C.

# Documents de recherche

11F0019F
no. 45
c.3

Statistique Canada Statistics Canada

Canada

DIRECTION DES ÉTUDES
ANALYTIQUES

STATISTICS STATISTIQUE
CANADA CANADA
OCT 27 1992
LIBRARY
BIBLIOTHÈQUE

# ANALYSE DE MODÈLES DE L'ESPÉRANCE DE VIE EN SANTÉ DE LA POPULATION

## Une approche fondée sur la microsimulation

par

Michael C. Wolfson et Kenneth G. Manton

N° 45

Division des études sociales et économiques
Direction des études analytiques
Statistique Canada
1992

L'analyse présentée dans cet article est la responsabilité des auteurs seuls et ne reflète pas nécessairement la position de Statistique Canada.

Also available in English

# Analyse de modèles de l'espérance de vie en santé de la population

## Une approche fondée sur la microsimulation

Michael C. Wolfson

Direction des études analytiques

Statistique Canada,

Institut canadien de recherches avancées

Programme sur la santé des populations

et

Kenneth G. Manton

Center for Demographic Studies

Duke University

## RÉSUMÉ

Divers modèles ont été mis au point pour l'estimation de l'espérance de vie sans incapacité (EVSI) et d'indices connexes. Toutefois, de façon générale, ces modèles ne font pas explicitement référence aux processus de morbidité sous-jacents, et ils ne permettent pas non plus d'inclure une grande hétérogénéité dans la description de l'état de santé. D'autres efforts de modélisation ont porté sur les profils d'incidence et de progression de grandes maladies, et sur des états de santé plus détaillés. Cette communication a pour but d'analyser quelques modèles des deux types. L'un des objectifs est

d'examiner et de mettre en contraste les diverses hypothèses qui sous-tendent ces modèles. Un autre objectif est d'élaborer un cadre conceptuel commun dans lequel l'ensemble de ces modèles variés pourront être naturellement représentés. Un tel cadre ne permet pas seulement d'établir des comparaisons; il indique également une voie qu'on pourrait emprunter pour faire la synthèse de ces modèles et combiner des méthodes de calcul d'indices globaux de l'état de santé, par exemple l'EVSI et la notion plus générale d'espérance de vie en santé de la population, à des modèles explicites des facteurs de risque, des maladies et des processus connexes. Enfin, le cadre conceptuel est rendu directement exploitable par l'utilisation de méthodes de microsimulation de Monte Carlo, qui feront l'objet d'une description dans la présente communication.

Mots-clés : espérance de vie sans incapacité, microsimulation, modèles de morbidité, état de santé de la population.

## Introduction[1]

Il existe toute une gamme de méthodes et de modèles pour l'estimation de l'espérance de vie sans incapacité (EVSI). D'autres modèles ont été élaborés pour l'examen de processus de morbidité particuliers. Toutefois, les modèles des processus de morbidité ne permettent pas en général d'estimer l'EVSI, et les modèles de l'EVSI ne tiennent pas compte, en général, des processus de morbidité sous-jacents. Il serait souhaitable, de toute évidence, que le concept d'EVSI soit élargi de manière à ce qu'une gamme variée d'états de santé soient pris en considération et qu'on puisse représenter explicitement les processus de morbidité qui sous-tendent l'apparition et la progression des incapacités, les séquelles de ces processus, ainsi que les coûts des soins de santé et les autres coûts. La présente communication vise à contribuer à une telle synthèse et à un tel prolongement des efforts de modélisation actuels. Elle traite d'une variété de modèles servant à estimer l'EVSI et des indices connexes plus généraux, ainsi qu'à représenter explicitement des processus de morbidité.

---

[1] Le troisième atelier international du Réseau Espérance de vie en santé (REVES) a eu lieu les 3 et 4 décembre 1990 à l'université Duke (Durham, Caroline du Nord). Cet atelier a porté sur "l'espérance de vie en santé : méthodes de calcul et autres considérations méthodologiques"; on y a examiné les divers modèles de l'espérance de vie sans incapacité (EVSI). L'une des conclusions de cet atelier a été de recommander l'établissement d'un groupe de travail pour examiner ces modèles et voir comment ceux-ci pourraient être élargis de manière à inclure des représentations explicites des processus liés aux maladies chroniques. La présente communication a servi de point de départ aux travaux de ce groupe.

Notre examen de l'EVSI pourrait commencer par une description de la méthodologie originale de Sullivan (1971), que nous mettrions ensuite en parallèle avec d'autres efforts de modélisation. Toutefois, il serait difficile et encombrant d'établir une notation mathématique uniforme pour décrire et comparer la vaste gamme de méthodes concernées. Nous avons choisi, comme solution de rechange, de décrire chaque modèle en fonction de deux grands groupes de caractéristiques : premièrement, l'"espace d'états", c'est-à-dire l'ensemble de variables utilisé par le modèle pour caractériser un individu à chaque période de sa vie et, deuxièmement, les "lois du mouvement", c'est-à-dire l'ensemble de formules ou de processus dynamiques servant à déterminer l'état des individus à l'âge "a" compte tenu de leur état préalable. Tous les modèles de notre étude ont la même structure de base : ils créent de manière récursive une cohorte de cycles de vie ou de biographies individuels en établissant un ensemble d'individus à la naissance, puis en produisant de manière synthétique la vie de ces individus conformément à des descriptions quantitatives bien définies des processus dynamiques (et souvent stochastiques) pertinents, comme la mortalité.

Un certain nombre des modèles utilisent un espace d'états très simple, se limitant à préciser, par exemple, si la personne est vivante ou décédée et, dans le cas où elle est vivante, si elle souffre d'une incapacité ou non. D'autres sont beaucoup plus riches. En outre, la plupart des modèles ne représentent

pas les individus de manière explicite. Ceux-ci sont plutôt incorporés à des groupes ou cellules, comme dans une table de survie qui regroupe les individus selon l'âge et le sexe. Toutefois, les individus sont toujours l'objet implicite des modèles, et c'est là la clé du cadre conceptuel commun qu'il faut définir et appliquer pour faire la synthèse des modèles examinés.

Une biographie ou un dossier de microdonnées longitudinales idéalisé relatif au cycle de vie d'un individu sera la structure de base que nous utiliserons pour décrire l'"espace d'états" de chaque modèle. Il faudra inclure, en outre, une description de l'ensemble d'individus formant la population visée par le modèle. Il s'agit le plus souvent d'une cohorte d'âge. Les "lois du mouvement" du modèle fournissent alors le moyen de créer l'espace d'états d'un individu à l'âge "a" en fonction de son espace d'états à des âges antérieurs. La démarche consistant à définir la structure générale des données constituant l'espace d'états des modèles (EVSI ou modèles connexes), puis à expliquer les lois du mouvement des modèles, offre un cadre analytique commun pour la compréhension et la comparaison des modèles -- ce qui est l'un des objectifs de cette communication.

Par ailleurs, cette démarche consistant à élaborer un cadre analytique commun est plus qu'un exercice conceptuel -- les modèles décrits sous cette forme peuvent être exploités en tant que modèles de microsimulation longitudinale informatisés. Par conséquent, un deuxième objectif consiste à introduire le concept

de microsimulation dans l'analyse de l'EVSI. Nous avons aussi comme objectif d'examiner des généralisations du concept d'EVSI lui-même, et d'indices apparentés comme l'espérance de vie en santé (EVS) et l'espérance de vie active (EVA). Ces indices sont restrictifs du point de vue de la gamme des états de santé considérés. L'espérance de vie en santé de la population (EVESP; Wolfson, 1992) va plus loin, en mettant à contribution un spectre multidimensionnel d'états de santé. Enfin, puisque le cadre analytique (et sa mise en oeuvre informatique) devant servir à l'analyse des divers modèles est une généralisation susceptible d'englober les modèles à titre de cas spéciaux, il peut constituer une base permettant de réunir les points forts des divers modèles.

L'éventail des modèles que nous allons examiner n'est ni exhaustif, ni représentatif. Les modèles ont plutôt été choisis de manière à illustrer la gamme des phénomènes qui pourraient être réunis dans de futurs travaux. Nous commençons par quelques exemples de modèles de tables de survie. Ensuite, vu l'intérêt que présente la description des processus de maladies chroniques et des changements patho-physiologiques qui surviennent avec l'âge, notre analyse incorpore plusieurs modèles de maladie chronique, même si ces modèles ne sont pas destinés à produire des mesures de l'EVSI ou d'autres mesures connexes. Nous incluons également deux modèles plus théoriques traitant de l'hétérogénéité non observée. Les deux derniers ensembles de

modèles représentent les travaux actuels des auteurs. Voici la liste des modèles examinés :

. Sullivan (1971) -- table de survie du moment, avec entrée unique dans un état d'incapacité, comportant un seul état, pour calculer l'EVSI;

. Wilkins et Adams (1983) -- table de survie du moment, avec entrée unique dans un état d'incapacité, comportant plusieurs états d'incapacité et une "pondération" subjective du degré d'incapacité, pour calculer l'EVSI et l'EVS;

. Rogers et coll. (1989) et Crimmins et coll. (1989) -- modèles de table de survie du moment, avec entrées et sorties, comportant plusieurs états, pour calculer l'EVSI ou l'EVA;

. Weinstein et coll. (1987) -- modèle de processus de morbidité et de mortalité attribuables aux maladies coronariennes, à états discrets et à temps discret, basé sur des cellules, à nombre limité d'états de risque liés au temps réel, pour prévoir la prévalence des maladies coronariennes et la mortalité connexe;

. Gunning-Schepers (1988) -- modèle de mortalité à états discrets, à temps discret, basé sur des cellules, par causes particulières, avec facteurs de risque liés au temps réel, pour

prévoir la mortalité par causes particulières compte tenu de scénarios de prévalence des facteurs de risque;

. Vaupel et Yashin (1985), Vaupel (1988) -- modèles abstraits d'état stationnaire supposant diverses formes d'hétérogénéité latente de la population, pour étudier le risque de mortalité et la transmission de la "fragilité" entre générations;

. Manton et Stallard (1991), Dowd et Manton (1991), Manton, Stallard et Woodbury (1991) -- modèles de processus stochastiques avec dynamique non stationnaire des facteurs de risque et de la mortalité, hétérogénéité des maladies, relations multidimensionnelles entre les types de maladie et d'incapacité, "grappes" latentes d'incapacités, risques de mortalité en concurrence, et revenus perdus en raison d'un décès prématuré, pour estimer l'EVA des personnes âgées aux États-Unis, et pour évaluer le fardeau associé aux maladies chroniques et la mortalité en fonction de divers scénarios quant aux facteurs de risque; et

. Wolfson (1992) -- modèle POHEM, utilisant une microsimulation de Monte Carlo avec dynamique multidimensionnelle de la nuptialité et du marché du travail, hétérogénéité non observable, dynamique multidimensionnelle des facteurs de risque, processus de morbidité et de mortalité propres à une maladie, techniques de traitement, handicaps fonctionnels et état de santé, pour estimer l'EVESP dans des conditions stationnaires (ou

l'EVSI comme cas particulier) ainsi que l'EVESP et les coûts des soins de santé en l'absence d'une maladie ou d'un facteur de risque.

**Cadre général**

Comme point de départ de notre analyse, nous proposons une structure de données générale fondée sur un ensemble de dossiers de microdonnées longitudinales, ou "biographies" d'une population d'individus, comme le montre la figure 1. Chaque "biographie" est la représentation, dans un tableau de données rectangulaire, de processus sous-jacents relatifs à l'état de santé et à la situation socio-démographique. La dimension horizontale est l'âge (ou le temps). Le dossier s'arrête au décès. La dimension verticale couvre l'"espace d'états" de l'individu -- l'ensemble de variables discrètes ou continues qui décrivent l'individu de telle façon qu'à chaque âge, l'état de santé futur de la personne peut être prévu uniquement à partir de l'information du moment. L'espace d'états peut inclure n'importe quelle des variables suivantes (toutes mesurées en fonction du temps, sauf l'héritage génétique). La plupart des modèles examinés n'utilisent qu'une fraction très limitée de ces variables.

[Insérer figure 1 ici]

- héritage génétique - désordres et prédispositions génétiques;

- exposition à des facteurs environnementaux - attributs des milieux physico-chimiques et socio-culturels qui sont la cause des expositions à des éléments nocifs et influent sur la capacité de surmonter des restrictions ou des handicaps fonctionnels (Minaire, 1990);

- situation socio-économique -- années de scolarité et niveau d'instruction, participation à la population active, gains, autres revenus, richesse, durée d'emploi, stade de carrière, état matrimonial, fécondité, etc.;

- autres facteurs de risque -- physiques (p. ex. cholestérol, obésité, hypertension) et habitudes de vie (p. ex. usage du tabac, consommation de drogues);

- symptômes cliniques et maladies -- maladies coronariennes, cancer, affections squeletto-musculaires, démences, etc.;

- capacité fonctionnelle/incapacité -- activités de la vie quotidienne, activités instrumentales de la vie quotidienne, indices multidimensionnels de la capacité fonctionnelle comme la Classification internationale des handicaps : déficiences, incapacités et désavantages (Organisation mondiale de la santé,

1980), échelles d'état de santé multi-attributs (p. ex. Ontario, 1990), etc.;

. utilisation des services de santé -- visites chez le médecin, services de santé à domicile, visites à l'hôpital, chirurgie, médicaments, centre d'hébergement, etc. (mesurée en unités hétérogènes naturelles, p. ex. interventions par type, jours-lits, etc.)

