



**HAL**  
open science

# Application des techniques d'aide à la décision à la planification sanitaire régionale

Christine Pelletier

► **To cite this version:**

Christine Pelletier. Application des techniques d'aide à la décision à la planification sanitaire régionale. Modélisation et simulation. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 1999. Français. NNT: . tel-00004845

**HAL Id: tel-00004845**

**<https://theses.hal.science/tel-00004845>**

Submitted on 18 Feb 2004

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



UNIVERSITE JOSEPH FOURIER-GRENOBLE 1

SCIENCES & GEOGRAPHIE

THESE

Pour obtenir le titre de

DOCTEUR de L'UNIVERSITE JOSEPH FOURIER

**Discipline:** Mathématiques Appliquées

Présentée et soutenue publiquement

par

CHRISTINE PELLETIER

Le 5 octobre 1999

**Application des techniques d'aide à la décision  
à  
la planification sanitaire régionale.**

---

**Directeur de thèse:** Georges WEIL

---

**COMPOSITION DU JURY**

Professeur Jacques DEMONGEOT      Président

Professeur Gerd FINKE

Professeur Paul SCHAFFER

M. Jean SIMOS

M. Georges WEIL



**Résumé:** La planification sanitaire régionale consiste à répartir dans l'espace régional les ressources sanitaires rares (équipement lourd, personnel, ...) entre différentes structures sanitaires existantes ou non, afin d'"optimiser" la réponse aux besoins en soins de la population régionale. Cette répartition s'effectue dans un contexte décisionnel multidimensionnel, dont les dimensions médicale, économique et celles relatives à l'aménagement du territoire. Depuis une quarantaine d'années, la recherche de méthodes rationnelles applicables à la planification sanitaire a permis l'investigation de nombreuses voies de modélisation, et la proposition de méthodes variées. Malgré leur multitude, aucune d'entre elles n'a acquis de légitimité auprès des planificateurs. Trois motifs expliquent ce phénomène: le caractère restrictif de la définition donnée au système de santé, la complexité des techniques mathématiques utilisées, souvent obscures pour les non initiés, et le rôle passif réservé au planificateur.

Le travail présenté dans ce mémoire propose la formalisation d'un outil interactif d'aide à la planification sanitaire. Cette formalisation s'appuie sur une approche globale du système de santé, à partir de laquelle nous avons établi une définition de la planification sanitaire. A l'issue de cette formalisation, nous proposons un outil HERO qui lie un Système d'Information Géographique (SIG) avec un outil de résolution multiobjectif. Via le SIG, l'outil informe le planificateur sur l'état de santé de la population ainsi que sur les mécanismes de production et de consommation de soins. L'outil de résolution multiobjectif assiste ce dernier dans l'élaboration d'un plan en lui fournissant un moyen d'évaluation de la pertinence de ses choix dans la répartition spatiale des ressources. Le fonctionnement de HERO est illustré sur un exemple utilisant des données du Bas-Rhin (France).

**Abstract:** Regional healthcare planning consists in distributing in the regional space the rare healthcare resources (equipment heavy, personal...) between various existing medical structures, in order to "optimize " the response to the requirements in care for the regional population. This distribution is carried out in a multidimensional decisional context, of which dimensions medical, economic and those relating to the regional planning. Since forty years, the search for rational methods applicable to medical planning allowed the investigation of many ways of modeling, and the proposal for varied methods. In spite of their multitude, none of them acquired legitimacy near the planners. Three reasons explain this phenomenon: restrictive character of the definition given to the system of health, the complexity of the mathematical used, often obscure techniques for not initiated, and the passive role reserved to the planner.

In this thesis, we propose the formalization of an interactive healthcare planning support. This formalization is based on a global approach of the healthcare system, from which we establish a healthcare planning definition. Following this formalization we propose HERO. HERO is a regional healthcare planning support, which combines a Geographical Information System (GIS) and an analytic resolution tool. By using the GIS, it provides the planner with data representations to improve his knowledge of the mechanisms for producing hospital's healthcare and of its consumption. The analytic resolution tool help the planner in the evaluation of the relevance of his choice facing local priorities and national objectives (population coverage, control of healthcare spending for example). The analytic resolution tool is based on the use of an interactive procedure for integer multicriteria optimization. A running example of HERO with data bases of Bas-Rhin (France) is proposed.

**Mots clés:** planification sanitaire régionale; allocation spatiale de ressources; système interactif d'aide à la décision; programmation multi-objective en nombres entiers; système d'information géographique; gestion d'équipement hospitalier; schéma régional d'organisation sanitaire et social.



# Remerciements

Je remercie en tout premier lieu Monsieur Georges Weil, initiateur de ce travail de thèse, pour son support moral et matériel, ainsi que pour la confiance qu'il a su m'accorder tout au long de mes quatre années de thèse.

Je tiens ensuite à remercier le Professeur Jacques Demongeot, directeur du laboratoire TIMC qui m'a fait l'honneur d'accepter d'être Président du jury de soutenance. L'intérêt qu'il a manifesté à maintes reprises pour ce travail m'a conforté dans ma réflexion.

Monsieur le Professeur Paul Schaffer et Monsieur Jean Simos m'ont fait l'honneur de juger ce travail; je les en remercie ici très vivement.

Je remercie également Monsieur Gerd Finke d'avoir accepté de participer au jury de ma soutenance. J'y suis très sensible tout comme à l'attention qu'il a porté à mon travail pendant ces cinq dernières années.

La première partie de ce travail a fait l'objet d'une collaboration avec le SESI, le service statistique du ministère du travail et de la solidarité. Je remercie les membres de ce service, en particulier Madame Beubau, pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon travail.

Lors de la programmation de l'outil HERO, l'entreprise Cosytec m'a fait bénéficier d'un support technique efficace. Je l'en remercie vivement. J'adresse un merci particulier à monsieur Aggoun pour ses conseils avisés. Je remercie également Kamel Heus qui a guidé mes premiers pas en CHIP, ainsi que Monsieur Trilling et ses étudiants pour leur disponibilité et leurs remarques judicieuses dans l'amélioration du code de programmation.

Je tiens à remercier particulièrement Mademoiselle Stéphanie Desvignes pour son travail efficace de conception, de réalisation et de mise en œuvre d'un outil de représentation géographique de la répartition de la production et de la consommation de services hospitaliers à l'intérieur d'une même région.

Je remercie le Directeur de l'AURAL (Association pour l'Utilisation du Rein artificiel en Alsace), Monsieur Faitot, pour m'avoir communiqué des données géographiques sur les patients inscrits sur ses listes de même que des documents relatifs à l'activité de l'AURAL. Il m'a ainsi donné la possibilité d'illustrer le fonctionnement de HERO sur la prise en charge de l'insuffisance rénale chronique hors centre dans le Bas-Rhin. Je remercie également Monsieur Blayer et Monsieur Rey-Jouvin, respectivement sous-directeur et responsable technique de L'AGDUC (Association Grenobloise pour la Dialyse des Urémiques Chroniques), pour le temps qu'ils m'ont accordé pour m'expliquer de façon concrète la prise en charge en auto-dialyse, aussi bien d'un point de vue technique que financier.

Je remercie pour leur accueil et leur soutien les membres des équipes TIMB, OSIRIS et SIC, en particulier Laurent Dudouet, Thomas Faraut, Camilo Larota et Olivier Maquin.

Je souhaite marquer ma vive sympathie à Mesdames Frison, Meneau, Meunier et Vial pour leur disponibilité.

Je tiens aussi à témoigner ma reconnaissance à tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail, en particulier à mes amis et premiers lecteurs Zouhier Hamrouni, Pascale Massoni, Imed Othmani, Samia Ould-Ali, Lucette Sandra et Elisabeth Truche.

