



Munich Personal RePEc Archive

# **Adaptability vs complexity: on the efficiency of educational and technological choices**

Bruno Decreuse and Pierre Granier

GREQAM

August 2004

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/3721/>  
MPRA Paper No. 3721, posted 27 June 2007

# Adaptabilité et complexité: les choix éducatifs et technologiques sont-ils efficaces?

Bruno Decreuse\*et Pierre Granier†

Août 2004

**Résumé:** Trois faits majeurs ont bouleversé les marchés du travail européens: la complexification de l'environnement technologique, l'allongement de la durée de formation à vocation générale, et la montée du chômage. Ces trois faits traduisent-ils l'inefficacité des décisions éducatives et technologiques? Notre réponse prend place dans un modèle d'appariement où les entreprises choisissent la complexité des technologies et les travailleurs s'éduquent pour accroître leur adaptabilité. Nous montrons qu'il est nécessaire d'améliorer le fonctionnement du marché du travail et le système éducatif, plutôt que d'altérer les choix technologiques des firmes.

**Mots-clés** Frictions d'appariement; Hétérogénéité; Investissement ex-ante

**Keywords** Matching frictions; Heterogeneity; Ex-ante investment

**J.E.L. classification:** I20, J21, J60

---

\*GREQAM – Vieille Charité, 2 rue de la charité, 13236 Marseille cedex 02, France. E-mail: [decrease@ehess.univ-mrs.fr](mailto:decrease@ehess.univ-mrs.fr)

†Université de la Méditerranée, Greqam et Idep. E-mail: [granier@ehess.univ-mrs.fr](mailto:granier@ehess.univ-mrs.fr)

## 1. Introduction

La complémentarité entre les qualifications et les nouvelles technologies qui pourrait expliquer la progression parallèle du niveau d'éducation de la main-d'oeuvre et des inégalités salariales et/ou d'emploi observées dans la majorité des pays industrialisés fait aujourd'hui l'objet d'un large consensus<sup>1</sup>. Que cette complémentarité soit inhérente à la nature des nouvelles technologies ou que le changement technologique soit dirigé par l'augmentation du niveau éducatif de la force de travail peut faire débat (voir par exemple Acemoglu, 2002). Il demeure que l'amélioration des qualifications observables du côté de l'offre de travail, et la demande de compétences toujours plus élevées du côté de la demande constituent des tendances majeures des marchés du travail mondiaux. Reste à savoir si les performances du marché du travail et plus généralement de l'économie dans son ensemble bénéficient de ce que d'aucuns qualifient peut-être rapidement de cercle vertueux. Or, deux faits jettent le doute sur une conclusion trop hâtive. D'une part, et en dépit de la baisse observée durant les dernières années du 20e siècle, les taux de chômage européens demeurent à des niveaux élevés, du moins sans commune mesure avec les niveaux atteints dans les années 60. D'autre part, l'inadéquation entre l'offre et la demande de compétences persiste. C'est du moins ce que l'on peut inférer des déplacements de la courbe de Beveridge. A taux de postes vacants donnés, le taux de chômage est en effet beaucoup plus important aujourd'hui qu'il ne l'était il y a quelques décennies<sup>2</sup>. Les firmes ont-elles tendance à adopter des technologies trop sophistiquées? Les travailleurs sous-investissent-ils en éducation? Autrement dit, les décisions éducatives et technologiques sont-elles efficaces? C'est à cette question qu'est consacré cet article qui étudie les interactions entre les choix technologiques des firmes et ceux éducatifs des travailleurs en présence d'imperfections du marché du travail.

Nous considérons un modèle d'appariement où l'éducation et la complexité technologique sont endogènes. Ce modèle repose sur deux hypothèses principales. D'une part, la productivité des emplois ne dépend que de la complexité de la technologie choisie par les firmes, et non des caractéristiques du travailleur. D'autre part, l'éducation accroît la probabilité de pouvoir mettre en oeuvre des technologies complexes. Les travailleurs éduqués ne sont donc pas intrinsèquement plus productifs; mais ils leur est plus facile de s'adapter à des technologies complexes qui sont elles-mêmes plus productives.

Formellement, nous supposons qu'il est possible de résumer la connaissance humaine – du moins la fraction de cette connaissance utile à l'activité productive – à un continuum de savoirs élémentaires. Chaque travailleur acquiert durant sa scolarité un sous-ensemble

---

<sup>1</sup>Voir entre autres Krueger (1993), Autor, Katz et Krueger (1998), Machin et Van Reenen (1998).

<sup>2</sup>Ce déplacement constaté de la courbe de Beveridge traduit la dégradation de l'efficacité du processus d'appariement entre chômeurs et postes vacants.

de ces savoirs, dont la mesure augmente avec le temps passé dans le système éducatif. Symétriquement, une technologie est caractérisée par un sous-ensemble de savoirs nécessaires à son utilisation. Elle est donc d'autant plus complexe que la mesure de ce sous-ensemble est élevée. Une technologie plus complexe est plus productive. Cependant, un travailleur ne peut mettre en oeuvre une technologie que s'il maîtrise l'ensemble des savoirs mobilisés par la technologie.

C'est à ce stade qu'interviennent les frictions à l'oeuvre sur le marché du travail. Dans un environnement walrasien, tout travailleur peut contacter n'importe quel employeur à tout instant. Les travailleurs sont alors affectés sur les technologies les plus complexes qu'ils maîtrisent et il est alors équivalent que la productivité soit donnée par la complexité technologique ou par le niveau d'éducation du travailleur. La prise en compte explicite de frictions d'appariement modifie considérablement cette analyse. Ces frictions introduisent des délais dans la mise en contact des postes vacants et des chômeurs. Ces délais engendrent à leur tour une incertitude sur les caractéristiques du partenaire rencontré. L'adaptabilité constitue alors une qualité essentielle lors de la recherche d'emploi; la complexité technologique est en revanche un handicap sérieux si l'on désire pourvoir son emploi rapidement. Ainsi, plus un travailleur est éduqué, plus la probabilité qu'il puisse mettre en oeuvre une technologie complexe est élevée. De la même manière, plus une technologie est complexe, moins il est vraisemblable de contacter un travailleur apte à son utilisation<sup>3</sup>.

