

Bibliographie critique des Modèles de Prévision des Effectifs étudiants au niveau universitaire

GILLES GUERIN*

1 Introduction

L'objectif de cet article est de passer en revue les différents modèles de prévision des effectifs étudiants au niveau universitaire. De telles entreprises ont déjà été réalisées. Citons notamment et par ordre chronologique: Wurtele Z. (63), Weitz H. (58, 59), Saisuck A. (3), Weathersby G. et Weinstein M. (57), Florian M. et Guérin G. (21). "Même dans les pays où elle a un semblant d'existence, cette forme de planification constitue un développement très récent . . . qui a revêtu l'aspect d'une véritable révolution" (53). Comme dans toutes les révolutions, on assiste à une progression très rapide dans ce domaine. Des bibliographies sur ce sujet, comme celles de Wurtele et Weitz sont déjà partiellement démodées seulement après six années dans un cas et quatre dans l'autre. Des groupes de recherche tels que "l'Institute for the Quantitative Analysis of Social and Economic Policy" de Toronto ou l'"Office of the Vice President Planning and Analysis" de Berkeley ont publié dans cet intervalle de temps à une telle cadence qu'un grand nombre de leurs recherches répondent déjà plus ou moins aux problèmes soulevés dans les recherches présentées par les auteurs ci-dessus. La classification et la critique des modèles de prévision des effectifs sont originales et constituent, même si elles peuvent s'avérer mal fondées ultérieurement, une pensée personnelle basée sur des réflexions et les lectures antérieures à la date de rédaction de cet article.

2 Modèles de prévision des effectifs étudiants

2.1 Modèles purement projectifs

Sans se préoccuper de la structure du système universitaire ni des flux d'étudiants à l'intérieur de celui-ci il est possible de relier l'indice de fréquentation d'une population étudiante à des caractéristiques telles que l'âge, le sexe, le cycle d'étude, le type d'enseignement, la localisation géographique ou les caractéristiques socio-économiques. Une telle relation établie, il est alors possible de déduire les effectifs étudiants des projections des indices de fréquentation et des populations futures ayant la même caractéristique.

orsque le choix des caractéristiques définissant la population est tel que les tendances ont bien définies, cette méthode est précieuse et permet d'estimer les effectifs un grand nombre de périodes à l'avance. C'est le cas pour les populations définies en fonction de l'âge ou du sexe (15, 30); à l'aide de projections démographiques, on peut élaborer des projections complètes des effectifs étudiants. Généralement ces projections sont réalisées au niveau agrégé compatible avec les données démographiques. Pourtant il est possible d'effectuer ces projections au niveau d'une région, d'une institution ou même d'un programme d'enseignement (28, 35, 44, 50, 51). Dans ce dernier cas Smith W. (10, 51) et ensuite O'Grady W. (44) classent chaque étudiant en fonction du statut (nouveau, actif ou inactif) et du niveau d'avancement dans le programme. Ayant projeté les populations futures d'étudiants ils supposent ensuite que la structure des admissions et des transitions d'un groupe à un autre est identique à celle de la période précédente et estiment ainsi les effectifs des différents groupes. L'hypothèse de travail de Smith W. ne peut s'appliquer malheureusement qu'à une institution universitaire telle que l'Université de Californie à Los Angeles qui a atteint sa capacité maximale et de fait même présente un certain lissage des flux d'étudiants comparable aux variables démographiques. D'ailleurs même dans ce cas les projections n'excèdent pas un ou deux trimestres. Dans d'autres modèles (17, 22, 31, 43, 62) la population est représentée par des diplômés du secondaire désireux de poursuivre des études supérieures. Les caractéristiques de cette population sont l'âge, le sexe etc. . . . mais surtout la capacité à payer les frais de scolarité et indirectement le montant de l'aide nécessaire à l'étudiant pour équilibrer son budget. En projetant la population susceptible d'entrer dans le système universitaire et les proportions d'étudiants dans chaque classe d'aide, Jewett J. (31) détermine les admissions dans le système universitaire compatibles avec un certain budget.

Les principaux avantages que l'on peut dégager de ces modèles de projection sont les suivants.

Les données sont peu nombreuses et relativement simples à obtenir. Les données démographiques, généralement disponibles, peuvent être utilisées.

Les techniques utilisées: régressions, lissages, etc. . . . sont facilement compréhensibles et nécessitent pas des moyens de calcul ni des délais importants.

L'étude comparative des indices de fréquentation peut permettre de porter un avis sur les conditions d'enseignement ou sur le degré de réalisation des objectifs.

Par ailleurs l'usage de ces modèles présente un certain nombre d'inconvénients.

Le principal est relatif à la méconnaissance des flux et de la structure interne du système. Cet inconvénient est d'autant plus préjudiciable que le niveau d'agrégation est élevé.

À un niveau désagrégé, les projections des populations concernées, surtout si elles ne sont pas décrites par des caractéristiques démographiques, peuvent présenter une faible fiabilité qui se répercute sur l'estimation des effectifs.

Ces modèles sont statiques; ils n'expliquent pas la cause des valeurs projetées et ne donnent aucune précision sur leurs modifications possibles. Aucun contrôle du système n'est possible par l'intermédiaire de ces modèles purement représentatifs.

si l'on utilise les valeurs projetées dans un but comparatif, des indices de fréquentation différents ne reflètent pas forcément des différences entre les efforts ou conditions d'instruction puisque les indices sont liés à la structure des caractéristiques choisies pour décrire la population.

1.2 Modèles en chaîne de Markov

Si l'évolution dans un système peut être décrite en termes probabilistes, le processus sera aléatoire. Supposons que la connaissance de l'état du système aux instants consécutifs $1, 2, \dots, t$ antérieurs à $t+1$ apporte bien quant à la connaissance de son état en $t+1$ une certaine information mais tout entière contenue dans la connaissance de son état à l'instant le plus récent t . "Autrement dit tout le passé de l'évolution du système se trouve résumé dans son état au dernier instant où on le connaît. Une évolution possédant cette propriété s'appelle processus de Markov" (24). Un tel processus de Markov s'il est aléatoire et si l'espace des états est un ensemble fini ou dénombrable s'appelle une chaîne de Markov discrète (X_t). La probabilité que X_{t+1} soit dans l'état j étant donné que X_t est dans l'état i (appelée probabilité de transition à une étape) est notée $p_{ij}^{t,t+1}$ c'est-à-dire que l'on a $p_{ij}^{t,t+1} = \Pr(X_{t+1} = j / X_t = i)$. Lorsque les probabilités de transition à une étape sont indépendantes de la variable temps on dit que le processus de Markov est à probabilités de transition stationnaires (32).

On voit immédiatement l'intérêt des chaînes de Markov si on considère le système universitaire comme une structure où des transitions peuvent se produire, à des instants bien déterminés, entre les différents états de cette structure. Si l'on connaît ses probabilités de transition entre les états, l'évolution d'un étudiant dans le système sera une chaîne de Markov discrète. De tels modèles sont alors des micro-modèles centrés sur le comportement individuel. La connaissance de la matrice des probabilités de transition et de son état à l'instant t résume l'histoire passée de l'individu et toutes ses caractéristiques personnelles. Si l'on veut appliquer ce modèle à un groupe d'individus, il faut supposer que l'homogénéité du groupe est telle que la matrice des probabilités de transition s'applique à chacun d'eux. Si tel n'est pas le cas, l'hypothèse markovienne ne peut être conservée. Si elle l'est malgré tout, c'est souvent pour bénéficier de l'élégance de la formulation des chaînes de Markov et de toute la théorie qui a été élaborée et qu'il suffit d'appliquer au système universitaire (24, 32). Dans ce cas il serait bénéfique d'estimer l'erreur introduite par une telle approximation. Y a-t-il convergence ou non de l'erreur vers zéro lorsque le niveau d'agrégation des données est important (9, 20)? Baisuck A. (3) fournit une illustration de cette erreur dans le but de rejeter l'hypothèse markovienne. Il vérifie qu'une matrice prise comme moyenne pondérée de deux matrices de probabilités de transition n'a pas une matrice-limite qui est la moyenne pondérée des deux matrices-limites de probabilité de transition. Bien que les deux matrices de probabilité soient assez dissemblables et le niveau des données assez désagrégé, les différences introduites dans l'évolution de deux structures relatives aux deux méthodes, même au bout d'un grand nombre de périodes, ne sont pas convaincantes. Néanmoins les auteurs qui utilisent cette approche doivent toujours exprimer une certaine faiblesse au niveau des hypothèses sans pouvoir quantifier la conséquence sur leurs résultats ou conclusions d'une telle approximation. Ainsi Thonstad T. (55): "L'application différera de la méthode brève-

ient décrite ci-dessous en ce que nous utiliserons un modèle déterministe au lieu de la méthode stochastique. Cela signifie que nous interpréterons les probabilités de transition comme des coefficients de transition fixes, et non comme des probabilités". Cette interprétation est ambiguë puisque le terme chaîne de Markov que Thonstad T. utilise dans la suite de sa recherche, se réfère, par définition, à un processus aléatoire. De même citons Marshall K. et Oliver R. (36). "It has the appealing feature that the fractions P_{ij} can be interpreted as transition probabilities and thus allows one to adopt useful results from the theory of Markov chains even though the process itself may not be Markovian" et Marshall K., Oliver R. and Suslow S. (37): " P_{ij} can be interpreted as a probability defined for an individual student or a fraction defined for a large number of students".

Les premières suggestions concernant ce type de modèle ont été faites par Gani J. (23) quoique son modèle soit un modèle de projection déterministe, et par Young A. et Imond G. (64) puis par Bartholomew D. (5). Dans ces deux derniers cas, les modèles sont relatifs à un système de main d'œuvre plutôt qu'au système universitaire. Bartholomew D. dans son livre analyse toutes les implications sur le modèle de la théorie des chaînes de Markov. Par la suite Oliver R. (45), puis Marshall K. et Oliver R. (36) et Marshall K., Oliver R. et Suslow S. (37) ont sophistiqué le modèle et l'ont surtout testé avec des données réelles de l'université de Californie à Berkeley pour la période 1955 - 1956. Tous ces auteurs supposent que la matrice des probabilités de transition est stationnaire dans le temps, tout au moins pour des horizons de moyenne période, que Gani J. (23) fixe à environ cinq ans. Cette hypothèse, qui n'est pas évidente, est toujours acceptée puisque son rejet entraînerait le choix d'un autre type de modèle étant donné que la théorie des chaînes de Markov à probabilités de transition non stationnaires présente un intérêt pratique restreint. La plupart de ces modèles assimile le système à une structure progressive fonction des cycles et des années d'étude. Cette structure reflète de plus en plus mal la structure des universités nord-américaines qui évoluent vers des structures plus souples et plus variées. Dans cette optique Marshall K. et Oliver R. (36) caractérisent les états de la structure en fonction du statut de l'étudiant: actif, inactif, diplômé, gradué, mais là encore ils distinguent les actifs en fonction du cycle d'étude et de l'année d'étude. Or dans le contexte de plus en plus général d'une progression par matière il devient vite impossible et superflu d'identifier l'étudiant à une année d'étude. Il importe seulement de connaître le nombre et l'articulation des cours nécessaires à l'obtention du grade que l'étudiant cherche à obtenir suivant son rythme personnel et ses réussites antérieures. Dans cette optique Turksen I. (56) propose une structure relative à l'activité plutôt qu'au programme ou au système. Bien que le modèle de Turksen I. soit un modèle de simulation, on peut penser que ce micro-modèle pourrait se présenter suivant la formulation markovienne où chaque étudiant dans le système se trouverait vis-à-vis de chaque cours proposé dans un des trois états suivants proposés par Turksen I.: éligible, non-éligible car la structure des prérequis n'est pas satisfaite, non-éligible car le cours a déjà été suivi avec succès. Pour chaque combinaison cours-étudiants les hypothèses des chaînes de Markov sont rigoureusement vérifiées puisque les probabilités de transition reflètent les caractéristiques de l'étudiant, du cours et des interactions étudiant-professeur. En ce sens Turksen I. propose un des rares modèles qui esquissent une étude du système en tenant compte de certains éléments du processus éducatif. C'est un pas vers la synthèse des

micro-modèles et des macro-modèles que réclame Correa H. (15). Malheureusement, du point de vue opérationnel, ce modèle requiert l'estimation d'un nombre incroyable de paramètres. Dans le but d'une agrégation raisonnable des données on retrouve alors les hypothèses simplificatrices, habituelles aux modèles de cette classe, classées suivant le niveau d'agrégation désiré: les comportements des étudiants d'un programme d'étude vis-à-vis d'un cours particulier sont identiques; les comportements des étudiants d'un même programme d'étude sont identiques; les comportements des étudiants en général sont identiques. L'adoption de l'une ou l'autre de ces deux dernières hypothèses nous amène aux modèles précédemment décrits. La première hypothèse est plus originale et dans le contexte d'une progression par matière il semble qu'elle puisse engendrer des prévisions fructueuses au niveau désagrégé le plus raisonnable.

Les principaux éléments positifs des modèles en chaîne de Markov peuvent se résumer ainsi.

Toute la théorie des chaînes de Markov discrètes d'ordre 1 peut être utilisée. En voici numérotées quelques unes des propriétés les plus importantes relativement à leur application au système universitaire: les probabilités de passage d'un état à un autre de la chaîne à t périodes sont données par la matrice puissance t -ième de la matrice des probabilités de transition; d'après le théorème de Sylvester il est possible de décomposer cette matrice à la puissance t -ième en une somme de produits des valeurs propres de la matrice de probabilité par des matrices orthogonales entre elles. Cette somme représente la décomposition spectrale de la matrice à la puissance t -ième; la donnée de la loi de probabilité initiale (qui est généralement la connaissance de la structure) et de la matrice des probabilités de transition suffit à déterminer la loi de probabilité à tout instant ultérieur t . Dans un système fermé on obtient l'espérance des effectifs dans chaque état de la structure au temps t en multipliant le nombre d'individus dans le système par cette loi de probabilité au temps t . Dans un système ouvert il faut additionner les admissions espérées dans chaque état de la structure pour cette même période; la loi de probabilité au temps t peut tendre pour $t \rightarrow \infty$ vers une distribution de probabilité stationnaire, indépendante de la loi de probabilité initiale. Il est nécessaire et suffisant pour que la distribution de probabilité stationnaire soit indépendante de la loi de probabilité initiale que la matrice puissance t -ième de la matrice des probabilités de transition tende vers une matrice-limite, stochastique et ayant toutes ses lignes identiques entre elles et de plus identiques à la distribution de probabilité stationnaire.

Dans les modèles étant probabilistes, il est possible d'estimer les variances et covariances des effectifs dans les états de la structure. De telles estimations, quoique difficilement manipulables et basées sur des hypothèses très restrictives, ont été réalisées par Bartholomew D. (16).

On peut introduire dans le modèle un certain degré de non-homogénéité représenté par des probabilités d'admission et de transition dans le système variables suivant les différentes sessions de l'année. Les propriétés des chaînes de Markov sont conservées si l'on suppose que les probabilités sont homogènes dans le temps relativement à chacune des sessions.

Gani J. (5, pp. 55-58) dans son étude relative à l'Université d'Etat du Michigan distingue ainsi trois matrices de probabilité de transition et trois vecteurs de probabilité d'admission relatifs aux trois trimestres de l'année académique.

La classification des états d'une chaîne de Markov en transitoires ou absorbants s'applique particulièrement bien aux états de la structure du système universitaire qui sont tous transitoires et aux états de sortie définitive du système qui sont absorbants. Elle permet notamment d'étudier ce phénomène d'abandon momentané des études qui devient de plus en plus important dans les universités. Cet état d'inactivité est un état temporaire pour eux qui vont revenir dans le système un certain nombre de périodes plus tard.