Cette thèse a été réalisée avec le soutien financier de la société PRAXIM.





# Sommaire

1	INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1 : PRATIQUES ET METHODES DISPONIBLES EN PLANIFICATION REGIONALE SANITAIRE .....		5
1	INTRODUCTION .....	7
2	LES OUTILS DE LA PLANIFICATION SANITAIRE RÉGIONALE EN FRANCE .....	7
2.1	<i>Les instruments de gestion régionale du système hospitalier</i> .....	7
2.2	<i>L'élaboration des différents documents de planification</i> .....	8
2.2.1	Les mécanismes de coordination prévus par la loi .....	9
2.2.2	Méthodes appliquées .....	10
2.3	<i>Les limites de l'approche adoptée</i> .....	10
2.3.1	Limites intrinsèques .....	10
2.3.2	Limites des premières organisations réalisées .....	10
2.4	<i>Conclusion</i> .....	11
3	MODÈLES EN PLANIFICATION SANITAIRE .....	11
3.1	<i>Introduction</i> .....	11
3.2	<i>Les modèles géographiques</i> .....	12
3.2.1	Les modèles de gravitation de type exponentiel .....	13
3.2.2	La méthode RAMOS .....	16
3.2.3	Autres applications des modèles de gravitation en planification sanitaire .....	19
3.2.4	Conclusion .....	19
3.3	<i>Les modèles de planification k-hiérarchiques</i> .....	20
3.3.1	Le modèle de planification k-hiérarchique .....	20
3.3.2	Application aux systèmes d'intervention d'urgence .....	23
3.3.3	Application à la gestion du système de soins .....	24
3.3.4	Conclusion .....	26
3.4	<i>Modèles d'allocation de ressources multi-participants</i> .....	27
3.4.1	Un modèle d'allocation de ressources : HIDS .....	28
3.4.2	Modèles de budgétisation .....	30
3.4.3	Conclusion .....	34
3.5	<i>Modèles de programmation par buts</i> .....	34
3.5.1	Le principe de la programmation par buts .....	35
3.5.2	Mise en place de services médicalisés d'urgence .....	35
3.5.3	Gestion de services spécialisés .....	35
3.5.4	Conclusion .....	36
3.6	<i>Autres modèles</i> .....	36
3.6.1	La méthode RAWP .....	36
3.6.2	La méthode de Wong et Au .....	39
3.6.3	Le modèle de Malczewski et Ogryczak .....	40
3.6.4	Conclusion .....	41
3.7	<i>Quelques méthodes appliquées en planification sanitaire</i> .....	41
3.7.1	Une méthode utilisant un système d'interaction spatiale .....	42
3.7.2	Une méthode k-hiérarchique .....	44
3.7.3	Une méthode multi-acteurs d'allocation de budget .....	46
3.7.4	Une méthode de réorganisation régionale de services .....	50
3.8	<i>Discussion et conclusion</i> .....	52
4	PROPOSITION D' UN OUTIL: HERO .....	54
4.1	<i>les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD)</i> .....	54
4.1.1	Le rôle d'un SIAD .....	54
4.1.2	Principe d'un SIAD .....	55
4.2	<i>Proposition d'un outil d'aide à la planification sanitaire</i> .....	56
5	CONCLUSION .....	58
CHAPITRE 2 : ANALYSE ET MODELISATION DU PROBLEME .....		59
1	INTRODUCTION .....	61
2	L'OFFRE DE SOINS HOSPITALIERS .....	61
2.1	<i>Difficulté à définir la production hospitalière</i> .....	61
2.2	<i>Proposition d'une définition opérationnelle</i> .....	61

3	BESOIN EN SANTÉ.....	62
3.1	<i>Le besoin en santé: une notion complexe.....</i>	63
3.2	<i>Vers une définition opérationnelle du besoin de santé d'une population.....</i>	64
4	UN MODÈLE QUI CARACTÉRISE UN SCHÉMA D'ORGANISATION SANITAIRE.....	66
4.1	<i>Notations des indices, des constantes et des variables.....</i>	66
4.1.1	Les notations des indices.....	66
4.1.2	Les données.....	67
4.1.3	Les variables de décision.....	67
4.2	<i>Les contraintes.....</i>	68
5	A LA RECHERCHE D'UNE DÉFINITION OPÉRATIONNELLE DE L'OBJECTIF POURSUIVI.....	68
5.1	<i>Un objectif multi-dimensionnel.....</i>	69
5.2	<i>La méthode utilisée.....</i>	70
5.3	<i>Une décomposition de l'objectif poursuivi.....</i>	70
5.4	<i>Quelques attributs, mesures applicables.....</i>	72
5.4.1	Mesures associées au coût.....	72
5.4.2	Mesures associées à la sécurité.....	73
5.4.3	Mesures associées à l'accès aux soins.....	73
5.4.4	Résumé des mesures proposées.....	74
5.4.5	Comment formuler un objectif opérationnel.....	75
6	CONCLUSION.....	76
CHAPITRE 3 : DESCRIPTION GÉNÉRALE DE HERO.....		79
1	INTRODUCTION.....	81
2	FONCTIONNEMENT GÉNÉRAL DE HERO.....	81
3	L'INTERFACE DE DIALOGUE.....	82
4	LE MODULE BASE DE DONNÉES.....	82
4.1	<i>Les données « réelles ».....</i>	83
4.2	<i>Les données « de simulation ».....</i>	83
5	LE SIG.....	83
5.1	<i>Définition.....</i>	84
5.2	<i>Exemple d'utilisation d'un SIG en planification sanitaire.....</i>	85
6	LE MODULE DE RÉOLUTION.....	88
6.1	<i>Fonctionnement du module de résolution.....</i>	88
6.2	<i>L'optimisation multi-objectif en nombres entiers.....</i>	90
6.2.1	La notion d'efficacité.....	91
6.2.2	Quelques méthodes interactives de résolution.....	92
6.3	<i>La méthode développée dans le module de calcul.....</i>	95
6.3.1	Le principe du Branch & Bound.....	95
6.3.2	L'algorithme de Marcotte et Soland.....	96
6.3.3	Adaptations apportées à l'algorithme.....	100
6.3.4	L'algorithme implanté.....	101
6.4	<i>Choix technologiques.....</i>	102
6.4.1	Approche objet.....	103
6.4.2	Programmation par contraintes.....	105
7	CONCLUSION.....	106
CHAPITRE 4 : ILLUSTRATION DU FONCTIONNEMENT DE HERO SUR UN EXEMPLE.....		107
1	INTRODUCTION.....	109
2	L'HÉMODIALYSE PÉRIODIQUE.....	109
2.1	<i>La technique de l'hémodialyse.....</i>	110
2.2	<i>L'auto-dialyse.....</i>	110
2.3	<i>L'auto-dialyse médicalisée.....</i>	111
3	L'AURAL : DEMANDE ET OFFRE EN AUTO-DIALYSE.....	111
3.1	<i>Les patients.....</i>	112
3.1.1	Choix de la résolution.....	112
3.1.2	Répartition géographique des patients auto-dialysés.....	112
3.2	<i>Les unités d'auto-dialyse gérées par l'AURAL dans le Bas-Rhin.....</i>	115
3.2.1	Les unités d'auto-dialyse.....	115
3.2.2	Le fonctionnement d'une unité.....	116
4	LE MODÈLE.....	117
4.1	<i>Les indices, les données constantes et les variables.....</i>	117
4.1.1	Définition des indices.....	117

4.1.2	Définition des données constantes .....	117
4.1.3	Définition des variables de décision .....	118
4.2	<i>Les contraintes</i> .....	118
4.3	<i>Les objectifs</i> .....	119
5	ILLUSTRATION DU FONCTIONNEMENT DE HERO .....	120
5.1	<i>Le scénario de développement</i> .....	120
5.2	<i>Test du scénario</i> .....	120
5.2.1	L'initialisation du programme .....	120
5.2.2	Visualisation des premières solutions .....	122
6	CONCLUSION.....	124
	CONCLUSION ET PERSPECTIVES.....	122



# 1 INTRODUCTION

La planification est un instrument de gestion dont l'objectif est d'aider des responsables à prendre des décisions sur une base plus rationnelle, en l'occurrence le service chargé de répartir l'ensemble des ressources, disponibles en volume limité, d'organiser les services de production et de les répartir de façon équitable. Cet outil de prise de décision favorise, par conséquent, la concertation entre les différents acteurs impliqués dans la prévision des ressources et services nécessaires pour atteindre les objectifs déterminés, selon un ordre de priorité établi. Il aide ainsi à l'élaboration du choix d'une solution préférable parmi plusieurs alternatives.

