

# **XEcon: Un modèle évolutif expérimentale croissance économique**

**par Michael C. Wolfson\***

Statistique Canada et Institut canadien de recherches avancées

**No. 67**

**11F0019MPF No. 67**

**ISSN: 1200-5231**

**ISBN: 0-662-99166-4**

24 Édifice R.H. Coats, Ottawa, K1A OT6  
Téléphone: (613) 951-8216 Télécopieur: 951-5643

juin 1995

\* L'auteur tient à exprimer sa reconnaissance à ses collègues du programme de l'ICRA sur la croissance économique, avec lesquels il a eu des échanges constructifs; il remercie également les personnes avec lesquelles il a eu des entretiens lors du colloque de MERIT sur la convergence et la divergence (Maastricht, décembre 1992), en particulier Giovanni Dosi, Richard Nelson et Sidney Winter; enfin, il remercie ses collègues de Statistique Canada, en particulier Steve Gribble et John Baldwin.

Les auteurs assument l'entière responsabilité de l'analyse exposée dans cet article, laquelle ne reflète pas nécessairement les positions et orientations de Statistique Canada

*Also available in English*



## Résumé

Le rôle de l'innovation technique dans la croissance économique est à la fois une question qui intéresse beaucoup la gestion des affaires publiques et un domaine de la théorie économique où la recherche est active. Or l'élaboration de théories économiques est souvent limitée par des considérations de résolubilité mathématique. Grâce aux théories économiques évolutives qui sont élaborées sous forme de modèles de microsimulation informatisée, on peut raisonnablement espérer surmonter les contraintes d'ordre mathématique et aborder les questions fondamentales d'une manière plus réaliste et plus souple. Cet article donne un aperçu de XEcon, qui est un modèle de microsimulation de croissance économique de type évolutif.

**Mots clés:** microsimulation, endogène, progrès technique, théorie de la croissance, économie évolutionniste



## Introduction

Cet article donne une brève description d'un nouveau modèle de microsimulation, XEcon, actuellement élaboré à Statistique Canada. Notre analyse diffère des autres analyses présentées dans cet ouvrage à deux points de vue. Premièrement, comme XEcon en est encore au stade de l'élaboration, nous n'avons aucun résultat à communiquer. En second lieu, XEcon est destiné à la recherche théorique plutôt qu'à l'application empirique. Étant donné le caractère assez unique de XEcon, la description que l'on fait ici de sa structure générale peut être un point d'intérêt en soi.

Les objectifs du modèle XEcon concernent et le contenu et la méthode. Les objectifs ayant trait au contenu, au plan plus général, sont les mêmes que ceux qui s'appliquent à nombre de modèles théoriques en économie, soit de chercher à comprendre les processus et phénomènes fondamentaux dans l'économie réelle, en particulier la croissance économique à long terme, le changement technique, les inégalités du revenu des particuliers et les relations entre ces phénomènes. L'utilisation de modèles abstraits et formels à cet égard permet d'affiner les aperçus intuitifs ainsi que d'élaborer une argumentation logique cohérente. Le raisonnement typique établit un réseau formel de relations causales possibles puis en déduit, grâce à des méthodes logiques (en l'occurrence, une simulation informatique), d'autres implications. Enfin, il détermine dans quelle mesure ces implications sont valables dans la réalité<sup>1</sup>. Les objectifs ayant trait au contenu visent également à fournir des renseignements qui guideront l'élaboration de nouveaux systèmes de mesure, comme ceux utilisés par les organismes de statistiques nationaux.

Étant donné la trop grande importance que les économistes semblent accorder aux modèles théoriques (par exemple, Leijonhufved, 1973), XEcon a été élaboré en fonction des critères suivants. En raison de la complexité inhérente des phénomènes à l'étude, le modèle devrait être le plus parcimonieux et le plus transparent possible. Il devrait en outre se fonder sur des hypothèses qui sont au moins susceptibles d'être mesurées. Un modèle est «meilleur» que l'autre, toutes choses étant égales par ailleurs, s'il tient compte d'un plus large éventail de «faits» ou de tendances empiriques. Les caractéristiques souhaitables des modèles théoriques sont de répondre aux questions importantes d'intérêt public ou social. La structure du modèle offre un fondement à partir duquel le modèle peut être élargi dans le sens d'un plus grand réalisme (par exemple, grâce à des scénarios et non à des prévisions inconditionnelles). De plus, le modèle doit indiquer des «leviers» qui pourraient être efficaces entre les mains des autorités. Au-delà de ces grandes caractéristiques souhaitables de XEcon, d'autres précisions sur les objectifs ayant trait au contenu sont exposées dans une section ultérieure au moyen d'un plan d'expériences de simulation.

---

<sup>1</sup> Les termes sont utilisés à dessein pour éviter les descriptions les plus usuelles du processus, soit «élaborer un modèle théorique pour expliquer un phénomène» et «tester les implications du modèle». Le terme «expliquer» ne convient pas parce qu'il laisse entendre un caractère unique alors que, de fait, de nombreux modèles théoriques très différents qui sont à tout le moins relativement conformes aux mêmes «faits stylisés» peuvent habituellement être élaborés. Quant à elle, l'expression «tester» sous-entend une précision excessive compte tenu des fondements empiriques de la théorie, du moins en économie.

Les objectifs méthodologiques résultent, eux, du fait que l'on estime que le formalisme de nombreuses théories économiques contemporaines -- et les contraintes d'ordre mathématique qui en découlent -- ont exagérément atrophié le souci de réalisme et engendré des programmes de recherche de plus en plus étrangers aux bases empiriques (voir, par ex., Lipsey, 1993). XEcon montre (preuve «par construction») qu'il est possible d'échapper sans difficulté à cette critique en recourant aux méthodes de microsimulation informatisée et d'obtenir de «meilleurs» modèles théoriques (selon ce qui précède). Autrement dit, le progrès technique présente des avantages importants non seulement sur le plan de l'économie, mais aussi en ce qui a trait à l'élaboration de modèles économiques théoriques. Ces avantages ne proviennent pas seulement de l'application de nouveaux outils mathématiques.

### **État de la question**

Les modèles néo-classiques occupent une place prépondérante dans les ouvrages sur la croissance économique et c'est sur eux que repose l'élaboration de XEcon. Des ouvrages récents (par ex., Romer, 1990) font ressortir non seulement l'importance du progrès technique, mais aussi l'idée que ce progrès devrait être endogène (partie explicite de l'élaboration formelle de la théorie). Il ne faut considérer le progrès technique ni comme une sorte de phénomène magique qui fait surgir des idées nouvelles et qui échappe au cadre des forces économiques, ni non plus comme un postulat que l'on peut correctement décrire comme la croissance exponentielle modérée d'un paramètre d'efficacité technique. Le progrès technique est plutôt un phénomène irrégulier; il découle d'activités de recherche précises, dont la nature et l'importance dépendent de la motivation économique. Cette conception ne fait toutefois pas l'unanimité. Par exemple, Mankiw, Romer et Weill (1992) soutiennent que la croissance observée au pays dans la période qui a suivi la Seconde Guerre mondiale peut s'expliquer par la croissance du capital matériel et, encore plus, du capital humain sans qu'il soit nécessaire de recourir au progrès technique comme phénomène explicatif important. Un autre facteur déterminant, selon Lucas (1993), est l'apprentissage par la pratique, combiné avec l'introduction constante de nouvelles techniques de production.