Il est possible de distinguer les probabilités de premier passage des probabilités de passage simple conformément à la théorie des chaînes de Markov. L'intérêt d'une telle distinction dans le cas d'une structure par grade et par année d'étude est faible mais dans le cas d'une structure fonction du statut de l'étudiant (actif, inactif, gradué) cette distinction est plus instructive.

Enfin du point de vue conceptuel, l'introduction de chaînes de Markov d'ordre limité mais supérieur à 1 serait plus satisfaisante. La théorie des chaînes de Markov pourrait alors s'appliquer à des groupes d'individus ayant un certain nombre de caractéristiques communes alors qu'actuellement on présume de l'homogénéité à partir uniquement d'une caractéristique qu'elle soit l'année d'étude ou le statut de l'étudiant. Malheureusement la manipulation de ces chaînes d'ordre supérieur à 1 est extrêmement encombrante et malcommode.

On peut ramener les inconvénients de ces modèles aux points suivants:

Une chaîne de Markov étant un modèle stochastique, l'hypothèse markovienne ne peut être vraie que pour un seul individu ou un petit groupe très homogène. Les modèles qui utilisent cette approche devraient donc être des micro-modèles. Or certains auteurs (36, 4, 55) utilisent la théorie des chaînes de Markov pour des macro-modèles sans pouvoir estimer le niveau d'erreur introduit par une telle approximation.

Ces modèles en chaîne de Markov décrivent le cheminement des individus à l'intérieur du système. Ils ne donnent aucune indication sur l'évaluation des ressources nécessaires à cette progression dans la structure.

Comme le remarque Thonstad T. (54) le modèle en chaîne de Markov permet de rester, dans un état transitoire pendant plus de deux périodes. Même si la probabilité d'un tel état de chose va en décroissant, cela est irréaliste dans le cas d'une structure par année d'étude par exemple.

Ces probabilités de transition sont supposées homogènes ce qui dans certains cas est une assez grossière approximation (au niveau gradué notamment ou pour des prévisions supérieures à une période). Une étude comparable à celle de Breneman D. (9) sur la stabilité des coefficients utilisés dans les modèles de répartition des charges de travail du corps professoral serait très utile et nous permettrait de tester la validité de l'hypothèse d'homogénéité. D'ailleurs il semble que la stabilité des probabilités de transition dépende des conditions particulières à chaque institution. Admettre l'hypothèse de stabilité de Gani, même

pour des horizons inférieurs à cinq ans, pourrait être discutable dans un grand nombre de cas particuliers.

Même dans le cas d'une quasi-stabilité des probabilités de transition, la sensibilité des modèles par rapport à de faibles variations des probabilités de transition est généralement ignorée? Des variations insignifiantes de ces probabilités ne peuvent-elles avoir des conséquences inattendues sur le comportement-limite des distributions de probabilité dans les états de la structure?

Enfin la plupart des modèles en chaîne de Markov ne comprennent aucun traitement explicite de l'estimation des probabilités de la matrice de transition. Beaucoup de facteurs autres que les données historiques: bourses, frais de scolarité, salaire espéré, chômage, restrictions à l'admission etc. . . . peuvent influencer ces probabilités et du point de vue appliqué leur détermination est cruciale, puisqu'elles représentent le seul aspect auquel s'attache l'analyse du système.

2.3 Modèles markoviens déterministes

Cette approche est semblable aux modèles en chaîne de Markov si ce n'est que les auteurs "deliberately avoid talking about transition probabilities, because that approach rests on certain implausible assumptions concerning the identical behaviour of individuals of the population, and because it leads to certain intractable problems in probability theory and statistical estimation" (13). A part l'option déterministe, la description de la structure et la définition des états sont identiques aux modèles proposés en 2.2. Puisqu'elle n'est plus une condition nécessaire à l'application du modèle, la condition d'homogénéité dans le temps des proportions de transition est généralement rejetée. Les modèles de cette classe sont libérés de la rigueur de la formulation en chaîne de Markov et il est possible de les ajuster aux caractéristiques particulières du système en ajoutant aux contraintes relatives à la progression dans la structure des contraintes secondaires relatives aux capacités des différents états, aux limites d'admission, au développement désiré, aux proportions d'étudiants dans les états etc. . . . Une formulation initiale de ce type de modèle est due à Mosser C. et Redfern P. (40). Ce modèle a ensuite été repris par Clough D. (12), Armitage J. et Smith C. (1), Price W. (47) et Guérin G. (25, 26, 27). Le modèle de Clough D. (12) contient des contraintes sur l'offre de places dans le système (fonction des standards, locaux, ratios, professeurs, budgets etc.) et des contraintes sur la demande de places (14, 15) dans ce même système (fonction des frais de scolarité, coût de la vie, durée des études, salaires espérés, etc.). L'ensemble de ces contraintes détermine un ensemble convexe dont la fermeture varie au gré des décisions administratives et à l'intérieur duquel se situent les proportions de transition réalisables. Une fonction économique relative au bénéfice social, que Clough choisit de maximiser, permet de sélectionner l'ensemble optimal des proportions de transition pour un horizon de une période. Pour un horizon plus éloigné, ce modèle n'est plus linéaire et il est suggéré d'employer la programmation dynamique pour optimiser la fonction économique. Ce modèle est très élégant mais il présente l'inconvénient de nécessiter une somme de données importante pour la construction des contraintes. Notamment pour les contraintes de demande il est déjà bien difficile de déceler l'influence d'un seul facteur (29, 60, 62)! La simulation de Baisuck A. (2,3,4) utilise le même type de modèle. Des regressions permettent la projection des effectifs dans la

structure. Dans le cas d'objectifs à atteindre, les projections sont modifiées, d'une façon progressive ou bien unique afin de réaliser ces objectifs. Le modèle de Dietze H. (16) qui est adapté à la rigidité des systèmes universitaires européens, utilise la même matrice de proportions de transition ce qui lui permet de prévoir les effectifs dans le système au cours de la période suivante à partir de ceux dans le système actuellement. A partir des taux de participation des étudiants aux différents cours et du nombre maximum d'étudiants à ces mêmes cours, l'auteur détermine les admissions dans les différents programmes d'étude et à la même occasion identifie les goulets d'étranglement dans la structure. Caspar R. (10, 1) propose un modèle identique mais utilise la méthode du simplexe pour déterminer la structure optimale des admissions. Dans le modèle de Dietze H. on peut se demander qui a déterminé le nombre maximum d'étudiants pour chaque cours car la détermination de ces capacités n'est liée à aucune autre variable et reste à la discrétion du planificateur. De plus ces deux modèles correspondent à une conception assez figée de l'enseignement supérieur; ils déterminent l'arrangement optimal des étudiants que l'on peut accepter dans le système avec les ressources qui existent. Ainsi le corps professoral détermine l'offre de places dans le système et la demande étudiante doit se modifier pour s'adapter à la structure des enseignants et réduire les goulets d'étranglement. Dans le contexte américain, cette approche est irréaliste car la demande des étudiants a une très grosse influence sur l'offre de places dans le système; de plus la structure des enseignants peut évoluer et se modifier beaucoup plus qu'en Europe puisque les admissions y sont simples et les départs fréquents.

Comme dans les cas précédents, on peut énumérer les avantages suivants.

Suivant cette approche les auteurs utilisent les techniques qui leur semblent appropriées pour résoudre un problème donné. Suivant l'approche en chaîne de Markov, on a parfois l'impression d'une recherche d'exemples appropriés à l'application d'une technique donnée à des chaînes de Markov.

Contrairement aux modèles en chaîne de Markov, les modèles de ce groupe peuvent utiliser des techniques d'optimisation. Alors que les premiers prévoient la progression des étudiants dans la structure, les seconds peuvent indiquer les modifications optimales de cette progression ou bien déterminer les admissions adéquates en vue d'atteindre certains objectifs.

Malgré la rigidité conceptuelle des chaînes de Markov, ces modèles s'avèrent beaucoup plus souples et peuvent répondre plus facilement aux exigences particulières de certaines institutions universitaires.

Il n'y a pas de restriction quant au niveau d'agrégation des variables du système.

Les inconvénients suivants peuvent être énoncés.

En raison de l'optique habituelle de la non-homogénéité des matrices de proportions de transition, les modèles utilisant des techniques d'optimisation sont généralement peu explicites pour des horizons supérieurs à une période. Dans beaucoup de cas les contraintes du programme d'optimisation ne sont plus linéaires.

La description du système universitaire étant relativement partielle dans ces modèles, on

aboutit généralement pour les modèles d'optimisation à des sous-optimisations relativement à l'ensemble des variables du système.

Le comportement des étudiants dans la structure est un comportement stochastique. Le décrire en termes déterministes est une approximation.

2.4 Modèles d'entrée-sortie

Toujours en fonction d'une progression des modèles du plus simple au plus sophistiqué, du plus descriptif au plus explicatif, cette dernière classe de modèles applique au système universitaire le modèle de production généralement appelé modèle d'entrée-sortie (ou input-output). Ce modèle est déjà plus qu'un simple modèle de prévision d'effectifs étudiants, il représente possiblement un modèle quasi-global du système et pourrait se ranger aussi bien parmi les modèles de prévision de ressources, d'allocation de ces ressources ou surtout parmi les modèles d'évaluation des programmes d'enseignement.

Dans le cas le plus général, il existe une transformation linéaire qui lie le vecteur d'entrée au vecteur de sortie. Si les sorties correspondent aux "produits finis" du système de production universitaire, les entrées seront alors toutes les ressources nécessaires à la production de ces sorties soit des nouveaux étudiants, des professeurs, du personnel de soutien, des locaux, du matériel etc. . . . Stone R. (52) distingue trois grandes catégories dans ces entrées du système: les étudiants, la main d'oeuvre, les locaux et l'équipement. Les coefficients de la matrice d'entrée-sortie indiquent les décisions prises par les administrateurs et les restrictions du système. Ils reflètent les contraintes sur les rapports étudiants-professeur, sur les répartitions de charges de cours, sur l'affectation des professeurs, etc. . . . Si l'on précise un vecteur de sortie désiré, ils permettent de déterminer les entrées nécessaires à la réalisation des objectifs. Les modèles de cette classe ne se présentent pas tous sous la forme matricielle que l'on vient de décrire; certains (8, 38) correspondent à des systèmes d'équations linéaires représentant les contraintes imposées à certaines ressources pour la production des sorties. Il suffirait de réarranger les équations et d'introduire quelquefois certaines ressources supplémentaires pour avoir un modèle complet d'entrée-sortie. En effet la plupart des modèles (8, 38, 42, 46, 48) se limitent aux ressources humaines et ne se préoccupent que des sorties représentées par les étudiants gradués. Par le biais de capacités, relatives à chacun des cours offerts, le modèle de Braun H., Hammer G. et Schmid K. (8) tient compte des salles de classe et du matériel mais la relation n'est pas explicite. Comme le modèle de Menges G. et Elstermann G. (39) ainsi que ceux précédemment décrits de Dietze (16) et Caspar (10, 11), ce modèle européen détermine les admissions possibles en fonction d'un arrangement donné et d'une utilisation maximale de certaines ressources, professeurs et/ou locaux et non en fonction d'objectifs sur les sorties ou les entrées d'étudiants comme le font généralement les auteurs nord-américains. Parmi ceux-ci, Nordell L. (42) et Oliver R., Hopkins D. et Armacost R. (46) se préoccupent uniquement des effectifs d'étudiants et d'enseignants. Contrairement aux modèles allemands il s'agit ici de déterminer le nombre d'enseignants nécessaires à la production d'une structure désirée de gradués. De la même manière le modèle de Lawson D. et Jewett F. (34) appliqué au Collège d'Etat de Humboldt permet en fonction de la structure de gradués de générer l'ensemble des ressources physiques et humaines nécessaires. A un niveau intermédiaire de généralisation se situent des modèles tels que ceux de Koenig H. (33) qui

ansforment toutes les ressources humaines à l'entrée du système, y compris le personnel de soutien, en sorties réparties suivant les fonctions primaires d'enseignement, de recherche, de service au public et même la fonction administrative d'appui. Enfin, au niveau le plus général, le modèle comprend toutes les ressources à l'entrée du système, qu'elles soient humaines ou matérielles, et produit des diplômés, des connaissances et des services. Ces modèles (6, 49, 52) s'inscrivent généralement dans un contexte plus vaste encore, et le système éducatif est considéré comme un des secteurs de l'économie. Ces modèles sont alors tournés vers la détermination des ressources nécessaires à la production d'une certaine structure de diplômés nécessaire au développement économique et social. Redfern (49) conçoit le système éducatif comme une industrie qui fournirait comme matières premières aux autres industries les personnes qualifiées nécessaires: "We may treat the educational system as an industry or group of industries producing manpower with a range of skills; treat young people as the "intermediate products" moving from one part of the educational system to another; and treat the rest of the economy outside the educational system as the final recipient of the products of the educational system". A partir de ces mêmes hypothèses Bénard J. (6) introduit le concept d'optimisation relativement à l'affectation "des ressources, pour la plupart physiques, entre l'activité d'éducation et les activités économiques marchandes, représentées par les secteurs d'un tableau d'échange inter-industriel. L'optimisation est obtenue par la maximisation sous contraintes d'une fonction sociale de préférence, elle-même constituée par des indicateurs numériques du niveau de vie de la population tout au long de la période pluriannuelle envisagée, et du potentiel de production en fin de période".

Voici, en résumé, les avantages principaux de ces modèles.

Le modèle d'entrée-sortie est un modèle global qui évalue les ressources nécessaires à la production de sorties. Contrairement aux modèles précédents qui étaient en grande partie descriptifs, ce modèle étudie les relations internes et reflète une analyse complète du système.

Une fois élaboré, ce modèle représente un outil de gestion utile pour l'administrateur. La visibilité des sorties à certaines ressources particulières, la modification des coefficients de la matrice, la substitution de certaines ressources peuvent être testées.

Le modèle d'entrée-sortie est linéaire et sa souplesse conceptuelle permet l'adjonction de contraintes supplémentaires; de la même façon il peut être intégré au milieu d'un système structurel plus large. Des techniques d'optimisation linéaire peuvent être utilisées très facilement.

Les résultats de la théorie économétrique des modèles d'entrée-sortie de Léontief W. (18) peuvent être appliqués aux modèles d'entrée-sortie du système universitaire. Cette théorie permet l'utilisation comme ressources de certaines sorties du système; dans le système universitaire ceci peut s'appliquer aux étudiants diplômés qui ont une fonction d'encadrement des étudiants sous-diplômés ainsi qu'aux diplômés au niveau du doctorat qui peuvent entrer dans le système en temps que professeur. Cette théorie "peut aussi être considérée comme une forme particulièrement accessible des programmes linéaires. Dans le système Léontief le plus simple, dans lequel aucune substitution d'entrées n'est techniquement possible, la solution optimum est la seule solution efficiente possible. Mais dans des mo-

lèles plus généraux où les substitutions sont possibles, le système peut être déterminé uniquement en résolvant un problème de programmation linéaire formulé de façon convenable ou bien en soumettant la solution à des conditions extérieures restrictives" (18).

La formulation mathématique est simple et correspond à une représentation réaliste du système. La forme des données nécessaires à la construction du modèle est semblable à celle des données que les administrateurs manipulent au cours de leur travail de gestion. Leur compréhension du modèle et leur aptitude à s'en servir s'en trouvent accrues.

Les inconvénients suivants peuvent être cités.