La planification est un outil récemment appliqué au domaine de la santé, et sa définition n'est pas encore fixe et unique ; cette dernière varie selon les acteurs qui y sont impliqués. Elle peut aussi bien signifier un processus d'action en santé publique, qu'une méthode de résolution de problème, ou bien encore qu'un moyen de régulation ou de maîtrise de dépenses [FROSSARD 1997]. On observe cependant que, dans les faits, seulement deux variantes de cet outil sont utilisées dans ce domaine ; celle dont le but est d'atteindre des objectifs de santé et celle qui cherche à réguler le système de soins hospitaliers [JOURDAIN 1995].

Les différences dans ces définitions résident toutefois plus dans l'objectif poursuivi que dans les tâches successives à mettre en œuvre pour atteindre le résultat souhaité. Il s'agit, en effet, de définir de façon opérationnelle les objectifs et finalités de cette action : ils correspondent aux problèmes dont le traitement est prioritaire. Cette détermination est consécutive à une étude de l'état de santé de la population ; cette étude inclut l'identification des problèmes de santé, de leurs déterminants, du développement probable de ces problèmes de santé ainsi que l'identification des groupes d'individus concernés et de leur localisation géographique. A l'issue de ces tâches d'identification, une solution doit être élaborée ; elle s'exprime sous la forme d'une répartition des ressources médicales rares, par exemple les équipements lourds, le personnel, le budget et les lits. Cette solution doit tenir compte de la situation socio-politique nationale et locale ainsi que des contraintes internes au système de décision. Ces dernières correspondent aux contraintes liées aux intérêts contradictoires des différents acteurs. Une quantification des objectifs doit être proposée tout au long de l'élaboration de cette solution [PINEAULT 1996], [DANIELS 1970], [JOURDAIN 1995].

Dans le processus que nous venons de décrire, on distingue deux types d'activité : une activité de négociation, et une activité plus technique, qui correspond à l'élaboration de la solution adéquate. Si l'activité de négociation est incontournable et ne peut être modélisée de façon stricte, elle peut cependant s'appuyer sur des méthodes techniques ; ces dernières pouvant accélérer le processus de négociation et assurer une légitimité à la solution retenue.

En France, la planification sanitaire, instaurée par la loi de 1991, est restreinte à la seule offre de soins hospitaliers. Cette restriction s'est effectuée bien que le développement de soins curatifs n'ait pas apporté une réelle amélioration de la santé des populations [HAUT COMITE 1998], [PAMPALON 1997] & [DESCHAMPS 1982]. Elle peut toutefois en partie s'expliquer par la situation dominante du secteur public dans ce domaine et par le niveau élevé de financement accordé à ce type de soins dans le budget. On observe de plus que, malgré l'évolution de sa définition par les ordonnances de 1996, précisant le rôle du décideur et la composition des différents organes d'étude, la planification sanitaire n'a pas trouvé en France de méthodes reconnues et efficaces.

Ce travail s'inscrit dans le cadre de la recherche d'une méthode pragmatique d'aide à la planification, HERO<sup>1</sup>, telle que la définit la loi française évoquée ci-dessus. En effet, malgré l'abondance des travaux

---

<sup>1</sup> HHealthcare Resources Optimisation

réalisés sur l'aide à la planification sanitaire, on observe qu'aucune méthode n'est largement appliquée dans la réalité. Deux raisons principales l'expliquent.

*La santé est une notion complexe.*

La santé est une notion complexe ; elle fait référence à un état de bien être associé à une capacité à remplir parfaitement l'ensemble de ses rôles sociaux. De nombreuses normes et indicateurs permettent d'obtenir des informations sur la santé d'une population, chacune de ces informations sont issues d'observations effectuées dans des disciplines diverses, comme la médecine, l'épidémiologie, la sociologie, l'économie, la géographie et la démographie. Il est cependant nécessaire de garder à l'esprit que la santé est par essence subjective, et par conséquent que les mesures proposées sont partielles et souvent indirectes. Ce trait influe sur la caractérisation du domaine de la santé. En effet, ce dernier ne peut pas être décrit à l'aide d'un modèle économique simple. Cette constatation résulte non seulement de la cohabitation, dans ce domaine, d'un secteur qui relève de l'économie marchande (les entreprises pharmaceutiques par exemple) et d'un secteur qui relève de l'économie non marchande (les organismes de soins publics par exemple), mais aussi de cette la nature complexe du "produit" échangé : la santé. L'asymétrie des connaissances entre patients et professionnels et l'effet peu dissuasif du prix ([ARROW 1962] & [VALETTE 1995]), rendent la théorie économique de l'équilibre général inapplicable dans le domaine de la santé. De même, l'instabilité des connaissances, autrement dit l'incertitude professionnelle qui affecte le diagnostic, les choix thérapeutiques, la difficulté de l'estimation de l'évolution de l'état du patient et l'impact sur lui de son traitement ajouté à l'absence de mesure consensuelle des besoins de santé ([KERLEAU 1998], [VALETTE 1995], [PINEAULT 1995] & [PAMPALON 1997]) ne permettent pas d'appliquer les méthodes de planification classiques.

La répartition spatiale des ressources ne peut donc s'obtenir à l'issue de l'application d'une théorie. Ainsi, le choix d'un schéma de répartition de ressources sanitaires ne peut se justifier qu'à partir du système de valeurs sur lequel les décideurs se sont fondés pour l'évaluer, soit les critères, les contraintes et les préférences. Les relations formelles entre ces éléments d'évaluation et l'amélioration de l'état de santé de la population ne sont généralement ni connues, ni recherchées. De plus, la planification sanitaires est un problème multi-dimensionnel. Ses dimensions recouvrent les aspects politiques, sociaux, épidémiologiques, géographiques et techniques de la santé. Les modèles les plus souvent utilisés ne se fondent cependant que sur un seul aspect du problème en favorisant un aspect particulier du problème.

Classiquement, une étude descriptive de l'état sanitaire de population, s'appuyant sur des indicateurs épidémiologiques, sociaux et géographiques, suivi d'une recherche probable de l'évolution de cette situation constitue une base à la négociation entre les différents protagonistes. Ainsi, par tâtonnement, la répartition des ressources sanitaires est effectué. Il est cependant connu que cette approche heuristique est désarmée pour résoudre les problèmes de gestion.

Dans ce cas, l'homme d'étude impose plus ou moins son schéma de répartition de ressources, et ainsi toutes les conséquences sanitaires, mais aussi techniques, économiques, sociales et géographiques.