Nous analysons dans ce cadre formel l'efficacité du fonctionnement de l'économie décentralisée. Comme il y a trois types de décision (nombre de postes vacants, durée de formation, complexité technologique), trois sources potentielles d'inefficacité sont envisageables. Premièrement, nous retrouvons le résultat célèbre (voir Hosios, 1990) selon lequel le mode de détermination des salaires ne permet pas le plus souvent d'internaliser les externalités de congestion spécifiques au marché des appariements. L'économie est donc susceptible d'engager des ressources trop ou pas assez importantes dans le fonctionnement du marché des appariements. Deuxièmement, l'éducation entraîne une externalité dès lors qu'elle affecte la profitabilité des emplois vacants. En effet, une force de travail plus éduquée facilite le pourvoi des postes vacants, en réduisant le degré d'inadéquation entre les compétences demandées et les compétences offertes. L'éducation des uns profite donc aux autres car elle attire davantage de firmes sur le marché des appariements. Or, les négociations salariales ex-post ne permettent pas de rémunérer cet aspect de

---

<sup>3</sup>Plusieurs travaux empiriques sur données microéconomiques mettent en avant les difficultés de recrutement rencontrées par les firmes qui investissent dans des technologies plus avancées. Murnane et Levy (1996) suggèrent que ces firmes consacrent davantage de ressources en tests ou entretiens pour procéder à leurs recrutements. Barron et al (1985) montrent que le nombre d'entretiens de recrutement par emploi offert augmente avec le niveau éducatif requis.

l'investissement éducatif. Le rendement social de l'éducation est donc supérieur au rendement privé et les individus sous-investissent en éducation. Troisièmement, les choix technologiques ne véhiculent aucune externalité. La raison est que ce sont les mêmes agents – les firmes – qui décident simultanément du degré de complexité de la technologie utilisée et d'entrer ou non sur le marché des appariements. Ces résultats ont d'importantes conséquences pour la politique économique. Il faut en effet consacrer celle-ci à l'amélioration du fonctionnement du marché du travail, et subventionner l'allongement de la durée de formation. En revanche, il n'y a pas lieu d'altérer les choix technologiques des firmes.

L'analyse des choix éducatifs en présence de frictions sur le marché du travail a déjà fait l'objet de nombreux travaux. Laing, Palivos et Wang (1995) ou Burdett et Smith (2002) mettent en évidence l'existence de trappes à chômage élevé et basse qualification qui résultent des interdépendances entre l'éducation des travailleurs et la création d'emploi des firmes. Acemoglu (1996) envisage le cas où les firmes investissent en capital physique tandis que les travailleurs investissent en éducation. Il met en évidence deux sources distinctes d'inefficacité produites par les frictions: un problème de hold-up qui résulte du partage de rente inhérent aux négociations salariales ex-post et un problème d'allocation des travailleurs sur les emplois qui émerge lorsque les investisseurs sont hétérogènes et que le processus d'appariement est imparfait. Moen (1999) et Charlot et Decreuse (2004) mettent à l'inverse l'accent sur le surinvestissement dans l'éducation. Le premier souligne les effets pervers de la compétition pour l'emploi et les seconds l'insuffisante auto-sélection dans le système éducatif d'agents hétérogènes.

L'un des points communs aux travaux qui précèdent et qui les distinguent radicalement de notre analyse est de s'appuyer sur l'approche traditionnelle du capital humain qui assimile ce dernier à un facteur de production. L'idée que la contribution principale de l'éducation consiste à améliorer l'adaptabilité des travailleurs se rapproche de la vision du rôle de l'éducation sur la croissance défendue par Nelson et Phelps (1966). Ceux-ci soulignent deux effets essentiels de l'éducation, qui affecte à la fois la capacité à s'adapter au changement technologique et la capacité à innover<sup>4</sup>. Contrairement à Nelson et Phelps, notre approche n'implique qu'une complémentarité par nature entre les qualifications et

---

<sup>4</sup>Cette vision est soutenue par de nombreux travaux empiriques. Benhabib et Spiegel (1994) concluent ainsi leur célèbre étude sur la croissance: *“The results suggest that the role of human capital is indeed one of facilitating adoption of technology from abroad and creation of appropriate domestic technologies rather than enterring on its own as a factor of production”*. Bartel et Lichtenberg (1987) qui utilisent l'âge des équipements comme proxy du changement technologique montrent que les travailleurs éduqués bénéficient d'un avantage comparatif dans la mise en oeuvre des technologies avancées. Dunne et Schmitz (1995) et Doms, Dunne et Troske (1997) montrent sur des données d'établissement que les établissements qui utilisent des technologies avancées emploient une fraction substantiellement plus élevée de travailleurs qualifiés.

la complexité technologique mais aucune entre les qualifications et le changement technique. Si le changement technique induit une augmentation de la productivité relative des technologies peu complexes la demande de qualifications n'augmentera pas durant les périodes d'intense changement technique.

Charlot, Decreuse et Granier (2003) étudient l'efficacité des investissements éducatifs lorsque l'éducation améliore à la fois l'adaptabilité et la productivité des travailleurs. Cet article constitue de ce point de vue une extension à ce travail en endogénéisant les décisions technologiques des firmes et en étudiant leurs interactions avec les choix éducatifs des travailleurs.

Le reste de l'article se présente comme suit: la section 2 présente le cadre d'analyse. La section 3 est consacrée aux choix éducatifs et technologiques. La section 4 examine l'équilibre décentralisé et la section 5 son efficacité. La dernière section propose quelques remarques conclusives<sup>5</sup>.

## 2. Le modèle

L'économie comprend un continuum de petites entreprises identiques associées chacune à un emploi unique pouvant être inactif, vacant ou occupé. La force de travail, de mesure normalisée à un, est constituée d'individus soumis au risque de décès  $\delta$  constant, qui représente également le taux de natalité. Les individus comme les firmes sont supposés neutres face au risque et escomptent le temps au taux instantané  $\rho > 0$ . Les individus intègrent dès leur naissance le système éducatif pour une durée qu'ils choisissent et le quittent pour débiter une activité de recherche sur le marché du travail.