L'une des principales difficultés auxquels se heurtent les modèles d'entrée-sortie tient à la confusion des hypothèses et des objectifs. "Si le modèle ne précise pas les éléments à considérer comme des variables et ceux que l'on doit supposer fixes, il n'apportera qu'une aide infime aux administrateurs du plan effectif. On pourrait citer nombre d'exemples où les rapports numériques élèves-maîtres sont supposés et non incorporés dans le modèle à titre d'objectifs". Cette critique de Dressel P. (19) à l'égard des modèles mathématiques en général se révèle fondée pour les modèles d'entrée-sortie. Oliver R., Hopkins D. et Armacost R. (46) précisent cette critique dans la présentation de leur modèle d'entrée-sortie appliqué au campus de Berkeley de l'Université de Californie: "Perhaps the single most troublesome aspect of any large scale fixed coefficient model is that there is little opportunity to distinguish institutional variables, administrative controls and environmental parameters from one another, and thus be able to clearly identify the influence of new policies or the relaxation of institutional restrictions upon the structure of the (input-output) matrix itself".

D'autre part ce modèle étant général il nécessite une définition et une analyse complète du système. Les données nécessaires à la construction du modèle sont souvent si nombreuses que le temps et l'effort consacrés à la recherche et à la mise en ordre des statistiques risquent de réduire les avantages à attendre de cette méthode.

Cette approche n'est rationnellement utilisable qu'à un niveau agrégé car il faudrait autrement multiplier les matrices d'entrée-sortie et la détermination subséquente des coefficients.

3 Conclusion

Pratiquement la plupart des modèles présentés dans cet article se contentent de mesurer le cheminement dans la structure de groupes d'individus relativement homogènes. Les prévisions sont alors de simples extrapolations pondérées par l'évolution actuelle. On peut s'inquiéter du peu d'explication apporté par ces modèles descriptifs au processus de cheminement. Seuls les modèles d'entrée-sortie apportent un certain élément d'explication en introduisant les ressources nécessaires à la réalisation du processus éducatif. Pourtant contrairement au processus classique de production, celui d'acquisition des connaissances dépend également de facteurs individuels (caractéristiques personnelles, comportements psychologiques, relations professeur-étudiants etc...) qui sont ignorés dans un macro-modèle. Indépendamment ou plutôt conjointement aux ressources injectées dans le système, il y aurait lieu d'analyser ces différents facteurs qui conditionnent ou tout au moins influencent fortement le cheminement des étudiants dans la structure. De telles

pproches, outre leur aspect explicatif du processus, permettraient une gestion dynamique du système; les prévisions ainsi élaborées ne seraient plus bâties sur les conséquences mesurables mais sur les causes mêmes du processus de cheminement. En ce sens les simulations de Benson R. et Klasson C. (7) relatives à un système de main d'oeuvre spécialisée ont un premier pas vers cette synthèse des micro et des macro-modèles qui est à notre avis l'orientation actuelle la plus souhaitable pour les modèles de prévision des effectifs étudiants au niveau universitaire.

Bibliographie

Armitage P. et Smith C., "Mise au point et utilisation de modèles exploitables à l'ordinateur pour le système britannique d'enseignement," dans *Modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement*, OCDE, Paris, 1969.

Baisuck A., *A Projection Model for Higher Educational Systems Planning*, Rensselaer Research Corp., Troy, N.Y., May 1968.

Baisuck A., "Construction and Evaluation of a Simulation Model for Projecting Higher Education Enrolment," Ph.D. Dissertation, School of Management, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, N.Y., August 1969.

Baisuck A. and Wallace W., *A Computer Simulation Approach to Enrolment Projection in Higher Education*, Rensselaer Research Corp., Troy, N.Y., March 1970.

Bartholomew D., *Stochastic Models for Social Processes*, John Wiley, 1967.

Bénard J., "Modèle d'optimisation générale: Economie-Education," dans *Modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement*, OCDE, Paris, 1969, pp. 211-250.

Benson, R. and Klasson, C., "A Computer Simulation Model for High-Talent Personnel," in *Manpower Planning and Programming*, ed., Burack, E. Allyn and Bucon, 1972.

Braun H., Hammer G. and Schmid K., "Ein Verfahren zur Ermittlung der Ausbildungskapazität wissenschaftlicher Hochschulen," *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik*, Vol. 182 (1969), p. 381-397.

Breneman D., *The Stability of Faculty Input Coefficients in Linear Workload Models of the University of California*, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, April 1969.

3 Caspar R., Bingert A., Bayer W. and Blahusch F., *Ein Modell zur Ermittlung der Zulassungszahlen in Studienanfängern an einer Wissenschaftlichen Hochschule*, Universität Stuttgart, 1968.

1 Caspar R., "Ein Modell Zur Ermittlung Optimaler Zulassungszahlen von Studienanfängern," *HIS-riefe*, Heft, B1, 1969, pp. 2-5.

2 Clough D., *A Model for Education-Employment Systems Analysis*, University of Toronto, 1967.

3 Clough D. and McReynolds W., "State Transition Model of an Educational System incorporating a Constraint Theory of Supply and Demand," *Ontario Journal of Educational Research*, Vol. 9, Number (Autumn 1966), pp. 1-18.

4 Corrazini A., *The Demand for Higher Education in an Urban Area*, Tufts University, Medford, Massachusetts.

5 Correa H., "Modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement," dans *Modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement*, OCDE, Paris 1969, pp. 23-95.

5 Dietze H., *Studie zur Kapazitätsermittlung an Universitäten*, Universität des Saarlandes, 1969.

7 Doermann H., *Cross-currents in College Admissions*, Teachers College Press, Columbia University, 1968.

3 Dorfman R., Samuelson P. et Solow R., *Programmation linéaire et Gestion économique*, Dunod, 1962.

3 Dressel P., "Remarques sur l'emploi des modèles mathématiques dans la planification de l'enseignement," dans *Modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement*, OCDE, Paris, 1969.

3 Edwards J. and Orcutt G., "Should Aggregation Prior to Estimation be the Rule?" *Review of Economics and Statistics*, Vol. LI, No. 4 (November 1969).

- 21 Florian M. et Guérin G., "Modèles de prévision de population étudiante," Rapport technique no. 5, Gresigu, Université de Montréal, mai 1971.
- 22 Fox T., *Long Run Planning for Undergraduate-Higher Education Capacity Needs: Basing Enrolment Projections on Partial-College-Potential vs Full-College-Potential*, Institute for Research on Human Resources, Pennsylvania State University, University Park, Penn., August 1970.
- 23 Gani J., "Formulae for Projecting Enrolments and Degrees Awarded in Universities," *Journal of Royal Statistics Society, Series A*, Vol. 126, Part 3 (1963), pp. 400-409.
- 24 Gordon P., *Théorie des chaînes de Markov finies et ses applications*, Dunod, 1965.
- 25 Guérin, G., "Prévision des effectifs étudiants dans un secteur d'étude d'une institution universitaire," Gresigu, Université de Montréal, numéro 19 (mai 1972).
- 26 Guérin G., "Elaboration d'un modèle de prévision des effectifs étudiants au niveau universitaire," hèse de doctorat non publié, département d'Informatique, Université de Montréal, septembre 1972.
- 27 Guérin G., "Structuration du système universitaire," *Stoa*, III-1 (1973), pp. 29-46.
- 28 Hall A., "Projecting University Populations," *Vestes (Aust. Univ. Rev.)*, Vol. 5, no. 3 (1962), pp. 56-73.
- 29 Hoenack S., "Efficient Allocation of Subsidies for College Student Institute for Defense Analysis," Presented at Symposium on Operations Analysis of Education, Washington, D.C., November 1967.
- 30 Jacoby E., *Methods of School Enrolment Projection*, U.N.E.S.C.O., Paris, France, August 1959.
- 31 Jewett J., *College Admissions Planning: Use of a Student Segmentation Model*, Paper P-23, Ford Foundation for Research in University Administration, University of California, November 1971.
- 32 Karlin S., *Initiation aux processus aléatoire*, Dunod, 1969.
- 33 Koenig H., *Systems Models and their Applications in Management Planning and Resource Allocation in Institutions of Higher Education*, Division of Engineering Research, Michigan State University, November 1969.
- 34 Lawson D. and Jewett F., *An Input-Output Model of Humboldt State College*, Humboldt State College, 1969.
- 35 Lins L., *Methodology of Enrolment Projections for Colleges and Universities*, Association of American College Registrars and Admissions Officers, 1960.
- 36 Marshall K. and Oliver R., *A Constant Work Model for Student Attendance and Enrolment*, Report No. 69-1, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, February 1969.
- 37 Marshall K., Oliver R. and Suslow S., *Under-Graduate Enrolments and Attendance Patterns*, Administration Studies Project in Higher Education, University of California, March 1970.
- 38 Menges G. and Elstermann G., *Forecasting and Planning the Structure of Personnel of a University*, NATO Conference on Manpower Planning, Porto, Portugal, September 1969.
- 39 Menges G. and Elstermann G., *Capacity Models in University Management*, XVII International Conference of TIMS, London, April 1970.
- 40 Moser C. and Redfern P., "Education and Manpower: Some Current Research," in C. Berners-Lee, ed.), *Models for Decision*, English Universities Press, London, 1965.
- 41 Muetira M., *The Social Demand for Higher Education in Portugal*, N.A.T.O. Conference on Manpower Planning, Porto, Portugal, September 1969.
- 42 Nordell L., *Dynamic Input-Output Model of the California Educational System*, Technical Report No. 25, Center for Research in Management Science, University of California, Berkeley, August 1967.
- 43 Office of Program Planning and Evaluation, *Students and Building, An analysis of Selected Federal Programs for Higher Education*, USOE, Washington, D.C., OE-0054, May 1968.
- 44 O'Grady W. and Feddersen A., *A Student Flow Model for California State College, Fullerton: A Feasibility Study*, Division of Analytic Studies, the California State Colleges, Los Angeles, January 1972.
- 45 Oliver R., *Models for Predicting Gross Enrolments at the University of California*, Research Report No. 68-3, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, August 1968.
- 46 Oliver R., Hopkins D. and Armacost R., *An Academic Productivity and Planning Model for a Uni-*

- versity Campus, Administrative Studies Project in Higher Education, University of California, Berkeley, California, February 1970.
- 47 Price W., *Les modèles mathématiques de systèmes de gestion de personnel*, Département de Mechanical Engineering, Royal Military College, Kingston, Ontario, October 1969.
- 48 Radner R. and Miller L., *Resource Requirements for a Universal Two-year College Program*, Working Paper Number 2, Carnegie Commission on the Future of Higher Education, Berkeley, California, 1969.
- 49 Redfern P., *Input-Output Analysis and its Application to Education and Manpower Planning*, Her Majesty's Stationery Office, London 1967.
- 50 Smith W., *Review of a Student Flow Model*, University of California, Los Angeles, April 1969.
- 51 Smith W., *A Student Flow Model*, Office of Advanced Planning at the University of California at Los Angeles, Los Angeles, California 1970.
- 52 Stone R., "A Model for the Educational System," *Minerva*, Vol. 3 (1965), pp. 172-186.
- 53 Stone R., "Aperçu général de la Conférence," dans *Modèles mathématiques pour la planification de l'enseignement*, OCDE, Paris 1968, pp. 7-22.
- 54 Thonstad T., *Education and Manpower*, University of Toronto Press, 1968.
- 55 Thonstad T., "A Mathematical Model of Norwegian Educational System," in *Mathematical Models in Educational Planning*, OCDE, Paris, 1967, pp. 125-158.
- 56 Turksen I., *A Micro Level Forecasting Model of Student Enrolment*, Department of Industrial Engineering, University of Toronto, April 1970.
- 57 Weathersby G. and Weinstein M., *A Structural Comparison of Analytical Models for University Planning*, Paper P-12, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, August 1970.
- 58 Weitz H., *An Assessment of the Contribution of Operations Research to Educational Planning*, IBM Yorktown Heights, N.Y., June 1969.
- 59 Weitz H., *Bibliography for Operations Analysis of Education*, IBM Yorktown Heights, N.Y., 1969.
- 60 White L., *Mathematical Programming Models for Determining Freshman Scholarship Offers*, Sloan Working Paper No. 379-69, Massachusetts Institute of Technology, March 1969.
- 61 WICHE, *Program Classification Structure*, Technical Report No. 13, 1970.
- 62 Wolfman B. and Fong P., *Construction of Student Fees at the University of California*, Office of the President, Berkeley, May 1968.
- 63 Wurtele Z., *Mathematical Models for Educational Planning*, System Development Corporation, Santa Monica, California, November 1967.
- 64 Young A. and Almond G., "Predicting Distributions of Staff," *Computer Journal*, 3, No. 4 (1961), pp. 246-250.

Éléments d'un modèle global de planification des effectifs étudiants au niveau universitaire

ILLES GUERIN*

La mise en place d'une planification des effectifs étudiants au niveau universitaire exige trois préalables externes: analyse prospective de la structure professionnelle, estimation de la demande sociale et analyse du lien formation-emploi. À partir d'une structuration du système universitaire et d'un système d'information sur la population étudiante, il devient alors possible de bâtir un modèle de planification des effectifs en fonction de contraintes et d'objectifs réalistes. La divergence des objectifs de l'enseignement supérieur peut permettre une résolution automatique du programme mathématique engendré mais favorise plutôt l'implantation d'un système interactif homme-ordinateur. Sous une forme aussi peu quantitative que possible il s'agit de prouver l'utilité et le réalisme d'un modèle de planification des effectifs étudiants au niveau du système universitaire québécois.

La nécessité d'une planification des effectifs étudiants

Dans la gestion des effectifs étudiants, les administrateurs universitaires se trouvent de plus en plus souvent confrontés à des problèmes urgents et constants dont la solution ne peut découler que de politiques à long terme. Sans un cadre global de planification, les décisions ne peuvent avoir ni la cohérence ni l'efficacité suffisante pour atteindre le résultat souhaité. Quels sont ces problèmes urgents et constants?

Ce sont d'abord des problèmes d'évaluation des programmes d'enseignement: forme ou le type de spécialistes recherché sur le marché du travail? les aspirations en éducation universitaire de toutes les classes de la société sont-elles satisfaites? le rendement des programmes offerts est-il satisfaisant? l'institution a-t-elle une mission particulière au niveau de l'éducation permanente, des études graduées, etc. . . ? Il s'agit d'évaluer la qualité, la cohérence et la pertinence des programmes offerts puis d'envisager leur évolution dans le futur. Contrôle par rapport à quelles stratégies? Modifications en fonction de quels objectifs?

Ce sont également les problèmes de cheminement des étudiants dans ces programmes. Combien d'étudiants doit-on admettre dans chaque programme? Doit-on pratiquer une politique de sélection à l'avantage des élites ou ouvrir l'enseignement universitaire au plus grand nombre possible de personnes? Faut-il favoriser les arrêts temporaires des études ou encourager un processus continu d'éducation? Le nombre de diplômés dans chaque programme est-il approprié, insuffisant ou exagéré? La réponse à ces questions exige l'élaboration d'une véritable politique des admissions qui respecte la demande sociale et s'harmonise, professeur agrégé, Ecole des relations industrielles, Université de Montréal.

litativement et quantitativement, aux changements structurels de la population active. Il est souhaitable d'équilibrer nos prévisions de populations actives avec les probabilités de minement d'abord dans les systèmes d'enseignement et ensuite sur le marché du travail. Enfin toutes ces décisions se prennent avec des ressources financières que les Universités ont de plus en plus à disputer aux autres besoins fondamentaux de la Société (santé, logements sociaux, aménagement, enseignement non-universitaire, etc. . .). L'opinion publique et l'intermédiaire des gouvernements exige une gestion efficace du budget universitaire. On s'inquiète alors de la taille optimale des institutions, de la taille critique ou de duplication des programmes, de coût par type d'étudiants, de rationalisation budgétaire, etc. . . Ceci afin d'obtenir une utilisation plus efficace des ressources consacrées à l'éducation. Plus efficace rapport à quoi? en fonction de quoi?

