917	4.417	22.000
Tenure squared (/100)	1.300	2.171	0.008	0.195	4.840
Exp. with computer	6.651	6.776	0.000	5.000	20.000
Exp. w. computer squared (/100)	0.901	1.431	0.000	0.250	4.000
Computer	0.663	0.473	0.000	1.000	1.000

Table 3: Continued: Descriptive statistics (Dummy Variables)

	Mean	Std Dev.
Union	0.525	0.499
Year	0.480	0.500
Black	0.008	0.088
Other races	0.221	0.415
Part-time	0.029	0.168
Female	0.421	0.494
Married	0.565	0.496
Married*Female	0.215	0.411
CAT	0.162	0.368
Other technologies	0.224	0.417
Manager	0.094	0.292
Professional	0.188	0.391
Technician	0.434	0.496
Marketing/sales	0.041	0.199
Clerical/administrative	0.163	0.370
Production without certificate	0.080	0.271
Natural resources	0.012	0.110
Labour tertiary	0.241	0.428
Primary manufacturing	0.039	0.194
Secondary manufacturing	0.029	0.168
Capital tertiary	0.050	0.217
Construction	0.024	0.152
Transport	0.135	0.342
Communication	0.015	0.123
Retail	0.126	0.331
Finance and insurance	0.031	0.174
Real estate	0.009	0.094
Business services	0.050	0.217
Education and health services	0.215	0.411
Culture and information	0.024	0.153
Small	0.248	0.432
Average	0.281	0.281
Large	0.284	0.451

Table 3: Continued: Descriptive statistics (Dummy Variables)

	Mean	Std Dev.
Organizational practices		
Suggestion	0.310	0.463
Flexible ind.	0.243	0.429
Info. Sharing	0.519	0.500
Problems solving	0.332	0.471
Comitee	0.380	0.485
Self-directed groups	0.153	0.360
Organizational changes		
Integration	0.270	0.444
Hierarchy	0.124	0.330
Roration	0.240	0.427
TQM	0.156	0.363
External	0.148	0.355
Collaboration	0.121	0.326
Other changes	0.019	0.135
Centralization	0.146	0.353
Downsizing	0.134	0.340
Decentralization	0.127	0.333
Temporary	0.092	0.289
Part-time change	0.130	0.336
Re-engineering	0.457	0.498
Overtime	0.202	0.402
Flexible	0.100	0.301
Organizational practices 1	0.553	0.497
Organizational practices 2	0.550	0.498
Organizational practices 3	0.481	0.500
Organizational practices 4	0.678	0.467
Organizational practices 5	0.584	0.493
Organizational practices 6	0.027	0.162

Table 4: WLS estimates

	1999			2000		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Intercept	1.614*** (0.032)	1.666*** (0.032)	1.832*** (0.037)	1.510*** (0.036)	1.544*** (0.037)	1.702*** (0.042)
Computer		0.216*** (0.015)	0.182*** (0.016)		0.219*** (0.017)	0.180*** (0.018)
Union	0.153*** (0.014)	0.183*** (0.014)	0.181*** (0.013)	0.109*** (0.014)	0.142*** (0.014)	0.133*** (0.014)
Education	0.052*** (0.002)	0.042*** (0.002)	0.027*** (0.002)	0.059*** (0.002)	0.050*** (0.002)	0.035*** (0.002)
Experience	0.029*** (0.002)	0.025*** (0.002)	0.020*** (0.002)	0.037*** (0.002)	0.033*** (0.002)	0.028*** (0.002)
Experience squared/100	-0.046*** (0.006)	-0.038*** (0.006)	-0.028*** (0.006)	-0.062*** (0.006)	-0.054*** (0.005)	-0.045*** (0.006)
Black	-0.063 (0.077)	-0.049 (0.068)	-0.015 (0.059)	-0.093 (0.077)	-0.090 (0.066)	-0.076 (0.064)
Other races	-0.027** (0.014)	-0.022 (0.014)	-0.008 (0.013)	-0.021 (0.015)	-0.015 (0.014)	-0.004 (0.014)
Part-time	-0.076*** (0.028)	-0.034 (0.028)	-0.002 (0.025)	-0.098** (0.039)	-0.047 (0.041)	0.007 (0.037)
Female	-0.162*** (0.020)	-0.176*** (0.020)	-0.127*** (0.019)	-0.179*** (0.022)	-0.188*** (0.023)	-0.134*** (0.023)
Married	0.163*** (0.020)	0.157*** (0.019)	0.140*** (0.019)	0.143*** (0.022)	0.144*** (0.022)	0.144*** (0.022)
Married*Female	-0.044* (0.026)	-0.042** (0.026)	-0.045* (0.025)	-0.056** (0.028)	-0.064 (0.028)	-0.084*** (0.028)
Occupation dummies [†]	No	No	Yes	No	No	Yes
R-squared	0.318	0.353	0.421	0.419	0.384	0.441
Sample size	23540	23540	23540	18267	18267	18267