*La répartition spatiale des ressources sanitaire ne peut pas être optimale.*

L'optimisation constitue une alternative souvent efficace à l'approche heuristique. Elle se heurte cependant à deux problèmes. Le premier est technique. L'expression du comportement de consommation de soin formalisée parmi les contraintes du modèle d'optimisation est difficile, voire impossible. Le second problème est d'ordre conceptuel. Les méthodes d'optimisation sont basé sur un critère unique, et il paraît difficile de trouver un critère unique qui résume la notion féconde de planification sanitaire.

Dans ce cas, ce n'est plus l'homme d'étude mais la modélisation du problème et le programme de modélisation qui imposent le schéma optimal.

Il est donc nécessaire en planification de sanitaire de considérer les critères et les points de vue comme étant foncièrement multiples ; ils ne peuvent se résumer à un seul critère ni être exclusifs entre eux. De

même, il n'existe pas de mesure de l'objectif global faisant l'unanimité de toutes les volontés et résumant plusieurs objectifs. Ceci va donc à l'encontre de l'optimisation mono-critère (mono-objectif) qui est cependant largement préconisée par les techniciens de la planification sanitaire.

L'objectif de cette thèse est de caractériser un outil de gestion spatiale des ressources sanitaire qui associe les décideurs dans la recherche et le choix du schéma d'organisation des ressources sanitaires. Pour cela, dans ce travail, nous nous attacherons à analyser ces travaux dans leur ensemble, ainsi que les différentes pratiques de planifications sanitaires en France. Cette approche multidisciplinaire permet d'aborder la planification sanitaire de façon globale. Cette connaissance de la question est essentielle à la définition d'un outil pragmatique d'aide à la décision.

Avant d'explicitier le plan de ce travail, il convient d'insister sur les limites de ce travail. Comme chaque problème de planification sanitaire est un cas particulier, le modèle que nous proposons correspond plus à un enchaînement non unique de différentes méthodes qui permet d'élaborer une solution.

Dans le premier chapitre, nous examinons les méthodes et outils proposés dans la littérature pour accomplir cette tâche de répartition régionale de ressources, afin d'identifier les différentes propriétés qu'HERO doit vérifier. Cet examen se déroule en trois parties. Dans la première partie les pratiques régionales actuelles ainsi que leurs limites sont explorées. Les méthodes proposées dans la littérature scientifique sont passées en revue dans la partie suivante. Sans les rejeter, nous montrons que l'application de ces méthodes est limitée du fait de leur ignorance de l'aspect de la négociation. Cette remarque nous mène à la proposition, dans la troisième partie, de l'idée générale d'un outil approprié à ce type de décision.

Le deuxième chapitre est consacré à la caractérisation opérationnelle des différents concepts de la planification sanitaire. Ces concepts sont ceux de l'offre hospitalière, des besoins en soins, du schéma régional d'organisation sanitaire et de l'objectif poursuivi. Les caractérisations que nous proposons s'appuient sur une étude de travaux d'épidémiologie et d'économie sociale et médicale. Elles constituent la définition des informations que l'outil HERO devra manipuler.

Le troisième chapitre s'attachera à préciser l'outil que nous proposons : description détaillée du fonctionnement de l'outil et de ces composantes de représentation des données, de calcul, et de dialogue.

Le quatrième et dernier chapitre de ce travail illustre une application de HERO à la gestion des équipements de dialyse dans le Bas-Rhin.





## **Chapitre 1**

*Pratiques et méthodes disponibles en planification régionale sanitaire*



# 1 INTRODUCTION

L'objet de ce chapitre est de présenter les différents outils institués en France pour mettre en place une politique de planification sanitaire, et de proposer un outil rationnel d'aide à la planification. Ce chapitre se compose donc à cet effet d'une description des instruments utilisés lors de l'allocation des ressources hospitalières dans une région, et d'une présentation des nombreuses méthodes mathématiques élaborées dans le but de rationaliser cette tâche. Malgré la pléthore des méthodes existantes, force est de constater qu'elles échouent dans leur application. L'analyse de cet échec nous mène à suggérer, en fin de chapitre, une nouvelle méthode. Elle se présente sous la forme d'un Système Interactif d'Aide à la décision nommé HERO.

## 2 LES OUTILS DE LA PLANIFICATION SANITAIRE REGIONALE EN FRANCE

L'organisation de l'offre de soins sur l'ensemble du territoire en fonction des besoins en soin des populations qui y résident est une préoccupation récente en France. C'est seulement vingt-cinq ans après la création du régime général de la sécurité sociale, création qui a été suivie d'un développement spontané et anarchique du système d'offre de soins, et en particulier du réseau hospitalier, que les premières mesures réglementaires visant à contenir ce développement ont été votées. Ces mesures, instaurées en 1971, ont permis la mise en place des outils qui s'inscrivent dans le cadre d'une politique de maîtrise centralisée de l'offre ; cette politique est définie au niveau de l'Etat. Parmi les outils mis en place, on peut citer:

- ✓ le numerus clausus à l'entrée des études médicales dont l'objectif est de freiner la démographie médicale<sup>2</sup> ;
- ✓ la carte sanitaire pour les lits et les équipements lourds.

La création de la carte sanitaire était fondée sur l'idée d'une rationalisation des structures hospitalières organisée à partir d'une définition des besoins en fonction du nombre d'habitants par secteur et de la fixation de normes. L'ensemble des instruments utilisés initialement et constitué des seuls indices "lits-population" a été progressivement complété dans les années 80 en incluant les notions de plateaux techniques et de complémentarité éventuelle entre secteur privé et public.

La volonté de proposer des soins hospitaliers de qualité qui correspondent aux besoins réels des populations ainsi que la prise de conscience des limites de l'approche médicalisée des soins, ont conduit à une restructuration de la planification en 1991. Cette prise de conscience s'est traduite par une décentralisation administrative, au niveau régional, de la gestion du système hospitalier [SOUBIE 1995]. L'objectif de cette décentralisation est d'accroître simultanément l'adaptation du système d'offre de soins hospitalier et la maîtrise des dépenses de santé. Les deux principaux instruments mis au service de cette volonté politique sont la carte sanitaire et le schéma régional d'organisation sanitaire. Depuis, de nombreux textes, notamment les ordonnances de 1996, ont renforcé le pouvoir des régions dans ce domaine de la gestion du système hospitalier.

Dans les paragraphes qui suivent, nous décrivons les instruments de gestion régionale du système hospitalier tels qu'ils sont définis par la loi, puis la façon dont cette dernière organise leur élaboration. Nous indiquons ensuite les limites liées à ce mode de gestion.

### 2.1 Les instruments de gestion régionale du système hospitalier

Les principaux instruments de gestion régionale du système hospitalier sont la carte sanitaire, le schéma régional d'organisation sanitaire, et l'annexe au schéma. Le premier document est élaboré au niveau de l'Etat, les deux autres doivent être produits tous les cinq ans et soumis à l'approbation de

---

<sup>2</sup> La démographie médicale concerne le nombre de praticiens médicaux

l'Etat. Ces trois documents reflètent la politique régionale sanitaire à moyen terme, car, lors de son élaboration, est non seulement considéré la géographie, mais aussi la démographie, l'évolution des techniques médicales et des moyens de transport par exemple. Depuis 1996, ces documents constituent un véritable projet de développement du système hospitalier, et doivent être respectés dans les actes.

La carte sanitaire est une carte géographique de la région, découpée en secteurs sanitaires dont les contours sont établis au niveau national ; la population minimale d'un secteur sanitaire est de 200 000 habitants. Elle correspond à une refonte de celle déjà définie en 1970 [DURIEZ 1996]. Cette carte détermine la nature et l'importance des équipements à mettre en œuvre pour répondre aux besoins de la population ; ces besoins sont déterminés à partir d'indices de besoins. Elle définit aussi des ratios concernant les capacités d'hébergement et les équipements lourds, soumis à autorisation du ministère chargé de la santé, par rapport aux effectifs de population. La carte sanitaire fixe également les normes d'utilisation des techniques médicales coûteuses [SOUBIE 1995].