La planification des effectifs étudiants n'apporte certes pas une réponse à toutes ces questions, pas plus qu'elle ne limite les risques encourus ou n'assure une meilleure connaissance du futur qui reste, en partie, tout aussi imprévisible. Par contre, en clarifiant les processus de cheminement et les liens avec les systèmes environnants et surtout en expliciter les choix fondamentaux, elle permet aux responsables de tous les échelons de construire et d'apprécier des règles de gestion cohérentes et congrues. Comme l'écrit H. Janne [15], "ce qui importe c'est de donner aux sociétés complexes et en changement la dimension du futur et de leurs options et de leurs décisions. Refuser la planification, ce serait accepter que les sociétés modernes vivent en état de crise permanente quelles que puissent être les promesses de progrès technique et la bonne volonté de responsables travaillant dans l'aveuglement de l'urgence". Si chaque administrateur peut envisager les conséquences prévisibles de ses décisions, peut les comparer avec un ensemble d'objectifs ou de missions clairement définies au niveau universitaire, s'il est capable de détecter des écarts entre ce qui a été fait et ce qui aurait dû être fait, alors il devient beaucoup plus apte à répondre à toutes les interrogations précédemment soulevées. Les détracteurs de la planification prétendent un futur incertain pour travailler sur le jour. Or c'est justement parce que le futur est incertain qu'il faut planifier. Face aux changements, même imprévisibles, il faut pouvoir s'adapter et évoluer rapidement, avec parcimonie et avec une grande économie des moyens. Seul un cadre de planification peut permettre cet état d'esprit adaptatif¹ et cette synergie fonctionnelle qu'exige notre monde en pleine évolution².

La mise sous forme de "modèle" a pour rôle de rendre encore plus rapide et plus efficace l'élaboration de décisions en en testant à l'avance les conséquences possibles anticipées. Idéalement on souhaiterait disposer d'un modèle global qui représente et explique toutes les composantes du système universitaire et de son environnement. Ceci est généralement impossible vu le grand nombre de variables considérées et la complexité des liens avec les systèmes environnants. L'objectif des premiers modèles de planification des effectifs est donc d'estimer ou de mesurer les effets potentiels en laissant à des modèles ultérieurs et plus sophistiqués le soin d'expliquer et d'évaluer. De tels modèles sont souvent de rudimentaires simulations du comportement réel

dans "Méthodes de planification dans l'entreprise", de R. Ackoff [1] pp 31-39: la planification prospective.

Comme nous n'avons pas encore reçu ce livre au moment de la rédaction de cet article, mentionnons le nouveau canadien le plaidoyer (au titre équivoque) de Bernard Trotter en faveur de la planification universitaire [20]

On doit laisser à chaque responsable le soin d'interpréter³ et surtout de pondérer les résultats du modèle à l'intérieur du cadre de planification. Néanmoins leur aide est inestimable⁴ lorsqu'il convient d'élaborer par exemple une politique d'admission cohérente qui intègre les différentes missions du système universitaire. Il est également possible de constater très vite les conséquences d'une modification des cheminements des étudiants dans la structure ou d'un processus d'élimination trop rigoureux. De plus les réflexions approfondies qu'ils suscitent sur les structures, les besoins et les choix des différentes institutions améliorent cette capacité d'adaptation active qui devient le trait principal de la planification moderne.

Le préalable

Un tel modèle de planification des effectifs étudiants devrait se concevoir au niveau du groupe d'institutions qui se partage un même budget gouvernemental et s'engage globalement à fournir la quantité et le type de main-d'oeuvre requis par le marché du travail. Rendre compatibles les structures de formation et les structures professionnelles n'est peut-être pas le seul rôle de l'Université mais c'est certainement son rôle principal. Or cette harmonisation de la production des diplômés avec les besoins du développement économique implique un préalable: une planification générale de ce développement économique.

Les modèles de planification sont souvent critiqués car on veut leur faire jouer un rôle bien plus important que celui pour lesquels ils ont été conçus. Simples courroies de transmission entre les choix fondamentaux ou objectifs de style⁵ et la gestion quotidienne, ils ne sont que des outils pour tenter d'optimiser la trajectoire entre l'état actuel et l'état souhaité. Les simples projections⁶ sont insuffisantes pour décrire cet état souhaité car elles ne font que refléter des contraintes alors qu'une certaine latitude de choix est possible dans le long terme. Cette volonté d'exercer des choix doit s'exercer et doit infléchir ou corriger les projections anticipées. Si un consensus ne se fait sur une certaine évolution, réalisable et souhaitée à la fois, des structures de population active quelles peuvent bien être les critères du système universitaire pour contrôler quantitativement et qualitativement ses effectifs étudiants? Il faut comme l'écrit Janne H. [15] que soit mise en place une "permanente analyse prospective de la structure professionnelle". Cette analyse se retrouve généralement à l'intérieur des plans de développement économique où la planification de la main-d'oeuvre représente un des facteurs clefs. Janne H. [15] poursuit donc: "Au delà du jeu des contraintes inéluctables qui ne sont qu'un facteur partiel de l'avenir, il n'y a aucune chance de prévoir ce que sera la structure de la population si une politique de développement économique n'est pas conçue à long terme". "Il faut donc que les gouvernements fassent le nécessaire pour lier

Models are to be used, not to be believed" (H. Theil)

Un lecteur peu convaincu de ce point devrait se reporter au chapitre IX "Purpose of Models" et "Why Models" du rapport technique de l'OCDE, "Mathematical Models for the Education Sector", Paris 1973 [16]

lire dans "Méthodes de planification dans l'entreprise" de Ackoff R. [1] pp 43-49: les objectifs de style.

ainsi des projections des besoins en Main-d'oeuvre telles que celles publiées par le Ministère de la Main-d'Oeuvre et de l'Immigration sont "inappropriées" comme objectifs de planification. Cette insuffisance des projections de l'emploi dans la planification de l'Education vient d'ailleurs d'être soulignée dans un livre récent par celui même qui les a construites [2]

itement les plans d'éducation aux plans nationaux de développement intégral, du point de vue théorique aussi bien que sur le plan organique." /19/

Les cheminements externes

La compréhension des liens avec les systèmes environnants est nécessaire à l'utilisation efficace d'un modèle de planification des effectifs étudiants. Le cheminement préalable des étudiants ainsi que le cheminement ultérieur des diplômés universitaires sont des éléments étrangers au système universitaire et difficilement intégrables au sein d'un même modèle⁷. Le degré de satisfaction de la demande sociale si l'on est incapable de distinguer et de mesurer les caractéristiques des différentes filières qui mènent au système universitaire reste un concept théorique qui restreint la portée opérationnelle du modèle. De la même façon, l'association des structures de diplômés à celles de la population active ne prend un sens que si l'on est capable de mesurer sinon d'expliquer la diffusion des diplômés dans les structures professionnelles.

À un niveau des systèmes en amont, il est primordial d'estimer à partir de variables démographiques et sociologiques le potentiel d'individus capables d'entreprendre des études universitaires. L'analyse des pré-orientations en fonction des goûts, des catégories sociales, du marché du travail etc. . . pourrait permettre de cerner cette demande sociale qu'il est important de voir se concilier avec les futures structures professionnelles. On ne dit pas que la demande sociale "conditionne" ni qu'elle doive "s'ajuster" aux futures structures de la population active. La demande sociale est une contrainte qu'il faut essayer de satisfaire au mieux possible (sous peine d'inefficacité ou de désordre) tout en essayant également de respecter nos objectifs de style. Si ceux-ci se révèlent trop ambitieux, la phase de contrôle du processus de planification verra à leur révision au cours des périodes ultérieures. Il y a là un processus cyclique à correction constante plus dans l'esprit des processus généraux de planification qu'un processus à interactions multiples où la prise de décision est souvent délicate. Au Québec le projet "Asope"⁸ est un premier pas pour analyser cette demande sociale au sein du système collégial, principale porte d'entrée du système universitaire. Pourtant il faut pas oublier que la population active elle-même représente un large secteur de cette demande sociale pour l'éducation universitaire. Le changement sous toutes ces formes de besoins nouveaux de connaissance qui poussent beaucoup d'individus à se rendre à étudier au cours de leur vie professionnelle. Ce type de clientèle universitaire doit être un élément d'équilibrage dans la planification des effectifs. Si on fait un parallèle avec le marché interne de travail d'une entreprise, elle représente la demande interne d'éducation et à ce titre est beaucoup plus malléable aux exigences économiques de développement que la demande externe représentée par les étudiants du système collégial. Dans la planification des effectifs étudiants le rôle de l'Université est donc de faire un pont

entre les modèles (Bénard J. /4/, Thonstad T. /17/) réalisent ce couplage des systèmes d'enseignement et du système économique. Néanmoins ils le font au prix d'hypothèses extrêmement rigides. Plus on essaie de passer de modèles à rôles multiples, il semble plus réaliste, actuellement, de bâtir, et d'articuler, des modèles partiels à fonctions et à approches spécifiques.

La recherche financée par le ministre de l'Éducation et dirigée par Guy Rocher (Université de Montréal) et Pierre Bélanger (Université Laval). Cette recherche sur les aspirations scolaires et les orientations professionnelles touche 25,000 étudiants interrogés périodiquement pendant 6 ans à l'école et sur le marché du travail.

tre cette demande sociale et les choix des structures de population active. Pour reprendre tournure de phrase de Janne H., cela exige une permanente analyse prospective de la demande sociale pour des études universitaires.

Le deuxième type d'analyse réfère au lien formation-emploi. La relation existant entre les structures de gradués et les structures professionnelles est assez diffuse. Tant que cette relation ne sera pas éclaircie il sera inutile de sophistiquer les stratégies de développement des institutions universitaires. S'il est difficile de spécifier les connaissances nécessaires à l'occupation d'un emploi, il doit être possible de mesurer la diffusion des différents types de gradués dans les structures professionnelles. L'analyse de ces cheminements devrait permettre de cerner les programmes les mieux adaptés à chaque profession ou de les créer lorsqu'une grande diversité de gradués se retrouve au sein d'une même profession. Les systèmes de classification des professions (DOT, CIP, CCDP) sont suffisamment au point pour qu'on puisse envisager une telle analyse. La recherche de Farine A. [10] est un premier essai en ce sens. La diffusion de deux cohortes de l'Université de Montréal sur le marché du travail a été estimée. Malheureusement la faible taille de l'échantillon et le peu d'ancienneté de ces diplômés sur le marché du travail rendent les résultats peu significatifs au niveau d'une planification des effectifs par secteur d'étude. Néanmoins une recherche semblable de type dynamique ou longitudinale devrait être reprise au niveau de la province. Permanente et remise à jour périodiquement, elle permettrait d'estimer le cheminement des différents types de gradués sur le marché du travail. Cette simple mesure du phénomène permettrait de juger du type de lien qui peut exister entre un programme d'enseignement et le marché du travail. Par la suite il serait encore plus satisfaisant de rechercher les causes de cette diffusion dans les structures professionnelles puisque ceci permettrait d'envisager la modification des comportements ou même des formations en fonction des objectifs souhaités. Pourtant avant de songer à améliorer le cheminement des gradués sur le marché du travail il faut déjà l'estimer par l'intermédiaire d'une analyse dynamique et permanente du lien formation-emploi.

La structuration du système

Le préalable (interne) à toute élaboration de modèle consiste à structurer le système retenu à "définir une typologie simplifiée des étudiants appartenant à la population concernée" [7]. Les différentes formations sont regroupées à l'intérieur de secteurs d'étude relativement dépendants les uns des autres et présentent une certaine homogénéité vis-à-vis du marché du travail. Une telle classification regroupant 51 secteurs d'étude a déjà été proposée par JQUAM [11]. Un autre système proposé par le WICHE comprend une douzaine de secteurs complémentaires [6]. A l'intérieur de chaque secteur, on compte un certain nombre d'états définis par les valeurs d'un certain nombre de variables telles que institution, cycle d'études, niveau d'avancement des études. Certains de ces états sont des entrées possibles du secteur d'étude alors que d'autres sont des états de sortie normale où la graduation sera possible. Les lois de survie et d'évolution dans le secteur permettent d'estimer à chaque période les effectifs étudiants dans la structure ainsi que les départs du système universitaire considéré. Par exemple deux matrices peuvent résumer le cheminement des étudiants dans un système universitaire (P) et les départs hors du système universitaire (W). Dans le cas d'un système ouvert avec des admissions (r), on lie alors les structures d'effectifs pendant la période t à celles de la période t-1 par l'équation:

$$n(t) = n(t-1).P(t-1) + r(t) \quad (1)$$

même les structures de gradués à la fin de la période t sont données par

$$m(t) = n(t).W(t) \quad (2)$$

me si l'indépendance des secteurs d'étude ne peut être retenue à cause de changements d'orientation trop fréquents, les tailles considérables des vecteurs et matrices ci-dessus ne seraient être un problème pour les ordinateurs modernes qui utilisent des présentations condensées de ces matrices dont plus de 90% des éléments sont généralement nuls. La possibilité de ces matrices de cheminement n'est pas une nécessité et des mises à jour périodiques des proportions de transition permettent de tenir compte des modifications de comportement à court ou moyen terme.

L'absence de données individuelles et opérationnelles sur les effectifs étudiants était qu'à récemment un handicap majeur pour de telles analyses. Seul, au Québec, le bureau Registraire de l'Université McGill dispose d'une banque automatisée depuis 1964. Ceci explique pourquoi les premières études [11, 12] de ce genre au Québec se limitent à certains secteurs d'étude de cette institution. Les résultats sont encourageants et au niveau Baccalauréat du secteur d'étude analysé, la précision des estimés d'effectifs étudiants varie entre 3 et 7% pour des horizons inférieurs à 3 ans. Il s'agit là d'estimés désagrégés en rapport au niveau des études. A un niveau agrégé les erreurs se compensent et il est rare de constater des écarts entre les prévisions et les observations qui dépassent 1 à 2%. Pour le deuxième et troisième cycle, la petite taille des groupes et la multiplicité des transitions possibles rendent les prévisions plus hasardeuses. Sur les mêmes horizons l'écart relatif moyen des estimés désagrégés semble se maintenir à moins de 10% au niveau de la maîtrise et à moins de 20% au niveau du doctorat. Avec le développement des banques automatisées dans presque toutes les institutions universitaires québécoises, il devient donc de moins en moins utopique d'envisager l'élaboration des matrices de cheminement P et W décrites précédemment.

Les objectifs

La structuration du système universitaire permet d'analyser le vieillissement de la population étudiante. Il s'agit d'une simulation, à l'aide par exemple des systèmes d'équations linéaires (1) et (2), du comportement réel des effectifs. En fonction d'une loi d'admission qui détermine les vecteurs $r(t)$ la simulation estime les structures de gradués $m(t)$ qui sortiront du système universitaire au cours des périodes ultérieures. Le choix des structures d'admission conditionne ainsi dans certaines limites les structures futures de gradués. C'est donc surtout au niveau des admissions que doit s'effectuer le contrôle nécessaire pour faire fonctionner le système dans le sens souhaité. Or les pressions à ce niveau sont multiples et souvent divergentes et il est difficile de ramener à un seul critère ce qui est souhaitable. Il s'agit de choisir les critères ou objectifs de performance qui vont permettre de faire le choix parmi les solutions possibles du modèle. Ces critères ne sont que la traduction quantitative et simplifiée des objectifs généraux de l'Enseignement Supérieur [9] pertinents à la planification des effectifs. Ces objectifs de style sont souvent exprimés en termes vagues: développement de la société, démocratisation des études, développement de l'éducation

manente, orientation etc. . . qu'il faut traduire en termes opérationnels afin d'élaborer une politique des admissions globale et anonyme. Nous en avons retenu trois: adaptation des formations à l'environnement économique et social, satisfaction de la demande sociale et respect de l'autonomie des institutions universitaires.