Beaucoup de modèles de croissance théoriques récents partagent les caractéristiques suivantes :

- représentation mathématique formelle des techniques de production, le plus souvent sous la forme d'une fonction de production globale «lisse» parfaitement connue, y compris une définition abstraite mais explicite du progrès technique;
- ensemble d'agents -- le plus souvent une ou deux catégories (généralement) homogènes (donc, à un seul niveau d'agrégation) d'entreprises et de travailleurs -- qui produisent conjointement des extrants avec les techniques existantes;
- ensemble formel de comportements pour les agents -- en général, maximisation omnisciente et intertemporelle du profit ou de l'utilité;

- description des mesures institutionnelles -- par exemple, concurrence parfaite ou monopolistique, brevets à durée illimitée;
- hypothèse de croissance à taux constant en situation d'équilibre.

XEcon ressemble aux modèles précités en ce qu'il présente plusieurs de ces caractéristiques, par exemple un ensemble d'agents, un ensemble formel de comportements et des descriptions des techniques de production. Toutefois, XEcon est un modèle de type évolutif, de sorte qu'il ne prévoit pas de solutions par un raisonnement mathématique formel. On dit plutôt que la trajectoire dynamique du modèle est «révélée», par une simulation informatique explicite du comportement des très nombreuses micro-entités qui entrent dans l'économie théorique. L'avantage des méthodes de simulation par ordinateur est de permettre que la résolubilité mathématique ne soit pas un obstacle à la formalisation des concepts. La seule contrainte qu'imposent ces méthodes est que les descriptions formelles des agents, des techniques, des comportements, etc., soient des procédures ou des algorithmes bien définis.

Donc, XEcon ne suppose ni n'a besoin de supposer a priori un équilibre. Le scénario de base prévoit plutôt une économie qui évolue, en mode continu ou discret (Dt), sur un axe chronologique déterminé qui commence à la période  $t_1$  (par ex. 1900) et se termine à la période  $t_2$  (par ex. 2050). Il se peut que l'économie connaisse une croissance à taux constant, mais il est beaucoup plus probable et, naturellement, réaliste qu'elle évolue de façon irrégulière sans qu'aucun équilibre ni aucune limite asymptotique réels ne soient observés. Fait plus intéressant, l'économie peut avoir au départ une structure relativement simple, puis devenir progressivement plus complexe, ou bien de nouveaux modes d'organisation peuvent apparaître. C'est l'essence des modèles évolutifs...et de la théorie évolutionnelle.

Une autre conséquence de l'application des méthodes de simulation par ordinateur aux modèles évolutifs comme XEcon -- et de l'assouplissement des contraintes ayant trait à la résolubilité mathématique -- est que de nombreuses hypothèses des modèles néo-classiques deviennent facultatives. Par exemple, il est possible, mais non pas nécessaire, de représenter les techniques de production par des fonctions de production globale lisses. On peut plutôt représenter explicitement chaque entreprise par des techniques de production variées qui évoluent de façon irrégulière (manière sans doute plus réaliste, encore ici, de voir les choses). D'autres hypothèses néo-classiques peuvent devenir impossibles dans un modèle évolutif. Le plus bel exemple est celui de la maximisation omnisciente car, dans un modèle évolutif comme XEcon, les problèmes d'optimisation auxquels font face les agents sont insolubles. Par conséquent, le comportement des agents non seulement peut mais doit être décrit à l'aide de règles heuristiques ou de recettes empiriques. (Les règles heuristiques peuvent changer avec le temps.)

L'emploi de modèles évolutifs en économie n'est pas une chose nouvelle, bien sûr, mais elle est peu courante. Le premier modèle du genre à avoir été utilisé est celui de Nelson et Winter (1982). Ce modèle décrivait d'une manière aussi vraisemblable que le modèle de Solow (1957) -- le modèle original dans la littérature néo-classique --, quoique franchement inorthodoxe, le progrès technique des États-Unis depuis le début du 20<sup>e</sup> siècle. Nous croyons utile d'en faire ici une brève description car il sert de *point de départ* pour XEcon.

Le modèle de Nelson et Winter est très abstrait et très schématisé. Il pose tout d'abord une population finie d'entreprises, qui ont toutes une production homogène  $Q$  (ou PNB). L'entreprise  $i$  utilise deux facteurs de production, le capital ( $K_i$ ) et la main-d'oeuvre ( $L_i$ ), avec des fonctions de production à coefficients fixes : un coefficient de productivité de la main-d'oeuvre ( $Q/L_i$ ) et un coefficient de capital ( $K_i/L_i$ ). La production de chaque entreprise est une fonction du facteur travail, décrite par un  $L$  inversé, la limite supérieure de cette fonction étant déterminée par le capital disponible. Les entreprises sont hétérogènes car elles peuvent avoir chacune des coefficients fixes différents. Le capital de chaque entreprise peut faire l'objet d'un amortissement exponentiel «perturbé». Trait plus important, un processus stochastique formel permet d'expliquer le changement technique dû à la R.-D. Les entreprises essaient de trouver de «meilleures» techniques de production, soit en perfectionnant les techniques qu'elles appliquent déjà (approche différentielle), soit en tentant de copier les techniques d'entreprises plus florissantes (approche mimétique).

Pour faire une simulation du modèle de Nelson et Winter, on peut supposer au départ une poignée d'entreprises qui se partagent un capital technique qui suit une distribution aléatoire centrée sur la moyenne utilisée dans le modèle de Solow pour 1909. L'évolution de la population des entreprises est alors déterminée par un processus aléatoire d'innovation, qui dépend du processus stochastique mentionné plus haut et de l'investissement de bénéfices bruts pour l'acquisition de nouveaux biens d'équipement. Ce que l'on retient surtout de l'application de ce modèle évolutif peu orthodoxe, c'est qu'il peut reproduire les faits macro-économiques reconstitués, comme dans le cas de la fonction globale de maximisation du profit incluse dans le modèle de Solow de 1957. Cette conclusion ne permet pas nécessairement de mettre en balance les avantages respectifs des deux modèles ou, de façon plus générale, des deux approches correspondantes, mais elle montre clairement une certaine supériorité du modèle évolutif, puisque le modèle de Nelson et Winter tient compte en outre de l'évolution de la répartition par taille des entreprises au micro-niveau, ce que ne font pas les modèles de croissance globale.

Lane (1993) présente un modèle qu'il élabore actuellement avec Dosi et d'autres et qui est plus général que celui de Nelson et Winter. Nous nous sommes inspirés largement de ce modèle pour définir les concepts de base du modèle XEcon. Le modèle de Dosi-Lane comprend deux secteurs : un pour la production de machines diverses ( $m$ ), l'autre pour la production de biens de consommation homogènes ( $g$ ). Dans le premier secteur, des entreprises fabriquent diverses machines en employant des travailleurs et essaient de mettre au point de nouvelles techniques (nouvelles  $m$ ) en employant des chercheurs scientifiques. Dans le second secteur, des entreprises utilisent diverses machines et emploient des travailleurs pour produire des biens  $g$ .

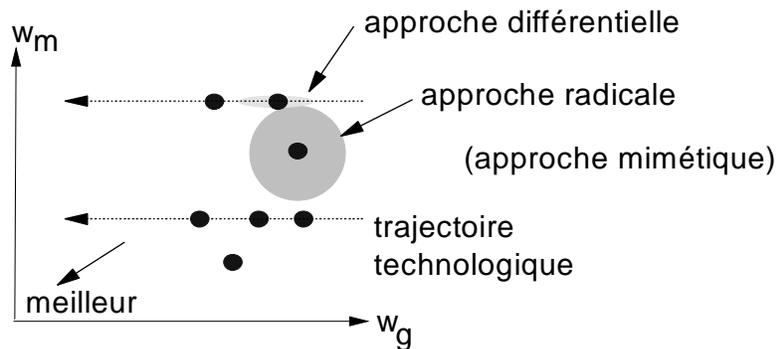
Le changement technique se produit dans le premier secteur. Chaque machine est représentée formellement par un vecteur de deux éléments,  $(w_m, w_g)$ , où  $w_m$  est le nombre de travailleurs équivalents temps plein (ETP) requis pour fabriquer une machine  $m$  et  $w_g$ , le nombre d'ETP requis pour fabriquer une unité de  $g$  à l'aide d'une machine  $m$ . Le progrès technique équivaut à réduire la valeur de l'une ou l'autre de ces variables ou des deux à la fois.