Le schéma régional d'organisation sanitaire, ou SROS, organise, à l'intérieur de chaque région, la répartition géographique des équipements ou activités. Deux objectifs généraux sont poursuivis à travers la mise en place des SROS. Le premier concerne la qualité et la sécurité des soins ; le second promeut un accès équitable au système de santé. Cet impératif de santé publique doit être en accord avec la maîtrise de l'évolution des dépenses hospitalières. Il repose donc sur une idée simple selon laquelle chacun doit avoir accès à des soins de qualité, dans des délais compatibles avec son état et en toute sécurité. Le SROS précise la répartition des ressources disponibles (en termes de nombre de lits, de budget, d'équipements et matériels lourds) définis par la carte sanitaire entre les différents établissements hospitaliers de la région en vue d'apporter une meilleure réponse aux besoins de la population. Actuellement les SROS abordent trois grands thèmes qui sont:

- ✓ la réorganisation des urgences,
- ✓ la mise en réseau des établissements de soins,
- ✓ la réduction du nombre de lits de court séjour.

Le traitement de ce dernier thème s'accompagne en principe d'une reconversion de ces lits en lits de moyen ou long séjour réservés à la prise en charge de personnes âgées dépendantes [DURIEZ 1996].

L'annexe au schéma est un document qui précise les restructurations souhaitables pour atteindre les objectifs fixés dans le schéma. Ces restructurations se traduisent par des créations, des regroupements, des transformations ou suppressions d'installations ou d'unités sanitaires [COUTY 1993].

Ces trois documents illustrent la volonté de régulation de l'offre de services de santé de la région, et les moyens mis en œuvre par cette dernière pour atteindre ses objectifs. L'élaboration de ces documents est cadrée par la loi, tout du moins en ce qui concerne les acteurs qui prennent part à cette élaboration.

## 2.2 L'élaboration des différents documents de planification

Par la "loi portant réforme hospitalière de 1991" et les ordonnances de 1996 entre autre, la région devient, en France, le niveau privilégié de la planification, de la régulation financière et de l'évaluation du système de soins. La traduction patente de cette déconcentration réside dans la création en 1996 des Agences Régionales d'Hospitalisation (ARH) ; ces agences constituent le relais privilégié entre le gouvernement et les services déconcentrés de l'Etat en matière d'action sanitaire et sociale: la DDASS<sup>3</sup> et la DRASS<sup>4</sup>. Ces textes de loi définissent aussi les mécanismes formels de coordination entre les services déconcentrés de l'Etat en matière d'action sanitaire et sociale et les organismes régionaux d'assurance maladie [HAUT COMITE 1998].

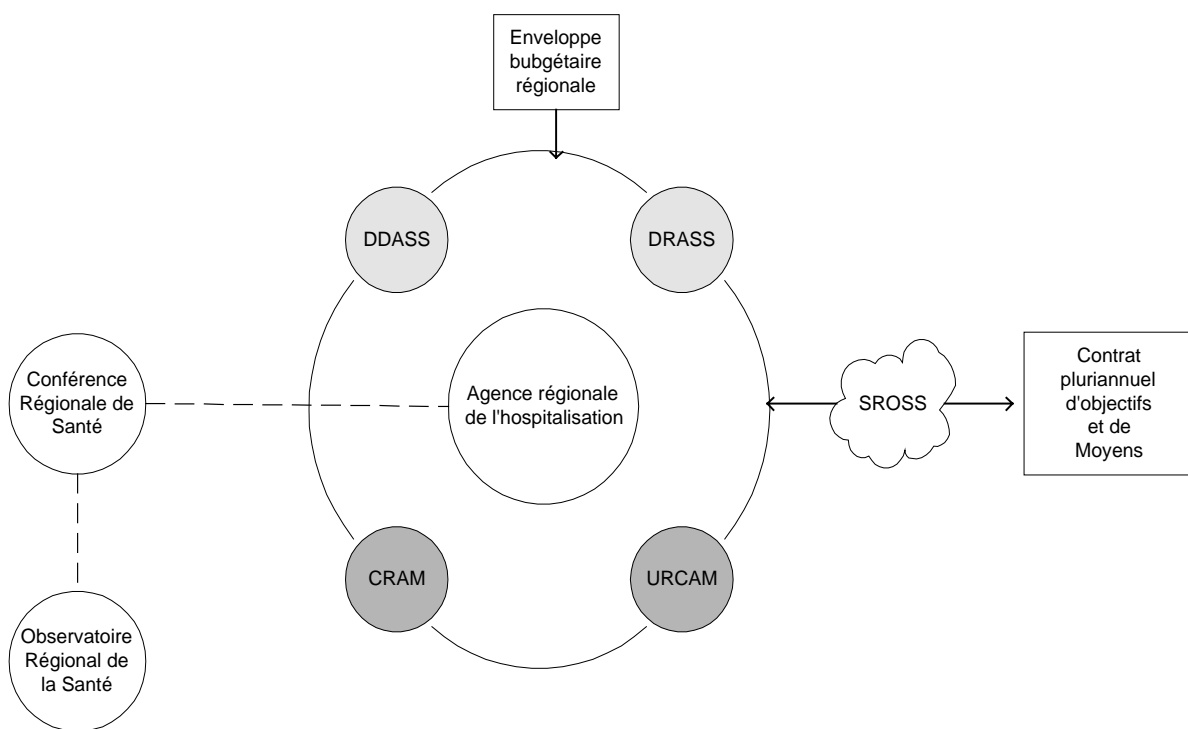
<sup>3</sup> Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales. Elle correspond à un service déconcentré de l'Etat.

<sup>4</sup> Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales. Cette organisation est un service déconcentré de l'Etat.

Nous présentons, premièrement, les mécanismes de coordination, ils sont schématisés en Figure 1. Deuxièmement, nous décrivons comment se sont traduits ces mécanismes lors de l'élaboration des premiers SROS.

### 2.2.1 Les mécanismes de coordination prévus par la loi

Depuis 1996, la loi prévoit que les SROS doivent être élaborés au sein d'une structure régionale créée à cet effet: l'Agence Régionale d'Hospitalisation. Cette agence est constituée d'un groupement d'intérêt public qui rassemble des représentants des services déconcentrés de l'Etat (la DDASS et la DRASS), et les organisations d'assurance maladie dont la Caisse Régionale d'Assurance Maladie (CRAM) et l'Union Régionale des Caisses d'Assurance Maladie (URCAM). La mission de cette agence consiste à définir et à mettre en œuvre la politique d'offre de soins hospitaliers au niveau régional, à analyser et coordonner l'activité des établissements de santé, et à déterminer leurs ressources, budget alloué notamment.