. coût économique global -- montant unique reflétant les services de santé consommés et les autres coûts économiques comme le manque à gagner; et

. indice global de l'état de santé -- score représentatif de l'état de santé, fondé par exemple sur les "années de vie redressées qualitativement" (Quality Adjusted Life Years, QALY), ou encore sur une valeur multi-attributs (p. ex. Torrence, 1987; Williams et coll., 1990; mais voir Loomes et McKenzie, 1990).

Dans l'espace d'états d'un individu, ces variables se rapportent toutes au moment particulier où l'âge de la personne est "a". Toutefois, de nombreux processus dépendent d'une exposition cumulative ou de l'expérience passée; par exemple, les fonctions de risque du cancer du poumon dépendent de la consommation de tabac, qui est souvent mesurée en paquets-années cumulatifs. Quand la dynamique ou les lois du mouvement d'un processus donné dépendent d'antécédents vécus sur une longue

durée ou d'une série de variables décalées, et non seulement de la valeur de variables à l'âge "a-1", il ne s'agit pas d'un processus de Markov de premier ordre, et l'espace d'états peut être qualifié de "déficient" (Manton, Stallard et Woodbury, 1991). On peut remédier à une telle déficience en faisant intervenir explicitement, à titre d'éléments additionnels de l'espace d'états, des variables cumulatives ou moyennes, pondérées en fonction du temps. Par exemple, une ligne pourrait être ajoutée à la figure 1 de manière à adjoindre aux variables de l'espace d'états les paquets-années cumulatifs. Cette méthode permet de représenter sous forme d'un processus de Markov de premier ordre des processus stochastiques d'ordre plus élevé. Une autre solution, qui évite d'agrandir le tableau, consiste à laisser inchangé l'espace d'états présenté à la figure 1, et à inclure de telles variables de manière implicite. Il suffit dans ce cas de reconnaître que des fonctions arbitraires définies le long des trajectoires des variables jusqu'à l'âge "a" font aussi partie de l'espace d'états de l'individu.

La figure 1 montre que d'autres personnes peuvent aussi avoir un rôle, par exemple le conjoint ou un enfant. Ces personnes définissent en fait la troisième dimension, la population dont l'individu est membre. L'évolution d'une année à l'autre de ces autres personnes, en particulier celles qui sont "importantes" pour l'individu, peut interagir avec l'évolution de ce dernier; le mariage et la fécondité en sont un exemple dans le domaine démographique, et la présence d'un conjoint qui vient en

aide à une personne handicapée dans ses activités quotidiennes en est un autre. Dans de nombreux modèles de tables de survie, la population ou le groupe de personnes sur lequel porte l'analyse est une cohorte de naissances synthétique. L'une des hypothèses de ces modèles de tables de survie est que le comportement des individus est complètement indépendant. Il s'agit d'une hypothèse contraignante qui n'est pas nécessaire dans le cadre plus général présenté à la figure 1. On peut introduire des interdépendances dans les lois du mouvement d'un individu en rendant certaines des variables d'état à l'âge a dépendantes non seulement des antécédents vécus par l'individu jusqu'à l'âge a, mais aussi des antécédents vécus par les autres personnes "importantes" de son entourage.

La structure de données générale de la figure 1 représente donc effectivement un ensemble de microdonnées longitudinales "polyvalent". Les résultats intéressants de tous les modèles mentionnés ci-dessus pourraient être calculés à partir de ces microdonnées, si nous disposions d'observations réelles relatives à des sous-ensembles limités des lignes. Toutefois, on ne dispose pas en général de telles données, de sorte que le sous-ensemble requis de cette structure de données doit être synthétisé par chaque modèle. En outre, dans tous les modèles analysés sauf le dernier, les microdonnées elles-mêmes ne sont jamais synthétisées explicitement; les modèles créent plutôt des totaux, des moyennes, des variances ou d'autres descriptions statistiques concernant des agrégats partiels d'individus.

Chacun des modèles à analyser reconstitue l'expérience d'une cohorte. Chaque individu de la cohorte est représenté par un sous-ensemble des lignes de la figure 1. Ce processus de construction exige le choix d'une colonne du tableau des états pour initialiser les lignes concernées, habituellement la colonne située le plus à gauche. Chaque colonne successive peut alors être créée ou synthétisée d'après des lois du mouvement estimées à partir de données exogènes, et d'après le contenu de la colonne située à gauche. Notons que le fait de distinguer des "colonnes" dans le tableau équivaut à supposer que la variable temps est discrète. Des modèles à temps continu pourraient être construits par l'utilisation d'une ligne verticale à l'âge a plutôt que d'une colonne de largeur non nulle.

La plupart des modèles ne représentent pas explicitement les biographies des individus. Ceux qui se fondent sur les tables de survie, par exemple, ont comme niveau minimal de désagrégation une sous-population définie par des variables comme l'intervalle d'âge, le sexe et le groupe d'incapacités. L'utilisation de tels agrégats simplifie énormément les calculs. Par contre, il est impossible de refléter l'hétérogénéité qui existe à l'échelon individuel. Les lois du mouvement utilisées doivent être définies sous forme de probabilités de transition moyennes ou d'équations différentielles s'appliquant de manière identique à tous les membres d'un groupe. Il est impossible, de cette façon, de représenter avec exactitude le comportement individuel. Cette lacune pourrait soulever une inquiétude importante au moment de

la planification d'interventions en matière de santé devant influer sur des processus jouant à l'échelon individuel, associés par des liens complexes aux antécédents médicaux et socio-économiques. Il est possible, en revanche, de synthétiser les biographies de chacun des individus (ou d'un échantillon représentatif de ces derniers) appartenant à la cohorte ou à la population pertinente. L'utilisation de telles microdonnées offre une complète flexibilité dans la représentation et l'analyse de l'hétérogénéité individuelle.

Le cadre de la figure 1 constitue une base générale permettant de décrire les divers modèles à analyser selon deux composantes principales -- l'espace d'états et les lois du mouvement. Il peut être utile, par ailleurs, de distinguer deux aspects de chaque effort de modélisation. Le premier est la stratégie d'estimation ou d'inférence statistique appliquée aux observations par chaque modèle. Ces stratégies empiriques permettent d'extraire des données les aspects essentiels ou réguliers formant la "base factuelle" ou le fondement empirique des modèles. Elles peuvent aller de l'emploi de séries de données classiques et largement utilisées comme les taux de mortalité, jusqu'à l'établissement de classifications croisées de résultats d'enquêtes sur les ménages pour déterminer, par exemple, la prévalence des incapacités, en passant par des méthodes très raffinées d'estimation de la structure multidimensionnelle latente, comme la construction de grappes floues d'incapacités, ou encore une méta-analyse dans laquelle

des segments importants de la littérature épidémiologique sont examinés pour en arriver à une description synthétique de divers processus de morbidité.

Le deuxième aspect de chaque modèle est la méthode utilisée pour déterminer les conséquences des observations empiriques retenues -- c'est-à-dire la stratégie déductive. Des analyses numériques sur ordinateur sont à la base de tous les modèles à analyser. Certaines se fondent sur des tables de survie multidimensionnelles, tandis que d'autres utilisent des formes plus générales de structures à cellules, dans lesquelles une cellule représente un groupe d'individus ayant diverses caractéristiques communes. D'autres encore utilisent des systèmes d'équations différentielles. La stratégie déductive utilisée dans le dernier modèle est une application particulière de la modélisation par microsimulation de Monte Carlo.

La modélisation par microsimulation de Monte Carlo est une méthode générale dont les applications vont de la physique des particules à haute énergie aux sciences sociales (Orcutt et coll., 1976), deux domaines où son emploi date des premières années de l'informatique. La modélisation par microsimulation de Monte Carlo, dans son rôle plus général de cadre déductif ou de méthode de résolution de systèmes d'équations complexes, peut être appliquée aux modèles ayant la forme représentée par la population d'individus de la figure 1. Comme cette même population peut servir à représenter tous les modèles de notre

analyse, nous pouvons envisager de résoudre chacun de ces modèles au moyen de méthodes de microsimulation de Monte Carlo. Par conséquent, notre analyse consistera d'abord à imaginer comment l'espace d'états et les lois du mouvement de chaque modèle peuvent être traduits de manière à s'insérer dans le cadre de la figure 1, puis à esquisser la manière dont chaque modèle peut être "résolu" à l'aide de la modélisation par microsimulation de Monte Carlo. Cette méthode sera elle-même décrite dans le cadre de cette analyse des divers modèles, lesquels sont présentés, grosso modo, en ordre croissant de complexité.

D'autres caractéristiques des stratégies déductives des modèles peuvent aussi se révéler intéressantes. Par exemple, certains modèles se fondent sur des hypothèses d'état stationnaire, de telle sorte que les populations produites sont hypothétiques. D'autres reposent sur le temps réel et tentent de faire des projections réalistes. Enfin, les stratégies empiriques et déductives peuvent être plus ou moins étroitement liées. Par exemple, des stratégies empiriques simples sont le plus souvent associées à des stratégies déductives simples. Un élément important est la mesure dans laquelle des stratégies empiriques plus complexes peuvent être séparées des analyses déductives auxquelles elles sont liées. La possibilité de telles séparations faciliterait l'établissement d'associations plus riches entre l'observation empirique et l'analyse déductive, aspect sur lequel nous reviendrons à la fin de la présente communication.

**Méthode de Sullivan**

La méthode de Sullivan (1971) est la méthode de base pour estimer l'EVSI. Nous allons procéder étape par étape à sa représentation dans le cadre de la figure 1, de façon à démontrer en même temps l'application de la méthode de microsimulation de Monte Carlo. Le calcul de l'EVSI effectué par Sullivan exige, pour établir la biographie de chaque individu, un tableau de trois lignes au maximum; le nombre de lignes pourrait être moindre, mais le choix de trois répond aux besoins de l'analyse qui suivra. La première est une ligne indiquant si la personne souffre d'une incapacité ou non, la deuxième reflète l'état de santé global, tandis que la troisième indique si la personne est vivante ou décédée. En d'autres termes, l'espace d'états de Sullivan comporte trois attributs pour chaque individu -- incapacité ou non, état de santé, et vivant ou décédé.

La ligne "vivant ou décédé" relative à un individu donné commence à la "naissance", à l'âge zéro (tableau dégénéré comprenant zéro colonne). Les colonnes représentant les années de vie successives sont créées de façon récursive : si la personne est vivante à l'âge $a-1$, on détermine le taux de mortalité (selon le sexe) $m(a)$, puis on tire un nombre aléatoire dans un intervalle [0,1] de distribution uniforme; si le nombre tiré est supérieur à $m(a)$, la personne demeure vivante et les calculs se poursuivent; sinon, la personne meure et le tableau se

termine. En d'autres termes, la loi du mouvement pour la caractéristique "vivant ou décédé" de l'espace d'états se résume à un processus de Markov de premier ordre fondé sur les taux de mortalité selon l'âge.

En répétant de nombreuses fois ce processus de création de lignes décrivant la variable "vivant ou décédé", on crée un échantillon de Monte Carlo formé de biographies "synthétiques" (trivialement simples) des individus. La proportion de l'échantillon vivante à chaque âge correspond approximativement à la proportion de survie d'une cohorte dans une table de survie. En faisant la somme des proportions de survivants à chaque intervalle d'âge (après avoir multiplié par le nombre d'années devant être vécues pendant chaque intervalle), on obtient une estimation de l'espérance de vie.

Une fois que la ligne "vivant ou décédé" a été créée jusqu'à l'âge *a* pour chaque individu, l'étape suivante de la description de la méthode de Sullivan consiste à ajouter des colonnes, à l'âge *a*, pour les lignes représentant l'incapacité et l'état de santé global. Dans la méthode de Sullivan, l'incidence de l'incapacité est indépendante de l'état d'incapacité antérieur. Ainsi, à chaque âge *a*, nous prenons le pourcentage $d(a)$ de la population d'âge *a* qui souffre d'"incapacité" (quelle que soit la définition utilisée, p. ex. d'après un tableau d'une étude transversale), puis nous tirons un nombre aléatoire d'un intervalle [0,1] de distribution uniforme. Si le nombre est

inférieur à *d(a)*, l'individu souffre d'une incapacité cette année-là (c.-à-d. que l'élément de ligne a la valeur 0); sinon, la valeur à l'âge *a* est 1, c'est-à-dire que la personne est "en santé". La loi du mouvement, en ce qui concerne l'incapacité, est donc une attribution aléatoire indépendante simple, fondée sur des proportions observées.