La figure 1 contient une représentation graphique du modèle de Dosi-Lane. Sur l'axe vertical est représentée la quantité de main-d'oeuvre nécessaire pour produire une machine ( $w_m$ );

l'axe horizontal correspond à la quantité de main-d'oeuvre nécessaire pour fabriquer une unité de  $g$  à l'aide d'une machine  $m$  ( $w_g$ ). Chaque point du graphique représente donc une sorte de machine et, par conséquent, l'entreprise qui a la compétence voulue pour fabriquer cette machine. Le fait qu'il y ait plusieurs points dans le graphique représente la coexistence de diverses sortes de machines et, donc, l'hypothèse réaliste de la coexistence dans l'économie d'un ensemble d'entreprises hétérogènes qui emploient des techniques très différentes pour fabriquer le même produit. Les machines nettement les «meilleures» se trouvent dans le coin inférieur gauche du graphique. Le positionnement dans le coin supérieur gauche ou le coin inférieur droit est ambigu; cela dépend des prix relatifs de la main-d'oeuvre et du bien de consommation. D'une manière un peu artificielle, le modèle de Dosi-Lane interprète les déplacements vers la gauche dans cet espace (c.-à-d. le fait de garder fixe le contenu de main-d'oeuvre de la machine) comme un progrès technique sur une «trajectoire technologique».

Dans cet espace abstrait, chaque entreprise fait de la R.-D. en recourant à l'une des trois méthodes suivantes pour mettre au point de nouvelles techniques : 1) l'approche différentielle (déplacements vers la gauche), 2) l'approche mimétique (reproduction des techniques des entreprises du même secteur), comme dans le modèle de Nelson et Winter, et 3) l'approche radicale (c.-à-d. en deux dimensions), qui implique vraisemblablement un déplacement vers le bas. Comme le modèle en est encore au stade de l'élaboration, aucune conclusion n'a été publiée jusqu'à maintenant.

**Figure 1 -- Technologie et R.-D. selon le modèle de Dosi-Lane**



Finalement, il convient de noter deux modèles macro-économiques fondés explicitement sur la microsimulation. Le premier est le modèle MOSES de Eliasson (1986, 1991), qui fait le lien entre le micro-niveau et le macro-niveau. Ce modèle est beaucoup plus qu'un modèle évolutif théorique pur. C'est un vaste modèle empirique qui est en développement depuis le milieu des années 70 et qui a pour base le comportement passé de quelque 150 grandes entreprises suédoises identifiées; ce modèle a fait le rapprochement des données financières de ces entreprises avec les comptes nationaux et les données interindustrielles de la Suède. L'évolution de ces entreprises est représentée par des fonctions de possibilités de production simples mais hétérogènes et des recettes empiriques convenables. Le progrès technique est exogène et conditionné par une

croissance exponentielle simple, quoique Ballot et Taymaz (1993) aient inclus récemment dans MOSES un processus d'apprentissage pour faire du changement technique un facteur essentiellement endogène. Le second modèle est le «modèle de transactions microsimulées» de Bennett et Bergman (1986) pour l'économie américaine. Il s'agit nettement d'un modèle de microsimulation, qui est néanmoins conçu pour les macro-données américaines des années 70. Il reconnaît un assez large éventail d'opérations qui peuvent être effectuées dans l'économie en général et dans le secteur financier en particulier. Cependant, comme dans le modèle MOSES d'Eliasson, le progrès technique repose sur un paramètre de croissance exponentielle exogène, bien qu'ici on reconnaisse l'existence de différentes générations de capitaux.

Étant donné la diversité des modèles proposés tant par l'école néo-classique que par l'école «évolutionnelle», la question de la représentation formelle de la technologie a occupé une place importante dans l'élaboration de XEcon. L'idée de représenter formellement une technologie par l'application d'un ensemble d'intrants vers un ensemble d'extrants semble élémentaire. Pourtant, il serait bon de grouper, si possible, ces «atomes» de technologie en «molécules» qui décrivent le cheminement des entreprises, comme dans Best (1990), qui décrit l'évolution de l'industrie en diverses étapes : ateliers d'artisanat du début du 19<sup>e</sup> siècle, apparition des pièces interchangeables et introduction de la normalisation, spécialisation et «désintégration verticale» qui ont caractérisé la naissance de l'industrie des machines-outils (Rosenberg, 1976), et «processus» de production de masse de la chaîne de montage de Ford.

## La technologie dans XEcon

Au départ, l'«atome» de technologie de production qui entre dans XEcon consiste en une technique qui sert à produire un extrant à l'aide d'une combinaison d'intrants. Nous supposons des rendements d'échelle linéaires constants, comme dans un vecteur colonne de la matrice des utilisations d'un tableau d'entrées-sorties. (Nous pourrions appliquer facilement la non-linéarité, mais nous nous en abstenons pour l'instant afin que la version initiale de XEcon demeure simple et compréhensible.)

Pour donner un aperçu des possibilités qu'offre une méthode de microsimulation, par opposition à une méthode purement mathématique, nous allons décrire brièvement certains aspects de la technologie de production, supposée par le modèle. Chaque produit est désigné par un indice, soit  $i$  ou  $j$ , et peut être fabriqué selon une ou plusieurs techniques. Chaque technique est elle-même représentée par une paire de vecteurs colonnes pour l'extrant  $j$  :

$g(i,j)$  = la quantité de produit  $i$  qui doit être disponible pour produire une unité du produit  $j$

$d(i,j)$  = la quantité de produit  $i$  «utilisée» par unité d'intrant destinée à la production de  $j$ .

Bien que cette représentation linéaire double soit élémentaire, elle favorise un plus large éventail de relations de production que s'il n'y avait qu'un seul vecteur colonne de tableau d'entrées-sorties pour chaque technique et elle est beaucoup plus riche que les fonctions de

production néo-classiques habituelles. Par exemple, si  $d(i,j) = 1$ , l'intrant entre dans la production dans un rapport de un à un (ex.: électricité, charges d'alimentation pétrochimiques). Si  $d(i,j) = 0$ , l'intrant est un bien de capital infiniment durable (ex.: catalyseur ou chaîne binaire d'un nouveau logiciel) pour lequel au moins  $g(i,j)$  unités doivent être disponibles pour la production d'une unité de  $j$ . Si  $0 < d(i,j) < 1$ , au moins  $g(i,j)$  unités doivent être disponibles pour la production d'une unité de  $j$  et  $d(i,j) \times g(i,j)$  unités seront utilisées dans la production de cette unité.

Cette formulation semble plus réaliste que les hypothèses habituelles concernant les biens durables, c'est-à-dire le postulat comptable de l'amortissement linéaire ou l'hypothèse classique de la dépréciation exponentielle. Ces deux hypothèses impliquent qu'il doit y avoir une quantité fixe du bien de capital pour «soutenir» un niveau de production donné. Mais contrairement à la formulation  $d(i,j)$ , la dépréciation du capital est fonction du temps, plutôt que de l'intensité avec laquelle ce capital est utilisé.