*** p-value ≤ 0.01 , ** p-value $\in (0.01, 0.05]$ and * p-value $\in (0.05, 0.10]$.

Robust standard errors in parentheses.

†Omitted category : Production without certificate (see table 1)

	Pooled OLS		Person Fixed effect		Mixed effects	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Year	0.023** (0.009)	0.022** (0.009)	-0.046 (0.060)	-0.046 (0.058)	0.019*** (0.002)	0.018*** (0.002)
Intercept	1.876*** (0.042)	1.844*** (0.044)	1.402 (1.085)	1.448 (1.060)	2.017*** (0.025)	1.979*** (0.026)
Computer	0.095*** (0.042)	0.112*** (0.025)	-0.002 (0.040)	0.067 (0.043)	0.047*** (0.006)	0.088*** (0.010)
CAT	0.026*** (0.013)	0.023* (0.013)	-0.004 (0.017)	-0.003 (0.016)	-0.011 (0.005)	-0.001 (0.005)
Other technologies	-0.033*** (0.011)	-0.032*** (0.011)	-0.067 (0.015)	-0.006 (0.015)	-0.013*** (0.004)	-0.012*** (0.004)
Experience with computer	0.013*** (0.002)	0.012*** (0.002)	0.002 (0.005)	0.002 (0.005)	0.010*** (0.001)	0.009*** (0.001)
Exp. comp. squared/100	-0.026*** (0.010)	-0.025*** (0.010)	-0.000 (0.019)	0.002 (0.018)	-0.018*** (0.004)	-0.017*** (0.004)
Org. practices 1		0.012 (0.020)		-0.001 (0.026)		0.004 (0.006)
Cpu*Org. practices 1		0.019 (0.024)		0.006 (0.031)		0.005 (0.007)
Org. practices 2		-0.009 (0.021)		0.003 (0.026)		0.011* (0.006)
Cpu*Org. practices 2		-0.002 (0.026)		-0.003 (0.026)		-0.007 (0.008)
Org. practices 3		-0.016 (0.017)		-0.024 (0.022)		-0.019*** (0.006)
Cpu*Org. practices 3		0.022 (0.021)		0.024 (0.027)		0.017** (0.007)
Org. practices 4		0.008 (0.016)				0.033*** (0.012)
Cpu*Org. practices 4		-0.002 (0.021)		-0.094** (0.045)		-0.051*** (0.007)
Org. practices 5		0.058*** (0.017)				0.034*** (0.012)
Cpu*Org. practices 5		-0.060*** (0.021)		-0.028 (0.058)		-0.020* (0.011)
Org. practices 6		0.090*** (0.031)		-0.024 (0.024)		0.035** (0.015)
Cpu*Org. practices 6		-0.089** (0.037)		0.083** (0.034)		0.013 (0.018)