Enfin, l'élément de ligne décrivant l'état de santé global de l'individu à l'âge *a* est calculé de façon élémentaire. On attribue à l'état de santé la valeur de l'incapacité, c.-à-d. 1 si l'individu est vivant et en santé, 0 sinon. Autrement dit, la fonction d'évaluation de l'état de santé traite une personne souffrant d'incapacité comme une personne décédée. Ces algorithmes d'attribution de valeurs annuelles étant définis, on répète le calcul des valeurs de l'incapacité et de l'état de santé global et on allonge les lignes jusqu'à ce que l'individu "meure".

Comme dans le calcul de l'espérance de vie décrit ci-dessus, ce processus de représentation de l'incapacité et de l'état de santé global pendant toute la durée du cycle de vie d'une personne peut être répété jusqu'à ce qu'une vaste quantité de biographies soient créées. Si l'on fait la moyenne des vecteurs décrivant l'état de santé global et qu'on additionne ensuite les valeurs de ce vecteur de moyennes, on obtient l'EVSI de Sullivan. Il est fastidieux d'interpréter les méthodes de calcul de l'EVSI fondées sur les tables de survie qu'emploie Sullivan en termes de

l'espace d'états et des lois du mouvement de la figure 1, mais on se dote ainsi d'une base à laquelle des modèles plus complexes pourront être intégrés. On met également en évidence certaines hypothèses, par exemple que la mortalité est indépendante de l'incapacité, que l'incapacité est une variable binaire de valeur 0 ou 1 (présence ou absence), et que l'incapacité à l'âge *a* est indépendante de l'incapacité antérieure.

L'expérience de microsimulation de Monte Carlo que nous venons d'imaginer pour adapter la méthode de Sullivan à la structure de la figure 1, et ensuite en calculer la solution, est plus coûteuse que l'estimation de l'EVSI de Sullivan à partir de tables de survie, et peut introduire une erreur additionnelle. En effet, à la variabilité statistique des paramètres qui sont estimés d'après les observations (p. ex. taux de mortalité, prévalences d'incapacités) s'ajoute la variabilité d'échantillonnage découlant de l'application de méthodes de Monte Carlo pour mesurer les conséquences de ces estimations statistiques. Cette erreur peut être quantifiée au moyen de méthodes non paramétriques de réutilisation d'échantillons. Cette évaluation de l'erreur pourrait ensuite servir à estimer la taille d'échantillon requise, dans la cohorte synthétisée, pour s'assurer que les estimations statistiques des variables ou les indices intéressants (p. ex. l'EVSI) ont la précision désirée. Il est évidemment impossible d'obtenir une précision statistique supérieure à celle des estimations originales des paramètres.

**Wilkins et Adams**

Wilkins et Adams (1983) ont assoupli les hypothèses de Sullivan au sujet des états d'incapacité, mais leur méthode est identique en ce qui a trait à la mortalité. Au lieu de deux niveaux d'incapacité (présence ou absence), ils en ont défini six. Comme dans le modèle de Sullivan, l'état d'incapacité d'une personne à l'âge *a* est indépendant de son état d'incapacité antérieur. Il dépend d'un ensemble de prévalences par âge (et par sexe) établies à partir de données transversales. Ainsi, *d(a)* représente la distribution de probabilité cumulative recouvrant un ensemble de six états d'"incapacité". Pour chaque état d'incapacité, une valeur d'état de santé global est attribuée selon l'échelle (arbitraire) suivante : aucune incapacité = 1.0, incapacité de courte durée = 0.5, affection chronique mineure = 0.7, affection chronique majeure = 0.6, affection chronique grave = 0.5, en institution = 0.4, décédé = 0.0.

La représentation de la méthode de Wilkins et Adams dans la structure de la figure 1 est immédiate. La ligne "vivant ou décédé" est construite de la même façon que pour la méthode de Sullivan. Les valeurs de la ligne "incapacité" sont obtenues par tirages dans la distribution des six états d'incapacité *d(a)*, tandis que la ligne "état de santé" est établie d'après les états d'incapacité, par attribution des valeurs de l'échelle ci-dessus.

Si l'on dispose d'un vaste échantillon de biographies synthétiques (ou de deux échantillons, pour les hommes et les femmes), plusieurs paramètres peuvent être estimés. Par exemple, l'espérance de vie sans aucune incapacité (EVSI) est la somme de toutes les années-personnes vécues dans l'état "aucune incapacité" divisée par la taille de l'échantillon. De même, l'espérance mathématique du temps passé en institution est la somme de toutes les années-personnes vécues dans l'état "en institution" divisée par la taille de l'échantillon. On peut calculer une forme simple d'espérance de vie corrigée en fonction de l'état de santé, ou d'"espérance de vie en santé de la population" (EVESP) en faisant la somme de tous les éléments des lignes "état de santé" (c.-à-d. pour l'ensemble des âges et des individus), puis en divisant par la taille de l'échantillon de Monte Carlo simulé.

Encore ici, la représentation de cette méthode sous une forme adaptée à la figure 1, au moyen d'un ensemble de microdonnées longitudinales construit par une microsimulation de Monte Carlo, est plus complexe et exige plus de calculs que les méthodes fondées sur des tables de survie globales utilisées par Wilkins et Adams. Toutefois, une telle représentation permet de mieux comprendre la structure et les hypothèses de base de leur méthode.

**Tables de survie multi-états avec entrées et sorties**

Les méthodes avec entrées et sorties utilisées par Rogers et coll. (1989) pour analyser la Longitudinal Survey on Aging (LSOA) aux États-Unis, ainsi que celle de Crimmins et coll. (1989) assouplissent les hypothèses de la méthode de Sullivan. Comme dans cette dernière, en raison de lacunes de l'information, il n'y a qu'un état d'incapacité (être "en santé"). Le même algorithme est utilisé pour l'état de santé global, c.-à-d. que la valeur 1.0 est attribuée si la personne est vivante et en santé et que la valeur 0.0 est attribuée dans le cas contraire. La différence est que les transitions entre les états vivant/décédé et en santé/souffrant d'une incapacité ne sont pas considérées comme indépendantes. On utilise à cette fin des probabilités de transition de Markov de premier ordre qui dépendent de l'incapacité antérieure. Si l'individu est vivant et en santé à l'âge $a-1$, les transitions vers l'âge $a$ sont les suivantes : pas de changement, affection, décès. De même, si la personne est vivante et souffre d'une incapacité à l'âge $a-1$, les transitions sont : pas de changement, retrouver la santé, décès. Les transitions sont estimées de façon conditionnelle, en fonction de l'état précédent.

Pour représenter cette méthode, supposons que la biographie d'un individu est synthétisée jusqu'à l'âge $a-1$ (et est formée des trois mêmes lignes que dans les exemples précédents). Il faut trouver comment appliquer ces lois du mouvement communes relatives à la mortalité et à l'incapacité de manière à ajouter une colonne au tableau des états de l'individu. Les observations

empiriques offrent deux ensembles de probabilités de transition -- $m(i,a)$ et $d(i,a)$, soit respectivement la probabilité de mourir et la probabilité de changer de degré d'incapacité à l'âge $a$, étant donné l'état d'incapacité i à l'âge $a-1$. Dans une optique de microsimulation de Monte Carlo, ces modèles fondés sur des tables de survie équivalent, en premier lieu, au tirage d'un nombre aléatoire dans un intervalle [0,1] de distribution uniforme. Si le nombre se situe dans l'intervalle $[0,m(i,a)]$,l'individu meurt; s'il se situe dans l'intervalle $[m(i,a),m(i,a)+d(i,a)]$, l'individu survit mais son état d'incapacité change; si le nombre se trouve dans l'intervalle $[m(i,a)+d(i,a),1]$, l'individu survit et son état d'incapacité demeure le même.

Des tirages de nombres aléatoires et des tests de comparaison avec des probabilités estimées de façon exogène sont répétés pour les âges successifs, de manière à produire la biographie synthétique de l'individu; on crée de nombreuses biographies de ce genre, puis on établit des moyennes. L'EVSI est calculée comme précédemment. La méthode avec entrées et sorties est plus réaliste du fait que les individus peuvent entrer dans un état d'incapacité et aussi en sortir. Ces transitions peuvent être fonction de l'état d'incapacité. La mortalité est aussi fonction de l'état d'incapacité. Toutefois, les processus de morbidité ou les facteurs de risque sous-jacents qui mènent aux états d'incapacité ne sont pas représentés, et une incapacité a la même pondération qu'un décès.

Les trois types de modèles fondés sur les tables de survie que nous avons examinés jusqu'ici construisaient une cohorte de naissances de façon synthétique, avec une structure stationnaire d'âge et d'incapacité. Les lois du mouvement sous-jacentes sont des modèles simples de transition de Markov d'ordre zéro ou un, à états discrets et à temps discret, dont les probabilités sont estimées relativement à une période récente pour la détermination des survivants de cohortes de naissances multiples à différents âges. Cette stratégie d'analyse fait abstraction de l'évolution de la structure par âge. Ces résultats, comme les estimations classiques de l'espérance de vie du moment, correspondent en quelque sorte aux "dérivées premières" de la position actuelle de la société -- c.-à-d. qu'elles indiquent vers quoi nous nous dirigeons si les taux instantanés courants demeurent inchangés. Toutefois, les résultats n'ont aucun lien avec le passage du temps réel, aussi bien passé que futur; ils ne reflètent pas les changements de périodes ou les tendances des cohortes. En outre, les deux premiers modèles sont fondés sur un mélange de stocks de période (prévalences d'incapacités ou de personnes en institution) et de flux de période (taux de mortalité).

**Weinstein et coll. et les maladies coronariennes**

Weinstein et coll. (1987) ont élaboré un modèle axé sur les maladies coronariennes, qui décrit le processus de morbidité touchant une population réelle (plutôt qu'une cohorte de

naissances construite de façon synthétique). La population est formée d'une suite de cohortes de naissances dont l'évolution est suivie dans le temps réel. Le modèle inclut explicitement des facteurs de risque relatifs à la morbidité et à la mortalité attribuables aux maladies coronariennes, ainsi que la prestation de soins de santé. Les objectifs sont de prévoir la morbidité et la mortalité dues aux maladies coronariennes -- et non d'estimer l'EVSI ou des statistiques connexes sur l'état de santé. Ce modèle est utile à la présente analyse, car il comporte la description quantitative détaillée d'un processus de morbidité, caractéristique qui devrait faire partie des généralisations et des prolongements futurs des méthodes de mesure de l'EVSI.

Comme précédemment, nous allons montrer comment le modèle de Weinstein et coll. relatif aux maladies coronariennes peut être reconstitué sous forme d'un échantillon de microdonnées longitudinales, selon la structure de la figure 1. Le modèle de Weinstein et coll. établit des classifications croisées de la population par âge, sexe, niveau de facteur de risque discret et antécédents médicaux, définissant ainsi environ 500 cellules ou catégories. Autrement dit, il s'agit d'un modèle à états discrets et à temps discret, basé sur des cellules. Les quatre facteurs de risque du modèle (cholestérol sérique total, tension artérielle diastolique, usage du tabac et obésité) ont chacun trois niveaux. On peut les représenter en utilisant quatre lignes dans la partie des facteurs de risque du tableau de la figure 1. Les "lois du mouvement" qui servent à établir le

profil de risque par âge de chaque individu d'après ces quatre variables sont appliquées de la façon suivante : au début de chaque intervalle d'âge de cinq ans, un niveau de facteur de risque est tiré au hasard, de façon indépendante, de chacune des quatre distributions à variable unique par âge et par sexe (décrites à leur tour par deux ou trois moyennes propres à la catégorie) observées dans une enquête récente menée auprès de la population américaine (l'enquête NHANES), et ce facteur est maintenu constant pendant les quatre années suivantes. Ainsi, au niveau individuel, compte tenu de l'âge et du sexe, les facteurs de risque sont présumés indépendants.

À chaque âge, la probabilité qu'une coronaropathie se manifeste varie selon que l'individu a vécu ou non un événement lié à une telle maladie antérieurement. S'il n'y a pas eu d'événement antérieur, la probabilité de la première manifestation est basée sur un risque estimé à partir d'une deuxième série de données (suivi sur 18 ans de la Framingham Heart Study), qui inclut l'âge, le sexe et les trois niveaux de chacun des quatre facteurs de risque. S'il y a une première manifestation de coronaropathie, une autre série de probabilités par âge permet de déterminer le type d'événement (infarctus du myocarde, arrêt cardiaque, angine, ou combinaison de ces derniers). Si la personne a vécu un événement antérieur, la probabilité que survienne un autre événement dépend de l'âge et des événements qui se sont déjà produits (mais non de facteurs de risque). Dans la figure 1, on créerait une ligne unique pour les

maladies coronariennes, laquelle indiquerait si des événements se sont produits à un âge donné et, dans l'affirmative, combien et de quelle sorte (p. ex. un infarctus du myocarde, ou une manifestation d'angine et un arrêt cardiaque).

La mortalité attribuable aux maladies coronariennes dans le modèle de Weinstein et coll. dépend de l'âge, du sexe, des antécédents (s'agit-il d'un premier événement ou d'un événement subséquent?) et du type d'événement. La mortalité due à d'autres causes dépend seulement de l'âge et du sexe. L'utilisation des soins de santé (p. ex. pontage coronarien) dépend seulement du type d'événement. Elle n'a pas d'effet subséquent sur la morbidité ou la mortalité.