Le premier objectif est plutôt celui du planificateur central qui souhaite orienter les admissions de manière à former le nombre de diplômés nécessaire au développement économique et social. A ce titre il est plutôt favorable à l'élaboration de modèles dont l'effet stabilisateur et simplificateur lui est souvent favorable. "How to win power with mathematical models" /8/. A l'opposé la satisfaction complète de la demande sociale pourrait impliquer des structures d'admission fort différentes de celles préconisées par le planificateur central. Les modèles supposent souvent implicitement que cette demande est supérieure aux besoins d'effectifs nécessaires au développement. Des coûts d'inadaptation ou d'inefficacité sont pourtant engendrés par les composantes non satisfaites de cette demande sociale. Il est donc souhaitable qu'un modèle, même aux mains du planificateur central, cherche à réduire la divergence entre les deux objectifs. En position intermédiaire et sensible aux deux types d'influence, les institutions universitaires tentent d'élaborer des objectifs et des stratégies de développement à long terme en fonction de leurs ressources humaines et financières, des populations qu'elles desservent etc. . . Même si la planification des effectifs au niveau de l'institution n'a de sens qu'intégrée au niveau de la planification globale du système universitaire, elle-même intégrée à la planification du développement économique, l'institution reste autonome et libre de compléter les objectifs globaux par des objectifs particuliers qui lui sont propres. Les stratégies particulières qui s'ensuivent peuvent être considérées comme une première phase élaborées avec l'aide de modèles spécifiques au niveau de l'institution mais dans tous les cas la réconciliation de la stratégie globale et des stratégies particulières est une nécessité qui assure la cohérence et la validité ultérieure de ces stratégies. Plus qu'une politique optimale dont la signification est délicate lorsque les critères sont multiples, un modèle devrait donc permettre d'élaborer des politiques satisfaisantes en tenant compte de différents critères. Ces solutions satisfaisantes ou compromis sont généralement le résultat d'une certaine forme de concertation. Il serait extrêmement fructueux d'incorporer cette phase de négociation à l'intérieur même du modèle. Pourtant il faut avouer que la multitude de modèles d'optimisation relatifs à la planification des effectifs étudiants ne favorise pas l'adoption d'approches complètement automatiques et ne considèrent qu'un seul critère d'optimisation à la fois. Ceci explique peut-être la méfiance des administrateurs à l'égard ainsi que leur emploi relativement restreint.

Un modèle global

En tenant compte des contraintes principales (1) et (2) on peut élaborer un certain nombre de politiques économiques basées sur les trois critères décrits précédemment.

1. Adaptation des formations à l'environnement économique et social. On a pu estimer la diffusion des diplômés dans les structures professionnelles, le planificateur central juge que la production d'une structure $m^*(t)$ de ces diplômés lui permettrait d'atteindre les objectifs de développement économique et social. Il s'agit donc de minimiser jusqu'à un horizon T la somme des écarts absolus entre les structures $m(t)$ et les objectifs $m^*(t)$.

posant

$$m(t) - m^*(t) = u(t) - v(t); \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (3)$$

$$u(t), v(t) \geq 0 \quad ; \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (4)$$

rend linéaire la fonction économique qui devient

$$\sum_{t=1}^T [u(t) + v(t)] \quad (5)$$

Satisfaction de la demande sociale.

La satisfaction de la demande sociale devrait permettre de classer les préférences des futurs étudiants vis-à-vis des différents points d'entrée possibles du secteur universitaire. Au cours de la période précédant leur admission, ces préférences sont d'ailleurs affinées puisque les étudiants doivent fournir dans la plupart des institutions leurs deux ou trois premiers choix. Dans le cas général la demande sociale serait donc estimée par $r^*(t)$ et il s'agirait de minimiser

$$\sum_{t=1}^T |r(t) - r^*(t)| \quad \text{ou} \quad \sum_{t=1}^T [w(t) + z(t)] \quad (6)$$

on linéarise avec des changements de variables

$$r(t) - r^*(t) = w(t) - z(t); \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (7)$$

$$w(t), z(t) \geq 0 \quad ; \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (8)$$

Missions particulières de chaque institution universitaire.

Les missions particulières peuvent pousser les institutions à contrôler l'expansion ou la contraction de leurs différents secteurs d'études. Elles peuvent également imposer des restrictions sur les distributions relatives ou absolues des étudiants entre les différents niveaux d'études de certains secteurs. Il s'ensuit tout un ensemble de contraintes portant sur les agrégations ou les répartitions d'étudiants entre les différents états qui marquent la progression des étudiants dans la sous-structure relative à l'institution. Ces contraintes doivent refléter le jugement des administrateurs ou la solution d'un modèle d'optimisation au niveau de l'institution [13]. Il est possible de présenter ces objectifs sous la forme $n^*(t)$ et que souvent les objectifs ne soient pas désagrégés au niveau de chaque état de la structure. Si l'on veut respecter les choix des institutions, il devient nécessaire de minimiser

$$\sum_{t=1}^T |n(t) - n^*(t)| \quad \text{ou} \quad \sum_{t=1}^T [x(t) + y(t)] \quad (9)$$

on introduit le changement de variables

$$n(t) - n^*(t) = x(t) - y(t); \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (10)$$

$$x(t), y(t) \geq 0 \quad ; \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (11)$$

Contraintes supplémentaires et modèle global.

La souplesse du modèle est considérable et des contraintes supplémentaires peuvent être ajoutées pour refléter certaines caractéristiques de fonctionnement. Par exemple:

$$r_j(t) = 0 \quad j \in \bar{J} \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (12)$$

pose des admissions nulles dans l'ensemble \bar{J} des états qui ne sont pas des points d'entrée du système universitaire.

$$\sum_{t=1}^k r_j(t) \leq \sum_{t=1}^k r_j^*(t) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (13)$$

pose des admissions agrégées inférieures à la demande sociale

$$r_j(t) \leq r_j^{**}(t) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (14)$$

$$n_j(t) \leq n_j^{**}(t) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (15)$$

ont des contraintes qui indiquent le contingentement de certains états du système;

$r_j^{**}(t)$ et $n_j^{**}(t)$ sont alors des capacités maximales et non des objectifs souhaités.

Si pour la période précédant l'admission, les choix de chaque étudiant sont ordonnés, on peut tenter d'optimiser la fonction de préférence de l'ensemble des étudiants. Ce problème d'affectation peut se résoudre dans le cadre du problème global en introduisant une nouvelle variable r_{ij} qui vaudra 1 si l'étudiant i est affecté au point d'entrée j et 0 autrement (j prenant la valeur nulle dans le cas d'une non-admission). On a alors:

$$\sum_{j=0}^k r_{ij}(1) = 1 \quad i = 1, \dots, N \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^N r_{ij}(1) = r_j(1) \quad j = 1, \dots, k \quad (17)$$

$$\text{Min} \quad \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^k C_{ij} \cdot r_{ij}(1) \quad (18)$$

r_{ij} reflétant les préférences des N étudiants vis-à-vis chacun des $k+1$ états (y compris la non admission). Il est vrai qu'un tel modèle d'allocation sort du cadre d'élaboration d'une politique globale et anonyme puisqu'on tient compte des préférences individuelles à court terme. Il devrait donc être repoussé au niveau de la programmation qui tente de mettre en œuvre les stratégies proposées par le plan.

Si l'on englobe que les contraintes principales, une version de base du modèle global serait donc

$$n(t) - n(t-1) \cdot P(t-1) - w(t) + z(t) = r^*(t) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (19)$$

$$n(t) - x(t) + y(t) = n^*(t) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (20)$$

$$n(t) \cdot W(t) - u(t) + v(t) = m^*(t) \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (21)$$

$$w(t), z(t), x(t), y(t), u(t), v(t) \geq 0 \quad t = 1, 2, \dots, T \quad (22)$$

$$\text{Min} \quad \sum_{t=1}^T [u(t) + v(t)] \quad (23)$$

$$\text{Min} \quad \sum_{t=1}^T [x(t) + y(t)] \quad (24)$$

$$\text{Min} \quad \sum_{t=1}^T [w(t) + z(t)] \quad (25)$$

Remarquons qu'il n'y a pas concordance dans le temps entre les critères à optimiser. L'exigence sociale à satisfaire est assez bien délimitée dans le court terme alors que les prévisions en moyen et long terme sont plus qu'incertaines. Les prévisions d'effectifs ou d'implémentations nécessaires au développement sont pour leur part établies en long terme. Les plans de développement général à l'intérieur desquels elles sont des composantes importantes. Heureusement ces décalages sont compensés par le fait que les effectifs précisés à court terme portent sur les entrées du système alors que ceux à long terme portent plutôt sur les sorties du système. Ainsi les pressions exercées par ces trois critères au niveau des admissions ont la simultanéité suffisante pour générer des solutions réalistes et stabilisées dans le temps.

Des solutions⁹

Différentes approches utilisant des données fictives ont été explorées pour la résolution du modèle proposé. La formulation du problème se prête assez bien à la technique du *Linear Programming* de Charnes et Cooper [7]. En effet les trois critères d'optimisation peuvent être rendus compatibles en les transformant en écarts relatifs moyens. Ils peuvent être intégrés au sein d'une fonction économique unique où des coefficients de préférence α , β , γ , reflètent l'importance relative accordée aux différents critères.

$$\min \sum_{t=1}^T \alpha \cdot [u(t) + v(t)] \cdot q_1(t) + \beta \cdot [x(t) + y(t)] \cdot q_2(t) + \gamma \cdot [z(t) + w(t)] \cdot q_3(t) \quad (26)$$

$$\text{avec } \alpha + \beta + \gamma = 1$$

En paramétrisant les coefficients de préférence de la fonction économique, les différentes solutions ont été générées à l'aide du langage OPTIMA puis du langage APEX-II de Control Corporation. Outre le fait que les solutions générées soient des solutions extrémales de l'ensemble convexe des solutions réalisables, on peut s'interroger sur la détermination des coefficients α , β , γ . Qui est en mesure d'apprécier a priori l'importance relative des différents critères? De plus la résolution automatique du programme ne permet pas d'accéder aux combinaisons linéaires de solutions extrémales qui pourraient représenter des compromis satisfaisants relativement aux trois critères.

Les approches ultérieures ont donc été orientées vers des systèmes homme-machines afin d'explorer les solutions en fonction de choix partiels effectués par le décideur à l'étape antérieure du processus séquentiel de recherche d'une "solution satisfaisante", la dernière notion se substituant à celle de solution optimale de l'approche précédente. Pour avoir à préciser l'importance relative d'un objectif par rapport à un autre, on se contente à chaque étape, de préciser ce qui semble inacceptable dans les solutions extrémales générées par optimisation successive d'un seul critère. Ces contraintes supplémentaires restreignent le domaine des solutions réalisables et permettent d'accéder à des solutions non extrémales qui peuvent s'avérer des compromis satisfaisants pour l'ensemble des critères. Comme l'écrivent Benayoun R. et Tergny J. [5]: "il convient pour beaucoup de problèmes de décision, de restituer à l'ordinateur son rôle et sa vocation de partenaire constant du

caractéristique de ce livre ne nous soit pas encore parvenu, mentionnons le premier livre dédié exclusivement au problème des critères d'optimisation multiples en programmation linéaire "Linear multiobjective programming" de Zeleny M. [20].

leur, qu'un certain nombre de méthodes quasi-automatiques tendent à négliger. . . . Outre l'accessibilité pour le décideur d'intervenir à son gré dans le déroulement du processus qui conduit à la décision finale en utilisant au mieux l'information intermédiaire acquise, la technique décrite lui permet chemin faisant, de mesurer, mieux qu'il ne pouvait le faire à priori, l'importance relative des différents critères. . . ." Cette nouvelle approche heuristique paraîtra certainement beaucoup plus réaliste et humanisante aux yeux de nombreux gestionnaires. Nous pensons qu'elle représente la solution d'avenir des modèles qui, comme les modèles d'éducation, doivent intégrer plusieurs critères d'optimisation et concilier plusieurs paliers de décision.

Conclusion

Nous avons tenté dans cet article de répondre à un sous-titre interrogatif du Conseil des Universités: Vers une planification des politiques de recrutement¹⁰? Sous l'éclairage des objectifs multiples de l'Enseignement Supérieur, nous pensons que cette planification exige des préalables: analyse prospective de la structure professionnelle, estimation de la demande sociale et analyse du lien formation-emploi. La réunion de toutes ces informations peut être coûteuse, elle représente néanmoins le prix à payer pour rendre opérationnelle toute planification des politiques d'admission.

Convaincus, comme le Conseil des Universités, de "la nécessité de la planification et de la maîtrise" ¹¹, nous avons tenté de réconcilier les modèles d'optimisation avec les exigences sociales de la planification dans le système universitaire. L'introduction de critères sociaux comme facteurs d'optimisation et l'élaboration de solutions satisfaisantes par un modèle interactif homme-ordinateur sont deux éléments qui permettent de tenir compte des pôles centralisation – décentralisation et autonomie – coordination qui sont les caractéristiques fondamentales du système universitaire actuel. La modélisation n'est donc qu'un exercice de style théorique; humanisée, contrôlée par les différents paliers de décision elle permet une rationalisation du développement en fonction des hypothèses simplificatrices retenues (objectifs, structures, lois d'évolution, etc. . . .)

Ces fichiers d'étudiants étant en voie d'automatisation dans la plupart des institutions universitaires, il semble que leur raccordement à un Régistre Central des Admissions permettrait à ce dernier de dépasser son rôle éventuel de simple allocation des étudiants en fonction de leurs préférences pour l'intégrer à un véritable cadre de planification. La structure du système universitaire étant confirmée, les cheminements des effectifs à l'intérieur du système étant estimés, le Régistre Central pourrait, à un niveau global et anonyme, organiser une véritable politique des admissions en fonction des objectifs de l'Enseignement Supérieur.

Trois objectifs ont été retenus comme critères d'optimisation du modèle linéaire proposé: la satisfaction de la demande sociale, la production des diplômés nécessaires au développement économique et le respect des missions particulières de chaque institution. Toutefois, même simplificateur de l'ensemble des objectifs de l'Enseignement Supérieur, il ne satisfait pas assez bien les recommandations apparemment contradictoires du Conseil des Universités (9) et les pressions divergentes (humanisme-pragmatisme, autonomie-contrôle public,

à la page 18 au cahier III des objectifs de l'Enseignement Supérieur (9).

Retour de la conclusion à la page 8 de la même référence.

sélection-orientation etc. . .) qui s'exercent sur les structures d'admission. L'élaboration d'une solution satisfaisante en regard de critères aussi divergents semble une preuve du réalisme et de l'applicabilité de certaines techniques de programmation mathématique dans le domaine de la planification universitaire.