*Education et technologie.* L'état de la connaissance est constitué d'un continuum de mesure un de savoirs de base répartis sur un cercle. Les individus sont à leur naissance uniformément répartis sur ce cercle, cette localisation initiale représentant leur goût ou leur aptitude vis-à-vis des différents domaines de la connaissance. Un individu qui consacre une durée  $s$  à son éducation assimile une fraction  $H(s)$  des savoirs de base situés de part et d'autre de sa localisation initiale. L'ensemble des savoirs maîtrisés par un individu localisé en  $i$  sur le cercle et de niveau d'éducation  $s$  correspond donc à l'intervalle  $\mathbf{H}_{si} \equiv [i - H(s)/2, i + H(s)/2]$ , étant entendu que toute localisation est définie modulo 1. La fonction  $H$  est supposée vérifier les propriétés suivantes:  $H'(s) > 0$ ,  $H''(s) \leq 0 \forall s \geq 0$ ,  $H(0) = 0$ , et  $\lim_{s \rightarrow \infty} H(s) < 1$ . Ainsi, les savoirs maîtrisés sont d'autant plus nombreux que l'individu s'éduque longuement, et la difficulté de l'apprentissage s'accroît à mesure que les savoirs appris s'éloignent des goûts et aptitudes naturels de celui qui s'éduque.

---

<sup>5</sup>Pour des questions de place, toutes les démonstrations sont regroupées dans une annexe technique disponible auprès des auteurs.

Une technologie mobilise un sous-ensemble de savoirs de base particulier et ne peut être mise en oeuvre que par un travailleur disposant de la maîtrise de la totalité de ces savoirs. On appelle complexité d'une technologie la mesure du sous-ensemble de savoirs qu'elle incorpore/requiert pour son utilisation. A l'instar des travailleurs, les firmes sont réparties uniformément sur l'ensemble des savoirs. Lorsqu'une nouvelle firme apparaît, elle choisit la complexité de sa technologie, c'est-à-dire la proportion de savoirs mobilisés situés de part et d'autre de sa localisation sur l'ensemble des savoirs. Les compétences requises pour pouvoir opérer sur une technologie de complexité  $n$  au sein d'une firme localisée en  $j$  correspondent donc à l'intervalle  $\mathbf{H}_{nj} \equiv [j - n/2, j + n/2]$ . La productivité d'un emploi occupé ne dépend que de la complexité de la technologie utilisée, et non des caractéristiques du travailleur. On note  $f(n)$  cette productivité, où la fonction  $f$  vérifie les propriétés suivantes:  $f'(n) > 0$ ,  $f''(n) \leq 0 \forall n \geq 0$ , et  $f(0) = 0$ .

*Le marché des rencontres et la probabilité d'embauche.* Les rencontres entre postes vacants et chômeurs se produisent sur un marché unique qui mêle toutes les compétences et toutes les technologies. Le nombre de contacts entre postes vacants et chômeurs est déterminé par une fonction d'appariement dont les arguments sont les nombres respectifs de participants sur chaque côté du marché. Si l'on note  $U$  la masse des chômeurs et  $V$  celle des postes vacants, le nombre de contacts  $M$  est donné par  $M \equiv m(U, V)$ . La fonction d'appariement  $m$  satisfait toutes les hypothèses d'une technologie néoclassique<sup>6</sup>. Ces rencontres sont uniformément réparties de chaque côté du marché. Ceci signifie qu'un chômeur de localisation donnée peut rencontrer n'importe quel type de firme, et réciproquement. En notant  $\theta \equiv V/U$  la tension du marché du travail, les taux de rencontre pour un chômeur et un poste vacant s'écrivent respectivement  $\mu(\theta) \equiv m(1, \theta)$  et  $\eta(\theta) = m(1, \theta) / \theta$ . La fonction  $\mu$  est strictement croissante et la fonction  $\eta$  strictement décroissante. En outre, on note  $\alpha \equiv \alpha(\theta) \equiv \theta \mu'(\theta) / \mu(\theta)$  l'élasticité du taux de rencontre  $\mu$  vis-à-vis de la tension.

Une rencontre ne peut donner lieu à une embauche que si le travailleur maîtrise l'ensemble des savoirs requis par la technologie utilisée par la firme. Formellement, un travailleur localisé en  $i$  de durée de formation  $s$  peut opérer avec succès dans une firme localisée en  $j$  et utilisant une technologie de complexité  $n$  si et seulement si  $\mathbf{H}_{nj} \subset \mathbf{H}_{si}$ . Il est donc nécessaire de considérer la probabilité qu'une rencontre prise au hasard parmi l'ensemble des contacts se traduise par un appariement. Pour simplifier le raisonnement, nous nous plaçons directement à l'équilibre symétrique. Nous considérons donc alterna-

---

<sup>6</sup>Plus précisément,  $m$  est au moins deux fois continûment différentiable, strictement croissante, strictement concave en chacun de ses arguments, et homogène de degré un. Elle satisfait également aux conditions d'Inada et aux conditions de bord  $m(x, 0) = m(0, x) = 0$  pour tout  $x \geq 0$ . Ces différentes propriétés garantissent l'existence d'un équilibre stationnaire.

tivement la situation d'un travailleur d'éducation  $s$ , la complexité technologique commune aux firmes  $\bar{n}$  étant donnée, puis la situation d'une firme de complexité  $n$ , l'éducation commune aux travailleurs  $\bar{s}$  étant donnée. Individus et firmes étant uniformément répartis sur l'espace des savoirs, la probabilité que le travailleur d'éducation  $s$  soit embauchable est  $P(s, \bar{n}) = H(s) - \bar{n}$ . De la même manière, la probabilité qu'un emploi vacant associé à une technologie de complexité  $n$  soit pourvu lors d'une rencontre s'écrit  $P(\bar{s}, n) = H(\bar{s}) - n$ .