Examinons la forme que prend le modèle de Weinstein et coll. lorsqu'on l'intègre à la structure de la figure 1. Puisque ce modèle est lié au temps réel, le processus appliqué aux modèles fondés sur les tables de survie dans le but de créer l'échantillon implicite sous-jacent de biographies synthétiques doit être modifié. Il faut, essentiellement, créer une série de cohortes de naissances qui se chevauchent. D'abord, nous créons une cohorte appartenant au groupe d'âge de 80-84 ans en 1990 (par exemple) en prenant comme point initial un échantillon d'individus ayant chacun une colonne d'information pour l'intervalle 75-79 ans, puis nous suivons chaque individu de cette cohorte de naissances constituant notre échantillon (c.-à-d. que nous ajoutons des colonnes à son tableau d'états)

jusqu'à ce qu'il meure. (Bien que les lois du mouvement de ce modèle utilisent des taux qui sont identiques à l'intérieur d'intervalles d'âge de cinq ou dix ans, les simulations se fondent sur des étapes d'un an.) Les taux de mortalité attribuables aux causes autres que les maladies coronariennes font l'objet de projections et comportent des indices aussi bien pour le temps que pour l'âge. Nous créons ensuite une cohorte du groupe d'âge 75-79 en 1990 et nous la suivons jusqu'à ce que tous les individus soient morts. Cette opération est répétée jusqu'à ce qu'on atteigne la cohorte du groupe d'âge 30-34 en 1990. Enfin, nous créons des cohortes du groupe 30-34 à partir de l'année 1995, de l'année 2000, etc., pour compléter l'ensemble de cohortes de naissances. La taille de chaque cohorte correspond à son importance démographique actuelle ou projetée, selon le cas. Ces cohortes de naissances sont "alignées" de façon qu'il y ait correspondance des années du calendrier. Comme auparavant, nous établissons la moyenne pour l'ensemble des cohortes.

Nous disposons donc d'un ensemble de microdonnées longitudinales synthétiques commençant en 1990 pour une population représentative, avec de nouvelles cohortes ajoutées au cours des années subséquentes. En établissant des classifications croisées des caractéristiques des individus, nous pouvons calculer, par exemple, le profil d'évolution dans le temps de la mortalité attribuable aux maladies coronariennes de 1990 à 2010, ainsi que la prévalence de ces maladies par âge et

par sexe, et ainsi reproduire exactement les projections découlant du modèle original de Weinstein et coll.

À partir d'une telle description, les hypothèses et les prolongements possibles se laissent immédiatement deviner. Par exemple, la mortalité d'origine non coronarienne est indépendante des facteurs de risque; or, l'on s'attendrait à ce que les fumeurs soient davantage exposés au cancer du poumon et aux maladies respiratoires. Il pourrait en être tenu compte dans les lois du mouvement régissant l'espace d'états représenté à la figure 1 si nous exigions que la probabilité d'un décès d'origine non coronarienne soit liée à la ligne "usage du tabac" du tableau jusqu'à l'âge $a-1$, et non uniquement à un taux de mortalité résiduel simple en l'absence d'une cause (les maladies coronariennes) exprimé par âge (ainsi que par sexe et par période du calendrier).

Les effets des facteurs de risque sur de multiples causes de mortalité, y compris les maladies coronariennes, peuvent ne pas être contemporains. L'exposition cumulative peut avoir un effet important. Dans la figure 1, on pourrait en tenir compte en définissant la probabilité d'une manifestation de coronaropathie à l'âge $a$ comme une fonction du tableau des niveaux des facteurs de risque sur l'ensemble de l'intervalle entre l'âge 0 et l'âge $a$. Si la structure de la figure 1 est utilisée, le prolongement du modèle de Weinstein et coll. de la façon décrite ci-dessus est direct (voir Wolfson et Birkett, 1989). Toutefois,

de telles extensions sont extrêmement fastidieuses, sinon impossibles, dans la structure semi-agrégée, fondée sur des cellules, du modèle original. L'ajout de liens conditionnels entraînerait une multiplication du nombre de cellules (c.-à-d. du nombre d'états) et rendrait rapidement la méthode impraticable. (Il pourrait aussi y avoir des besoins de données difficiles à combler, car des cellules hautement improbables, mais logiquement possibles, ont été définies.)

**Gunning-Schepers et le modèle PREVENT**

Le modèle PREVENT (Gunning-Schepers, 1988) est un autre modèle basé sur des cellules, lié au temps réel. Il permet d'établir des projections de la mortalité par cause, compte tenu de diverses interventions visant à réduire la prévalence de facteurs de risque comme l'usage du tabac. Parmi ses caractéristiques clés, notons la modélisation de décalages dans les effets des interventions, ainsi que des interactions avec les tendances démographiques.

Le modèle PREVENT incorpore plusieurs facteurs de risque (usage du tabac, hypertension, cholestérol sérique, obésité, âge de la mère à la première naissance). La mortalité attribuable à huit causes (ischémie myocardique, maladie cérébro-vasculaire, cancer du poumon, cancer du sein, cancer du colon, cancer de l'estomac, accidents de la circulation, "autres") est analysée,

bien que sans représentation de la morbidité, c'est-à-dire de l'apparition de la maladie, de sa progression et du taux de mortalité clinique. Des travaux sont en cours afin d'inclure la morbidité dans le modèle PREVENT.

Ce modèle peut être intégré à la structure de microsimulation de Monte Carlo de la figure 1 exactement de la même façon que le modèle de Weinstein et coll.

Tant le modèle PREVENT que le modèle de Weinstein et coll. se fondent sur une méthode empirique différente de celle des modèles utilisant les tables de survie. Compte tenu de l'étendue et de la complexité des processus qu'ils cherchent à modéliser, aucun ensemble de données unique ne peut suffire à combler leurs besoins. C'est pourquoi les lois du mouvement de ces modèles sont le fruit d'un vaste effort d'analyse et de synthèse de la littérature médicale et épidémiologique, y compris des avis experts de cliniciens. En conséquence, les divers processus ont une interdépendance très limitée. Par exemple, dans le modèle de Weinstein et coll., le fait qu'une première manifestation de coronaropathie soit un infarctus du myocarde est uniquement fonction de l'âge et du sexe, et non d'autres données disponibles dans le modèle, comme l'historique des facteurs de risque. De même, dans le modèle PREVENT, les risques de mortalité ne tiennent pas compte de processus de morbidité mixtes.

Ce genre d'indépendance est compréhensible, vu la nature fragmentaire de la littérature clinique et épidémiologique qui constituent le fondement empirique des modèles. Toutefois, les problèmes d'analyse combinatoire inhérents aux modèles basés sur des cellules rendent très difficile la prise en considération d'interdépendances. Par conséquent, la stratégie déductive des modèles à cellules peut imposer des contraintes à l'utilisation des résultats empiriques, notamment lorsqu'une telle utilisation entraînerait une complexité incontrôlable du fait de l'explosion du nombre des cellules ou des catégories définies par les classifications croisées. La méthode de microsimulation de Monte Carlo, au contraire, n'impose aucune contrainte de ce genre. Elle peut accepter toute la gamme des stratégies empiriques existantes ou futures, sous réserve seulement que les lois du mouvement résultantes soient cohérentes et puissent être exprimées sous forme d'algorithmes.

**Vaupel et Yashin**

L'une des limites des modèles à agrégats ou cellules se situe au niveau de leur capacité de tenir compte de l'hétérogénéité individuelle. Souvent, cette hétérogénéité est non observée -- par exemple, la prédisposition génétique aux maladies. L'expression de ces prédispositions génétiques est associée par des liens complexes à l'exposition cumulative à des facteurs environnementaux et comportementaux et, naturellement,

est très variable. Il importe par ailleurs que les travaux sur l'EVSI soient élargis de manière à inclure des descriptions explicites des processus de morbidité, ce qui peut obliger à discerner une hétérogénéité qui, sinon, demeurerait latente ou non observée. C'est pourquoi nous analysons deux modèles qui se penchent sur ce phénomène.

Le premier modèle (Vaupel et Yashin, 1985) fournit des exemples abstraits des conséquences de l'hétérogénéité non observée. Le modèle, relativement simple, ne comporte qu'un paramètre -- la proportion de la cohorte ayant reçu à la naissance le caractère "X" (non observé), et deux ensembles de risques de mortalité -- l'un pour les individus ayant le caractère "X" et l'autre pour le reste de la cohorte. À partir d'un tel cadre, Vaupel et Yashin démontrent une variété étonnamment riche de comportements pour les risques de mortalité visant la population dans son ensemble, en utilisant des amalgames de fonctions de risque simples relatives aux deux sous-populations.

Vaupel (1988) présente un autre modèle incorporant une hétérogénéité non observée, cette fois sous forme d'une distribution continue de la fragilité transmise génétiquement. L'intérêt de cette analyse réside dans la "corrélation" établie entre les espérances de vie des parents et des enfants. Dans ce modèle, chaque individu hérite à la naissance d'un niveau de fragilité, $z$, tiré d'une distribution continue. La mortalité

subséquente suit une trajectoire de Gompertz d'échelle déterminée par le niveau de fragilité $z$ (non observable, inné et immuable). L'analyse établit ensuite des corrélations et d'autres mesures d'association entre la longévité des parents (P) et celle des enfants (C), compte tenu de diverses hypothèses de corrélation entre les deux distributions continues $P(z)$ et $C(z)$, comme une héritabilité parfaite.

Comme les modèles décrits plus haut, ces deux modèles peuvent être intégrés à la structure de microsimulation de Monte Carlo de la figure 1. Dans le cas du modèle de Vaupel et Yashin (1985) avec niveau discret de fragilité, la conversion pourrait se faire ainsi : À la "naissance" de chaque individu d'une cohorte de naissances synthétique, un nombre aléatoire est tiré pour déterminer si oui ou non l'individu hérite du caractère "X". Cette information est enregistrée sous forme d'une donnée biographique à l'âge zéro appelée "héritage génétique". À chaque âge subséquent, comme dans tous les modèles précédents, un nombre aléatoire est tiré pour déterminer si l'individu meurt. Dans ce cas toutefois, le taux de mortalité (par âge et par sexe) appliqué est aussi fonction de la présence ou de l'absence du caractère "X"; en d'autres termes, le taux de mortalité applicable est une fonction de l'âge $a$ (variable discrète) et de la fragilité génétique X non observée et immuable (variable également discrète). Ensuite, en exécutant ces simulations pour diverses paires de fonctions de risque de mortalité hypothétiques (une pour les individus ayant le caractère "X", une pour les

autres), on en arriverait exactement aux mêmes résultats -- bien qu'avec beaucoup plus de calculs et un peu de bruit de Monte Carlo.

De même, le modèle de Vaupel (1988), basé sur une distribution continue de la fragilité héréditaire, peut être adapté au cadre de la figure 1. La conversion de ce modèle est très semblable; deux processus sont nécessaires -- l'héritage génétique et la mortalité. Contrairement au cas précédent, toutefois, le taux de mortalité appliqué à chaque âge est une fonction d'une valeur de fragilité $z$ qui est continue, et non pas discrète. La difficulté principale est la représentation des relations entre les parents et les enfants. Une façon d'y arriver est simplement de créer des paires d'individus, le premier étant désigné P (parent) et le deuxième C (enfant). Puis, en vertu de l'hypothèse de travail de Vaupel d'une héritabilité parfaite de la fragilité, P et C héritent à la naissance d'une valeur identique z (tirée au hasard de la distribution $P(z)=C(z)$). Le reste de leurs biographies est ensuite synthétisé indépendamment par consultation de la fonction de mortalité étant donné $z$, mais avec des tirages indépendants de nombres aléatoires pour déterminer si oui ou non l'individu meurt à un intervalle d'âge donné. Ce processus est répété jusqu'à ce qu'un échantillon suffisamment vaste de paires P-C ait été créé. La statistique pertinente, c.-à-d. la longévité, est calculée dans chaque cas, puis la corrélation entre les longévités de P et de C est établie, en même temps que des statistiques comme la

probabilité de survie au-delà d'un âge donné en fonction des niveaux de fragilité. Encore une fois, cette construction imaginaire montre que les modèles de Vaupel et Yashin (1985) et de Vaupel (1988) peuvent être représentés dans la structure de la figure 1.

Certes, l'hypothèse d'indépendance de la mortalité dans le modèle de Vaupel (1988) une fois prises en compte les corrélations génétiques est irréaliste, car la plupart des parents évoluent avec leurs enfants dans des environnements communs. Il est difficile de déterminer la source de la corrélation des espérances de vie (est-ce l'hérédité ou l'environnement?), comme le démontre la controverse bien connue sur l'effet de ces deux sources sur l'intelligence. Quoi qu'il en soit, on obtiendrait des profils d'héritabilité différents et plus réalistes -- ainsi que des corrélations de fragilité fondées sur des facteurs à la fois environnementaux et génétiques -- si l'on ne se limitait pas à tirer au hasard les niveaux de fragilité "génétique" de P et de C à partir d'une distribution commune offrant une corrélation imparfaite, mais si l'on utilisait aussi des taux de mortalité liés aux facteurs environnementaux présents à divers âges. Malgré cette possibilité théorique, les difficultés pratiques que poseraient l'explication et la quantification de tels effets environnementaux n'en resteraient pas moins énormes.