Les Références

- (1) Ackoff R., *Méthodes de planification dans l'entreprise*, Les éditions d'organisation, Paris, 1973.
- (2) Ahamad B. and Blaug M., *The Practice of Manpower Forecasting*, Elsevier, Amsterdam, 1973.
- (3) Agard J., Benayoun R. et Boulier C., "La gestion prévisionnelle à long terme des effectifs: synthèse de modèles existants," dans: *Approches rationnelles dans la gestion du personnel*, Monographie de l'AF CET, Dunod, 1972, pp 127 à 134.
- (4) Benard J., "Les Modèles d'optimisation économique de l'éducation," dans *l'économie de l'éducation*, Revue d'économie politique no 3, Sirey, 1973, pp 31-79.
- (5) Benayoun R. et Tergny J., *Critères multiples en programmation mathématique: une solution dans le cas linéaire*, SEMA, Note de travail no 100, Paris, 1969.
- (6) CESIGU, *La classification générale CLARDER*, classification et regroupement des domaines d'études et de recherche, Québec, 1972.
- (7) Charnes A., Cooper W. and Niehaus R., *A Goal Programming for Manpower Planning*, Management Sciences Research Report no 115, Graduate School of Industrial Administration, Carnegie Mellon University, 1967.
- (8) Clough D., *Some questions about Manpower Planning Models*, English Universities Press, 1974.
- (9) Conseil des Universités, *Objectifs généraux de l'enseignement supérieur et grandes orientations des établissements*, Cahiers II et III, Québec, 1973.
- (10) Farine A., *Les diplômés de l'université de Montréal sur le marché du travail*, CRDE, no 5, Université de Montréal, 1974.
- (11) Guérin G., *Prévision des effectifs étudiants dans un secteur d'étude d'une institution universitaire*, GRESIGU no 19, 1972.
- (12) Guérin G., "Structuration du système universitaire," *Stoa*, III-1 (1973), pp 29-46.
- (13) Guérin G., "Détermination quasi-optimale des proportions d'admission dans un système structuré de taille contrôlée," *INFOR*, 12-2 (1974), pp 186-195.
- (14) Guérin G., "Bibliographie critique des modèles de prévision des effectifs étudiants au niveau universitaire," *Stoa*, IV-1 (1974), pp 55-68.

- 5) Janne H., *Les principes généraux de la planification universitaire*, Editions de l'Institut de Sociologie, Université libre de Bruxelles, 1971.
- 6) OCDE, *Les modèles mathématiques du secteur enseignement*, Rapports techniques, Paris 1973.
- 7) Thonstad T., "Integration of the Educational Model with an Input-Output Model," in Thonstad T., *Education and Manpower: Theoretical Models and Empirical Applications*, University of Toronto Press, 1968, pp 118-121.
- 8) Trotter B., *Planifier pour Planifier*, Associations des Universités et Collèges du Canada, Ottawa, 1974.
- 9) UNESCO, *Rapport final de la Conférence des ministres de l'éducation et des ministres chargés de la planification économique des pays d'Amérique Latine et des Caraïbes*, Buenos Aires, 1966.
- 0) Zeleny M., *Linear Multiobjective Programming*, Springer Verlag, 1974.

Structuration du système universitaire

Gilles Guérin *

INTRODUCTION

Dans un but de planification partielle du système universitaire il est proposé de structurer ce système universitaire en vue d'élaborer un modèle de prévision des effectifs étudiants.

L'estimation des déplacements futurs des étudiants dans le système universitaire pourrait se faire en fonction de nombreuses variables : âge, diplômes passés, situation financière, caractéristiques sociales, etc... De telles variables ne sont pas considérées dans le cadre de cet article qui se limite à trois variables pour estimer les déplacements des étudiants dans le système. Ce sont :

- le domaine d'étude,
- le statut (actif ou inactif),
- le degré d'avancement des études.

Les originalités du modèle proposé viennent des points suivants :

1. L'ensemble des programmes d'étude d'une institution universitaire est regroupé en un maximum de cinquante et un groupes dont l'étude peut être entreprise séparément.

2. Les sorties de chaque groupe sont catégorisées en fonction du degré d'achèvement des études dans le but d'un contrôle des gradués universitaires en fonction du marché du travail. Elles correspondent au diplôme le plus élevé obtenu dans l'un des cinquante et un domaines d'étude.

3. Le modèle proposé peut aussi bien s'adapter à un système de promotion par matière qu'à celui par année. Le degré d'avancement des études est mesuré par le nombre de crédits accumulés dans le premier cas et le nombre d'années dans le deuxième.

4. Une estimation des effectifs inactifs temporairement peut être incluse dans le modèle.

5. Le modèle a été validé et testé avec des données relatives aux programmes de génie de l'Université McGill pour la période de 1964 à 1970. Ces données n'étaient pas fournies telles quelles mais sont le résultat de comparaisons des données existantes.

6. Une étude de la stabilité des coefficients des matrices de transition a été esquissée.

* Gilles Guérin, École des Relations Industrielles, Université de Montréal.

2. CADRE ET STRUCTURE

Il s'agit maintenant de décrire le système en fonction du but assigné.

2.1. SYSTÈME ET SOUS-SYSTÈME PRIMAIRES

Dans l'optique d'un modèle de prévision des effectifs étudiants le système universitaire est donc analysé à travers l'évolution des étudiants qui sera le seul processus interne considéré dans le système. On dit qu'un étudiant occupe un sous-système primaire s'il possède les caractéristiques de ce sous-système. Les sous-systèmes primaires sont mutuellement exclusifs et leur union représente le système universitaire. Une fois la structure définie, il est possible à un instant donné de définir pour chaque couple de SSP une proportion de transition représentant la proportion des étudiants effectuant la transition du premier SSP au second. Soit $P_{ij}(t)$ cette proportion des étudiants effectuant au temps t la transition du SSP_{*i*} au SSP_{*j*}. La matrice des proportions de transition au temps t est notée $P(t) = \{P_{ij}(t)\}$.

2.2. SYSTÈME ET SOUS-SYSTÈME SECONDAIRES

La plupart du temps on constate que les transitions des étudiants s'effectuent à l'intérieur d'ensembles disjoints de SSP. Dans la grande majorité des cas, seul un ensemble bien précis de SSP est compatible avec l'évolution d'un individu dans la structure ; les autres ensembles de SSP lui sont inaccessibles. La matrice $P(t)$ peut alors être partitionnée en différents blocs de SSP :

$$P(t) = \begin{bmatrix} P_1(t) & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 0 & P_2(t) & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 0 & 0 & P_3(t) & \dots\dots\dots 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots\dots\dots 0 \\ 0 & 0 & 0 & \dots\dots\dots P_h(t) \end{bmatrix}$$

Clough [5] appelle sous-système secondaire (SSS) un tel bloc qu'on dénomme à contrainte globale s'il existe au moins une contrainte qui le relie à d'autres SSS. Dans le cas contraire le SSS sera dit indépendant. La mise en évidence des SSS est importante car leur étude peut se faire plus ou moins indépendamment du système.

Il est proposé que le système universitaire soit partitionné en secteurs d'étude. Un secteur d'étude (SE) est un ensemble de SSP présentant deux caractéristiques communes : premièrement il est possible, pour une proportion non négligeable d'étudiants d'effectuer un cheminement entre deux SSP quelconques de l'ensemble ; deuxièmement, les étudiants ayant évolué dans un SE présentent à leur sortie du système une certaine homogénéité dans leur formation qui peut être utilisée dans un but d'ajustement au

marché du travail. Cette classification du système universitaire en secteurs d'étude a été élaborée par l'Université du Québec et notamment agréée par le comité directeur du registre Central des admissions dans le système universitaire au Québec. Ces secteurs ont actuellement au nombre de 51 et peuvent être regroupés en sept groupes : Sciences et la Santé, Sciences pures, Sciences humaines, Sciences administratives, Arts, Lettres et éducation permanente.

Par ailleurs la catégorisation des sorties par secteur d'étude est très utile pour la planification. Il est certain que si des objectifs peuvent être élaborés quant au nombre et la répartition des diplômés universitaires, ils se situeront au niveau du secteur d'étude qui représente le niveau agrégé le plus homogène vis-à-vis de l'offre d'emploi sur le marché du travail. Par exemple il peut être insuffisant de planifier une sortie de cent diplômés dans les Sciences pures car les besoins du marché du travail sont plus précis et exigeants quant à la répartition de ces diplômés dans les différentes disciplines. Il peut être aussi stérile de planifier les sorties de diplômés dans chaque programme d'étude car la mobilité ultérieure des individus est trop importante pour que l'on puisse conserver sur le marché du travail la même répartition des diplômés qu'à leur sortie du système universitaire. De plus l'analyse et la classification des emplois ne peuvent souvent préciser d'une manière unique le programme d'enseignement compatible avec l'occupation de l'emploi.

Il semble donc que la répartition du système universitaire en secteurs d'étude soit réaliste. Relativement aux transitions à l'intérieur ou à l'extérieur du système universitaire, l'hypothèse d'indépendance des secteurs d'étude est raisonnable. Chaque secteur d'étude est donc un SSS qui peut être analysé indépendamment du système ; aussi le domaine d'étude se limite à un secteur d'étude quelconque dont la matrice des proportions de transition sera dorénavant représentée par P.

3. SECTEUR D'ÉTUDE ET STRUCTURE

Il faut associer à chaque étudiant une caractéristique représentant son degré d'avancement dans ses études. Pour ce faire l'élaboration d'une structure progressive de SSP ou de blocs de SSP est nécessaire. Ces SSP seront les années d'étude ou le nombre de crédits accumulés. Dans le premier cas la promotion sera par période de temps alors que dans le second elle sera par matière. De telles structures progressives ont déjà été élaborées et utilisées avec succès dans le cas de la prévision des effectifs d'une entreprise. [2, 7]. On distingue généralement quatre éléments qui influent sur la distribution des effectifs.

3.1. *Promotions*

Tout d'abord la rétrogradation est impossible au niveau universitaire. De plus, l'administrateur d'une entreprise peut dans une certaine mesure accélérer ou retarder certaines promotions, l'administrateur universitaire pour sa part n'a aucun pouvoir sur les transitions des étudiants entre les différents SSP. Ces transitions sont théoriquement

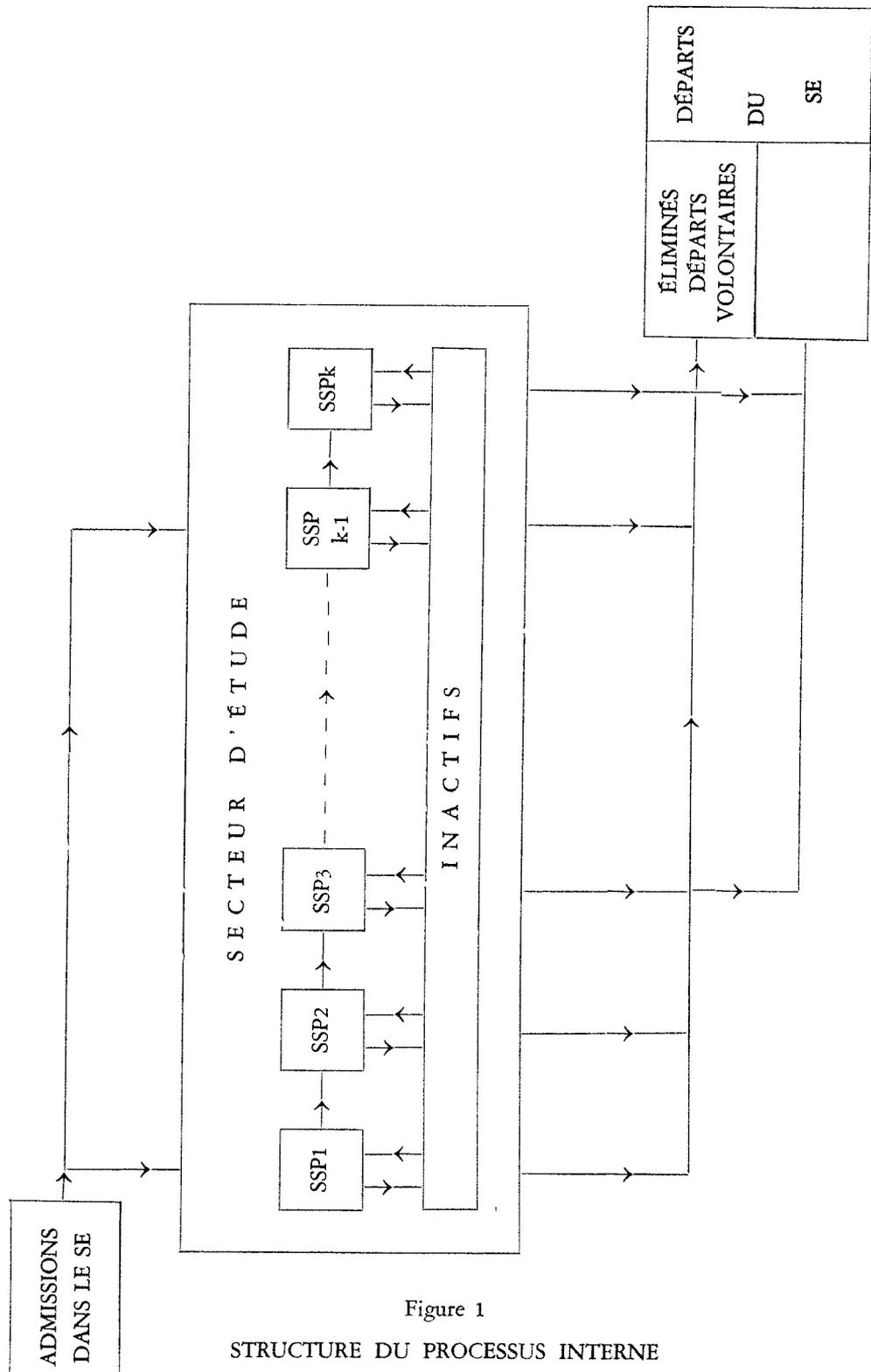


Figure 1
STRUCTURE DU PROCESSUS INTERNE

ressort des professeurs qui allouent ou refusent les crédits nécessaires. En fait, pour chaque SSP, il existe quasi indépendamment du corps professoral, une certaine proportion d'étudiants qui passe d'un SSP au SSP supérieur. Même si ces proportions de transition peuvent évoluer légèrement avec le temps, elles ne peuvent être considérées comme des variables sur lesquelles l'administrateur universitaire peut s'appuyer pour atteindre ses objectifs.

3.2. *Départs définitifs*

Les départs hors du secteur d'étude, qu'ils correspondent à des départs volontaires, à des éliminations ou à des graduations sont autant de paramètres imposés à l'administrateur puisque les transitions internes d'un SSP à un état de sortie sont indépendantes de la prise de décision. Les éliminations et les départs volontaires peuvent s'effectuer à partir de n'importe lequel des SSP alors que les graduations ne sont possibles que dans certains SSP bien précis. Il est proposé de structurer les sorties étudiantes du système en un certain nombre d'états de sortie. Tout étudiant qui sort du secteur d'étude au temps t ou dans la période qui précède cet instant, effectue une transition instantanée d'un SSP à un état de sortie du système universitaire. Si $w_{ij}(t)$ représente la proportion d'étudiants passant au temps t du sous-système primaire i à l'état de sortie j , la matrice $W = \{w_{ij}(t)\}$, généralement rectangulaire, sera la matrice des proportions de départ du secteur d'étude.

3.3. *Départs temporaires*

Il peut arriver qu'un étudiant interrompe temporairement ses études pendant une ou plusieurs périodes. Lorsqu'il décide de reprendre ses études, cet étudiant retourne directement dans le SSP qu'il a quitté antérieurement sans subir la procédure habituelle d'admission. On peut donc considérer que l'étudiant a effectué une transition dans un SSP particulier constitué de l'ensemble des inactifs du SSS et qu'un certain nombre de périodes plus tard il réeffectuera une transition qui le ramènera à son SSP d'origine. Le SSP d'inactifs sera la seule exception au caractère progressif ou hiérarchique de la structure des autres SSP.