Table 5: Comparison of pooled OLS, fixed effects and mixed effects estimates

	Pooled OLS		Fixed effects		Mixed effects	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Education	0.022*** (0.001)	0.022*** (0.001)	0.004 (0.011)	0.003 (0.010)	0.024*** (0.002)	0.024*** (0.001)
Experience	0.015*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.090 (0.066)	0.089 (0.064)	0.015*** (0.001)	0.016*** (0.001)
Experience squared/100	-0.024*** (0.005)	-0.025*** (0.005)	-0.016 (0.039)	-0.017 (0.038)	-0.024*** (0.002)	-0.024*** (0.002)
Tenure	0.007*** (0.002)	0.007*** (0.002)	-0.010** (0.005)	-0.010** (0.004)	0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
Tenure squared/100	-0.009** (0.006)	-0.009 (0.006)	0.012 (0.030)	0.013 (0.029)	0.005 (0.003)	0.004 (0.003)
Black	-0.029 (0.043)	-0.033 (0.043)			-0.052* (0.027)	-0.050* (0.027)
Other races	-0.022 (0.009)	-0.021** (0.009)			-0.020*** (0.006)	-0.020*** (0.006)
Female	-0.101*** (0.016)	-0.102*** (0.016)			-0.106*** (0.008)	-0.107*** (0.008)
Married	0.093*** (0.013)	0.093*** (0.013)	0.039 (0.038)	0.039 (0.038)	0.072*** (0.006)	0.073*** (0.006)
Married*Female	-0.038** (0.018)	-0.038** (0.018)	-0.028 (0.056)	-0.026 (0.055)	-0.037*** (0.009)	-0.037*** (0.009)
Part-time	0.029 (0.023)	0.028 (0.023)	-0.033 (0.048)	-0.033 (0.047)	-0.031*** (0.009)	-0.029*** (0.009)
Union	0.067*** (0.011)	0.061*** (0.011)	0.163** (0.081)	0.160** (0.075)	0.081*** (0.006)	0.078*** (0.006)
Small size	0.045*** (0.017)	0.038*** (0.017)	0.045** (0.022)	0.043** (0.022)	0.054*** (0.008)	0.051*** (0.008)
Average size	0.149*** (0.017)	0.136*** (0.017)	0.079*** (0.026)	0.077*** (0.025)	0.118*** (0.010)	0.112*** (0.010)
Large size	0.206*** (0.018)	0.189*** (0.019)	0.110*** (0.029)	0.104*** (0.029)	0.184*** (0.118)	0.173*** (0.012)
Occupation dummies [†]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Industry dummies [‡]	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
R-squared	0.525	0.527				
Sample size	34146	34146	34146	34146	34146	34146

*** p-value ≤ 0.01 , ** p-value $\in (0.01, 0.05]$ and * p-value $\in (0.05, 0.10]$.

Robust standard errors in parentheses.

[†]Omitted category : Production without certificate (see table 1)

[‡] For industry dummies detail see table 1

Table 5: Continued: Comparison of pooled OLS, fixed effects and mixed effects estimates

	Pooled OLS			Mixed effects		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Year	0.021** (0.001)	0.033*** (0.009)	0.022** (0.009)	0.017*** (0.002)	0.024*** (0.002)	0.018*** (0.002)
Intercept	1.731*** (0.032)	1.800*** (0.042)	1.856*** (0.042)	1.947*** (0.019)	1.994*** (0.025)	2.001*** (0.025)
Computer	0.129*** (0.017)		0.094*** (0.011)	0.057*** (0.006)		0.047*** (0.006)
CAT	-0.022 (0.017)		0.023 (0.013)	-0.002 (0.005)		-0.001 (0.005)
Other technologies	-0.062*** (0.012)		-0.032 (0.011)	-0.017*** (0.004)		-0.013*** (0.004)
Experience with computer	0.015*** (0.003)		0.012*** (0.002)	0.011*** (0.001)		0.009*** (0.001)
Exp. comp. squared/100	-0.034** (0.015)		-0.026** (0.010)	-0.021*** (0.004)		-0.018*** (0.004)
Org. practices 1			0.025** (0.011)			0.008** (0.004)
Org. practices 2			-0.009 (0.012)			0.007* (0.004)
Org. practices 3			-0.002 (0.010)			-0.008** (0.004)
Org. practices 4			0.006 (0.011)			0.002 (0.009)
Org. practices 5			0.019* (0.011)			0.021** (0.009)
Org. practices 6			0.031* (0.018)			0.044*** (0.009)
Education	0.038*** (0.001)	0.028*** (0.001)	0.022*** (0.001)	0.034*** (0.001)	0.027*** (0.001)	0.024*** (0.001)
Experience	0.022*** (0.002)	0.020*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.020*** (0.001)	0.019*** (0.001)	0.016*** (0.001)
Experience squared/100	-0.036*** (0.005)	-0.033*** (0.005)	-0.025*** (0.005)	-0.030*** (0.002)	-0.030*** (0.002)	-0.024*** (0.002)