La complexité de calcul découlant de ces adaptations à la structure de la figure 1 entraînerait des coûts élevés, qui seraient presque certainement supérieurs à ceux des méthodes analytiques appliquées par Vaupel et Yashin aux modèles théoriques stylisés qu'ils ont construits. Toutefois, le rapport coût-efficacité des deux types de méthodes s'inverse avec l'accroissement de la complexité des modèles. Tenter d'évaluer les résultats de modèles plus réalistes des effets de l'hétérogénéité, incluant par exemple la fragilité des deux parents dans les données d'héritage génétique, ou encore des combinaisons explicites de sources génétiques et environnementales de la fragilité, aboutirait à une complexité susceptible de placer ces modèles hors de la portée de méthodes analytiquement exploitables comme celles utilisées par Vaupel et Yashin. Dans le contexte de modèles complexes de la fécondité comportant une hétérogénéité non observée, Heckman et Walker (1987) ont constaté que la microsimulation de Monte Carlo était plus efficace que les méthodes analytiques. En revanche, tant que les méthodes analytiques demeurent applicables, elles coûtent habituellement moins cher et donnent des résultats plus généraux.

**Modèles de processus stochastiques multidimensionnels**

Dans la présente section, nous examinons trois modèles connexes de processus stochastiques multidimensionnels. Du point de vue empirique, ces modèles se fondent sur des analyses

complexes de microdonnées longitudinales, avec covariables évoluant dans le temps, représentations d'ensembles flous et processus stochastiques multidimensionnels.

Le premier exemple (Manton et Stallard, 1991) s'apparente au modèle de Wilkins et Adams (1983) du fait qu'il fournit une décomposition additive de l'espérance de vie pour la population âgée. L'analyse utilise un nouveau concept, le GoM ("grade of membership" ou "degré d'appartenance") pour traiter des ensembles de données de réponses discrètes à multiples dimensions. De telles données sont caractéristiques des enquêtes sur l'incapacité comprenant de nombreuses questions, par exemple sur les activités de la vie quotidienne, ayant chacune habituellement un bon nombre de réponses discrètes possibles. Ces enquêtes montrent clairement que l'incapacité est multidimensionnelle, notamment pour les gens les plus vieux parmi la population âgée. Afin de tenir compte de cette réalité dans une généralisation du calcul de l'EVSI, le modèle de Manton et Stallard établit un ensemble de quelques d'états d'incapacité apparaissant raisonnables, puis estime la fraction de leur vie que les individus peuvent s'attendre à passer dans chacun de ces états.

La méthode des GoM est appliquée à la National Long Term Care Survey (NLTCS). Cette analyse empirique filtre les effets des erreurs dans les variables et révèle une structure latente dans le profil des réponses, sous forme de grappes de "syndromes" d'incapacité. Chaque syndrome est formé d'un ensemble pondéré

des 27 mesures des activités de la vie quotidienne, des activités instrumentales de la vie quotidienne et des handicaps fonctionnels incluses dans l'enquête. Les membres de la population âgée (c.-à-d. la population couverte par le régime "Medicare") n'appartenant à aucune de ces grappes sont classés parmi les non-répondants ou les personnes en institution. Toutefois, l'appartenance des individus ne se limite pas à un unique syndrome. Chaque individu est plutôt caractérisé par une moyenne pondérée de tous les syndromes, d'après un vecteur de valeurs GoM dont la somme est 1. C'est dans ce sens qu'on parle d'"appartenance à des ensembles flous". La structure latente qui ressort de l'application de la méthode des GoM aux données de l'enquête, avec 6 grappes d'incapacité, révèle l'existence d'un état actif, de trois états d'incapacité moyenne et de deux états d'incapacité grave, auxquels s'ajoutent deux groupes plus purs, les non-répondants et les personnes en institution, de sorte que la population entière est incluse.

Puisque chaque individu de l'échantillon, en vertu de la moyenne pondérée, a une certaine appartenance à chacun des syndromes d'incapacité, la distribution de ces appartenances pour l'ensemble de la population peut être calculée par âge et par sexe. Les prévalences transversales d'incapacité qui en résultent (l'incapacité étant définie en termes d'une appartenance partielle à chacune des six premières grappes, ou d'une appartenance complète à l'un des deux autres états) sont ensuite combinées à des estimations normales de l'espérance de

vie, comme celles des modèles de Sullivan et de Wilkins et Adams, ce qui permet d'estimer l'espérance de vie sans incapacité, et dans chacun des 8 états d'incapacité.

Comme dans notre analyse des autres modèles, nous pouvons représenter une partie du modèle de Manton et Stallard (1991) dans la structure des biographies individuelles de la figure 1, et les résultats quantitatifs pourraient être reproduits au moyen d'une microsimulation de Monte Carlo. Les données empiriques de base sont les valeurs GoM tirées de la NLTCS et une série de taux de mortalité générale (toutes causes). À l'instar de nos autres conversions, celle-ci commence par la création de la biographie d'un seul individu. La biographie de ce dernier est amorcée à l'âge de 65 ans, et sa survie subséquente est déterminée d'après des taux de mortalité générale, comme pour la méthode de Sullivan. Ce processus produit des valeurs dans la ligne "vivant ou décédé" du tableau de microdonnées de la figure 1. Puis, à chaque âge où l'individu est encore vivant, et en fonction de l'âge et du sexe, on lui attribue un niveau d'incapacité fonctionnelle représenté par un vecteur de 8 valeurs GoM tirées au hasard de la distribution commune estimée. En d'autres termes, huit éléments de ligne de la partie du tableau de la figure 1 réservée à l'état fonctionnel à l'âge *a* se voient attribuer chacune des 8 valeurs GoM. Ce processus est répété à chaque âge subséquent avec des tirages indépendants de vecteurs de 8 valeurs GoM, jusqu'à ce que l'âge du décès de l'individu soit atteint.

Ce processus de création d'une biographie individuelle est alors répété jusqu'à ce qu'on dispose d'un nombre suffisamment élevé (disons N) de biographies synthétiques. Nous avons alors un tableau de dimensions 8 x N x A (l'âge maximal) de valeurs GoM pour une cohorte d'âge représentative, quoique synthétique. (Implicitement, en utilisant les lambdas de la méthode des GoM, nous disposons aussi d'un tableau de dimensions 29 x N x A d'incapacités telles qu'elles ont été mesurées par l'enquête.) Si nous faisons la moyenne pour les N biographies synthétiques et que nous sommons sur l'ensemble des A années, nous obtenons un vecteur de huit valeurs d'espérance de vie, soit une pour chacun des huit états d'incapacité. Pourvu que N soit grand, cette méthode reproduira exactement les résultats de Manton et Stallard.

Manton et Stallard (1991) poursuivent leur analyse de la capacité fonctionnelle dans le but d'examiner l'espérance de vie "en l'absence d'une maladie" dans les diverses grappes d'incapacité résultant de la méthode des GoM. À cette fin, ils ont estimé la relation entre les vecteurs de 8 valeurs GoM et les données sur 28 maladies différentes aussi recueillies dans le cadre de la NLTCS auprès de chaque répondant. Les valeurs GoM ont été estimées sous forme de 8 fonctions liées à l'âge, à variables muettes indiquant la présence de chacune des 28 maladies prises en considération (c.-à-d. 8 x 28 coefficients qui eux-mêmes varient en fonction de l'âge).

Pour les besoins de notre conversion du modèle de Manton et Stallard et de son intégration au cadre de microsimulation de Monte Carlo, les estimations de l'espérance de vie en l'absence d'une maladie dans les diverses grappes d'incapacité pourraient être reproduites de la façon suivante : plutôt que de tirer un vecteur de 8 valeurs GoM à chaque âge pour chaque individu, nous tirons un vecteur de 28 valeurs de maladie (c.-à-d. zéro ou un selon que la maladie est présente ou non) de la distribution observée dans la NLTCS. Nous calculons ensuite les 8 valeurs GoM en appliquant l'équation de régression appropriée (en fonction de l'âge et du sexe) aux 28 variables muettes. Toutefois, avant de procéder à cette dernière étape, nous fixons à 0 la i-ième variable muette, peu importe la valeur tirée. Nous imputons alors effectivement à l'individu un ensemble de valeurs d'incapacité GoM dans lequel la i-ième maladie est éliminée. Encore une fois, ce processus est répété en entier de manière à produire une population synthétique de taille N. Le tableau de dimensions 8 x N x A ainsi créé, une fois effectuées les totalisations appropriées, reproduira lui aussi les résultats de Manton et Stallard. Ce genre d'analyse de résultats "en l'absence d'une maladie" est utile, puisqu'il indique un lien entre les maladies et leurs conséquences sur les incapacités dans un cadre multidimensionnel, et qu'il utilise un genre d'indice facilement accessible -- c'est-à-dire une forme d'espérance de vie.

Le deuxième modèle, celui de Dowd et Manton (1991), fournit des prévisions de la mortalité par cause compte tenu des prévalences de facteurs de risque à 30 ans (l'âge de départ); il décrit aussi l'évolution dynamique de ces facteurs de risque multidimensionnels et présente une série de taux de mortalité par cause qui dépendent des facteurs de risque. Cinq facteurs de risque (tension systolique et diastolique, indice de masse corporelle, cholestérol sérique total et consommation de cigarettes) et trois causes de mortalité (cancer, maladie cardio-vasculaire, ensemble des autres causes) sont pris en considération. Il n'y a pas de morbidité ni d'incapacité explicite. (Des transitions reflétant la morbidité peuvent être incluses dans le modèle; voir Tolley et Manton, 1991. En outre, le nombre de facteurs de risque a été porté à 12, avec une représentation explicite de la morbidité; voir Manton et coll., 1991b.) Des estimations de la productivité de la main-d'oeuvre sont incorporées, pour permettre l'estimation des coûts ou des avantages indirects sur le plan des revenus dans un pays où les distributions des facteurs de risque dans la population se détériorent ou s'améliorent.

Encore une fois, le modèle peut être décrit en termes de la structure de la figure 1. Nous supposons qu'un individu "naît" à 30 ans et qu'il a déjà hérité (à l'âge de 29 ans, disons) d'un quintuplet de niveaux de facteurs de risque tirés au hasard des prévalences transversales multidimensionnelles à distribution continue observées, d'après des données propres au pays relatives

aux moyennes et aux variances des facteurs de risque par âge et par sexe, comme dans le modèle original. Pour synthétiser chaque année subséquente de la vie de l'individu (c.-à-d. ajouter une nouvelle colonne à la gauche du tableau de la figure 1), la première étape consiste à attribuer un quintuplet de niveaux de facteurs de risque pour la nouvelle année. Ce processus récursif est représenté par un système linéaire autorégressif de premier ordre, basé sur l'analyse de 20 années de données de Framingham. Pour approximer ce processus par une simulation de Monte Carlo, on tire un quintuplet de nombres aléatoires de la distribution des résidus dans l'équation autorégressive estimée. Ces résidus sont ensuite ajoutés à une fonction linéaire du quintuplet de facteurs de risque de l'individu à l'âge $a-1$. Le résultat est le profil de risque de l'individu pour l'année courante.

La deuxième étape consiste à déterminer si l'individu survivra au-delà de l'année en question. On commence par calculer le risque de mortalité de l'individu pour chacune des trois causes, compte tenu de l'âge et du sexe de l'individu, et de son quintuplet courant de niveaux de facteurs de risque. La mortalité est décrite comme une fonction de Gompertz de l'âge fois une constante propre à la cause concernée fois une fonction quadratique des facteurs de risque (qui varient dans le temps). Enfin, en fonction de l'âge (et du pays), un montant de gains annuels est attribué.

Signalons qu'il existe un problème relatif à l'attrition sélective. Les personnes dont les facteurs de risque sont élevés sont plus susceptibles de mourir, de sorte qu'il est moins probable qu'elles soient présentes à des âges ultérieurs. Ce phénomène est pris en considération dans l'analyse de Dowd et Manton par des corrections relativement complexes des coefficients des équations exprimant la dynamique des facteurs de risque, qui ont été estimés, dans le modèle original, sans que la mortalité soit prise en compte d'aucune façon. Pour les besoins de la version de ce modèle fondée sur une microsimulation de Monte Carlo, ces corrections ne sont pas nécessaires. La raison est simple : puisque l'analyse s'effectue à l'échelon des individus plutôt que de la population, l'attrition sélective se produit naturellement. La distribution commune de prévalence des facteurs de risque qui résulterait de l'agrégation des données d'un échantillon créé de façon synthétique à un âge donné tiendrait compte automatiquement des taux de mortalité plus élevés des individus ayant des niveaux de risque supérieurs.