**Figure 1: Organisation liée à l'élaboration de la politique régionale d'hospitalisation**

L'ensemble des membres de l'ARH, composé paritairement de représentants de l'Etat et de représentants administratifs et médicaux d'organismes d'assurance maladie, est présidé par un directeur d'agence nommé par décret au conseil des ministres. Ils délibèrent sur les orientations relatives à l'allocation des ressources aux différents établissements de santé de la région, ainsi que sur l'octroi des autorisations et des contrats pluriannuels avec les établissements sanitaires. La délibération s'appuie sur les projets d'établissements soumis par les différents établissements sanitaires et le rapport rédigé au sein de la Conférence Régionale de Santé ; cette dernière rassemble des représentants des pouvoirs publics, des collectivités territoriales, des organismes d'assurance maladie, des professionnels du champ sanitaire et social, des institutions et établissements sanitaires et sociaux et des usagers. Dans ce rapport, les besoins sanitaires de la population sont évalués, et les priorités de santé publique définies. Ce rapport prend en considération les résultats et études des observatoires de la santé, qui sont des associations, composées de représentants des diverses professions médicales, et qui mènent des études sur l'offre et la consommation de soins dans la région, sur les pathologies observées dans la région, sur la distribution des facteurs à risques (alcoolisme, toxicomanie, suicide, qualité de l'air et de l'eau, ...), ainsi que sur certaines populations

comme celles, par exemple, des femmes de moins de 50 ans, les populations défavorisées, de celle de handicapés.

A l'issue des délibérations, le directeur d'agence arrête la carte sanitaire et le SROS, fixe les budgets et arrête les tarifs d'hospitalisation des établissements de santé. Toutes ces décisions doivent s'inscrire dans le cadre défini par la limite des ressources disponibles. [BONNET 1996].

### **2.2.2 Méthodes appliquées**

Il n'existe pas de méthode unique pour élaborer un schéma ; la méthode dépend du point de départ adopté lors de la mise en place du schéma. Ce point de départ peut être l'étude de la population, une définition des objectifs que doit remplir le système de soins hospitaliers, ou les priorités de développement local. Ainsi, certaines régions ont adopté une approche populationnelle, d'autres sont parties d'un consensus régional sur les grands objectifs du système de soins, d'autres encore s'inspirent du schéma d'aménagement du territoire [TURENNE 1995]. Malgré cette variété de méthodes, on constate que toutes celles utilisées lors de la réalisation des premiers SROS se déroulent autour de deux mêmes étapes.

La première étape consiste à effectuer un bilan des prises en charge ; ce bilan est réalisé à l'aide de documents statistiques et études de bases de données. A partir de ce bilan, les écarts entre l'état de santé constaté et l'état de santé souhaitable sont évalués. La seconde étape a pour but d'élaborer une réponse qui permet de diminuer ces écarts constatés. Cette réponse correspond aux transformations à apporter aux systèmes existants et est une conséquence d'une analyse prospective des besoins, et des progrès médicaux.

Malgré cette apparente coordination et existence de méthode précise, on observe que les SROS se construisent essentiellement par le biais de la concertation et de négociations [LINSOLAS 1995b].

## **2.3 Les limites de l'approche adoptée**

### **2.3.1 Limites intrinsèques**

Les limites principales à l'élaboration des SROS sont d'ordre conceptuel et résultent de l'imprécision méthodologique, du manque d'opérationalité et des moyens d'action fournis dans la loi et règlements instaurant l'obligation de réalisation de ces documents. Cette loi et ces règlements n'indiquent de façon claire ni la signification de l'objectif poursuivi (que signifie précisément "diminuer les inégalités territoriales en matière de santé"?), ni comment les mesurer. De même, ils ne définissent aucune procédure permettant de réduire ces inégalités [LINSOLAS 1995a], [HAUT COMITE 1998]. Les seuls moyens qu'ils préconisent pour diminuer ces inégalités se restreignent à des actions sur l'offre de soins curatifs. Ce type d'actions ne semble cependant pas être le plus efficace en matière d'amélioration de la santé. En effet, le lien entre élévation des ressources sanitaires sur un territoire défavorisé en matière de santé et l'amélioration de santé qui en résulterait est faible. Ceci est dû au fait que la notion de santé déborde largement de celle des soins de santé, et que l'impact du système de soins sur la baisse de la mortalité est faible, de l'ordre de 10 à 20 pour cent ([DESCHAMP 1982], [HAUT COMITE 1998]).

### **2.3.2 Limites des premières organisations réalisées**

Les premiers SROS ont été réalisés à partir d'approches variées. Ils reposent cependant sur une série de négociations menées entre les différents protagonistes [LINSOLAS 1995b], ces négociations ne portant pas exclusivement sur les besoins en soins de la population mais aussi sur des aspects de l'aménagement du territoire.

La critique la plus importante qui puisse être formulée à l'encontre des SROS réalisés réside dans le manque d'attention qui a été apporté aux besoins en soins de la population tout au long du processus d'élaboration des schémas. En effet, l'étude de la demande de soins n'a pas formé la base des propositions de schéma d'organisation ; ces dernières se sont constituées plutôt à partir de considérations relatives à la consommation de soins et ont pour la plupart renforcé l'offre existante

[LINSOLAS 1995a]. Cette faiblesse de ces premiers SROS n'est pas uniquement due aux difficultés techniques liées à l'insuffisance de références permettant de mettre à jour les priorités sanitaires, ou encore à l'absence d'une définition objective et opérationnelle des besoins en soins<sup>5</sup>, mais elle réside également dans la difficulté politique d'imposer des choix à priori impopulaires (fermeture de services, diminution de ressources, ...) à des partenaires refusant ces choix [GAUTHIER 1993]. Cette dernière difficulté est amplifiée par l'absence d'une démarche de planification claire et structurée qui favorise le dialogue, la compréhension et l'évaluation des différents choix.

## 2.4 Conclusion

En France, depuis l'instauration de la "loi portant réforme hospitalière de 1991", dont l'origine réside dans la volonté de réduire les inégalités de santé dans la population, la région est devenue le noyau central de la politique hospitalière. Cette politique est redéfinie tous les cinq ans à partir de trois instruments de gestion:

- ✓ la carte sanitaire, définie au niveau national, qui détermine pour chaque région le volume de ressources dont elle dispose pour répondre aux besoins de la population ;
- ✓ le SROS et son annexe, élaborés au niveau régional, qui indiquent de quelle manière il convient de répartir les ressources disponibles entre les différents établissements sanitaires afin de favoriser l'accès à des soins de qualité pour l'ensemble de la population en toute sécurité.

Le SROS et de son annexe doit, selon la loi, être le produit d'une large concertation entre les différents intervenants du secteur sanitaire régional. Le résultat de cette concertation doit être avalisé par l'Etat, par le biais du directeur de l'Agence Régionale d'Hospitalisation.

Les résultats obtenus jusqu'à présent dans chaque région se sont avérés mitigés. La réalisation de l'objectif ambitieux de la planification sanitaire est limitée de façon intrinsèque par sa définition. En effet cette définition se cantonne à des interventions sur les seuls aspects curatifs de la santé ; ces interventions n'ont qu'un faible impact sur la diminution de la mortalité [KERVASBOUE 1993]. De plus le manque de références concernant les priorités sanitaires et l'absence de définition opérationnelle des besoins en soins ne permet pas de rassembler de façon consensuelle l'ensemble des différents intervenants autour d'un projet de redistribution de l'offre ; les divergences existant entre ces intervenants ne se sont pas estompées même s'ils ont appris à collaborer [LINSOLAS 1995b]. Cette difficulté à atteindre un consensus est accrue par l'absence d'une méthode claire qui permette justifier les choix des différents experts, et de vérifier leurs hypothèses. De nombreuses méthodes scientifiques ont été proposées pour répartir les ressources hospitalières dans une zone géographique déterminée en fonction de la demande. La partie suivante est dédiée à la présentation de ces méthodes.