Table 6: Pooled OLS vs Mixed Effects: Alternative Specifications

	Pooled OLS			Mixed effects		
	(1)	(2)	(3)	(4)	(4)	(5)
Tenure	0.006*** (0.002)	0.005*** (0.002)	0.007*** (0.002)	-0.001 (0.001)	-0.000 (0.001)	0.000 (0.001)
Tenure squared/100	-0.013*** (0.006)	-0.006 (0.006)	-0.009 (0.006)	0.009** (0.004)	0.005 (0.003)	0.004 (0.003)
Black	-0.061 (0.046)	-0.042 (0.046)	-0.034 (0.043)	-0.080*** (0.029)	-0.054** (0.027)	-0.052* (0.027)
Other races	-0.034*** (0.011)	-0.024*** (0.010)	-0.022** (0.009)	-0.030*** (0.006)	-0.024*** (0.006)	-0.020*** (0.006)
Female	-0.171*** (0.015)	-0.089*** (0.016)	-0.101*** (0.016)	-0.154*** (0.008)	-0.093*** (0.008)	-0.107*** (0.008)
Married	0.138*** (0.015)	0.099*** (0.014)	0.093*** (0.013)	0.090*** (0.007)	0.074*** (0.005)	0.073*** (0.006)
Married*Female	-0.066*** (0.020)	-0.042** (0.019)	-0.038** (0.018)	-0.050*** (0.010)	-0.037*** (0.009)	-0.037*** (0.009)
Part-time	-0.042 (0.029)	0.007 (0.021)	0.028 (0.023)	-0.042*** (0.009)	-0.036*** (0.009)	-0.029*** (0.009)
Union	0.047*** (0.011)	0.043*** (0.011)	0.063*** (0.011)	-0.053*** (0.006)	0.066*** (0.006)	0.079*** (0.006)
Small size	-0.023 (0.019)	0.056*** (0.018)	0.039** (0.017)	0.043*** (0.009)	0.056*** (0.008)	0.053*** (0.008)
Average size	0.145*** (0.019)	0.167*** (0.018)	0.138*** (0.017)	0.107*** (0.010)	0.125*** (0.010)	0.113*** (0.010)
Large size	0.245*** (0.021)	0.243*** (0.019)	0.188*** (0.019)	0.179*** (0.012)	0.196*** (0.012)	0.174*** (0.012)
Occupation dummies [†]	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Industry dummies [‡]	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
R-squared	0.407					
Sample size	34146	34146	34146	34146	34146	34146

*** p-value ≤ 0.01 , ** p-value $\in (0.01, 0.05]$ and * p-value $\in (0.05, 0.10]$.

Robust standard errors in parentheses.

[†]Omitted category : Production without certificate (see table 1)

[‡] For industry dummies detail see table 1

Table 6: Continued:Pooled OLS vs Mixed Effects: Alternative Specifications

Table 7: Full Sample Estimates

	Pooled OLS		Fixed effect		Mixed effects	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Year	0.022** (0.009)	0.024*** (0.008)	-0.020 (0.044)	-0.021 (0.044)	0.015*** (0.002)	0.017*** (0.002)
Intercept	1.692*** (0.026)	1.845*** (0.037)	1.907** (0.797)	1.850** (0.802)	1.908*** (0.016)	1.943*** (0.023)
Computer	0.125*** (0.014)	0.084*** (0.013)	-0.008 (0.032)	-0.009 (0.032)	0.052*** (0.005)	0.039*** (0.005)
CAT	-0.033*** (0.013)	0.012* (0.012)	0.003 (0.014)	0.002 (0.014)	-0.002 (0.005)	0.003 (0.004)
Other technologies	-0.061*** (0.010)	-0.029*** (0.012)	0.004 (0.013)	0.003 (0.013)	-0.009*** (0.003)	-0.005 (0.003)
Experience with computer	0.014*** (0.003)	0.012*** (0.002)	0.001 (0.004)	0.001 (0.004)	0.010*** (0.001)	0.009*** (0.001)
Exp. comp. squared/100	-0.029** (0.012)	-0.026*** (0.009)	-0.001 (0.017)	-0.000 (0.017)	-0.021*** (0.004)	-0.020*** (0.004)
Education	0.038*** (0.002)	0.025*** (0.001)	-0.011 (0.011)	-0.011 (0.011)	0.034*** (0.001)	0.024*** (0.001)
Experience	0.023*** (0.002)	0.015*** (0.002)	0.068 (0.050)	0.068 (0.050)	0.020*** (0.001)	0.017*** (0.001)
Experience squared/100	-0.038*** (0.004)	-0.025*** (0.004)	-0.027 (0.034)	-0.025 (0.034)	-0.031*** (0.002)	-0.026*** (0.002)
Tenure	0.009*** (0.002)	0.008*** (0.002)	-0.008 (0.005)	-0.008 (0.005)	0.001 (0.001)	0.002*** (0.001)
Tenure squared/100	-0.017*** (0.006)	-0.011* (0.006)	0.002 (0.032)	0.002 (0.032)	0.003 (0.003)	-0.000 (0.003)
Black	-0.050 (0.043)	-0.015 (0.038)			-0.074*** (0.028)	-0.047* (0.026)
Other races	-0.020** (0.010)	-0.008 (0.009)			-0.025*** (0.006)	-0.017*** (0.006)