Le taux de sortie individuel du chômage est égal au produit du taux de contact par la probabilité d'embauche, c'est-à-dire  $\mu(\theta)P(s, \bar{n})$ . Il dépend donc positivement de l'éducation du travailleur et négativement de la complexité technologique commune à toutes les firmes. L'éducation vue comme un investissement procure ainsi un rendement en terme d'emploi puisqu'elle favorise une sortie plus rapide du chômage. Cependant, comme nous le verrons plus loin, l'éducation procure également un rendement salarial en raison de l'amélioration induite de la position du travailleur lors de la négociation salariale. Symétriquement, le taux auquel une firme de complexité technologique  $n$  pourvoit son poste vacant est  $\eta(\theta)P(\bar{s}, n)$ . Il dépend donc négativement de l'effort éducatif des travailleurs et positivement du degré de complexité de la technologie utilisée. Le choix d'une technologie plus complexe a donc un coût en terme d'allongement de la durée anticipée de vacance du poste.

*La détermination des salaires.* Un travailleur d'éducation  $s$  utilisant une technologie de complexité  $n$  perçoit le flux de salaire  $w(s, n)$ . Pour simplifier, les chômeurs ne bénéficient d'aucun revenu. Les emplois occupés subissent le taux de destruction exogène  $q$ . Soit  $W^e(s, n)$  l'utilité intertemporelle espérée d'un travailleur d'éducation  $s$  utilisant une technologie de complexité  $n$ , et  $W^u(s)$  celle d'un chômeur d'éducation  $s$ . En posant  $r \equiv \rho + \delta$ , celles-ci sont respectivement définies par:

$$rW^e(s, n) = w(s, n) + q[W^u(s) - W^e(s, n)] \quad (2.1)$$

$$rW^u(s) = \mu(\theta)[H(s) - \bar{n}][W^e(s, \bar{n}) - W^u(s)] \quad (2.2)$$

La recherche d'emploi est coûteuse pour les firmes qui consacrent à chaque instant du temps une dépense  $\gamma$  à cette activité. Cette dépense est l'unique coût de création d'un emploi vacant. On note respectivement  $J(s, n)$  et  $V(n)$  la valeur d'un emploi occupé et celle d'un emploi vacant. Elles sont définies par:

$$rJ(s, n) = f(n) - w(s, n) + q[V(n) - J(s, n)] + \delta V(n) \quad (2.3)$$

$$\rho V(n) = -\gamma + \eta(\theta)[H(\bar{s}) - n][J(\bar{s}, n) - V(n)] \quad (2.4)$$

L'issue des négociations est donnée par la solution asymétrique de Nash. Soit, en notant  $\beta \in ]0, 1[$  le pouvoir de négociation des travailleurs:

$$\beta[J(s, n) - V(n)] = (1 - \beta)[W^e(s, n) - W^u(s)] \quad (2.5)$$



Des équations (2.1) et (2.3) on déduit l'expression du salaire négocié :

$$w(s, n) = rW^u(s) + \beta [f(n) - rW^u(s) - \rho V(n)] \quad (2.6)$$

Le salaire négocié est égal au salaire de réservation du travailleur  $rW^u(s)$  augmenté d'une part  $\beta$  de la rente produite par une embauche.

Dans la section suivante, nous caractérisons les choix éducatifs des individus, ainsi que les choix technologiques des firmes.

### 3. Choix éducatif et choix technologique

Dans une perspective d'équilibre partiel, les agents prennent leurs décisions en considérant donnés la tension et les choix des autres agents, firmes ou travailleurs. Nous procédons en deux temps: nous étudions d'abord les choix éducatifs, puis les choix technologiques.

*L'éducation.* Nous étudions la durée optimale de formation d'un agent particulier, étant donné la complexité technologique  $\bar{n}$  choisie par l'ensemble des firmes, la tension du marché du travail  $\theta$  et la satisfaction de la condition de libre entrée  $V(\bar{n}) = 0$ . Les individus intègrent dès leur naissance le système éducatif qu'ils quittent à l'issue de leurs études pour rejoindre le marché du travail en tant que demandeurs d'emploi. Les études sont supposées totalement gratuites, le seul coût de l'éducation est donc un coût d'opportunité. La durée optimale des études maximise alors la valeur actualisée de la recherche d'emploi du futur chômeur:

$$\hat{s} \in \arg \max_{s \geq 0} \exp(-rs) W^u(s) \quad (3.1)$$

La durée optimale d'éducation égalise le coût marginal privé de l'éducation  $rW^u(\hat{s})$  au rendement marginal privé  $dW^u(\hat{s})/ds$ .

A l'aide des équations (2.1), (2.2) et (2.6), on obtient l'expression du salaire négocié et de la valeur de la recherche d'un emploi:

$$w(s, \bar{n}) = \beta f(\bar{n}) \frac{r + q + \mu(\theta) [H(s) - \bar{n}]}{r + q + \beta \mu(\theta) [H(s) - \bar{n}]} \quad (3.2)$$

$$rW^u(s) = \frac{\mu(\theta) [H(s) - \bar{n}]}{r + q + \mu(\theta) [H(s) - \bar{n}]} w(s, \bar{n}) \quad (3.3)$$

On note  $\lambda(s, \bar{n}) \equiv H'(s) / [H(s) - \bar{n}]$  le taux de rendement de l'éducation conditionnel à la complexité technologique  $n$ . Le bénéfice marginal de l'éducation s'écrit:

$$\frac{dW^u(s)}{ds} = W^u(s) \left[ \frac{\lambda(s, \bar{n})(r+q)}{r+q+\mu(\theta)(H(s)-\bar{n})} + \frac{(r+q)(1-\beta)}{r+q+\mu(\theta)(H(s)-\bar{n})} \frac{\lambda(s, \bar{n})\mu(\theta)(H(s)-\bar{n})}{r+q+\beta\mu(\theta)(H(s)-\bar{n})} \right] \quad (3.4)$$

Cette expression fait apparaître deux composantes dans le rendement marginal de l'éducation. Le premier terme du crochet correspond au *rendement d'emploi*. Une augmentation de

la durée des études accroît la probabilité d'être embauché à la suite d'un contact avec un employeur potentiel, et réduit donc la durée moyenne des épisodes de chômage. Le second terme représente le *rendement salarial*. Même si l'éducation n'affecte pas la productivité, elle produit un rendement salarial dont la source se situe dans l'amélioration des opportunités externes qui renforce la position du travailleur dans la négociation salariale. On remarquera que toutes choses égales par ailleurs, ce rendement diminue avec la part  $\beta$  du surplus capturée par le travailleur.