Comme nous utilisons des méthodes de microsimulation, nous pouvons facilement considérer une économie qui est composée d'un très grand nombre d'entreprises hétérogènes. Ces entreprises fabriqueront des produits différents et celles qui fabriquent les mêmes produits utiliseront généralement des techniques différentes, c.-à-d. que les entreprises d'une même industrie auront ordinairement des coefficients  $g(i,j)$  et  $d(i,j)$  différents. Par conséquent, même dans des versions élémentaires de cette économie abstraite, les différences de rapport de production entre les diverses techniques existantes pourront être des facteurs de «croissance économique». Selon Nelson et Winter (1982), «les différences de taux de survie et de taux de croissance entre les éléments d'une population d'entreprises peuvent modifier les agrégats économiques qui caractérisent cette population sans que les caractères correspondants pour chaque entreprise ne varient.»(TRADUCTION) Le progrès technique, c.-à-d. la découverte de nouveaux vecteurs colonnes, est également envisageable dans le modèle XEcon; nous en parlons plus loin.

## **Agents**

XEcon comprend deux grandes catégories d'agents : les entreprises et les travailleurs-consommateurs. Il y a aussi un secteur financier simplifié, un secteur de l'administration publique et un secteur de l'information. Nous décrivons brièvement ces catégories ci-dessous.

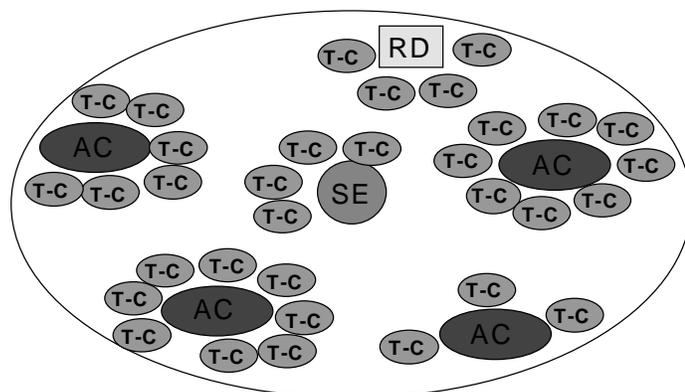
### **entreprises**

Les entreprises sont une composante fondamentale du modèle XEcon et ont une structure interne élaborée. Elles sont des organisations de personnes qui ont pour but de produire des biens et services au moyen d'autres biens et services. L'«atome» élémentaire de la production matérielle (la transformation des intrants en extrants) est l'activité de production ou l'activité commerciale, ou AC. Celle-ci n'a pas besoin d'être rapportée à une industrie ou à un secteur en particulier; elle est définie simplement par le produit qui en est l'objet.

En outre, les entreprises ont une direction qui élabore les décisions d'orientation en ce qui concerne la production (niveau et composition), le financement, l'investissement, la fixation des prix, la commercialisation, la planification de la R.-D., etc. Cette direction est désignée dans le modèle par le sigle SE pour «siège de l'entreprise». Par conséquent, la meilleure façon de représenter l'entreprise dans XEcon est de l'assimiler à une «molécule» constituée d'un SE et d'une ou plusieurs AC.

Les entreprises sont également toujours en quête de nouvelles méthodes de production plus efficaces. Cette activité est concentrée dans une unité organisationnelle de l'entreprise, soit le service de la recherche et du développement, ou RD. (Le processus de R.-D. est décrit habituellement par des recettes empiriques relativement simples.) L'organisation interne de l'entreprise est représentée à la figure 2.

**Figure 2 -- Structure de l'entreprise dans XEcon**



Le modèle ne décrit pas seulement la croissance ou le déclin des entreprises; il décrit aussi leur arrivée sur le marché (créations) et leur sortie pour cause de faillite (disparitions). La croissance ou le déclin peuvent prendre plusieurs formes. La plus élémentaire est la variation du niveau d'activité. Avec la R.-D., ce peut aussi être la création de techniques plus efficaces pour la fabrication de produits qui figurent déjà sur la liste de l'entreprise (R.-D. différentielle ou mimétique, ou perfectionnement continu) ou la création de techniques pour la fabrication de nouveaux produits (R.-D. radicale), ce qui permettrait à des entreprises de diversifier leur activité commerciale. La croissance peut aussi passer par l'acquisition d'une entreprise par une autre.

Les entreprises sont considérées comme ayant le même comportement en ce qui regarde certains aspects de la gestion (par ex., établissement des prévisions, fixation des prix, décision en matière de production). Même si un certain nombre d'entreprises appliquent les mêmes techniques et ont une ligne de conduite uniforme, elles seront en général hétérogènes (par ex. par le nombre

d'employés, par le taux de rajustement des prix des extrants basé sur l'expérience (hétérogène), et par la rentabilité).

Au départ, XEcon supposera que les techniques de production sont peu hétérogènes et qu'il n'y a pas de progrès technique, même si l'un des principaux objectifs du modèle est l'étude du progrès technique. Pourquoi cette contradiction? Parce que nous devons en premier lieu pouvoir établir des types de comportement de micro-niveau et de macro-niveau plausibles suivant l'hypothèse la plus élémentaire, c'est-à-dire celle de la technologie constante. Nous avons l'intuition que cet exercice ne sera pas facile parce que nous allons nous écarter très sensiblement des hypothèses néo-classiques habituelles de la maximisation omnisciente.

### **travailleurs-consommateurs**

Les particuliers ont deux rôles principaux dans le modèle XEcon : ils sont des travailleurs qui offrent leurs services aux entreprises et ils sont aussi des consommateurs finals. Au départ, nous supposons une main-d'oeuvre homogène, avec un niveau d'apprentissage et de compétence unique, ainsi que des comportements et des goûts homogènes. Rappelons qu'on peut simplifier facilement les hypothèses d'un modèle de microsimulation mais que cette opération est utile au départ non seulement pour mettre au point le modèle, mais aussi pour en comprendre les propriétés.

Les travailleurs-consommateurs offrent leurs services aux entreprises en fonction d'un salaire d'acceptation qui dépend lui-même de l'expérience professionnelle antérieure. Les travailleurs qui ont déjà un emploi vont se mettre à la recherche d'un nouvel emploi seulement si leur salaire courant diminue de plus d'un pourcentage donné. Les travailleurs en chômage, pour leur part, réduisent leur salaire d'acceptation d'un montant donné à chaque année et cherchent un emploi.

Par ailleurs, le choix du consommateur peut reposer sur des préférences ordonnées selon une progression lexicographique pour des produits finals (comme dans Pasinetti, 1982). Par exemple, les travailleurs-consommateurs consacrent leur revenu à l'achat de biens de première nécessité (par ex. d'aliments) jusqu'à ce qu'ils aient satisfait leurs besoins essentiels et ensuite, s'il leur reste de l'argent, ils le consacrent à l'achat de produits «de luxe» (par ex. d'un téléviseur). Cette structure hiérarchique de préférences n'est pas moins réaliste que les structures sous-entendues par les fonctions d'utilité classiques «lisses», mais elle est très difficilement analysable dans des modèles qui emploient des méthodes purement mathématiques.

Même si les travailleurs-consommateurs constituent une main-d'oeuvre homogène et ont des comportements et des goûts homogènes, ils demeurent différents au point de vue de l'emploi, de la rémunération et des habitudes de consommation parce qu'ils travaillent pour des entreprises différentes, qui n'offrent probablement pas le même taux de rémunération, et qu'ils courent le risque d'être en chômage. En outre, une description plus complète de la structure de XEcon ferait ressortir le fait que le problème d'optimisation pour les travailleurs-consommateurs est insoluble, de sorte que le comportement de cette catégorie d'agents est caractérisé par des recettes

empiriques et l'adaptation progressive à des objectifs en constante évolution. (Le problème de l'optimisation est insoluble également pour les entreprises.)