Table 7: Continued: Full Sample Estimates

	Pooled OLS		Fixed effects		Mixed effects	
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Female	-0.190*** (0.014)	-0.107*** (0.014)			-0.170*** (0.008)	-0.109*** (0.007)
Married	0.141*** (0.013)	0.101*** (0.013)	0.039 (0.035)	0.040 (0.035)	0.095*** (0.006)	0.077*** (0.006)
Married*Female	-0.056*** (0.018)	-0.037** (0.017)	-0.006 (0.047)	-0.007 (0.048)	-0.042*** (0.009)	-0.030*** (0.009)
Part-time	0.039* (0.024)	0.027 (0.019)	-0.030 (0.047)	-0.030 (0.047)	-0.027*** (0.008)	-0.015* (0.008)
Union	0.046*** (0.011)	0.060*** (0.011)	0.144* (0.074)	0.145* (0.074)	0.048*** (0.006)	0.074*** (0.006)
Small size	0.061*** (0.013)	0.053*** (0.012)	0.051** (0.022)	0.052** (0.022)	0.075*** (0.007)	0.081*** (0.007)
Average size	0.182*** (0.012)	0.158*** (0.011)	0.085*** (0.025)	0.085*** (0.025)	0.147*** (0.009)	0.147*** (0.008)
Large size	0.292*** (0.014)	0.240*** (0.013)	0.113*** (0.029)	0.113*** (0.029)	0.221*** (0.110)	0.213*** (0.010)
Occupation dummies †	No	Yes	No	Yes	No	Yes
Industry dummies ‡	No	Yes	No	Yes	No	Yes
R-squared	0.416	0.516				
Sample size	41807	41807	41807	41807	41807	41807

*** p-value ≤ 0.01 , ** p-value $\in (0.01, 0.05]$ and * p-value $\in (0.05, 0.10]$.

Robust standard errors in parentheses.

† Omitted category : Production without certificate (see table 1)

‡ For industry dummies detail see table 1

Chapitre 5

Conclusion

5.1 Conclusion

Nos résultats pour la méthodologie mixte de détermination du salaire montrent l'existence d'une prime salariale (de l'ordre de 4.8 %) liée à l'utilisation de l'ordinateur au travail et cela indépendamment de l'utilisation de pratiques organisationnelles par l'employeur. La prise en compte des interactions entre les différents groupes de pratiques organisationnelles et l'utilisation de l'ordinateur au travail suggère que pour que la combinaison (ordinateur/pratiques) génère un gain salarial, l'entreprise doit choisir les bonnes pratiques.

En combinant ces résultats avec les statistiques descriptives du tableau 2 (chapitre 4), nous pouvons conclure que l'utilisation de l'ordinateur au travail contribue à l'accroissement des inégalités salariales entre les travailleurs qualifiés et les travailleurs non-qualifiés. Il en est ainsi puisqu'utiliser l'ordinateur au travail engendre un gain salarial et que l'utilisation de l'ordinateur est fortement (positivement) corrélé avec le niveau d'éducation. En somme, les travailleurs qualifiés voient leur situation salariale relative s'améliorer avec l'utilisation de l'ordinateur au travail.