La durée optimale d'éducation est finalement donnée par l'expression suivante:

$$\lambda(\widehat{s}, \bar{n}) = r + \frac{r}{r+q} \beta \mu(\theta) [H(\widehat{s}) - \bar{n}] \quad (3.5)$$

Premièrement, la durée de formation décroît avec le pouvoir de négociation  $\beta$ , qui réduit le rendement salarial de l'éducation. Si le pouvoir de négociation est élevé, la rémunération est davantage dépendante des conditions de production internes à la firme, et moins des opportunités externes. Deuxièmement, la durée de formation décroît également avec le taux de contact  $\mu$ , et donc avec la tension du marché des appariements  $\theta$ . Cette propriété ne fait que traduire le fait que l'éducation n'est désirée qu'à partir du moment où la mobilité est limitée. Troisièmement, la durée de formation augmente avec la complexité technologique. Cet effet ne saurait être attribué au lien entre complexité et productivité. Un travailleur donné ne peut internaliser un tel lien dès lors que le choix technologique est effectué ex-ante, et le marché des appariements est non-segmenté par technologie. En revanche, la complexité technologique détériore la probabilité qu'une rencontre se traduise par une embauche, ce qui stimule l'investissement éducatif.

*La complexité technologique.* Les entreprises choisissent la complexité technologique à l'éducation des travailleurs  $\bar{s}$  et complexité technologique des autres firmes données. Comme cette dernière n'altère les revenus de la firme dont on étudie les choix qu'au travers de son impact sur la valeur de la recherche d'emploi des chômeurs, nous considérons directement que la valeur de la recherche d'emploi  $W^u(\bar{s})$  est donnée. La complexité technologique optimale résulte de

$$\widehat{n} \in \arg \max_{n \geq 0} \rho V(n) \quad (3.6)$$

La condition du premier ordre s'écrit:

$$J(\bar{s}, \widehat{n}) - V(\widehat{n}) = (1 - \beta) [H(\bar{s}) - \widehat{n}] \frac{f'(\widehat{n})}{r+q} \quad (3.7)$$

Le terme à gauche du signe d'égalité est le coût marginal de la complexité, induit par la diminution de la probabilité qu'un travailleur rencontré soit apte à opérer sur la technologie. Le terme de droite est le bénéfice marginal de la complexité, qui transite par

une augmentation de la productivité de l'emploi. Dans la mesure où il y a partage de rente entre le salarié et le chômeur, l'accroissement marginal de la production actualisée est amputée de la fraction  $\beta$  qui revient au salarié.

On peut réécrire la condition (3.7) à l'aide des équations (2.3) et (2.6):

$$f(\hat{n}) - rW^u(\bar{s}) - \rho V(\hat{n}) = [H(\bar{s}) - \hat{n}] f'(\hat{n}) \quad (3.8)$$

Cette équation met en exergue deux propriétés importantes. Premièrement, toute amélioration de la position de repli du futur travailleur, son salaire de réservation  $rW^u(\bar{s})$ , entraîne une baisse du coût d'opportunité de la complexité technologique, ce qui incite les firmes à adopter des technologies plus sophistiquées. Comme (3.3) montre que le salaire de réservation augmente avec la tension du marché du travail, les firmes sont donc incitées à choisir une technologie d'autant plus complexe que la tension est importante. Deuxièmement, à salaire de réservation donné, une augmentation de la durée des études et donc du spectre de savoirs maîtrisés par les travailleurs augmente la probabilité qu'un emploi utilisant une technologie complexe soit pourvu rapidement, ce qui élève le rendement de la complexité. C'est pourquoi la complexité technologique augmente avec la durée moyenne de formation de la main d'oeuvre. En termes de théorie des jeux, les stratégies technologiques des firmes et les stratégies éducatives des individus sont des compléments stratégiques, l'externalité sous-jacente étant négative.

#### 4. Education et complexité technologique à l'équilibre

Dans cette section, nous caractérisons l'équilibre de l'économie décentralisée. Nous mettons en avant trois propriétés. Premièrement, l'équilibre est unique, en dépit de la présence de complémentarité stratégique entre les choix technologiques des firmes et les choix éducatifs des individus. Deuxièmement, la durée de formation est une fonction décroissante, puis croissante du pouvoir de négociation, atteignant son minimum lorsque la célèbre condition d'Hosios est satisfaite. Troisièmement, la complexité technologique est une fonction croissante puis décroissante du même pouvoir de négociation, atteignant son maximum lorsque la condition d'Hosios est satisfaite.

*Equilibre.* A l'équilibre symétrique, toutes les firmes choisissent la même complexité technologique –  $\bar{n} = \hat{n} = n$  – et tous les individus choisissent la même durée de formation –  $\bar{s} = \hat{s} = s$ . La condition de libre entrée impose en sus la nullité de la valeur d'un poste vacant, soit  $V(n) = 0$ . Ces deux conditions, équilibre symétrique et libre entrée, nous permettent de caractériser simultanément les choix technologiques des firmes, les choix éducatifs des individus et la tension du marché du travail.