### **administration publique**

Étant donné les fondements microanalytiques de XEcon, il est facile d'introduire dans le modèle divers impôts (impôt sur le revenu, cotisations sociales, impôt sur les bénéfices, taxe sur la valeur ajoutée, taxe de vente au détail) et divers types de transfert en faveur des travailleurs-consommateurs (prestations universelles, impôt négatif sur le revenu, prestations d'assurance-chômage).

### **secteur financier**

Très simplifié, ce secteur est représenté par un seul agent «financier» monolithique dont les principes directeurs en matière de dépôt et d'octroi de prêts (investissement, capital de risque) sont des paramètres du modèle XEcon.

Le secteur financier exécute deux grands types d'opérations, soit la fixation de la limite de crédit et du taux d'intérêt pour une entreprise, selon les résultats financiers de cette entreprise (ou selon le plan d'entreprise s'il s'agit d'un nouvel arrivant sur le marché), et les opérations bancaires proprement dites, c.-à-d. l'octroi de prêts à des entreprises et l'acceptation des dépôts des entreprises et des travailleurs-consommateurs.

### **information**

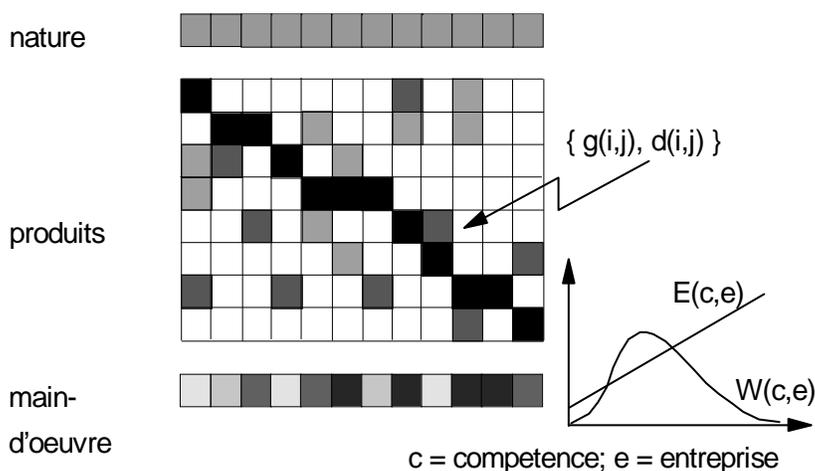
Le secteur de l'information peut être envisagé comme la combinaison d'un organisme statistique national et de sociétés d'études de marché. Pour le moment, il ne produit qu'un ensemble de statistiques, tels que des indices de prix et des indices de salaires moyens, que les agents définis dans XEcon peuvent obtenir sur-le-champ à titre gratuit. (Voir Antonov et Trofimov, 1993, pour une analyse semblable faite à l'aide du modèle MOSES d'Eliasson.)

## **Métaphores visuelles pour la technologie et le changement technique**

La modélisation des processus de changement technique, y compris de l'accroissement des compétences des travailleurs, est un objectif fondamental de XEcon. Un aspect essentiel du changement technique est la complexité grandissante de l'économie, et ce phénomène se traduit par un éventail de plus en plus large de produits et de techniques. Si l'on examine la question du point de vue d'un tableau d'entrées-sorties, on peut dire qu'il y a de plus en plus d'entrées et de sorties et que, par conséquent (du moins en théorie), le nombre de lignes et de colonnes va s'accroître progressivement tandis que diminuera le nombre de cases à valeur nulle. Par ailleurs, la main-d'oeuvre devient plus hétérogène à bien des égards -- compétence, profession, scolarité et connaissances propres à l'entreprise.

La figure 3 présente une métaphore visuelle de la matrice des utilisations d'un tableau d'entrées-sorties, par laquelle on représente les techniques définies dans XEcon. Chaque ligne correspond à une entrée particulière et chaque colonne représente la production (sorties) d'une activité commerciale. Une case blanche signifie des besoins en entrées nuls; une case noire indique que le produit de la ligne correspondante est la sortie associée au vecteur colonne donné; dans les autres cas, la case est plus ou moins ombrée selon que la quantité d'entrées requises par unité matérielle de production est élevée ou non. Le diagramme montre qu'il peut y avoir de nombreux produits variés et que plus d'une technique existe pour la fabrication de chaque produit. Rappelons que pour chaque colonne du diagramme, il existe deux vecteurs qui décrivent entièrement la technologie :  $\{g(i,j), d(i,j)\}$ .

### Figure 3 -- Métaphore visuelle d'une matrice des utilisations pour les produits et les techniques dans XEcon



D'après la figure 3, les besoins essentiels en main-d'oeuvre sont homogènes (mais d'intensité inégale) parce qu'une seule ligne est réservée à la main-d'oeuvre dans le diagramme. Cependant, on peut redéfinir ces entrées de main-d'oeuvre en unités efficaces par unité matérielle de production. En outre, chaque technique de production ou chaque activité commerciale (qui correspond à une colonne de la matrice) peut avoir une capacité propre de transformer la main-d'oeuvre de compétence variée en unités efficaces (selon, par exemple, une fonction linéaire simple propre à une entreprise  $E(c,e)$ , où  $T(c,e)$  correspond à la répartition des travailleurs dans l'entreprise ( $e$ ) selon leur niveau de compétence ( $c$ )). En d'autres termes, la capacité d'utiliser de la main-d'oeuvre qualifiée peut varier d'une activité commerciale à l'autre. Ce genre de variation est essentiel pour analyser les rapports entre le changement technique et l'évolution de l'inégalité des salaires d'un point de vue microanalytique, ce qui est un autre objectif de XEcon.

---

(La ligne «nature» rappelle que, à un point donné, il faut tenir compte explicitement de l'utilisation des ressources naturelles.)

Il convient d'observer que les biens non concurrents (Romer, 1990) sont facilement représentables dans cette métaphore visuelle ainsi que dans la description de la technologie présentée plus haut. Ce sont des biens dont la production nécessite une très faible quantité d'intrants variables; le gros des dépenses est rattaché à la création de la «recette» (c.-à-d. à la R.-D.) ou à l'élaboration d'une version initiale ou encore à l'invention d'une composante clé. Par exemple, la chaîne binaire créée pour le système d'exploitation DOS 6.0, qui était très coûteuse, par opposition au logiciel prêt à l'emploi distribué par les détaillants de logiciels. Le coût de production des logiciels prêts à l'emploi est pratiquement nul comparativement au coût d'élaboration de la version originale. La production d'un bien comme celui-là peut être représentée dans le modèle XEcon par deux activités de production, ou deux (paires de) vecteurs colonnes se rapportant à la même entreprise : premièrement, la production de la version originale, qui nécessite une très forte quantité d'intrants par unité (matérielle) de production (système d'exploitation) et, deuxièmement, la production des logiciels prêts à l'emploi, qui nécessite une très faible quantité d'intrants par unité de production, abstraction faite de la version originale (chaîne binaire du DOS 6.0), qui doit être disponible mais n'est pas «consommée» dans le processus de production.

Les produits non concurrents -- mais pouvant être exclus parce que protégés par le droit d'auteur ou par la loi, donc privés -- sont nombreux et de plus en plus étroitement associés au progrès technique. En outre, les produits non concurrents illustrent l'indivisibilité, et donc la non-convexité, des possibilités de production. En revanche, ces propriétés posent de sérieux problèmes pour la théorie néo-classique. Ce qu'il faut retenir pour l'instant, c'est que la non-convexité, et les rendements d'échelle croissants qui en découlent, ne posent pas du tout de problème pour un modèle de microsimulation évolutif comme XEcon.