3.4. *Admissions*

Les admissions dans le système universitaire ne s'effectuent que dans un nombre restreint de SSP. Généralement ces SSP correspondent aux premiers états de chaque cycle d'étude. La structure des admissions est donc identique à la structure du SSS mais le vecteur des admissions dans un certain nombre de SSP est nul. Les admissions sont en fait les seules variables à la disposition des administrateurs pour contrôler les distributions d'étudiants dans les états de sortie du SSS.

3. PRÉSENTATION DU MODÈLE MATHÉMATIQUE

3.1. DÉFINITIONS

Découlant de l'analyse élaborée en 2. les définitions suivantes sont proposées :

- (1) $\left[\begin{array}{ll} k & \text{nombre de SSP dans le SE considéré} \\ e-k & \text{nombre d'états de sortie du SE considéré} \\ t & \text{numéro de la période} \\ T & \text{horizon considéré} \\ i & \text{numéro du SSP dans lequel se trouve l'individu} \\ j & \text{numéro du SSP ou de l'état de sortie dans lequel entre l'individu} \\ & [j = 1, 2 \dots e] \\ J_1 & \text{ensemble des SSP où l'admission est possible} \end{array} \right.$

- (2) $\left[\begin{array}{ll} p_{ij}(t) & \text{proportion d'étudiants effectuant à la fin de la période } t \text{ une transition} \\ & \text{du SSP } i \text{ au SSP } j [j = 1, 2 \dots k] \\ n_i(t) & \text{nombre d'étudiants se trouvant dans le SSP } i \text{ pendant la période } t \\ N(t) & \text{nombre total d'étudiants dans le SE pendant la période } t. \end{array} \right.$

- (3) $\left[\begin{array}{ll} r_j(t) & \text{nombre d'étudiants admis dans le SSP } j \text{ au début de la période } t \\ R(t) & \text{nombre total d'étudiants admis dans le SE au début de la période } t \end{array} \right.$

- (4) $\left[\begin{array}{ll} w_{ij}(t) & \text{proportion d'étudiants effectuant à la fin de la période } t \text{ une transition} \\ & \text{du SSP } i \text{ à l'état de sortie } j [j = k + 1, \dots e] \\ m_j(t) & \text{nombre d'étudiants se trouvant dans l'état de sortie } j [j = k + 1, \dots e] \\ & \text{à la fin de la période } t \\ M(t) & \text{nombre d'étudiants quittant le SE à la fin de la période } t \end{array} \right.$

En notation matricielle, les matrices suivantes sont définies :

- (5) $\left[\begin{array}{ll} P(t) & = \{ p_{ij}(t) \}, \text{ matrice de dimension } k \times k \\ n(t) & = \{ n_i(t) \}, \text{ vecteur de dimension } 1 \times k \\ r(t) & = \{ r_j(t) \}, \text{ vecteur de dimension } 1 \times k \\ W(t) & = \{ w_{ij}(t) \}, \text{ matrice de dimension } k \times (e-k) \\ m(t) & = \{ m_j(t) \}, \text{ vecteur de dimension } 1 \times (e-k) \end{array} \right.$

3.2. CONTRAINTES PRINCIPALES

Le nombre d'étudiants dans un SSP quelconque se compose de ceux qui étaient déjà dans le SE au cours de la période précédente et des nouveaux amis. Ainsi, l'effectif d'étudiants dans le SSP j pendant la période t sera :

$$(6) \quad n_j(t) = \sum_{i=1}^k n_i(t-1) \cdot p_{ij}(t-1) + r_j(t)$$

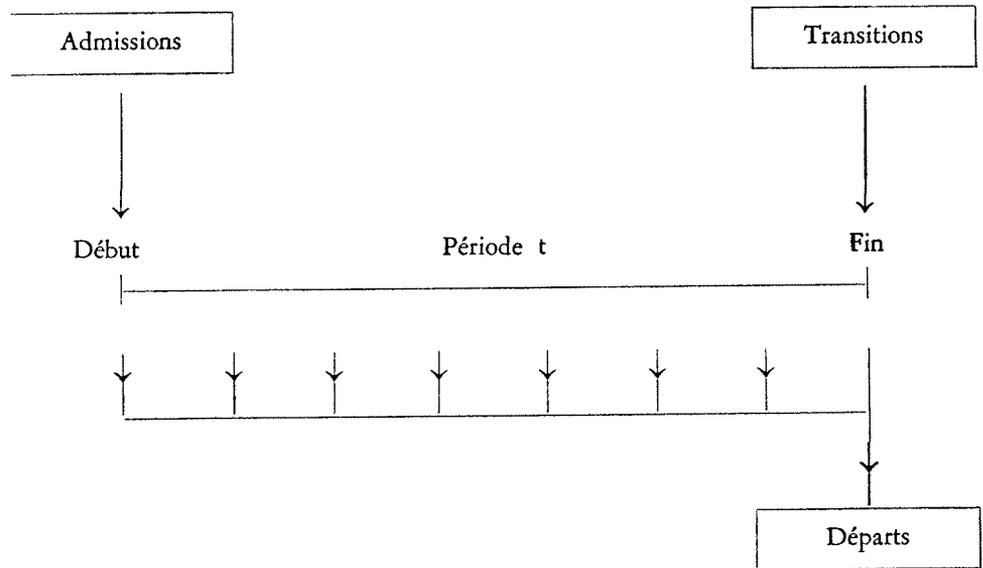
Si les admissions dans le SSP j sont impossibles, $r_j(t) = 0$.

Sous forme matricielle, si les composantes de $n(t)$ sont nulles lorsque $j \in J_1$ on aboutit à une équation matricielle équivalente à celle déjà proposée par Bartholomew [1] :

$$(7) \quad n(t) = n(t-1) \cdot P(t-1) + r(t)$$

Figure 2

COMPOSITION DE LA PÉRIODE « t »



Cette équation régit les transitions à l'intérieur du système. Les effectifs au cours de la période t étant connus, il est possible d'élaborer une seconde équation relativement aux sorties du système. Pour tous les états de sortie j , le nombre d'étudiants dans ces états à la fin de la période t est relié aux effectifs dans le système pendant cette période par

$$(8) \quad m(t) = n(t) \cdot W(t)$$

Les équations matricielles (7) et (8) composent le système de contraintes principales du secteur d'étude.

La prévision des effectifs au cours de la période T et des sorties à la fin de cette période T exige :

- la connaissance de $n(0)$,
- l'estimation des matrices $P(t)$; $t = 0, 1 \dots T-1$,
- l'estimation de la matrice $W(T)$,
- la prévision des admissions $r(t)$; $t = 1, 2 \dots T$.

3.3. PRÉVISION DES EFFECTIFS POUR UN HORIZON T AVEC P ET W HOMOGENES

Si l'horizon et les observations accumulés sont tels que l'on peut supposer une homogénéité dans le temps des proportions de transition, on aura :

$$(9) \quad \begin{cases} P(t) = P ; t = 0, 1, 2 \dots T-1 ; \\ W(t) = W ; t = 1, 2 \dots T ; \end{cases}$$

Le système (7, 8) s'écrit alors dans le cas homogène :

$$\begin{cases} n(t) = n(t-1) \cdot P + r(t) ; & t = 1, 2 \dots T ; \\ m(t) = n(t) \cdot W ; & t = 1, 2 \dots T ; \end{cases}$$

Dans le cas homogène la précision des effectifs dépend uniquement de :

- la connaissance de $n(0)$,
- l'estimation des matrices P et W,
- la prévision des admissions $r(t)$; $t = 1, 2 \dots T$.

Un développement plus extensif des différents aspects du modèle mathématique est proposé dans Bartholomew [1,2], Forbes [7], Guérin [8, 9] et Branchflower [3].

4. ÉTUDE APPLIQUÉE D'UN SECTEUR D'ÉTUDE

4.1. CHOIX DU SECTEUR D'ÉTUDE ET DE LA POPULATION

Dès le début de cette étude, il s'est avéré que les données, sous la forme désirée, étaient difficiles à obtenir au Québec. La plupart des institutions universitaires n'offrent que des données agrégées. Les fichiers individuels sont rares et les supports informatiques de ces données souvent inexistantes. L'institution qui semblait offrir l'information la plus satisfaisante sous la forme la plus compatible avec un traitement par ordinateur fut l'université McGill. Le bureau du Registraire de cette institution a, en effet, entrepris depuis l'année académique 1964-1965 la constitution d'une banque de données relatives aux étudiants admis dans le système depuis cette date. Un des plus vastes secteurs d'étude de l'institution, le Génie, a été retenu pour une implantation pilote du modèle proposé en 3. Les données accumulées couvrent la période de septembre 1964 à mai 1971 et com-

rennent 3681 étudiants. Sur ce nombre 3223 étudiants sont entrés dans le SE pendant la période de septembre 1964 à juin 1970 au niveau du Baccalauréat, 357 au niveau de la Maîtrise et 101 au niveau du Doctorat.

Afin de rendre les SSP de chaque cycle disjoints, les SSP du SE furent codés de la façon suivante :

SSP Baccalauréat	=	année d'étude
SSP Maîtrise	=	année d'étude + 10
SSP Ph.D.	=	année d'étude + 20

2. REMARQUES INFLUENÇANT LES DONNÉES

Un certain nombre de remarques doivent être gardées en mémoire lorsqu'on analyse les données de cette étude.

Tout d'abord, il y a eu un certain nombre de changements administratifs pendant la période 1964-1971 qui peuvent expliquer certaines données. En premier lieu, la première année du Génie a été supprimée en septembre 1970. La durée normale des études pour l'obtention du titre « Bachelor of Engineering » était auparavant de 5 ans. Le département d'Architecture faisait exception car son programme traditionnel conduisant au titre de « Bachelor of Architecture » était de six ans. La promotion traditionnelle par année d'étude a été abandonnée au profit de la promotion par matière à partir de septembre 1971. Il était donc difficile d'agrèger certaines des données disponibles pour l'année 1971-1972 à celles de la période 1964-1971.

La taille des groupes analysés, 667 blocs de type 2 au niveau de la maîtrise et 44 blocs du même type au niveau du doctorat, est assez faible. De plus, le comportement des étudiants gradués est beaucoup moins prévisible que ceux des étudiants sous-gradués. Les influences de personnes, de programmes et de conjonctures affectent beaucoup le comportement de tels petits groupes.

Enfin, il est certain que le SE choisi est un des plus hétérogènes parmi les 51 SE éfinis par l'Université du Québec. Une plus grande homogénéité des caractéristiques de cheminement dans la structure serait certainement observée dans les autres SE.

3. CHEMINEMENT RELATIF À CHAQUE SSP

À l'aide des données accumulées en 4.1, il est maintenant possible de quantifier ensemble des flots qui composent le cheminement des étudiants dans le SE. Chaque SSP reçoit quatre flots :

- 1 – les admissions,
- 2 – les inactifs qui reviennent,
- 3 – les redoublants,
- 4 – les promus.

De même, cinq flots sortent de chaque SSP :

- 5 – les inactifs qui partent,
- 6 – les redoublants,
- 7 – les promus,
- 8 – les éliminés,
- 9 – les gradués.

Sur chaque SSP et pour chaque année, l'équation d'équilibre des flots est alors vérifiée. La plupart de ces flots sont internes au SE. Seuls les flots 1, 8 et 9 proviennent ou vont à l'extérieur du SE et composent les entrées et sorties du SE telles que décrites dans la figure 1.

4.4. ÉLABORATION ET HOMOGÉNÉITÉ DES PROPORTIONS DE TRANSITION

La connaissance des 8 derniers flots explicités en 4.2 permet de calculer pour chaque SSP les proportions de transition dans les autres SSP. Dans le cas sous-gradué, par exemple, le tableau 1 est alors élaboré et fournit les proportions de transition entre les différents SSP du SE relativement à chaque année académique de la période analysée.

Il est nécessaire d'étudier la stabilité des proportions de transition telles que celles rassemblées dans le tableau 1. Des études semblables sur la stabilité des coefficients des modèles de Léontieff d'entrée-sortie ont été réalisées par Breneman [4] et Sevaldson [11].

Les conclusions suivantes se dégagent de l'analyse des variations des proportions de transition :

- Si l'on excepte les variations importantes des proportions expliquées par des changements de politique (suppression de la première année, restriction des redoublements), des groupes trop restreints ou des données douteuses, il semble au niveau du Baccalauréat que les proportions de transition soient relativement stables. Les fluctuations maximales pour les proportions de promotion et de graduation sont de l'ordre de 9 à 10%. Ces fluctuations maximales atteignent 40 à 60% pour les éliminations et 90% pour les redoublements qui représentent heureusement des groupes plus restreints.
- Au niveau gradué la comparaison des variations des proportions de transition relatives à chaque SSP avec celles de niveaux plus agrégés suggère que les proportions relatives aux groupes agrégés ne sont pas nécessairement plus stables.
- Les variations tantôt négatives, tantôt positives des proportions de transition suggèrent l'adoption du modèle constant. Les observations accumulées incluent la valeur de cette constante et un bruit plus ou moins important suivant la taille du groupe. Lors de certains changements de structure ou de politique cette valeur de la constante peut changer et se fixer à un autre niveau.

La mise à jour périodique des proportions de transition des matrices P et W se révèle donc un moyen très simple de tenir compte des variations possibles de la valeur de cette constante. L'estimation des proportions devra donc donner plus de poids aux dernières observations plutôt qu'aux anciennes. Les techniques de moyenne mouvante ou de régression exponentielle seront donc adéquates.

Une fois la mise à jour des proportions de transition réalisée à partir des plus récentes données observées, il est inutile de faire varier les proportions de transition pour les prévisions futures. En effet les proportions estimées à l'aide de moyennes mouvantes ou de lissages exponentielles se stabilisent très vite. De plus, ces variations d'estimés eux-mêmes calculés de plus en plus à partir d'estimés, présentent de moins en moins l'intérêt. Le modèle proposé sera donc constant et homogène dans le temps avec des mises à jour périodiques des proportions de transition chaque fois que de nouvelles données seront accessibles.

ESTIMATION DES PROPORTIONS DE TRANSITION ET PRÉVISION DES EFFECTIFS ÉTUDIANTS

À l'aide des conclusions de 4.4, les matrices de transition P et W peuvent être mées à partir des données disponibles en 1968-69, 1969-70 et 1970-71. Dans le premier cas, les prévisions seront donc relatives à l'année 1969-70 et aux années subséquentes. Dans les trois cas la moyenne mouvante a été choisie comme technique d'estimation des proportions de transition. Ces estimés apparaissent respectivement dans les tableaux 2 et 3. Dans le dernier tableau, les traits continus indiquent que l'estimation réfère ensemble des états de sortie couvert par le trait.

Pour la prévision des effectifs étudiants, le modèle proposé en 3.3 est utilisé lorsque l'homogénéité dans le temps des proportions de transition est acquise. Les prévisions ayant été considérées en 3.3 comme les seules variables efficaces à la disposition des administrateurs pour faire évoluer la structure du système, il n'est pas concevable d'estimer ces admissions futures à l'aide des tendances passées. La prévision des effectifs ne comprend donc que les étudiants déjà dans le sous-système secondaire. Le SSS alors fermé et le système d'équation (10) se réduit à

$$\left[\begin{array}{ll} n(t) = n(t-1) \cdot P \cdot W; & t = 1, 2, \dots, T; \\ m(t) = n(t-1) \cdot P; & t = 1, 2, \dots, T; \end{array} \right.$$

partir des tableaux 2 et 3, la prévision des effectifs dans les différents SSP du SSS a été réalisée à partir des données disponibles en 1968-69. Les prévisions réunies dans le tableau 4 s'étalent sur une période de cinq ans. Dans un but de comparaison avec les effectifs réellement observés, ceux-ci, lorsqu'ils sont disponibles, seront joints aux prévisions et l'écart relatif sera calculé.