Comme dans le cas des autres méthodes, on obtiendrait une approximation des résultats globaux de Dowd et Manton en créant des biographies synthétiques de la façon décrite ci-dessus, jusqu'à ce qu'on atteigne un échantillon de vaste taille (disons N). Des échantillons devraient être créés pour chacun des six pays analysés, et pour chacun des trois scénarios envisagés en ce qui touche les facteurs de risque (scénario de base, risque élevé et situation idéale), pour un total de 18 échantillons. Pour

n'importe laquelle de ces cohortes synthétiques, des âges médians au décès pour la cohorte entière et pour les individus victimes de chacune des causes de décès peuvent être calculés de la manière habituelle. Une valeur actualisée des gains réalisés par chaque individu de l'échantillon pendant toute sa vie peut être facilement calculée, puis on peut établir la moyenne pour les N individus, tout comme dans le modèle original.

Un troisième exemple, le modèle de Manton et coll. (1991) réunit des caractéristiques des deux exemples précédents. Le premier exemple ci-dessus (Manton et Stallard, 1991) utilisait des valeurs GoM pour décrire l'appartenance éparse des individus à 8 grappes d'incapacité. La présente analyse utilise essentiellement le même ensemble de 8 grappes. Toutefois, plutôt que de supposer (implicitement) que l'état d'incapacité est indépendant d'un âge au suivant, l'analyse utilise la méthode des GoM pour décrire l'évolution des vecteurs de 8 valeurs GoM sous forme d'un processus autorégressif de premier ordre. Si l'on se reporte à la figure 1, cela signifie que les 8 valeurs décrivant l'appartenance d'un individu aux grappes d'incapacité à l'âge *a* ne sont pas tirées au hasard dans la distribution observée. Elles sont plutôt tirées de la distribution des résidus dans l'équation autorégressive estimée. Les résidus sont ensuite ajoutés à une fonction linéaire, liée à l'âge, des 8 valeurs GoM qu'avait l'individu l'année précédente.

Le modèle de Manton et coll. (1991), dans sa partie suivante, utilise ces valeurs GoM pour établir les conditions de la mortalité. On procède de la même façon que pour le modèle de Dowd et Manton (1991), c'est-à-dire que la mortalité est basée sur un ajustement multiplicatif de la fonction de Gompertz. Toutefois, plutôt que d'ajuster le taux de mortalité de base de Gompertz (propre à chaque maladie) par une fonction du quintuplet de facteurs de risque courants de l'individu, ce modèle effectue l'ajustement en multipliant une fonction de mortalité de Gompertz générale par une fonction quadratique des valeurs GoM courantes décrivant l'appartenance de l'individu aux grappes d'incapacité.

Une importante source de complexité de ce modèle réside dans l'interaction entre l'incapacité et la mortalité. Le modèle est beaucoup plus général que les modèles à tables de survie multi-états examinés plus haut, car l'incapacité est multidimensionnelle. En même temps, si certains états d'incapacité engendrent une mortalité plus élevée, il en résultera des effets sur l'évolution, au niveau de la population, de la distribution commune des incapacités, représentée dans cette analyse par la distribution des ensembles de 8 valeurs GoM. L'équation autorégressive n'inclut pas le décès au nombre des états. Il est donc nécessaire d'apporter une série d'ajustements complexes au modèle analytique formel pour rendre compte de cette attrition différentielle selon les états d'incapacité, attribuable à la mortalité différentielle. Exactement comme c'était le cas pour le modèle de Dowd et Manton décrit ci-dessus,

il n'est pas nécessaire de soumettre à de tels ajustements la conversion en une microsimulation de Monte Carlo du modèle de Manton et coll. (1991) qui vient d'être décrit. Puisque la simulation s'effectue au niveau de microdonnées plutôt qu'à l'échelle de populations complètes, l'attrition due à la mortalité différentielle se produit naturellement.

Ces trois modèles sont manifestement très riches, en termes d'analyse multidimensionnelle et dynamique, dans leur description des facteurs de risque, des maladies, de l'incapacité et de la mortalité. Les modèles reflètent une stratégie consistant à intégrer des données de différentes sources. Encore une fois, il y a un équilibre à trouver entre les avantages des méthodes analytiques et ceux de la simulation. Les méthodes analytiques utilisées dans les modèles coûtent moins cher en calculs que la méthode de microsimulation. Toutefois, l'effort déployé pour s'assurer que les données demeurent exploitables analytiquement entraîne certains coûts. Par exemple, les ajustements mathématiques visant à tenir compte de la mortalité différentielle (par facteur de risque ou état d'incapacité) dans les deux derniers modèles entraînent un accroissement sensible de la complexité ainsi qu'une certaine part d'approximation. Par ailleurs, la stratégie empirique du troisième modèle s'appuie sur un processus stochastique de premier ordre pour l'estimation de la distribution multidimensionnelle des facteurs de risque à partir des données de Framingham. Des relations stochastiques d'ordre supérieur seraient probablement elles aussi

significatives. Toutefois, leur intégration à la version analytique du modèle entraînerait un accroissement important de complexité, mais ne compliquerait pas énormément une microsimulation de Monte Carlo.

**POHEM**

Le dernier modèle inclus dans la présente analyse est celui de Wolfson (1992). Ce modèle est le fruit d'un effort plus large visant un réaménagement fondamental du système des statistiques de la santé au Canada (Wolfson, 1991). L'élaboration de la partie démographique du modèle, qui remonte à 1983, visait à fournir un cadre pour l'analyse de propositions de réforme des pensions. La généralisation visant à produire le modèle POHEM (modèle de santé de la population) a été amorcée en 1988, avec l'objectif explicite d'étendre le concept d'EVSI à celui d'EVESP (espérance de vie en santé de la population). La représentation du modèle dans la structure de la figure 1 est immédiate, puisque le modèle utilise cette même structure de données et se fonde sur des méthodes de microsimulation de Monte Carlo. Autrement dit, POHEM est un exemple réel de la classe générale des modèles de microsimulation, contrairement aux autres modèles, dont la description sous forme d'un modèle de microsimulation a exigé que nous suggérions un processus de conversion.

Notre description générale du modèle POHEM consistera à indiquer les variables de l'espace d'états, ainsi que la nature des "lois du mouvement" -- les fonctions régissant la création des colonnes successives dans les tableaux individuels. La version actuelle de POHEM crée non seulement des individus, mais aussi des paires homme-femme. Ces paires sont établies en prévision d'une union. En outre, les enfants et les conjoints d'un remariage sont explicitement inclus dans cette structure familiale étendue ou "cas". Le cycle de vie complet de chaque cas est simulé, et non pas ceux des individus un à un. Un cas se termine avec le décès du dernier adulte (et le départ du foyer du dernier enfant); un autre cas est alors amorcé. Les processus qui peuvent faire l'objet d'une modélisation explicite dans la version actuelle de POHEM ainsi que certains autres en cours d'élaboration -- les "lois du mouvement", qui vont dans le sens des lignes de la figure 1 -- sont les suivants :

**Exposition à des facteurs environnementaux**

Radon -- on l'impute à la naissance en se fondant sur la distribution observée des niveaux existant dans les logements.

**Conditions socio-économiques**

Niveau d'instruction -- on l'impute à la naissance en se fondant sur des distributions

unidimensionnelles et des corrélations mari-femme établies d'après les données du recensement.

Première union -- légitime ou libre; la probabilité à chaque âge est représentée par une fonction de risque des variables âge, sexe, niveau d'instruction, fécondité (femmes), antécédents vis-à-vis de l'activité, unions libres antérieures et nubilité "réglée d'avance" (pour l'hétérogénéité observée, Rowe et Wolfson, 1990).

Différence d'âge avec le premier conjoint -- établie d'après l'âge au mariage et la distribution commune observée des âges des nouveaux mariés (mari et femme).

Fécondité -- fonction de probabilité de l'âge, de la parité et de l'état matrimonial.

Dissolution de l'union -- divorce ou séparation; la probabilité à chaque âge est représentée par une fonction de risque des variables âge, durée de l'union, présence d'enfants, situation vis-à-vis de l'activité, âge au moment du mariage (Rowe et Wolfson, 1990).

Garde de l'enfant -- état matrimonial.

Départ de l'enfant du foyer -- probabilité fondée sur l'âge, le sexe et le rang dans la famille.

Remariage -- probabilité fondée sur l'âge, le sexe, l'état matrimonial antérieur (divorcé(e) ou veuf(ve)).

Différence d'âge avec le second conjoint -- fondée sur l'âge de la personne au moment du mariage, le sexe, l'état matrimonial antérieur, d'après la distribution commune observée des âges des nouveaux mariés (mari et femme).

Activité -- probabilité d'entrée ou de sortie à chaque âge, représentée par un ensemble de fonctions de risque des variables âge, sexe, état matrimonial, présence d'enfants par groupe d'âge, niveau d'instruction et temps passé dans cet état (Picot, 1989).

Gains sur le marché du travail -- montant annuel basé sur un processus stochastique autorégressif avec paramètres fondés sur l'âge, le sexe et durabilité de la participation au marché du travail (Kennedy, 19XX).

**Facteurs de risque**

Tension artérielle, obésité, usage du tabac et cholestérol -- densité commune à 4 variables à l'âge a, établie en tant que fonction de Markov de premier ordre de la densité commune à 4 variables à l'âge a-1, de l'âge et du sexe, d'après l'analyse des données de l'Enquête santé Canada de 1978 (Gentleman et coll., 1989).

**Maladies**

Maladies coronariennes -- exactement comme dans le modèle de Weinstein et coll. (1987), sauf que des distributions de facteurs de risque et des protocoles de traitement propres au Canada sont utilisés (Wolfson et Birkett, 1989).

Cancer du poumon -- incidence liée à l'exposition cumulative au radon et au tabac jusqu'à l'âge a-10; localisation, type et stade attribués d'après les distributions par âge et par sexe tirées des registres du cancer; progression et mortalité clinique liées à la localisation, au type et au stade, fondées sur une méta-analyse de la littérature clinique (Gentleman et coll., 1991).

Cancer du sein -- incidence fondée sur l'âge, la parité, l'âge à la première naissance; progression et mortalité clinique fondées sur des transitions de Markov de quatrième ordre entre les états "pas de maladie", "récurrence localisée" et "métastases".

Démence -- incidence fondée sur l'âge et le sexe; progression fondée sur la période écoulée depuis l'apparition (Forbes et Barham, 1989).

Arthrite/rhumatisme -- incidence et progression fondées sur une combinaison de données de l'Enquête postcensitaire de 1986 sur la santé et les limitations d'activités (ESLA), et d'opinions consensuelles d'experts (Tugwell et coll., 1992, Chambers et coll., 1991).

Mortalité due à d'autres causes -- basée sur l'âge, le sexe et l'état matrimonial.

**Capacité fonctionnelle** -- en cours d'élaboration; on prévoit utiliser les catégories de l'Ontario Health Survey (Ontario, 1990) (motricité globale, dextérité, audition, vision, communication, capacité cognitive, émotion, douleur); on dispose également d'un autre module comportant trois états (léger, moyen, grave)

fondés sur des transitions de Markov de premier ordre entre des états provenant de l'Enquête postcensitaire de 1986 sur la santé et les limitations d'activités (ce module ne tient pas compte des facteurs de risque et des maladies).

**Utilisation des soins de santé** -- Traitements du cancer du poumon d'après l'expérience de l'hôpital Civic d'Ottawa (Evans, Will, Wolfson et Berthelot, 1991).

**État de santé global** -- Une échelle de valeurs multi-attributs de Torrence est prévue (Torrence, 1987). Actuellement, des poids arbitraires semblables à ceux de Wilkins et Adams (1983) sont appliqués aux états de morbidité.

Ces processus dynamiques sont illustrés par des données graphiques et des animations, au moyen du Modèle pour la présentation de l'information sur la santé (Wolfson, 1992b). Le modèle POHEM a été appliqué à des analyses de l'EVSI fondées sur des données de l'ESLA, du cancer du poumon (Evans et coll., 1991) et des maladies coronariennes (Wolfson et Birkett, 1989; Wolfson, 1992c).

**PERSPECTIVES**

La présente analyse a porté sur un certain nombre de modèles de la santé de la population, visant soit l'estimation de concepts comme l'EVSI, soit l'analyse quantitative de processus de morbidité et d'autres processus liés à la santé. Il existe des possibilités de synergie entre ces deux optiques, mais ce n'est que récemment qu'on a tenté de les réunir. De façon générale, les modèles d'évaluation de l'EVSI omettent les processus de morbidité explicites et se fondent sur des descriptions très simplifiée de la dynamique des incapacités. Les modèles qui s'intéressent à la morbidité, pour leur part, ne permettent pas en général l'établissement de statistiques sur l'EVSI.

Toutefois, l'examen des éléments de l'ensemble de ces modèles donne à croire que l'on dispose, au moins sous forme rudimentaire, de tous les ingrédients nécessaires à la création de modèles plus complets et intégrés. Les éléments suivants, notamment, sont présents : représentations de la dynamique démographique et socio-économique sous-jacente, hétérogénéité latente, dynamique des facteurs de risque, effets environnementaux, incidence et progression des maladie, répercussions de maladies et de groupes de maladies sur la capacité fonctionnelle -- et sur l'utilisation des soins de santé -- et, enfin, correspondances entre des états multidimensionnels de morbidité et de déficience et une mesure de l'état de santé

global. Il faut conclure, par conséquent, que les modèles intégrés sont réalisables et qu'une grande partie de la matière première est disponible.