La représentation de la technologie dans XEcon et la métaphore visuelle de la figure 3 peuvent aussi décrire d'autres aspects du changement technique. Par exemple, dans son chapitre sur l'histoire de l'industrie des machines-outils, Rosenberg (1976) écrit qu'au début du 19<sup>e</sup> siècle, «...il n'existait pas comme telle d'industrie des machines-outils ou d'industrie de la fabrication de machines aux États-Unis. Même si on se servait évidemment de machines d'une complexité plus ou moins grande, la production de machines n'était pas encore devenue une activité économique en soi ... les premiers ateliers de fabrication de machines étaient des annexes d'usines spécialisées dans la fabrication d'un produit final. ... (Et graduellement), ces ateliers ont commencé à fabriquer des machines pour d'autres industries ... et finalement, grâce à la demande sans cesse croissante de machines spécialisées de toutes sortes, la fabrication des machines-outils est devenue une industrie à part entière.» (pp. 13-15)

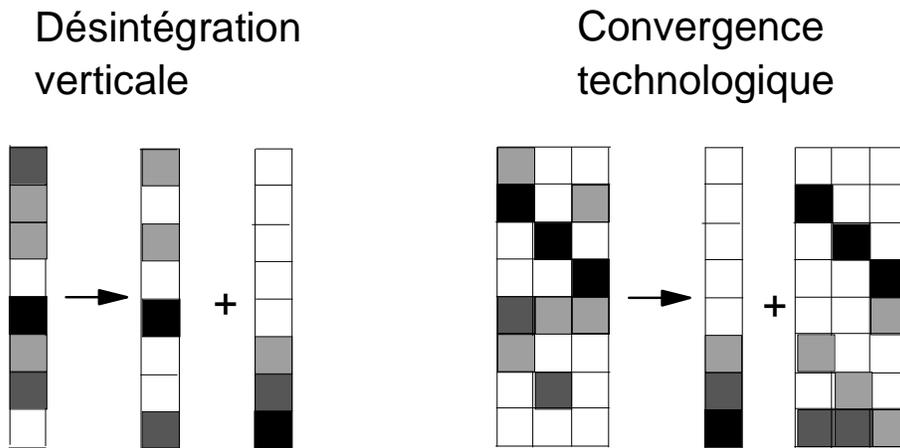
Par exemple, la fabrication de machines à coudre nécessitait du métal façonné. Pour obtenir cet intrant, les manufacturiers de machines à coudre ont réservé un espace à l'arrière de leur atelier pour fabriquer des tours qui allaient servir dans l'autre partie de l'atelier. Cependant, comme on se rendait compte de plus en plus de l'utilité générale des tours, l'activité qui, au départ, ne représentait qu'une étape dans la fabrication de la machine à coudre est devenue une activité

économique à part entière. C'est ce que Rosenberg (s'inspirant de Stigler, 1951) appelle la «désintégration verticale». Par la suite, beaucoup d'autres fabricants -- les fabricants d'armes ou de bicyclettes, par exemple -- ont commencé à se procurer des tours chez les fabricants spécialisés au lieu de les fabriquer eux-mêmes. C'est ce que Rosenberg a appelé la «convergence technologique».

Ces deux processus -- la désintégration verticale et la convergence technologique -- semblent être des aspects très généraux du progrès technique. À ce propos, Adam Smith (1970) souligne que «la division du travail est limitée par l'étendue du marché». Young (1928) reprend cette idée et la développe pour faire ressortir le lien avec les rendements d'échelle croissants, indispensables pour la croissance économique. (Notons qu'il s'agit là de rendements croissants dynamiques à l'échelle de l'économie, qui ne dépendent aucunement des rendements croissants au niveau de l'entreprise.) Young établit aussi un rapport entre l'idée de Smith et les rendements croissants, d'une part, et, d'autre part, la notion de «cheminement complexe» de la production, c'est-à-dire le nombre de plus en plus grand d'entrées et de sorties présentes dans l'économie et les façons de plus en plus variées d'utiliser des produits pour la fabrication d'extrants.

Dans la figure 4, nous reprenons la métaphore visuelle de la figure 3 afin de montrer comment on peut intégrer facilement les idées et les processus décrits ci-dessus dans XEcon, une fois que l'innovation radicale, c.-à-d. la création de produits entièrement nouveaux, est prévue. La première colonne de la figure 4 peut représenter le procédé de fabrication d'une machine à coudre tandis que la ligne du bas représente les tours qui servent dans la production. Comme, au départ, le tour représente une étape intermédiaire dans la fabrication des machines à coudre, il ne figure pas explicitement dans la production finale de l'entreprise (ni dans la colonne correspondante du tableau d'entrées-sorties). Toutefois, dès que ce produit a une existence propre et qu'il devient l'extrant d'une industrie en particulier (troisième colonne), il peut être combiné avec les autres entrées de l'industrie de la machine à coudre d'une manière nouvelle et probablement plus efficace (deuxième colonne). Dans cette métaphore visuelle, l'accroissement de l'efficacité est indiqué par la présence de cases plus pâles dans les deux vecteurs colonnes où les tours figurent explicitement. De plus, comme la deuxième colonne implique deux industries plutôt qu'une seule, elle illustre la complexité croissante du cheminement de la production, conformément à l'analyse de Young.

## Figure 4 -- Deux processus d'innovation



De la même manière, la partie de droite de la figure 4 illustre la notion de convergence technologique de Rosenberg. Imaginons que les trois premières colonnes représentent les procédés de fabrication d'une bicyclette, d'une arme et d'une machine à coudre, respectivement, avant la naissance de l'industrie de la fabrication des tours. Dès qu'ils pourront se procurer facilement des tours de bonne qualité auprès de fabricants spécialisés (quatrième colonne de la partie de droite), les manufacturiers de bicyclettes, d'armes et de machines à coudre innoveront en élaborant des méthodes de production plus efficaces, où des tours achetés serviront d'intrant (les trois colonnes à l'extrême droite).

### Simulation de XEcon

Si l'on suppose une population d'entreprises qui appliquent les diverses techniques mentionnées ci-dessus ainsi qu'une population de travailleurs, XEcon peut devenir très complexe. C'est pourquoi nous tenons à ce que les modalités d'utilisation et d'expérimentation du modèle soient bien comprises par le plus grand nombre de chercheurs. En revanche, il faudra consacrer beaucoup d'effort à l'élaboration de l'interface utilisateur. Dans cette section, nous exposons des idées concernant l'interface utilisateur et nous tentons d'imaginer à quoi ressemblerait une exécution de XEcon. Les jeux électroniques de Maxis Software, tels que SimCity et SimLife, permettent un rapprochement intéressant.

La première étape dans l'exécution de XEcon consiste à fixer les paramètres. Cette opération serait facilitée si l'on pouvait classer les paramètres par groupe (ex.: technologie,

impôt/transferts, formation des prix pour une activité commerciale, limites de crédit, etc.). Ensuite, on pourrait avoir un ou plusieurs scénarios standard pour chaque groupe de paramètres. L'utilisateur pourrait alors combiner ces scénarios à sa guise ou décider de les remplacer, en tout ou en partie, par des scénarios de son cru. Cette façon de procéder ressemble au mode de fonctionnement de l'interface utilisateur CEPHID, créée récemment par Statistique Canada (1993). En effet, ce logiciel sera réutilisé en bonne partie pour des opérations de ce genre.