Tableau 1
Proportions de transition au niveau sous-gradué

		1	2	3	4	5	6	Inactifs	Éliminés	Gradués
1	64-65	19.85	69.85					0.00	10.30	
	65-66	4.35	57.68					1.47	36.50	
	66-67	8.07	55.50					1.04	35.39	
	67-68	8.44	60.69					1.42	29.45	
	68-69	8.72	57.77					0.35	33.16	
	69-70	0	73.67					0.71	25.62	
2	64-65		24.15	69.81				0.00	6.03	
	65-66		4.72	70.44				1.22	23.62	
	66-67		9.09	66.56				2.66	21.69	
	67-68		8.38	68.16				0.89	22.57	
	68-69		14.20	63.48				1.83	20.49	
	69-70		9.38	69.32				1.65	19.66	
3	64-65			14.45	83.24			0.58	1.73	
	65-66			9.96	73.71			2.79	13.54	
	66-67			9.93	77.94			2.86	9.27	
	67-68			8.98	76.33			1.76	12.93	
	68-69			13.04	73.24			3.38	10.34	
	69-70			6.60	83.68			2.70	7.01	
4	64-65				9.64	90.36		0.00	0.00	
	65-66				7.84	82.35		2.45	7.36	
	66-67				6.20	83.47		5.08	5.25	
	67-68				10.63	81.10		2.13	6.14	
	68-69				6.02	85.54		4.06	4.38	
	69-70				4.25	85.33		3.43	6.99	
5	64-65					.60	13.10	1.20	1.17	75.60
	65-66					1.18	16.47	3.62	0.00	74.12
	66-67					2.40	12.02	3.65	0.00	73.08
	67-68					2.30	13.36	3.50	0.00	70.97
	68-69					1.81	10.86	3.59	0.91	74.25
	69-70									
6	64-65						0.00	6.25	0.00	93.75
	65-66						0.00	0.00	12.50	87.50
	66-67						0.00	0.00	3.57	96.43
	67-68						0.00	0.00	0.00	96.00
	68-69						3.12	1.56	1.56	93.75
	69-70									
Inactifs	64-65									
	65-66	0.00	0.00	33.33	0.00	0.00	33.33			
	66-67	0.00	18.52	7.41	18.52	14.81	0.00	29.63		
	67-68	4.08	8.16	20.41	20.41	10.20	0.00	22.45		
	68-69	4.40	13.19	10.99	8.79	4.40	6.59	27.47		
	69-70	0.00	5.80	17.41	11.61	13.54	5.61	24.56		

Au niveau du Baccalauréat, les prévisions sont assez proches des observations. On excepte les redoublements de la première année, l'écart relatif absolu oscille entre 0 et 7.8% pour les différents SSP. Pour l'ensemble des effectifs au niveau du Baccalauréat l'écart relatif serait de l'ordre de 1%. Pour les deuxième et troisième cycles, la petite taille des groupes et la multiplicité des transitions possibles rendent les prévisions assez hasardeuses. Néanmoins, l'écart relatif semble se maintenir à moins de 10% au niveau de la maîtrise et à moins de 20% au niveau du doctorat. Pour des SSP particuliers par cycle, cet écart relatif peut être supérieur à ces moyennes.

À l'aide du tableau 3, les estimations relatives aux départs du SE ont été élaborées à partir des données accessibles en 68-69. Ces estimations sont réunies dans le tableau 5. Il semble que l'écart relatif entre les estimations et les observations soit plus important pour les éliminés que pour les gradués. Pour ces derniers, au niveau du Baccalauréat, une précision inférieure à 3% est normale. Pour les éliminés, par contre, les estimations sont moins précises et pour certains SSP où le nombre d'éliminés est faible, des variations de 50 à 60% sont constatées.

5. DÉVELOPPEMENT ULTÉRIEUR DE L'ÉTUDE

Comme cela a été spécifié en 4.5, il n'est pas dans l'esprit de cette étude de vouloir limiter les admissions dans les SE puisque celles-ci sont les seules variables de contrôle pour faire évoluer le SSS. Ayant estimé dans les paragraphes précédents le cheminement des étudiants depuis leur admission jusqu'à leur sortie du SE, il reste logiquement à déterminer les admissions nécessaires à l'obtention des objectifs que le planificateur se fixera. On peut certainement penser que ces objectifs porteront sur la gestion interne du système (distributions souhaitées d'effectifs) ou sur l'ajustement des sorties au marché du travail (distributions souhaitées de gradués).

Tableau 2
Estimation des proportions de transition dans le SSS

	1	1	2	3	4	5	6	10-11	12+	20-21	22	23+	Inactifs
1	68-69 69-70 70-71	6.95 0.00 —	57.96 65.53 —										1.31 .71 —
2			7.40 9.10 9.15	68.39 67.16 68.59									1.59 1.65 1.65
3				9.62 10.48 9.70	75.99 75.31 76.98								2.47 2.70 2.70
4					8.22 7.67 6.99	82.31 83.12 83.56							3.22 3.43 3.43
5						1.39 1.62 1.66	13.86 13.74 13.16	6.91 7.49 7.71					2.82 2.99 3.11
6							0.00 0.00 0.62						2.08 1.56 1.56
10-11								3.30 2.77 2.21	44.01 44.64 46.21		6.86 7.47 7.23		3.91 3.66 3.72
2+									10.75 10.41 10.83		7.39 12.49 11.78		1.83 1.38 1.36
10-21									6.66 5.00 6.85	6.66 5.00 4.00	37.83 43.38 37.56	12.73 9.55 7.64	3.33 2.50 2.29
22									4.90 3.68 2.94		5.46 4.09 3.27	39.98 34.80 38.95	7.04 5.28 5.06
3+												35.78 32.19 29.09	7.04 2.32 2.02
Inactifs		2.04 — 0.00	13.34 9.80 13.70	13.91 15.34 12.86	19.47 13.22 14.60	12.51 11.30 8.73	0 3.41 4.58	4.91 3.68 6.79	2.87 6.02 3.98		3.06 4.99 3.47	1.85 4.36 5.15	26.04 27.67 26.36

Tableau 3
Estimation des proportions de transition à l'extérieur des SSS

1		Éliminés	Gradués Bac.	Gradués Maîtrise	Gradués Doctorat
1	69-70 70-71 71-72	33.78 33.76 —			
2	69-70 70-71 71-72	22.63 22.10 21.61			
3	69-70 70-71 71-72	11.91 11.51 10.62			
4	69-70 70-71 71-72	6.25 5.78 6.02			
5	69-70 70-71 71-72	0.39 0.29 0.42	74.27 73.44 73.60		
6	69-70 70-71 71-72	5.36 4.02 3.52	92.56 93.42 93.48		
10-11	69-70 70-71 71-72	_____	41.79 41.37 40.55		
12+	69-70 70-71 71-72	_____	79.97 75.72 76.08		
20-21	69-70 70-71 71-72	_____	32.77 34.58 41.66		
22	69-70 70-71 71-72	_____	42.62 52.16 49.78		
23+	69-70 70-71 71-72	_____	64.21 65.48 68.89		

Tableau 4

Prévision des effectifs à partir des données accessibles en 1968-69

	1	2	3	4	5	6	B	10-11	12+	M	20-21	22	23+	D	I	Total
68-69 observé	367	345	299	249	217	25	1502	86	54	140	5	26	14	45	45.5	1732.5
69-70 estimé	26.4	244.3	271.0	256.5	213.7	30.1	1042.2	20.1	46.5	66.6	.3	14.6	16.9	31.5	50.5	1190.8
69-70 observé	34	265	263	238	220	32	1052	24	49	73	0	29	11	40	51.7	1216.7
69-70 % écart relatif	-22.4	-7.8	+3.0	+7.8	-2.9	-5.9	-0.9	-16.2	-5.1	-8.7	-	-49.6	+53.6	-21.2	-2.3	-2.13
70-71 estimé	2.8	40.1	203.2	236.8	220.4	29.6	732.9	26.8	16.0	42.8	0	7.3	12.9	20.2	41.7	837.5
70-71 observé	0	41	206	238	212	26	723	25	15	40	0	7	17	24	42.8	829.8
70-71 % écart relatif	-	-2.2	-1.4	-0.4	+4.0	+13.8	+1.4	+7.2	+6.7	+7.0	-	+4.3	-24.1	-15.8	-2.6	+0.9
71-72 estimé	1	8.5	52.8	175.8	203.2	30.5	471.8	18.2	15.1	33.3	-	4.7	8.3	13.0	33	551.1
72-73 estimé	-	5	15.5	61.0	151.7	28.2	261.4	16.3	10.8	27.1	-	3.5	5.5	9.0	23.4	311.9
73-74 estimé	-	3.5	8.2	21.4	55.3	21.0	109.4	12.2	9.2	21.4	-	2.8	3.8	6.6	14.5	-

Tableau 5

Évolution des départs au niveau du Baccalauréat à partir des données accessibles en 1968-69

	Éliminés							Gradués		
	1	2	3	4	5	6	B	5	6	B
8-69 stimé	124.0	78.1	35.6	15.6	.8	1.3	255.4	159.4	23.4	182.8
8-69 bservé	121.7	70.7	30.9	10.9	0	0	234.2	155.4	24	179.4
8-69 % art latif	+1.9	+10.5	+15.21	+43.2	/	/	+9.0	+2.6	-2.5	+1.8
9-70 stimé	8.9	55.3	32.3	16.0	.8	1.6	114.9	158.7	27.9	186.6
9-70 bservé	12	55	19	17	2	.5	105.5	164	30	194.0
9-70 % art latif	-25.8	+0.5	+70.0	5.9	/	/	+8.9	-3.2	-7.0	-3.8
0-71 stimé	0.9	9.1	24.2	14.8	0.9	1.6	51.5	163.7	27.4	191.1
1-72 stimé	.3	1.9	6.3	11.0	0.8	1.6	21.9	150.9	28.2	179.1
2-73 stimé	/	1.1	1.8	3.8	0.6	1.5	8.8	112.7	26.1	138.8

BIBLIOGRAPHIE

1. Bartholomew, D., *Stochastic Models for Social Processes*, John Wiley, 1967.
2. Bartholomew, D., *A Mathematical Analysis of Structural Control in a Graded Manpower System*, Paper P-3, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, December 1969.
3. Branchflower, N., *Analysis of Rank Distribution in a University Faculty*, Naval Postgraduate School, Monterey, California, April 1970.
4. Breneman, D., *The Stability of Faculty Inputs Coefficients in Linear Workload Models of the University of California*, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, April 1969.
5. Clough, D., *A Model for Education-Employment System Analysis*, University of Toronto, 1967.
6. Florian, M. et Guérin, G., *Modèle de prévision de population étudiante*, GRESIGU, Rapport technique no 6, Université de Montréal, Mai 1971.
7. Forbes, A., *Promotion and Recruitment Policies for the Control of Quasi-stationery Hierarchical Systems*, University of Kent, Canterbury, England, September 1969.
8. Guérin, G., *Prévision des effectifs étudiants dans un secteur d'étude d'une institution universitaire*, GRESIGU, Rapport technique no 19, Université de Montréal, Mai 1972.
9. Guérin, G., *Élaboration d'un modèle de prévision des effectifs au niveau universitaire*, thèse de PhD option informatique, Université de Montréal.
10. Oliver, R., *Models for Predicting Gross Enrolments at the University of California*, Research Report no. 68-3, Ford Foundation Program for Research in University Administration, University of California, August 1968.
11. Sevaldson, P., *Changes in Input-Output Coefficients*, in Barna, T. (ed.), *Structural Interdependence and Economic Development*, Mac Millan, 1963.

Publication de l'École de relations industrielles de l'Université de Montréal
Directeur de la Collection tiré-à-part : Michel Brossard

Membres du Comité des publications : Chantal Béique, Michel Brossard, Jean-Pierre Daubigney, Gilles Guérin (responsable), Jean Ladouceur, Viateur Larouche, Paul Leblanc, Lyne Renaud.

On peut recevoir gratuitement un exemplaire de chaque tiré-à-part en s'inscrivant sur la liste d'abonnement à la Collection. Il suffit d'écrire à l'adresse ci-dessous :

Service des publications
École de relations industrielles
3150 Jean-Brillant
Case postale 6128
Montréal H3C 3J7
Tél. : (514) 343-6627

Si l'on est membre de la Corporation des conseillers en relations industrielles du Québec, on s'adressera directement à la Corporation qui défraie les coûts de publication et de distribution pour ses membres.

Corporation des conseillers en relations industrielles
203 ouest, boul. St-Joseph
Montréal H2T 2P9

Les exemplaires supplémentaires ou anciens se vendent \$1.00 l'unité dans la limite des disponibilités.

COLLECTION TIRÉ-À-PART

Numéros déjà parus

- | | | |
|----------------|------|---|
| Tiré-à-part 1 | 1975 | La philosophie du code du travail, par J.-R. Cardin. (épuisé) |
| Tiré-à-part 2 | 1975 | Perspectives nouvelles des relations industrielles, par E. Gosselin. (épuisé) |
| Tiré-à-part 3 | 1975 | Formes de politisation du syndicalisme au Québec, par L. Roback. (épuisé) |
| Tiré-à-part 4 | 1975 | Notes juridiques : accréditation et arbitrage, par C. D'Aoust et A. Rousseau. (épuisé) |
| Tiré-à-part 5 | 1975 | Satisfaction à l'égard de la tâche et de la carrière, par J.-M. Rainville. (épuisé) |
| Tiré-à-part 6 | 1975 | Satisfaction au travail : théorie et mesure, par V. Larouche, F. Delorme et A. Lévesque. (épuisé) |
| Tiré-à-part 7 | 1975 | Les relations du travail dans la fonction publique, par G. Hébert. (épuisé) |
| Tiré-à-part 8 | 1975 | Planification de main-d'œuvre dans l'entreprise, par G. Guérin. (épuisé) |
| Tiré-à-part 9 | 1975 | Les syndicats : devoir de représentation et personnalité juridique, par A. Rousseau. (épuisé) |
| Tiré-à-part 10 | 1975 | Panorama du syndicalisme québécois, par L.-M. Tremblay. (épuisé) |
| Tiré-à-part 11 | 1976 | Offre de travail et motivation des gens à faible revenu, par V. Larouche et B. Belzile. |
| Tiré-à-part 12 | 1976 | L'impact de l'inflation sur la négociation collective, par G. Hébert |
| Tiré-à-part 13 | 1976 | Choix des méthodes dans la recherche d'emploi, par C. Rondeau et G. Guérin. |
| Tiré-à-part 14 | 1976 | Le degré de preuve requis devant l'arbitre de griefs, par C. D'Aoust, F. Delorme et A. Rousseau. |
| Tiré-à-part 15 | 1976 | Accidents du travail : responsabilités des cadres, par G. Hébert. |
| Tiré-à-part 16 | 1977 | Inventaire de satisfaction au travail : validation, par V. Larouche. |
| Tiré-à-part 17 | 1977 | Planification des effectifs étudiants dans le système universitaire, par G. Guérin. |
| Tiré-à-part 18 | 1977 | Le droit du gréviste à son emploi, par A. Rousseau et C. D'Aoust. |

Les publications peuvent être obtenues en s'adressant au Service des publications de l'École de relations industrielles

3150 Jean-Brillant
Case Postale 6128
Montréal H3C 3J7
Tél. : (514) 343-6627