Quels sont les avantages de ces modèles intégrés, comportant une gamme de variables plus étendue? L'un est le même que celui des modèles très simples de mesure de l'EVSI fondés sur les tables de survie -- l'estimation d'un important indice de santé allant au-delà de la mortalité pour tenir compte de la prévalence de la morbidité dans une population. Nous avons besoin de mesures qui nous permettent d'évaluer les progrès accomplis pour ajouter non seulement "des années à la vie", mais aussi "de la vie aux années", c'est-à-dire des mesures plus sensibles comme l'espérance de vie en santé de la population (EVESP). La deuxième raison principale qui justifie la création de modèles plus intégrés est la prise en considération des biais et des inexactitudes qui résultent des importantes simplifications de la méthode de base de Sullivan -- par exemple le fait que l'incapacité soit indépendante des états d'incapacité antérieurs, du dossier médical ou des facteurs de risque, sans parler des facteurs socio-économiques et environnementaux.

Une troisième grande raison est qu'en incluant explicitement un tel éventail de facteurs pour les besoins du calcul d'un indice de la santé de la population comme l'EVESP, nous nous donnons en fait une unité de mesure pour comparer l'importance d'une vaste gamme de déterminants de la santé -- allant des soins

de santé aigus aux interventions visant la promotion de la santé. De telles méthodes intégrées nous permettraient d'estimer non seulement des indices classiques comme l'espérance de vie en l'absence d'une cause, mais aussi l'EVESP "en l'absence d'un facteur de risque" ou "en présence d'une intervention". Ainsi, on pourrait évaluer l'importance relative des divers problèmes de santé en fonction de leur fardeau de morbidité, et non simplement de leur effet sur la mortalité. Une conséquence bénéfique pourrait être de faciliter une réaffectation des ressources du secteur de la santé; ainsi, les interventions aiguës auprès de malades au stade final pourraient voir leur part diminuer, tandis que les efforts axés sur l'atténuation des états chroniques plus fréquents mais moins fatals, ou encore sur la prévention, seraient privilégiés.

Par ailleurs, si les divers modèles sont reconstitués à l'aide d'une méthode de microsimulation de Monte Carlo, ils sont construits autour d'individus plutôt que de grands groupes. On peut ainsi faire l'analyse et l'estimation de résultats de distributions. La microsimulation de Monte Carlo offre un cadre permettant l'analyse des inégalités sur le plan de la santé. Elle fournit aussi une base de microdonnées explicites pour l'établissement d'un indice global comme l'EVESP. Des familles de sous-indices sont ainsi facilement construites. L'échantillon complet des biographies synthétisées sous-jacentes est également disponible. Ces microdonnées constituent une base très efficace pour vérifier et confirmer que les simulations sont plausibles.

Elles forment aussi une base utile pour l'établissement d'une gamme vaste et ouverte de statistiques définies par rapport à l'échantillon de biographies, par exemple des distributions des périodes passées dans diverses combinaisons d'états de santé ou démographiques.

Une question importante qui se pose est celle du degré minimal de complexité de tels modèles. D'une part, les modèles très complexes ne sont souvent utilisés que par leurs concepteurs. Un avantage des méthodes fondées sur les tables de survie, comme celle de Sullivan, est qu'elles peuvent, grâce à leur simplicité, être facilement reproduites par des groupes de recherche dans de nombreux pays. Malheureusement, de tels modèles reposent sur des hypothèses très contraignantes. Il faudrait voir, par conséquent, s'il est possible d'élaborer un cadre méthodologique plus riche capable d'incorporer des descriptions plus réalistes des divers processus dynamiques, tout en étant suffisamment accessible pour permettre à différents chercheurs partout dans le monde de l'utiliser.

Les modèles macroéconomiques peuvent nous fournir à cet égard un exemple utile. Chaque pays a ses propres séries chronologiques sur les investissements, la consommation, les taux d'intérêt, etc. Toutefois, il existe des logiciels standard qui permettent d'estimer des correspondances et, ce qui nous intéressera encore plus ici, d'incorporer ces descriptions quantitatives de processus dynamiques dans un modèle intégré --

en général sous forme de systèmes d'équations aux différences finies. La structure de données de la figure 1, conjuguée à une méthode de microsimulation de Monte Carlo, peut constituer un tel cadre commun. La présente analyse a montré que la méthode peut intégrer les parties déductives de presque tous les modèles examinés. Pour les modèles les plus simples, ce n'est pas la méthode la plus efficace -- tant du point de vue des coûts de calcul que de celui de la complexité; elle a toutefois l'avantage d'offrir un cadre uniforme à partir duquel on pourra continuer d'apporter des améliorations et des perfectionnements.

La poursuite du travail sur la base du modèle POHEM serait une possibilité. Des travaux sont actuellement menés à Statistique Canada en vue d'élaborer une version généralisée du logiciel qui sera transférable entre micro-ordinateurs et stations de travail et qui permettra l'intégration de données de pays différents. Ce logiciel généralisé se fonde sur une méthode de microsimulation de Monte Carlo, et peut être structuré de manière à offrir une hiérarchie de modèles couvrant une gamme variée de niveaux de complexité. Par exemple, à l'extrémité la plus simple de cette gamme, la plupart des modules pourraient être "désactivés", de sorte qu'il resterait seulement le module de mortalité fondé sur des taux de mortalité par âge et par sexe et un module d'incapacité fondé sur des taux de prévalence par âge et par sexe. Une telle structure reproduirait la méthode de Sullivan.

Au niveau suivant de complexité, on aurait accès à d'autres modules de mortalité et d'incapacité incorporant un lien de dépendance entre la mortalité et l'incapacité, des transitions qui dépendraient de l'état d'incapacité antérieur et une ventilation entre les niveaux léger, moyen et grave (par exemple). Ce stade de complexité permettrait d'intégrer la méthode de Wilkins et Adams (1983) avec états d'incapacité multiples, ainsi que les méthodes avec entrées et sorties de Rogers et coll. (1990) et de Crimmins et coll. (1990), fondées sur des tables de survie. Idéalement, l'utilisation du modèle à ce niveau de complexité exigerait le recours à des données d'enquête longitudinales. Toutefois, de nombreux pays seraient en mesure de produire des estimations approximatives à partir d'enquêtes transversales occasionnelles sur la prévalence des incapacités, pourvu que les questions relatives à l'incapacité aient été accompagnées de questions quant à la durée de l'incapacité. Une version améliorée de POHEM pourrait offrir un cadre logiciel "clé en main" qui contribuerait, en outre, à l'uniformisation des estimations de l'EVSI ou de l'EVESP, et donc à une meilleure comparabilité internationale.

Au-delà de ce stade, une importante collaboration serait nécessaire et souhaitable. Par exemple, le modèle POHEM englobe déjà l'ensemble des descriptions de processus du modèle de Weinstein et coll. relatif aux coronaropathies. On pourrait prendre comme hypothèse de travail que les processus de morbidité sont suffisamment généraux pour permettre d'exploiter les données

relatives à une vaste gamme de populations, comme l'a fait Gunning-Schepers (1988) dans son modèle PREVENT. En revanche, il est plus vraisemblable que les prévalences et la dynamique des facteurs de risque soient différents selon les populations, tout comme les taux d'utilisation et les coûts unitaires des soins de santé, ainsi que les techniques de soins. Dans ces derniers cas, par conséquent, les divers pays ou groupes de recherche devraient élaborer leurs propres données locales.

Il y a encore des efforts considérables à accomplir en ce qui touche la correspondance liant les états de morbidité aux états d'incapacité, puis celle liant les états d'incapacité à une mesure globale de l'état de santé. En ce qui concerne la première correspondance, la méthode des GoM (degrés d'appartenance) semble en mesure de permettre l'établissement des relations multivoques multidimensionnelles requises. Pour la représenter, il faudrait inclure dans les futures versions de POHEM des algorithmes de projection d'états flous.

Un important effort de recherche entrepris par le ministère de la santé de l'Ontario et Torrence et coll. à l'Université McMaster pourrait servir de fondement à des mesures de l'état de santé global multi-attributs. Les travaux de Williams et coll. (1990) sur le projet EuroQol pourraient également être mis à contribution. Dans les deux cas, on disposerait d'une base pour la deuxième correspondance -- celle liant des états d'incapacité multidimensionnels à une valeur de l'état de santé global.

En bref, il apparaît possible d'élargir sensiblement la portée d'un indice de l'état de santé global comme l'EVSI, de manière à tenir compte explicitement des processus de morbidité, des facteurs de risque annonciateurs et des états d'incapacité connexes, ainsi que de l'état de santé global et des coûts des soins de santé qui s'ensuivent. Ces perfectionnements pourraient prendre appui sur un cadre logiciel commun comme POHEM, sur l'éventail international des recherches épidémiologiques, sur les méthodes microanalytiques les plus avancées d'estimation des fonctions de risque, et sur les plus récentes analyses multidimensionnelles d'états flous, comme la méthode des GoM. Une telle démarche pourrait avoir des avantages considérables, d'une part en favorisant l'intégration de diverses disciplines de recherche et d'autre part en constituant la base d'une gamme sensiblement plus vaste d'indices de santé se prêtant à des comparaisons internationales.

**Remerciements**

Les travaux réalisés par M. Manton dans le cadre de cette recherche ont bénéficié des subventions 5R37AG07198, 5R37AG07025, 1R01AG07469 et 5R01AG01159 du NIA.

**RÉFÉRENCES**

Chambers, L. ... (1991) HALS results re arthritis

Crimmins, E.M., Y. Saito, and D. Ingegneri (1989), "Changes in Life Expectancy and Disability-Free Life Expectancy in the United States," Population and Development Review 15:235-267.

Dowd, J.E. and K.G. Manton (1991), "Forecasting Chronic Disease Risks in Developing Countries," International Journal of Epidemiology.

Evans, Wm., B.P. Will, M.C. Wolfson, and J.M. Berthelot, (1991) (--stuff on lung cancer treatment alternatives ...)

Forbes, W.F. and J. Barham (1989), "An Investigation of the Prevalence and Incidence of Dementia in Populations Aged 65 Years and Over", Research Report 2, Program in Gerontology, University of Waterloo, Waterloo, March.

Gentleman, J.F. and D. Robertson (1989), "Smoothing Procedures for Simulated Longitudinal Microdata", Proceedings of the Statistics Canada Symposium on the Analysis of Data in Time, October, Ottawa.

Gentleman, J.F., M.C. Wolfson, and B.P. Will (1991), "Microsimulation of Health Status and Health Costs in Canada: Radon as a Risk Factor for Lung Cancer", presented to the Second International Conference on Statistical Methods for the Environmental Sciences (Environmetrics), Como, Italy, September 27-30. XXX add ASA ref

Gunning-Schepers, L. (1988), The Health Benefits of Prevention: A Simulation Approach, Instituut Maatschappelijke Gezondheidszorg, Erasmus Universiteit, Rotterdam.

Heckman,J.J. and J.R.Walker (1987), "Using Goodness of Fit and Other Criteria to Choose Among Competing Duration Models: A Case Study of Hutterite Data", in C. Clogg (Ed.), Sociological Methodology 1987 Volume 17, American Sociological Association, Washington D.C.

Kennedy, B. (198XX). CPP earnings dynamics

Loomes, G. and McKenzie (199X), on QALYs

Manton, K.G. and E. Stallard (1991), "Cross-sectional Estimates of Active Life Expectancy for the U.S. Elderly and Oldest-Old Populations", Journal of Gerontology, May.

Manton, K.G. and E. Stallard (1982), "A population-based model of respiratory cancer incidence, progression, diagnosis, treatment and mortality," Computers and Biomedical Research 15:342-360.

Manton, K.G., E. Stallard and J.W. Vaupel (1986), "Alternative Models for the Heterogeneity of Mortality Risks Among the Aged," Journal of the American Statistical Association 81:635-644.

Manton, K.G., M.A. Woodbury and E. Stallard (1981) "A variance components approach to categorical data models with heterogeneous cell populations: Analysis of spatial gradients in county lung cancer mortality rates in North Carolina counties," Biometrics 37:259-269.

Manton, K.G., E. Stallard, M.A. Woodbury (1991), "A multivariate event history model based upon fuzzy states: Estimation from longitudinal surveys with informative nonresponse," Journal of Official Statistics (Stockholm, Sweden).

Manton, K.G., et al. (1991b)

Minaire (1990). talk at 4th REVES meeting at Duke Univ.

Ontario Ministry of Health (1990), Ontario Health Survey ...

Orcutt et al (1976)

Picot, G. (1989), "Modelling the Lifetime Employment Patterns of Canadians", The Family in Crisis: A Population Crises? (ed. J. Legare, T.R. Balakrishnan and R.P. Beaujot), Proceedings of a Colloquium organized by the Federation of Canadian Demographers and Sponsored by the Royal Society of Canada, University of Ottawa, November.

Rogers, A., R.G. Rogers, and L.G. Branch (1989), "A Multistate Analysis of Active Live Expectancy," Public Health Reports 104:222-225.