## 3 MODELES EN PLANIFICATION SANITAIRE

### 3.1 Introduction

La planification sanitaire consiste à sélectionner, dans le plan défini par la région, un certain nombre de sites sur lesquels des services hospitaliers sont implantés. Parallèlement à cette sélection, la taille de chacun de ces services est évaluée en terme de ressources allouées et de nombre de patients pouvant potentiellement être pris en charge dans ces services. Ces choix de localisation de services et d'allocation de ressources s'effectuent dans un contexte de ressources disponibles en volume limité [CULYER 1990] ; il est rare que ce volume suffise à couvrir tous les besoins d'une population. Il s'agit alors, pour les méthodes d'aide à la planification sanitaire, d'assister le décideur dans l'élaboration du plan, afin que ce dernier satisfasse au mieux les besoins en soins de la population régionale et que ces

---

<sup>5</sup> Pour une proposition de définition de cette notion, voir Chapitre 1.2

décisions viennent s'inscrire dans la politique sociale, économique et d'aménagement du territoire de la région

Depuis les années 60, de nombreux travaux concernant la recherche de méthodes d'aide à la planification sanitaire ont été réalisés dans des domaines aussi variés que la géographie, l'économie, la recherche opérationnelle et les mathématiques appliquées. L'évolution des méthodes de planification sanitaire a suivi celle des modèles et techniques en programmation mathématiques et en théorie de la décision. Les progrès réalisés depuis les premiers modèles de planification sanitaire s'observent tant au niveau de la formalisation du problème qu'au niveau du traitement des informations. Ces améliorations s'observent par le passage de la notion de solution optimale à celle de solution satisfaisante ; ce passage traduit la recherche d'une augmentation de la flexibilité et d'une plus grande implication du planificateur dans les différents choix.

L'évolution conjointe des méthodes de planification sanitaire et des modèles plus généraux, permet de regrouper les méthodes de planification sanitaire selon les types de modèles généraux auxquels elles se rattachent. Cinq types de modèles ont été distingués parmi ceux que nous avons étudiés :

- ✓ **les modèles géographiques**, qui utilisent des modèles de gravitation pour décrire de façon macro-économique les relations spatiales entre la demande ou les besoins en soins et l'offre ou la production de soins ; les objectifs poursuivis sont de simuler ou identifier le schéma de distribution de la demande le plus probable ;
- ✓ **les modèles de planification k-hiérarchiques**, qui relèvent de la programmation linéaire développées en recherche opérationnelle. Il s'agit dans ces modèles de rechercher un plan optimal, composé de plusieurs types de services qui satisfasse un ensemble de contraintes. Une partie de ces contraintes concerne la description des relations hiérarchiques entre les différents services à localiser ;
- ✓ **les modèles d'allocation de ressources multi-participants**. Ces modèles utilisent des techniques issues de la théorie de la décision, pour élaborer une solution de consensus ; ces modèles concernent l'allocation de ressources entre les différents agents ; ces derniers représentent les intérêts de chaque structure de production de soins, ou de chaque partie impliquée dans la production de soins ;
- ✓ **les modèles de planification par buts**, qui sont issus de travaux de recherche opérationnelle. Ils visent à intégrer de la flexibilité dans la formalisation du problème ; l'ensemble des contraintes est remplacé par un ensemble de buts dont on souhaite se rapprocher au mieux ;
- ✓ **les modèles hybrides**, qui font appel à différentes techniques pour formaliser la planification sanitaire ; il peut s'agir d'une composition de plusieurs modèles ou de plusieurs techniques.

La présentation des modèles généraux et de leurs applications dans le contexte de la planification sanitaire devance l'exposé détaillé de méthodes qui ont été appliquées à de réelles problèmes de planification sanitaire.

### 3.2 Les modèles géographiques

Dans les années quatre-vingt, des méthodes d'aide à la planification sanitaire ont utilisés des modèles de gravitation de type exponentiel, afin d'identifier les mouvements de la population vers les structures de soins. Le choix des modèles de gravitation peut se justifier par la simplicité de sa forme mathématique, la nature intuitive des hypothèses et sa capacité à refléter les échanges spatiaux réels. Ces modèles sont la traduction la plus simple de l'hypothèse de gravitation de base selon laquelle l'interaction entre deux « populations » est liée à l'attractivité de la destination et à la " propulsion " de l'origine ainsi qu'à la distance qui sépare les deux populations. Chacune des deux premières caractéristiques dépend de la taille des populations. La distance peut être aussi bien physique que culturelle, économique, ou politique par exemple.



Une présentation des modèles de gravitation de type exponentiel devance celle des applications en planification sanitaire. La méthode RAMOS est la première à utiliser un tel modèle pour décrire le mouvement des patients vers les différents services hospitaliers. Après la description de cette méthode, nous mentionnons les adaptations qui ont été proposées à partir de cette méthode.

### 3.2.1 Les modèles de gravitation de type exponentiel

Il existe de nombreuses théories qui permettent de construire les modèles de gravitation [SEN 1996], et en particulier ceux de type exponentiel. Cependant, seule l'approche proposée par Wilson a été utilisée lors de l'élaboration des méthodes d'aide à la planification sanitaire. Cette approche est fondée sur le concept d'équilibre développé en statistique mécanique. En effet, on remarque que, en partant de l'hypothèse d'indépendance statistique des décisions individuelles de mouvement, et de l'existence d'un seul facteur explicatif (le coût moyen d'interaction), le schéma global d'interaction peut être représenté par un modèle de gravitation de type exponentiel. Malgré l'aspect fortement simplificateur de ces hypothèses, ce type de modèle s'avère assez précis.

Dans le cadre de ce mémoire, nous nous sommes restreints à la description des modèles de gravitation de type exponentiel obtenus au moyen de l'approche proposée par Wilson<sup>6</sup>. Après l'introduction des notations et descriptions utiles, nous présentons les modèles de gravitation utilisés en planification sanitaire.

#### 3.2.1.1 Notations et définitions

Toute analyse d'interaction spatiale, et plus particulièrement de tout modèle de gravitation de type exponentiel, utilise une matrice origine-destination  $T$ . Cette matrice décrit l'ensemble des déplacements entre les  $m$  origines et les  $n$  destinations ; chaque coefficient  $T_{ij}$  de la matrice  $T$  mesure le flot entre l'origine  $i$  et la destination  $j$ . On note  $O_i$  la somme des flots d'origine  $i$ , et  $D_j$  la somme des flots arrivant à la destination  $j$ . A cette matrice  $T$  sont adjointes :

- ✓ une matrice  $C$  dont les éléments décrivent la distance qui sépare les origines des destinations ; En général, cette distance s'exprime en kilomètre, unité monétaire, ou temps.  $C$  est une matrice  $m \times n$  ; on note  $c_{ij}$  la distance entre l'origine  $i$  et la destination  $j$  ;
- ✓ un vecteur de dimension  $m$ , noté  $W$ , qui réunit les mesures de la propulsion des origines ;  $W_i$  est la propulsion de l'origine  $i$  ;
- ✓ un vecteur de dimension  $n$ , noté  $V$ , qui regroupe les variables d'attractivité de chaque destination ;  $V_j$  est l'attractivité de la destination  $j$ .

La tâche principale de l'analyste est de mettre en correspondance les déplacements de population observés, les déplacements décrits dans la matrice  $T$ , avec les variables explicatives relatives à la distance,  $C$ , à la propulsion,  $W$ , à l'attraction,  $V$ , et aux volumes des populations  $O_i$  et  $D_j$ .

#### 3.2.1.2 Formalisation des modèles

De façon générale, les modèles de gravitation de type exponentiel s'écrivent tous :

$$T_{ij} = A(i)B(j)\exp(-\beta c_{ij}),$$

avec  $A(i)$  et  $B(j)$  des fonctions de pondération, associées respectivement aux zones origines et aux zones destination. Ces fonctions ont pour paramètre des attributs relatifs à la localité à laquelle elles

<sup>6</sup> Pour une introduction plus complète et plus technique aux modèles de gravitation de type exponentiel, consulter l'ouvrage de Sen et Smith [SEN 1996] ; pour une présentation plus générale et moins technique des modèles d'interaction spatiale, voir le livre de Fortheringham et O'Kelly [FOTHERINGHAM 1989].

s'appliquent, comme la taille de la population par exemple.  $\beta$  est lui un paramètre positif qui reflète l'impact de la distance sur la réalisation des échanges. La valeur de ce paramètre est estimée à l'aide de méthodes de calibrage utilisant des données sur le fonctionnement passé du système.