Annexe

A REML

A.1 ML sur les résidus MCO

L'estimation par la méthode de la maximisation de la vraisemblance restreinte (REML) peut être comprise comme une estimation par la vraisemblance maximale (ML) sur les résidus MCO du modèle. Pour illustrer ce point, supposons que nous souhaitons estimer le modèle suivant par la méthode de la vraisemblance maximale restreinte :

$$Y = X\beta + \theta + \epsilon$$

où Y est le vecteur de la variable dépendante, X est la matrice des effets fixes, β est un vecteur de paramètres, θ est un vecteur d'effets aléatoires et ϵ est un vecteur de résidus statistiques.

Notons d'abord que REML consiste à maximiser la vraisemblance d'une fonction de y . En fait, on souhaite maximiser la vraisemblance de $K'Y$ où K est choisit tel que $K'X = 0$ ¹. Nous allons montrer que le vecteur K peut s'écrire comme la matrice de projection M_x , où $M_x Y$ est la projection du vecteur Y dans l'espace vectoriel orthogonal à celui engendré par les variables explicatives (ce sont les résidus MCO du modèle.)

Nous devons donc choisir K tel que $K'X = 0$ (donc que $X'K = 0$). La solution de cette équation est $K = [I - (X')^{-}X']c$, où $(.)^{-}$ désigne l'inverse

¹ K est choisit de façon à éliminer les effets fixes du modèle.

généralisé² d'une matrice et où c est un vecteur d'un ordre approprié. En transposant nous obtenons l'expression suivante : $K' = c'[I - XX^-]$. Il nous faut donc montrer que cette expression peut être réécrite comme $M_x = I - X(X'X)^{-1}X'$.

Il nous faut maintenant présenter quelques propriétés des inverses généralisés (McCulloch et Searle (2001)). Soit la définition de l'inverse généralisé de la matrice $X'X$:

$$X'XGX'X = X'X \quad (25)$$

Pour les matrices réelles, il existe un théorème qui dit que, si $PX'X = QX'X$, alors $PX' = QX'$ (McCulloch et Searle (2001)). En transposant 25 et en appliquant ce théorème, nous obtenons :

$$\begin{aligned} X'XG'X'X &= X'X \\ X'XG'X' &= X'. \end{aligned}$$

La première équation nous indique que G' est également un inverse généralisé de $X'X$. En transposant encore une fois, nous obtenons :

$$XGX'X = X.$$

$GX' ((X'X)^- X')$ est donc un inverse généralisé de X . Puisque $(X'X)^- X'$

²L'inverse généralisé $((X)^-)$ d'une matrice est défini comme une matrice $(X)^-$ qui satisfait l'équation suivante : $XX^-X = X$. Pour les cas où X est une matrice singulière, X^- n'est pas unique. Si X est une matrice non-singulière, alors $X^- = X^{-1}$.

est un inverse généralisé de X , il est possible d'écrire que $K' = c'[I - X(X'X)^{-1}X'] = c'M_x$ où $M_x = I - X(X'X)^{-1}X'$. Nous avons donc montré que REML consiste à appliquer ML sur les résidus MCO.

A.2 Prise en compte des degrés de liberté

Nous souhaitons montrer que l'estimateur des paramètres de variance de REML prend implicitement en compte les degrés de liberté des effets fixes. Dérivons la vraisemblance restreinte³ par rapport à un élément de la variance ($V = f(\sigma^2)$) :

$$\frac{\partial \log L_{REML}}{\partial \sigma_k^2} = -\frac{1}{2} \frac{\partial \log |K'VK|}{\partial \sigma_k^2} - \frac{1}{2} y'K \frac{\partial (K'VK)^{-1}}{\partial \sigma_k^2} K'y = 0$$

donc l'estimé de la matrice de variance-covariance est obtenu en solutionnant :

$$y'K(K'\hat{V}K)^{-1} \frac{\partial (K'\hat{V}K)}{\partial \sigma_k^2} (K'\hat{V}K)^{-1} K'y = tr \left((K'\hat{V}K)^{-1} \frac{\partial (K'\hat{V}K)}{\partial \sigma_k^2} \right). \quad (26)$$

³ $\log L_{REML} = -\frac{1}{2}(N^* - r) \log 2\pi - \frac{1}{2} \log |K'VK| - \frac{1}{2} y'K(K'VK)^{-1} K'y.$

Afin de mieux visualiser la prise en compte des degrés de libertés, prenons le cas simple où $\mathbf{V} = \sigma^2 \mathbf{I}$, dans ce cas, l'équation 26 devient :

$$\begin{aligned}
 y'K(K'\hat{\sigma}^2K)^{-1}K'K(K'\hat{\sigma}^2K)^{-1}K'y &= tr((K'\hat{\sigma}^2K)^{-1}(K'K)) \quad (27) \\
 y'K(K'K)^{-1}K'y &= \hat{\sigma}^2 tr I_{(n-(q+p))} \\
 \frac{y'K(K'K)^{-1}K'y}{n-(q+p)} &= \hat{\sigma}^2
 \end{aligned}$$

où $q+p$ est le nombre de variables explicatives incluses dans le modèle.