Rowe, G. and M.C. Wolfson (1990), "Biased Divorce: Validation of Marital Status Life Tables and Microsimulation Models", paper presented to the United Nations Economic Commission for Europe, Seminar on Demographic and Economic Consequences and Implications of Changing Population Age Structure, Ottawa, Canada, September 24-28.

Sullivan, D.F. (1971), "A Singe Index of Mortality and Morbidity," HSMHA Health Reports 86:347-354.

Tolley and Manton (1991)

Torrence, G. (1987) multi-attribute utility

Tugwell, P. .. (1991), arthritis results

Vaupel, J.W. and A.I. Yashin (1985), "Heterogeneity's Ruses: Some Surprising Effects of Selection of Population Dynamics", American Statistician, 39:176-185.

Vaupel, J.W. (1988) "Inherited Frailty and Longevity", Demography, Vol 25, No. 2, pp. 277-287.

Weinstein, M.C., P.G. Coxson, L.W. Williams, T.M. Pass, W.B. Stason, and L. Goldman. (1987), "Forecasting Coronary Heart Disease Incidence, Mortality and Cost: The Coronary Heart Disease Policy Model", American Journal of Public Health 77:1417-1426, and personal communication.

Wilkins, R. and O.B. Adams (1983), Healthfulness of Life, Institute for Research in Public Policy, Montreal.

Williams, A. et. al. (1990), "EuroQol -- a new facility for the measurement of health-related quality of life", Health Policy

Wolfson, M.C. (1992), "POHEM - A New Approach to the Estimation of Health Status Adjusted Life Expectancy", paper presented to the first workshop of the International Network on Health Expectancy, Quebec City, September 11-12. Cahiers quebecois de demographie, forthcoming

Wolfson, M.C. (1992b) "A Template for Health Information", World Health Organization Statistical Quarterly, forthcoming, March.

Wolfson, M.C. (1992c), "POHEM -- A Framework for Understanding and Modeling the Health of Human Populations", U.S. Census Bureau Annual Research Conference, March.

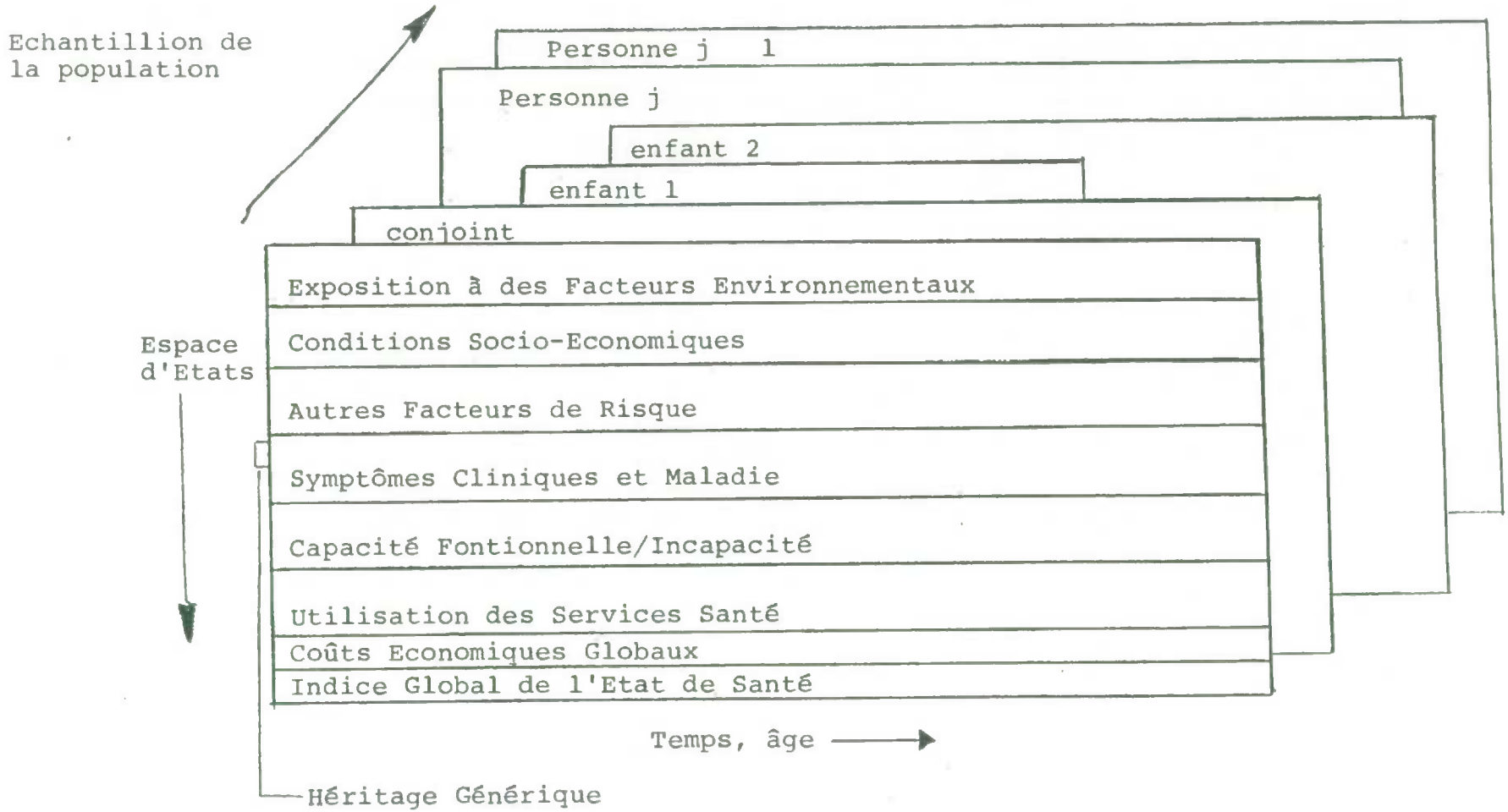
Wolfson, M.C. (1991), "A System of Health Statistics -- Toward a New Conceptual Framework", Review of Income and Wealth, March.

Wolfson, M.C. and N. Birkett (1989), "POHEM and an exploration of CHD", talk presented to the first annual Canadian epidemiology conference, August, Ottawa.

World Health Organization (1980), International Classification of Impairments, Disabilities, and Handicaps: A Manual of Classification Relating to the Consequences of Disease. Geneva.

Figure 1

INDIVIDUS REPRESENTATIFS
TABLEAU DE DONNEES BIOGRAPHIQUES



*DIRECTION DES ÉTUDES ANALYTIQUES*
*DOCUMENTS DE RECHERCHE*

*N°*

1. *Réaction comportementale dans le contexte d'une simulation micro-analytique socio-économique,* ***Lars osberg***

2. *Chômage et formation,* ***Garnett Picot***

3. *Des pensions aux personnes au foyer et leur répartition sur la durée du cycle de vie,* ***Michael Wolfson***

4. *La modélisation des profils d'emploi des Canadiens au cours de leur existence,* ***Garnett Picot***

5. *Perte d'un emploi et adaption au marché du travail dans l'économie canadienne,* ***Garnett Picot et Ted Wannell***

6. *Système de statistiques relatives à la santé: proposition d'un nouveau cadre théorique visant l'intégration de données relatives à la santé,* ***Michael C. Wolfson***

7. *Projet-pilote de raccordement micro-cacro pour le secteur des ménages au Canada,* ***Hans J. Adler et Michael C. Wolfson***

8. *Notes sur les groupements de société et l'impôt sur le revenu au Canada,* ***Michael C. Wolfson***

9. *L'expansion de la classe moyenne: données canadiennes sur le débat sur la déqualification,* ***John Myles***

10. *La montée des conglomérats,* ***Jorge Niosi***

11. *Analyse énergétique du commerce extérieur canadien: 1971 et 1976,* ***K.E. Hamilton***

12. *Taux nets et bruts de concentration des terres,* ***Ray D. Bollman et Philip Ehrensaft***

13. *Tables de mortalité en l'absence d'une cause pour le Canada (1921 à 1981): une méthode d'analyse de la transition épidémiologique,* ***Dhruva Nagnur et Michael Nagrodski***

14. *Distribution de la fréquence d'occurence des sous-séquences de nucléotides, d'après leur capacité de chevauchement,* ***Jane F. Gentleman et Ronald C. Mullin***

15. *L'immigration et le caractère ethnolinguistique du Canada et du Quebec,* ***Réjean Lachapelle***

16. *Intégration de la ferme au marché extérieur et travail hors ferme des membres des ménage agricoles,* ***Ray D. Bollman et Pamela Smith***

17. *Les salaires et les emplois au cours des années 1980: évolutin des salaires des jeunes et déclin de la classe moyenne,* ***J. Myles, G. Picot et T. Wannell***

18. *Profil des exploitants agricoles dotés d'un ordinateur,* ***Ray D. Bollman***

19. *Répartitions des risques de mortalité: une analyse de tables de mortalité,* ***Geoff Rowe***

20. *La classification par industrie dans le recensement canadien des manufactures: vérification automatisée à l'aide des données sur les produits,* ***John S. Crysdale***

21. *Consommation, revenus et retraite,* ***A.L. Robb et J.B. Burbridge***

22. *Le renouvellement des emplois dans le secteur manufacturier au Canada,* ***John R. Baldwin et Paul K. Gorecki***

23. *La Dynamique des marchés concurrentiels,* ***John R. Baldwin et Paul K. Gorecki***

    A. *Entrée et sortie d'entreprises dans le secteur manufacturier au Canada*
    B. *Mobilité à l'intérieur des branches d'activité dans le secteur manufacturier au Canada*
    C. *Mesure de l'entrée et de la sortie dans le secteur manufacturier au Canada: méthodologie*
    D. *Effet de la libre concurrence sur la productivité: rôle de la rotation des entreprises et des usines*
    E. *Les fusions et le processur concurrentiel*
    F. *À venir*
    G. *Lews statistiques de concentration comme prédicteurs du degré de concurrence*
    H. *Le rapport entre la mobilité et la concentration dans le secteur manufacturier au Canada*

24. *Améliorations apportées au SAS de l'ordinateur central en vue de faciliter l'analyse exploratoire des données,* ***Richard Johnson et Jane F. Gentleman***

25. *Aspects de l'évolution du marché du travail au Canada: mutations intersectorielles et roulement de la main-d'oeuvre,* ***John R. Baldwin et Paul K. Gorecki***

26. *L'écart persistant: étude de la différence dans les gains des hommes et des femmes qui ont récemment reçu un diplôme d'études postsecondaires,* ***Ted Wannell***

27. *Estimation des pertes de sol sur les terres agricoles à partir des données du recensement de l'agriculture sur les superficies cultivées, Douglas F. Trant*

28. *Les bons et les mauvais emplois et le déclin de la classe moyenne: 1967-1986, Garnett Picot, John Myles, et Ted Wannell*

29. *Données longitudinales sur la carrière relatives à certaines cohortes de fonctinnaires, Garnett Picot et Ted Wannell*

30. *L'incidence des revenus sur la mortalité sur une période de vingt-cinq ans, Michael Wolfson, Geoff Rowe, Jane F. Gentleman et Monica Tomiak*

31. *Réaction des entreprises à l'incertitude des prix: la stabilisation tripartite et l'industrie des bovins dans l'ouest du Canada, Theodore M. Horbulyk*

32. *Méthodes de lissage pour microdonnées longitudinales simulées, Jane F. Gentleman, Dale Robertson et Monica Tomiak*

33. *Tendances des investissements directs canadiens à l'étranger, Paul K. Gorecki*

34. *POHEM - une approche inédite pour l'estimation de l'espérance de vie corrigée en fonction de l'état de santé, Michael C. Wolfson*

35. *Emploi et taille des entreprises au Canada: les petites entreprises offrent-elles des salaires inférieurs?, René Morissette*

36. *Distinguer les caractéristiques des acquisitions étrangères en haute technologie dans le secteur manufacturier canadien, John R. Baldwin et Paul K. Gorecki*

37. *Efficience des branches d'activité et roulement des établissements dans le secteur canadien de la fabrication, John R. Baldwin*

38. *Le vieillissement de la génération du baby boom: effets sur le secteur public du Canada, Brian B. Murphy et Michael C. Wolfson*

39. *Tendances dans la répartition de l'emploi selon la taille des employeurs: données canadiennes récentes, Ted Wannell*

40. *Les petites collectivités du Canada atlantique: structure industrielle et caractéristiques du marchédu travail au début des années 80, Garnett Picot et John Heath*

41. *La répartition des impôts et des transferts fédéraux et provinciaux dans le Canada rural, Brian B. Murphy*

42. A venir

43. *Recours répétés à l'assurance-chômage, Miles Corak*

44. *POHEM -- Un cadre permettant d'expliquer et de modéliser la santé de populations humaines, Michael C. Wolfson*

45. *Analyse de modèle de l'espérance de vie en santé de la population: une approche fondée sur la microsimulation, Michael C. Wolfson et Kenneth G. Manton*

46. *Revenus de carrière et décès: une analyse longitudinale de la population âgée masculine du Canada, Michael C. wolfson, Geoff Rowe, Jane Gentleman et Monica Tomiak*

Ca 005
STATISTICS CANADA LIBRARY
BIBLIOTHÈQUE STATISTIQUE CANADA
1010115032