Ainsi, il vient des équations (2.1)-(2.4) et (2.6):

$$\frac{\gamma}{\eta(\theta) [H(s) - n]} = \frac{(1 - \beta) f(n)}{r + q + \beta\mu(\theta) [H(s) - n]} \quad (\text{LE})$$

$$\lambda(s, n) = r + \frac{r}{r + q} \beta\mu(\theta) [H(s) - n] \quad (\text{CE})$$

$$\frac{f(n)}{r + q + \beta\mu(\theta) [H(s) - n]} = [H(s) - n] \frac{f'(n)}{r + q} \quad (\text{CT})$$

L'équation (LE) résulte de la condition de libre entrée. Elle permet d'exprimer la tension du marché du travail comme une fonction de l'éducation  $s$  et de la complexité technologique  $n$ , soit  $\theta(s, n)$ . On observe que  $\partial\theta(s, n)/\partial s > 0$ . Une main-d'oeuvre plus éduquée augmente la profitabilité des emplois car le délai de vacance de ces emplois est plus bref: plus les individus sont éduqués, plus il y a de chances que leurs compétences soient compatibles avec les exigences technologiques des firmes. Cet effet l'emporte sur l'augmentation du salaire. En outre, on vérifie facilement qu'il existe une unique complexité  $n_{\text{lim}} \equiv n_{\text{lim}}(\theta, s)$  telle que  $\partial\theta(s, n)/\partial n \gtrless 0$  selon que  $n \lesseqgtr n_{\text{lim}}$ . La complexité technologique exerce deux effets sur la tension. Un effet positif d'une part, puisqu'elle augmente la productivité et donc la profitabilité des emplois. Un effet négatif d'autre part, puisqu'elle réduit la probabilité de recrutement d'un travailleur adéquat. L'effet positif domine pour de faibles valeurs de la complexité, mais devient dominé par la suite.

Les équations (CE) et (CT) résument, respectivement, les choix éducatifs des individus et les choix technologiques des firmes. Nous avons examiné leurs propriétés lors de la section précédente. On peut donc déduire de (CE) l'éducation comme une fonction de la tension du marché du travail et de la complexité technologique, soit  $\mathbf{s}(\theta, n)$ , avec  $\partial\mathbf{s}(\theta, n)/\partial\theta < 0$ , et  $\partial\mathbf{s}(\theta, n)/\partial n > 0$ . De la même façon, on peut déduire de (CT) la complexité technologique comme une fonction de la tension et de l'éducation, soit  $\mathbf{n}(\theta, s)$ , avec  $\partial\mathbf{n}(\theta, s)/\partial\theta > 0$ , et  $\partial\mathbf{n}(\theta, s)/\partial s > 0$ .

*Existence et unicité de l'équilibre.* Un équilibre est un vecteur  $(\theta^*, s^*, n^*) > 0$  tel que  $\theta^* = \theta(s^*, n^*)$ ,  $s^* = \mathbf{s}(\theta^*, s^*)$ , et  $n^* = \mathbf{n}(\theta^*, s^*)$ . Intuitivement, la complémentarité stratégique entre éducation et complexité technologique met en doute l'unicité de l'équilibre. Toutefois, en combinant (CT) et (CE), on peut mettre en exergue une relation *négative* qui unit éducation et complexité technologique. Ainsi,

$$H'(s) = r \frac{f(n)}{f'(n)} \quad (4.1)$$

On la note  $s = \sigma(n)$ ,  $\sigma'(n) < 0$ . La détermination de l'équilibre se ramène alors au calcul du point fixe suivant:

$$s = \mathbf{s}(\theta(s, \sigma^{-1}(s)), \sigma^{-1}(s)) \quad (4.2)$$

Les propriétés des différentes fonctions impliquent que le terme à droite du signe d'égalité est strictement décroissant en  $s$ . L'existence d'un unique équilibre en résulte.

*Impact de la règle de partage.* Nous nous concentrons sur l'effet du pouvoir de négociation des travailleurs sur l'éducation et la complexité technologique d'équilibre. Dans la mesure où ces deux variables sont unies par la relation (4.1) qui n'inclut pas de terme en  $\beta$ , on a

$$\frac{ds^*}{d\beta} = \sigma'(n^*) \frac{dn^*}{d\beta} \quad (4.3)$$

Ainsi, l'éducation connaît une évolution strictement opposée à celle de la complexité technologique lorsque le pouvoir de négociation varie. En utilisant les notations introduites ci-dessus, il vient

$$\frac{dn^*}{d\beta} = \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial \beta} + \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial \theta} \frac{d\theta^*}{d\beta} + \frac{\partial \mathbf{n}}{\partial s} \frac{ds^*}{d\beta} \quad (4.4)$$

$$\frac{d\theta^*}{d\beta} = \frac{\partial \theta}{\partial \beta} + \frac{\partial \theta}{\partial n} \frac{dn^*}{d\beta} + \frac{\partial \theta}{\partial s} \frac{ds^*}{d\beta} \quad (4.5)$$

Or,  $\partial \theta(s^*, n^*) / \partial n = 0$  car  $n^* = n_{\text{lim}}(\theta^*, s^*)$ . En effet, la complexité technologique d'équilibre maximise la valeur d'un poste laissé à l'état vacant. Une variation marginale de celle-ci ne peut donc avoir d'impact sur la tension du marché des appariements. Par conséquent,  $dn^*/d\beta$  est du signe de  $\partial \mathbf{n} / \partial \beta + (\partial \mathbf{n} / \partial \theta) (d\theta / d\beta)$ . La présence d'une variable de décision supplémentaire, *ie* l'éducation, n'altère pas l'impact du pouvoir de négociation sur les choix technologiques. Cet impact est donc la résultante de deux effets opposés portant sur le coût marginal de la complexité technologique à savoir son coût d'opportunité égal à la valeur d'un poste occupé. Le coût salarial de la complexité diminue lorsque le pouvoir de négociation augmente tandis que le coût d'emploi s'apprécie en raison de la diminution de la tension. La complexité technologique atteint un maximum lorsque la condition d'Hosios est satisfaite. Cette relation non monotone est représentée sur le graphique 1a.

[Graphiques 1a et 1b]

Symétriquement, un pouvoir de négociation des travailleurs plus important réduit le rendement salarial de l'éducation, mais la diminution induite de la tension élève le rendement d'emploi. Le premier effet l'emporte lorsque le pouvoir de négociation est faible et le second lorsqu'il est élevé. Les deux se compensent exactement lorsque la condition d'Hosios est satisfaite, condition pour laquelle la durée des études atteint un minimum. Cette relation est représentée sur le graphique 1b.