La dérivée du logarithme d'un déterminant est donnée par :

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \log |K'VK|}{\partial \sigma_k^2} &= \frac{1}{|K'VK|} \frac{\partial |K'VK|}{\partial \sigma_k^2} \quad (28) \\
 &= \sum_i \sum_j \frac{|K'VK_{ij}|}{|K'VK|} \frac{\partial K'VK_{ij}}{\partial \sigma_k^2} \\
 &= \sum_i \sum_j K'VK^{ij} \frac{\partial K'VK_{ij}}{\partial \sigma_k^2} \\
 &= tr \left((K'VK)^{-1} \frac{\partial K'VK}{\partial \sigma_k^2} \right)
 \end{aligned}$$

où $|K'VK_{ij}|$ est le cofacteur de $K'VK_{ij}$ et $K'VK^{ij} = \frac{|K'VK_{ij}|}{|K'VK|}$ est l'élément ij de l'inverse de $K'VK$, enfin l'avant dernière ligne découle de la symétrie de la matrice de variance-covariance.

La dérivée de l'inverse peut être obtenue en différenciant l'identité suivante :

$$(K'VK)^{-1}(K'VK) \equiv I \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(K'VK)^{-1}(K'VK)}{\partial\sigma_k^2} &= \frac{\partial I}{\partial\sigma_k^2} \quad (30) \\ \frac{\partial(K'VK)^{-1}}{\partial\sigma_k^2}(K'VK) + (K'VK)^{-1}\frac{\partial(K'VK)}{\partial\sigma_k^2} &= 0 \end{aligned}$$

donc

$$\frac{\partial(K'VK)^{-1}}{\partial\sigma_k^2} = (K'VK)^{-1}\frac{\partial(K'VK)}{\partial\sigma_k^2}(K'VK)^{-1}. \quad (31)$$

A.3 Le modèle à effets fixes : un cas particulier du modèle mixte

Nous montrons ici que la méthodologie à effets fixes est un cas particulier du modèle mixte. Considérons les équations du modèle mixte d'Henderson⁴ :

$$\Omega = \begin{bmatrix} \sigma_\alpha^2 I_N & 0 \\ 0 & \sigma_\psi^2 I_J \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \\ \hat{\Lambda}^{-1}[X \ U] \\ \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \\ \hat{\Lambda}^{-1}[X \ U] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\Lambda}^{-1}[D \ F] \\ \hat{\Lambda}^{-1}[D \ F] + \hat{\Omega}^{-1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\eta} \\ \hat{\alpha} \\ \hat{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \\ \hat{\Lambda}^{-1}y \\ \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \\ \hat{\Lambda}^{-1}y \end{bmatrix}$$

où Ω est la matrice de variance-covariance des effets aléatoires. Les solutions du modèle mixte $(\hat{\beta}, \hat{\eta}, \hat{\alpha}, \hat{\psi})$ convergent vers les solutions moindres

⁴Voir l'équation 22 dans la section «Estimation» du chapitre 4.

carrés ordinaires quand $|\Omega| \rightarrow \infty$ (si $\Lambda = \sigma_\epsilon^2 I_{N^*}$)⁵. Dans ce sens, les solutions moindres carrés sont un cas particulier des solutions du modèle mixte.

En fait, le système d'équation devient :

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \\ [X \ U] \\ \begin{bmatrix} X' \\ U' \\ D' \\ F' \end{bmatrix} \\ [D \ F] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{\eta} \\ \hat{\alpha} \\ \hat{\psi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ U'y \\ D'y \\ F'y \end{bmatrix} .$$

⁵Dans ce cas, les équations du modèle mixte d'Henderson deviennent les équations normales des MCO.