La force et l'intérêt réels de XEcon résident dans sa capacité de visualiser les résultats d'une simulation à mesure qu'ils sont produits, d'où l'importance de disposer d'un éventail de fonctions graphiques inductives faciles à utiliser. Imaginons-nous un chercheur assis devant un ordinateur personnel qui fonctionne sur un système d'exploitation Windows ou l'équivalent. Pendant l'exécution de XEcon, l'utilisateur peut choisir de faire apparaître à l'écran en se servant de la souris diverses «images» de l'économie dynamique (artificielle) en évolution, comme dans SimCity et SimLife. Parmi ces «images», on peut avoir les présentations graphiques suivantes :

**entrées de main-d'oeuvre par secteur** -- nombre de travailleurs ayant un emploi par secteur de production et nombre de travailleurs sans emploi, exprimé en fonction du temps;

**revenus de facteurs** -- bénéfices des cinq déciles inférieurs d'entreprises, des cinq déciles supérieurs; salaires des cinq déciles inférieurs de travailleurs-consommateurs, des cinq déciles supérieurs (l'ensemble équivaut à 100 % des revenus de facteurs), tous ces revenus étant exprimés en fonction du temps (notons que la différence entre les cinq déciles inférieurs et les cinq déciles supérieurs est un indice sommaire d'asymétrie, donc un indice d'inégalité des distributions);

**répartition des entreprises selon la taille** -- diagramme de dispersion en deux dimensions, où les ventes totales des entreprises à une période donnée sont exprimées en fonction des effectifs, et histogramme représentant la valeur ajoutée par travailleur des entreprises classées selon la taille, la largeur de chaque rectangle étant proportionnelle à l'effectif total de l'entreprise (Eliasson appelle cet histogramme «courbe de Salter», d'après Salter, 1969); les deux graphiques varieront dans le temps;

**micro-dynamique des entreprises et volatilité** -- diagramme de dispersion en trois dimensions représentant 1) la part de marché moyenne de chaque entreprise (c.-à-d. le chiffre des ventes en pourcentage des ventes totales), 2) la tendance des parts de marché (représentée par un coefficient de pente tiré d'une régression linéaire simple), et 3) le coefficient de variation des parts de marché par rapport à la tendance, ces trois composantes étant définies par rapport à une période arbitraire  $t_1$  à  $t_2$  (notons que pour visualiser un tel diagramme, il faut des outils tels que la fonction de rotation du nuage de points ou la matrice de diagramme de dispersion, que l'on trouve par exemple dans le langage graphique S pour la statistique (Becker et coll., 1988));

**productivité sous divers angles** -- éléments qui entrent normalement dans le calcul de la productivité globale des facteurs : part des salaires et des bénéfices, indice des entrées de main-d'oeuvre, indice des entrées de capital, et résiduel de «Solow», tous exprimés en fonction du temps; et différence entre le PIB réel et le PIB potentiel de «micro-analyse», déterminé au moyen d'une enveloppe convexe (inspirée de la programmation linéaire) représentant les techniques, le

capital, la main-d'oeuvre et les stocks dont dispose la population des entreprises, tous ces facteurs étant exprimés en fonction du temps;

**secteur financier** -- montant total des prêts en cours, montant total des dépôts, intérêts débiteurs et intérêts créditeurs, taux d'intérêt, ratio d'endettement par groupe de taille des entreprises, tous exprimés en fonction du temps;

**statistiques de base du SCN** -- composantes du revenu national ( $Y = C + I + G$ ), plus stocks par rapport à l'investissement en capital (brut et net), tous ces facteurs étant exprimés en fonction du temps;

**mesures globale de bien-être** -- PIB par habitant, salaires moyens, revenu disponible moyen, «utilité» moyenne (étant donné des fonctions d'utilité posées expressément pour les travailleurs-consommateurs), toutes ces mesures étant exprimées en fonction du temps;

**mesures de distribution** -- valeurs de quintile, mesures de polarisation pour les salaires, les revenus et l'utilité, toutes ces mesures exprimées en fonction du temps, plus coefficient de Gini et autres mesures globales d'inégalité et de polarisation (Wolfson, 1994), exprimés en fonction du temps.

### **Programme d'expériences**

Avec une version courante de XEcon, y compris des présentations graphiques comme celles décrites ci-dessus, nous pouvons nous livrer à une série d'expériences de simulation dans le cadre d'un programme de recherche. Il devrait s'agir au début d'expériences très simples, dont le but serait de vérifier si le modèle fonctionne comme prévu et qui pourraient être choisies parmi les suivantes :

**reproduction des conditions d'équilibre** -- pour une première série d'expériences de «mise au point»; notons qu'on peut définir la technique intrants-extrants de XEcon de manière que l'économie soit dans un état d'équilibre constant (avec un taux de croissance nul). Une façon de tester le modèle serait d'introduire un ensemble de conditions initiales à l'état d'équilibre et de vérifier si l'équilibre persiste;

**dynamique du déséquilibre** -- une fois qu'on a démontré l'existence d'un sentier d'équilibre, il peut être intéressant de suivre l'évolution de l'économie lorsqu'au départ elle n'est pas en état d'équilibre. Nous posons l'hypothèse (après discussion avec Eliasson) qu'en l'absence de toute intervention l'économie pourrait demeurer longtemps en déséquilibre. Autrement dit, il n'y a pas de raison de croire que XEcon (ou une économie réelle comme celle de la Russie) tendra rapidement, ou asymptotiquement, vers l'équilibre lorsqu'au départ le vecteur de prix est largement faussé;

**statistiques classiques et statistiques «inobservables»** -- les statistiques classiques comme le PIB et le revenu disponible par habitant sont calculées facilement pour une économie artificielle. Il en est de même pour les tableaux d'entrées-sorties et plusieurs mesures de la productivité globale

des facteurs. Par ailleurs, il est possible de calculer des valeurs «inobservables» comme la production potentielle et l'utilité globale, comme le montrent les présentations graphiques de la section précédente. On peut aisément supposer que la croissance observée n'a pas à concorder parfaitement avec la croissance d'indicateurs de bien-être qui, normalement, sont inobservables;

**robustesse et dépendance évolutionnelle** -- on peut s'interroger sur la robustesse d'une économie lorsque celle-ci suit un sentier évolutif. Il y a moyen d'évaluer directement cette robustesse avec XEcon en exécutant plusieurs simulations où les intrants demeurent inchangés; seule la valeur de départ pour le générateur de nombres (pseudo) aléatoires est modifiée chaque fois. L'économie sera robuste si la variance calculée pour l'ensemble des simulations est faible. Dans le cas contraire, il s'agira d'une économie qui manque de robustesse ou qui dépend fortement du sentier évolutif;

**rôle des prévisions souples** -- selon toute vraisemblance, la stabilité de XEcon dépend très fortement des recettes empiriques qu'utilisent les entreprises et les travailleurs-consommateurs pour compenser l'effet de prévisions erronées, qu'elles aient été pessimistes ou optimistes. On peut examiner cette question en testant diverses règles d'ajustement, par exemple le rythme auquel les salaires, les prix et la production s'adaptent à la conjoncture. Nous posons l'hypothèse qu'une adaptation plus lente favorisera la volatilité à court terme, mais aussi la stabilité à long terme;

**rôle du secteur financier** -- le secteur financier fixe les taux d'intérêt et les limites de crédit. Une question qui nous vient automatiquement à l'esprit est de savoir quel rôle jouent les taux d'intérêt dans la croissance économique. L'expérience récente du Canada en matière de politique macro-économique donne à penser que l'économie a souffert grandement de la politique de taux d'intérêt élevés, alors que le modèle de Romer (1990) donne à penser le contraire;

**formes de marché nouvelles** -- grâce aux fondements microanalytiques de XEcon, il est possible d'explorer des structures de marché qui s'écartent incontestablement de la pensée néo-classique mais qui sont plus réalistes; par exemple, on peut rejeter la fameuse «loi du prix unique» (Smith et Williams, 1992) et supposer que les entreprises respectent le système des prix affichés, où des opérations s'effectuent à un rythme continu aux divers prix affichés. La question est de savoir quelle différence il y a concrètement entre les marchés de ce genre et, par exemple, les marchés que l'on décrit habituellement dans les manuels;