*Chômage et durée du chômage.* En guise de préliminaire à l'analyse du bien-être qui occupe la section suivante, on peut déduire de ces propriétés l'impact du pouvoir de

négociation sur le chômage et la durée du chômage. Commençons par calculer le taux de chômage stationnaire  $u$ . Le flux d'entrants dans le système éducatif est égal au flux de naissance  $\delta$ . La mesure de la population active est donc  $1 - \int_0^s \delta e^{-\delta z} dz = e^{-\delta s}$ . Le flux d'entrants au chômage est constitué des individus qui quittent le système scolaire et des travailleurs dont l'emploi est détruit, soit  $\delta e^{-\delta s} + q e^{-\delta s} (1 - u)$ . Le flux de sortie du chômage est égal au flux de chômeurs décédés et au flux de sortie vers l'emploi, soit  $\delta e^{-\delta s} u + \mu(\theta) [H(s) - n] e^{-\delta s} u$ . On en déduit le taux de chômage stationnaire

$$u = \frac{\delta + q}{\delta + q + \mu(\theta) [H(s) - n]} \quad (4.6)$$

qui dépend négativement de la tension et de l'éducation, et positivement de la complexité des technologies. Le choix de technologies plus complexes entraîne ainsi un déplacement vers la droite de la courbe de Beveridge qui reflète l'accroissement induit des phénomènes de mismatch. Inversement, l'allongement de la durée des études ramène la courbe de Beveridge vers la gauche. Une augmentation du pouvoir de négociation des travailleurs génère un allongement de la durée des épisodes de chômage et une hausse du taux de chômage. Lorsque le pouvoir de négociation des travailleurs est faible ( $\beta < 1 - \alpha$ ), cet allongement provient à la fois de la moindre création d'emploi et d'un plus faible taux de succès des rencontres dû à la baisse de la durée de formation et à l'accroissement de la complexité technologique. Lorsque le pouvoir de négociation est important ( $\beta > 1 - \alpha$ ), l'allongement de l'éducation et le choix de technologies moins complexes augmente le taux de succès des rencontres mais l'effet négatif sur la création d'emploi domine.

## 5. Efficience

Cette section examine l'efficience de l'équilibre décentralisé en comparant l'allocation des ressources correspondante à celle qui résulte du choix d'un planificateur bienveillant. Dans un souci de simplification, nous négligeons la préférence pour le présent  $\rho \rightarrow 0$  de sorte que l'objectif du planificateur se ramène à la maximisation du flux stationnaire de production net des coûts de recherche. Le programme du planificateur qui contrôle la tension, la durée de formation et le degré de complexité technologique s'écrit:

$$(\theta^s, s^s, n^s) \in \arg \max_{\theta, s, n} \{e^{-\delta s} (1 - u) f(n) - \gamma V\} \quad (5.1)$$

Le programme est contraint par la courbe de Beveridge, qui lie le taux de chômage à l'éducation, la complexité technologique et la tension du marché des rencontres, ainsi que par la définition de la tension  $V = \theta u e^{-\delta s}$ .

A partir des conditions du premier ordre, on obtient la caractérisation suivante de

l'allocation efficace:

$$\frac{\gamma}{\eta(\theta)[H(s) - n]} = \frac{\alpha(\theta)f(n)}{\delta + q + (1 - \alpha(\theta))\mu(\theta)[H(s) - n]} \quad (5.2)$$

$$\lambda(s, n) = (1 - \alpha(\theta)) \left[ \delta + \frac{\delta}{\delta + q} \mu(\theta)[H(s) - n] \right] \quad (5.3)$$

$$\frac{f(n)}{r + q + (1 - \alpha(\theta))\mu(\theta)[H(s) - n]} = [H(s) - n] \frac{f'(n)}{r + q} \quad (5.4)$$

Il est alors possible de diagnostiquer l'efficacité du fonctionnement décentralisé de l'économie en comparant les équations (LE)-(CT) aux équations (5.2)-(5.4). Quatre enseignements peuvent être dégagés.

(i) *Le fonctionnement du marché du travail est le plus souvent inefficace.* Nous retrouvons le résultat usuel (cf Hosios, 1990) selon lequel les externalités usuelles de congestion ne peuvent être internalisées à moins que le pouvoir de négociation  $\beta = 1 - \alpha(\theta^s)$ . Ainsi, quand bien même les choix technologiques et éducatifs seraient efficaces, le marché du travail est susceptible d'absorber trop ( $\beta < 1 - \alpha(\theta^s)$ ) ou pas assez ( $\beta > 1 - \alpha(\theta^s)$ ) de ressources productives pour assurer son fonctionnement.

(ii) *Il n'y a pas de phénomène de hold-up.* Comme dans Acemoglu (1996), et Acemoglu et Shimer (1999), les agents présents sur les deux côtés du marché doivent effectuer un investissement ex-ante, c'est-à-dire avant de connaître les caractéristiques de leur futur partenaire. Ce manque d'information sur le co-contractant conduit à l'incomplétude des contrats de travail, qui ne lient pas directement la rémunération à l'investissement éducatif. C'est le cas du partage de rente selon la solution asymétrique de Nash au problème de négociation. Le partage de rente ex-post donne traditionnellement naissance à des phénomènes de hold-up comme les a décrits initialement Grout (1984). Le problème est le suivant: firmes et travailleurs paient la totalité du coût marginal afférant à leur investissement, mais ne perçoivent qu'une fraction de son rendement marginal. Les incitations à investir sont alors trop faibles, ce qui conduit au sous-investissement. Or, ce n'est pas ce qui se produit dans notre modèle, en dépit du caractère ex-ante des investissements productifs. La raison tient au fait qu'à la fois dans le cas des individus et des firmes, le coût marginal de l'investissement est endogène et proportionnel au gain engendré par l'investissement. Dans le cas des travailleurs, le coût marginal correspond au coût d'opportunité des études, c'est-à-dire le flux d'utilité déduit de la quête d'un emploi. Dans le cas des firmes, le coût marginal est égal à la valeur de l'emploi une fois occupé, puisqu'un accroissement marginal de la complexité technologique induit une réduction égale de la probabilité de recruter un travailleur adéquat. Autrement dit, comme à la fois le coût et le rendement des investissements sont victimes de hold-up, celui-ci n'a aucune conséquence sur les choix éducatifs et technologiques. Il suit qu'il ne faut pas

attendre de l'interaction stricto sensu des choix éducatifs et technologiques une source d'inefficacité. Si cette interaction est inefficace, c'est parce qu'elle affecte les stratégies d'entrée des firmes sur le marché des appariements.

(iii) *Les individus tendent à se sous-éduquer.* On obtient ce résultat en remarquant lorsque  $\beta = 1 - \alpha(\theta^s)$  et  $n^* = n^s$  que  $\lambda^* > \lambda^s$ , ce qui implique  $s^* < s^s$ . L'éducation conditionne en effet la profitabilité des emplois, et donc la tension du marché des appariements. Le mécanisme économique est dû au fait que le marché des appariements n'est pas segmenté par technologie. Ainsi, toute firme est susceptible d'être mise en contact avec tout travailleur. Une augmentation de la durée moyenne de formation accroît alors la profitabilité d'un emploi puisqu'elle augmente la probabilité que la technologie choisie soit compatible avec les connaissances du ou des travailleurs rencontrés. Cette augmentation de la profitabilité des emplois attire davantage de firmes sur le marché, ce qui bénéficie aux travailleurs sous la forme d'une augmentation de la fréquence des rencontres. Comme le mode de fixation des salaires ne permet pas de récompenser cette partie du rendement de l'éducation, la durée de formation sélectionnée par les agents est généralement trop faible.

(iv) *Les choix technologiques sont efficaces.* Ainsi,  $n^* = n^s$  dès lors que la condition d'Hosios est satisfaite, et que  $s^* = s^s$ . Il suffit pour le montrer d'imposer  $\beta = 1 - \alpha(\theta^s)$  dans l'équation (CE). A l'inverse de l'éducation, les choix technologiques des firmes ne véhiculent aucune externalité. Pourquoi? Dans le cas de l'éducation, ce sont des agents différents qui choisissent la durée de l'éducation (les individus) et de proposer un poste ou non sur le marché des appariements (les firmes). Dans le cas de la technologie, ce sont les mêmes agents (les firmes) qui décident de la complexité technologique et de l'entrée ou non sur le marché des appariements. C'est pourquoi les choix technologiques sont efficaces: d'une part, il n'y a pas de phénomène de hold-up qui pousserait les firmes à adopter des technologies trop peu évoluées, d'autre part, la complexité technologique n'interagit pas avec la tension du marché du travail puisque ce sont les mêmes agents qui choisissent les valeurs prises par ces deux variables.

## 6. Conclusion

L'idée selon laquelle les travailleurs éduqués seraient davantage aptes à mettre en oeuvre des technologies complexes et plus productives a rencontré un certain écho dans les années récentes. Cette vision de l'éducation présente un intérêt particulier en présence de frictions sur le marché du travail, car les travailleurs ne peuvent être affectés parfaitement aux postes qui leur correspondent le mieux. Notre article étudie dans ce contexte l'efficacité de l'interaction des choix éducatifs d'une part, et des choix technologiques et



de création d'emploi d'autre part. Nous montrons que si les décisions d'éducation ne sont généralement pas efficaces, les choix technologiques des firmes le sont dès lors que les externalités de congestion et celles véhiculées par l'éducation sont internalisées. Il est ainsi inutile de vouloir modifier directement les choix technologiques des firmes et les pouvoirs publics doivent simplement s'attacher à corriger les distorsions spécifiques au marché des appariements et à l'éducation. Une fois ces distorsions réduites, les choix technologiques seront efficaces.

## BIBLIOGRAPHIE

Acemoglu, D., 1996. A microfoundation for social increasing returns to human capital accumulation. *Quarterly Journal of Economics* 61, 779-804

Acemoglu, D., 2002. Technological Change, inequality, and the labor market. *Journal of Economic Literature* 40, 7-72

Acemoglu, D., Shimer, R., 1999. Holdups and efficiency with search frictions. *International Economic Review* 40, 827-849

Autor, D., Katz, L., Krueger, A., 1998. Computing inequality: Have computers changed the labor market? *Quarterly Journal of Economics*, 1169-1213

Bartel, A., Lichtenberg, F., 1987. The comparative advantage of educated workers in implementing new technology: some empirical evidence. *Review of Economic and Statistics* 69, 1-11

Benhabib, J., Spiegel, M., 1994. The role of human capital in economic development: Evidence from aggregate cross country data. *Journal of Monetary economics* 34, 143-173

Burdett, K., Smith, E., 2002. The low skill trap. *European Economic Review* 46, 1439-1451

Charlot, O., Decreuse, B., 2004. Self-selection in education with matching frictions. *Labour Economics*, forthcoming

Charlot, O., Decreuse, B., Granier, P., 2004. Adaptability, productivity, and the returns to schooling in a matching model. *European Economic Review*, forthcoming. Available at <http://www.vcharite.univ-mrs.fr/pp/granier/toorev12.pdf>

Doms, M., Dunne, T., Troske, K., 1997. Workers, wages, and technology. *Quarterly Journal of Economics* 112, 253-290

Dunne, T., Schmitz, J., 1995. Wages, employment structure and employer-size wage premia: their relationship to advanced-technology usage at U.S manufacturing establishments. *Economica* 62, 89-107

Hosios, A., 1990. On the efficiency of matching and related models of search and unemployment. *Review of Economic Studies* 57, 279-298

Krueger, A., 1993. How computers have changed the wage structure : Evidence from microdata, 1984-1989. *Quarterly Journal of Economics* 108, 33-60

Laing, D., Palivos, T., Wang, P., 1995. Learning, matching and growth. *Review of Economic Studies* 62, 115-129

Machin, S., Van Reenen, J., 1998. Technology and changes in skill structure: Evidence from seven OECD countries. *Quarterly Journal of Economics* 113, 1215-1244

Moen, E., 1999. Education, ranking, and competition for jobs. *Journal of Labor Economics* 17, 694-723

Nelson, R., Phelps, E., 1966. Investment in humans, technological diffusion, and economic growth. *American Economic Review* 56, 69-75