**stabilisateurs automatiques keynésiens** -- on conjecture qu'en l'absence de mesures de redistribution du revenu (imposition, transferts), XEcon aura tendance à reproduire un niveau de chômage qui ne cesse de croître et un PIB par habitant qui va sans cesse en diminuant; cette hypothèse peut être facilement approfondie au moyen d'une série de simulations;

**tendance de l'inégalité des revenus** -- dans XEcon, l'inégalité des revenus vient en partie de la diversité des salaires versés par les entreprises. On peut se demander, par exemple, quelle est l'incidence de politiques macro-économiques comme la stabilisation de la demande sur l'inégalité des revenus. Une autre question intéressante est de savoir si l'imposition de conditions de crédit sévères aux entreprises moins bien nanties -- ce qui peut amener rapidement leur exclusion du marché -- aura un effet positif sur l'inégalité des revenus;

**dynamique des entreprises** -- Dosi et coll. (1993) estiment, avec microdonnées longitudinales canadiennes à l'appui, que la dynamique des entreprises présente les caractéristiques essentielles suivantes : 1) la distribution globale des entreprises selon la taille est étalée vers la droite et de forme assez stable (ex., Pareto ou lognormale); 2) néanmoins, on note une forte et constante activité au sein de la population des entreprises; 3) une partie de cette activité est attribuable aux taux élevés de création et de disparition d'entreprises; 4) toutefois, cette activité n'est pas totalement aléatoire comme dans un mouvement brownien; beaucoup d'entreprises ont un rendement constamment supérieur ou constamment inférieur à la moyenne (c.-à-d. que leurs taux de croissance annuels sont autocorrélés); 5) même si la distribution globale des entreprises selon la taille a une forme caractéristique et stable, on ne retrouve pas cette forme pour les sous-populations sectorielles (par ex., secteur de l'énergie et secteur de la vente au détail). Il existe des modèles mathématiques formels qui peuvent reproduire l'une ou l'autre de ces caractéristiques, mais pas toutes à la fois. Le modèle de simulation de Dosi et coll. (1993) peut, lui, reproduire toutes les caractéristiques simultanément, ce que devrait aussi pouvoir faire le modèle XEcon;

**rôle des nouveaux venus sur le marché** -- Dosi et coll. (1993) étudient aussi l'importance de l'arrivée d'entreprises sur le marché pour la croissance économique. En particulier, ils cherchent à déterminer si les nouveaux venus sont des diffuseurs de technologie beaucoup plus importants que les entreprises déjà en place. On peut effectuer des expériences semblables avec XEcon. Dans une autre série d'expériences, on peut établir un rapport entre le financement des nouveaux venus et les taux de création et de réussite. Les deux séries d'expériences combinées pourraient donner un aperçu de l'influence du financement par actions sur le rythme du progrès technique;

**incidence fiscale dans un monde en évolution** -- l'incidence de l'impôt sur les sociétés est un sujet qui fait toujours l'objet de discussions, suivant les hypothèses que l'on pose concernant la mobilité des capitaux. Or, ce débat s'inscrit encore largement dans une perspective néo-classique statique. On peut penser que dans XEcon, l'impôt sur les sociétés aura une incidence vaste et complexe qui variera selon les conditions initiales et les hypothèses de comportement. Les expériences qui seront effectuées pour analyser cette incidence devraient avoir pour effet d'améliorer les analyses peut-être un peu simplistes qui abondent dans la littérature économétrique.

## **Conclusion**

Comme nous l'avons dit au départ, le modèle XEcon est encore au stade de l'élaboration. Cet article a permis d'en décrire en bref la structure et de présenter des exemples d'expériences de simulation. On s'attache actuellement à élaborer un environnement logiciel pour XEcon qui sera conforme aux spécifications énoncées dans Gribble et Wolfson (1992). Dès que ce sera fait, on passera à la programmation pour la mise en oeuvre de XEcon.

## **Bibliographie**

- Antonov, Michael and Georgi Trofimov (1993), "Learning through short-run macroeconomic forecasts in a micro-to-macro model", Journal of Economic Behavior and Organization 21, pp 181-203.
- Ballot, G. and E. Taymaz (1993), "Firm-Sponsored Training, Technical Progress and Aggregate Performance in a Micro-Macro Model", paper presented at the Special Conference on Microsimulation and Public Policy, International Association for Research in Income and Wealth, Canberra, Australia, December.
- Becker, R.A., J.M.Chambers, and A.R.Wilks (1988), The New S Language -- A Programming Environment for Data Analysis and Graphics Wadsworth & Brooks / Cole Advanced Books and Software, Pacific Grove, California.
- Bennett, R.L. and B.R.Bergmann (1986), A Microsimulated Transactions Model of the United States Economy, Johns Hopkins University Press, Baltimore and London.
- Best, Michael (1990), The New Competition: Institutions of Industrial Restructuring Cambridge U.K., Polity Press.
- Dosi, G., O. Marsili, L. Orsenigo, and R. Salvatore (1993), "Learning, Market Selection and the Evolution of Industrial Structures", mimeo, March.
- Eliasson, G. (1986), "The Swedish Micro-to-Macro Model: Idea, Design and Application" in G.H.Orcutt, J.Merz, and H.Quinke (Eds), Microanalytic Simulation Models to Support Social and Financial Policy North Holland.
- Eliasson, G. (1991), "Modeling the Experimentally Organized Economy" Journal of Economic Behaviour and Organization, 16 (153-182) North Holland.
- Gribble, S.F. and M.C.Wolfson (1992), "Design Issues for Longitudinal Microsimulation Software", Proceedings of the ASA; and mimeo, Social and Economic Studies Division, Statistics Canada, Ottawa
- Lane, D. (1993), "Artificial Worlds in Economics", Journal of Evolutionary Economics, 3 (87-89) and (177-197).
- Leijonhufved, A. (1973), "Life Among the Econ", Western Economic Journal, Vol. XI, No. 2, September.
- Lipsey, R.G. (1993), Review of books by Blaug and Hutchison, Canadian Journal of Economics, XXVI No. 3, August
- Lucas, R.E. (1993), "Making a Miracle", Econometrica, Vol. 61, No. 2, March.

- Mankiw, N.G., D.Romer and N.Weil (1992), "A Contribution to the Empirics of Economic Growth", Quarterly Journal of Economics, Vol. CVII, Issue 2, May.
- Nelson, R. and S. Winter (1982), An Evolutionary Theory of Economic Growth, Harvard University Press.
- Pasinetti, L. (1982), Structural Change and Economic Growth, Cambridge University Press
- Romer, P. (1990), "Endogenous Technological Change", Journal of Political Economy, Vol. 98, Number 5, Part 2 (October).
- Rosenberg, N. (1976), Perspectives on Technology, Cambridge University Press (esp Chap 1 "Technological Change in the Machine Tool Industry, 1840-1910")
- Salter, W.E.G. (1969), Productivity and Technical Change, Second Edition, Cambridge University Press.
- Smith, Adam (1970), The Wealth of Nations, Penguin Classics, England.
- Smith, V.L. and A.W.Williams (1992), "Experimental Market Economics" Scientific American, December, p116-121.
- Solow, R.M. (1957), "Technical Change and the Aggregate Production Function", Review of Economics and Statistics, 39:312-320.
- Statistics Canada (1993), CEPHID Documentation, Social and Economic Studies Division, Ottawa.
- Stigler, G.J. (1951), "The Division of Labour is Limited by the Extent of the Market", Journal of Political Economy, Vol. LIX, No. 3, June.
- Young, A. (1928), "Increasing Returns and Economic Progress", Economic Journal, Vol. XXXVIII, No. 152, December.
- Wolfson, M. (1994), "When Inequalities Diverge", American Economic Review Papers and Proceedings, May.