La méthode proposée par Wilson pour estimer  $A(i)$  et  $B(j)$  consiste essentiellement à maximiser l'entropie du système formé par l'ensemble des échanges spatiaux<sup>7</sup>. Cette maximisation s'effectue sous une contrainte affectant le coût moyen des échanges dans le système. Deux autres types de contraintes peuvent aussi être ajoutées au problème fondamental d'optimisation que nous venons d'évoquer. Ces contraintes reflètent une connaissance sur le nombre de départs potentiels de chaque zone origine, soit les  $O_i$ , ou/et sur le nombre d'arrivées potentielles dans chaque zone destination, soit les  $D_j$ . En appliquant la méthode de Lagrange pour résoudre le problème d'optimisation,  $A(i)$  et  $B(j)$  sont identifiées aux multiplicateurs de Lagrange<sup>8</sup> et leur estimation est ainsi construite [SEN 1996].

L'ajout d'informations concernant soit les  $O_i$ , soit les  $D_j$ , modifient la forme générale des multiplicateurs de Lagrange, et donc des deux fonctions  $A(i)$  et  $B(j)$ . Une classification proposée par Wilson distingue quatre types de modèles de gravitation de type exponentiel :

- ✓ Les modèles non contraints sont utilisés quand aucune connaissance particulière sur le nombre global des départs de chaque zone origine et sur le nombre global des arrivées à chaque zone destination.
- ✓ Les modèles production-contrainte<sup>9</sup>, supposent l'intégration dans le modèle d'informations sur le nombre global de départs de chaque zone origine.
- ✓ Les modèles attraction-contrainte<sup>10</sup>, utilisent des données sur le nombre global d'arrivées à chaque zone destination.
- ✓ Les modèles doublement contraints<sup>11</sup> intègrent des informations à la fois sur le nombre des départs et le nombre d'arrivées dans chaque zone.

A cause de son manque d'intérêt pratique dû à la faible qualité des résultats qu'ils produisent [FOTHERINGHAM 1989], nous négligeons dans notre présentation les modèles non contraints. Ces derniers ne sont de plus pas utilisés en planification sanitaire, contrairement aux trois autres types de modèles.

### 3.2.1.2.1 *Le modèle « production contrainte »*

Lors de l'élaboration des modèles production-contrainte, on suppose que sont connus des estimateurs du nombre global des départs au niveau de chaque zone origine, soit des estimateurs de la valeur des  $O_i$  pour tout  $i$ , et que cette connaissance est indépendante des destinations. Afin d'intégrer ces informations dans l'estimation des  $T_{ij}$ , un ensemble de contraintes du type :

$$\sum_j T_{ij} = O_i, \forall i,$$

sont adjointes au problème fondamental d'optimisation. La résolution de ce problème enrichi conduit à la relation suivante :

$$T_{ij} = A_i O_i V_j \exp(-\beta c_{ij}), \forall i, \forall j,$$

<sup>7</sup> La mesure de l'entropie du système correspond à l'entropie associée à l'occurrence d'un déplacement. La présentation de cette mesure et l'exposé de sa construction dépasse largement le cadre de cette thèse. Nous renvoyons donc le lecteur intéressé à [FOTHERINGHAM 1989] et [SEN 1996].

<sup>8</sup> Pour un exemple détaillé de ces calculs voir [SEGALL 1989].

<sup>9</sup> Production-constrained models

<sup>10</sup> Attraction-constrained models.

<sup>11</sup> Doubly-constrained models

avec

$$A_i = [\sum_j V_j \exp(-\beta c_{ij})]^{-1}.$$

$A_i$  est un facteur qui contraint le modèle à reproduire le nombre global de départs estimés pour chaque origine. Il est souvent décrit comme un facteur d'équilibre dans la littérature traitant d'interaction spatiale.

Les modèles de production-contrainte sont largement utilisés dans les études de consommation, ils examinent en particulier les déplacements vers les établissements de vente au détail [FOTHERINGHAM 1989]. En fait, ces modèles, parce qu'ils n'imposent aucune contrainte sur le nombre d'arrivées dans chaque zone de destination, permettent d'appréhender l'activité au niveau de chacune de ces zones. Dans ce sens, il peut être qualifié de descriptif.

### 3.2.1.2.2 *Modèle « attraction contrainte »*

Les modèles attraction-contrainte peuvent être considérés comme « symétriques » des modèles production-contrainte. En effet, au lieu de supposer connu le nombre global de départs de chaque zone origine, on suppose disposer d'estimateurs du nombre d'arrivées à chaque zone de destination, indépendamment de leur origine. Le problème d'optimisation examiné est alors celui constitué par le problème fondamental d'optimisation enrichi des contraintes :

$$\sum_i T_{ij} = D_j, \forall j.$$

La relation résultant de l'optimisation de ce problème est :

$$T_{ij} = B_j D_j W_i \exp(-\beta c_{ij}), \forall i, \forall j,$$

avec

$$B_j = [\sum_i W_i \exp(-\beta c_{ij})].$$

Le facteur d'équilibre  $B_j$  intègre dans le modèle l'information relative au volume des arrivées à chaque zone destination  $j$ .

Les modèles attraction contrainte ont été appliqués par des entreprises américaines pour identifier les zones résidentielles dans lesquelles elles ont plutôt intérêt à choisir leurs employés ; le choix des zones est motivé entre autre par le niveau des taxes qu'elles doivent acquitter [FOTHERINGHAM 1989].

Ces modèles ont été aussi les premiers appliqués en planification sanitaire, ils permettent d'étudier l'activité au niveau des zones origine, par le fait qu'ils n'imposent aucune contrainte sur le volume des départs de chaque zone origine. Ce type de modèle est lui aussi descriptif.

### 3.2.1.2.3 *Modèle doublement contraints*

Ce type de modèle est dit doublement contraint par contraste avec les deux types de modèles présentés précédemment puisque sa construction suppose la connaissance d'estimateurs indépendants mesurant les  $O_i$  et les  $D_j$ . Cette différence confère aux modèles doublement contraints un caractère plutôt prédictif, alors que les modèles mono-contraints, les modèles production contrainte et attraction contrainte, sont classés parmi les modèles descriptifs.

Dans les modèles doublement contraints, la propulsion des zones origine et l'attraction des zones destinations sont considérées comme des données exogènes, et l'objectif réside dans l'allocation d'un nombre connu de flots ; ce nombre de flots est défini par les estimateurs des  $O_i$  et des  $D_j$ , afin de lier les zones origine et les zones destination. Ces modèles ne fournissent aucune explication sur ce qui rend une destination attractive ou sur ce qui motive l'échange. Le niveau de prédiction de ce type de modèles à l'intérieur de l'ensemble des contraintes est cependant relativement bon [FOTHERINGHAM 1989].

Comme dans les modèles précédents, les informations supplémentaires sur le nombre global de départs de chaque zone origine et le nombre global d'arrivées à chaque zone destination se traduisent par l'adjonction au problème d'optimisation de base de contraintes de la forme :

$$\sum_j T_j = O_i, \forall i,$$

et

$$\sum_i T_j = D_j, \forall j.$$

L'optimisation du système ainsi constitué mène à la relation ;

$$T_{ij} = A_i B_j O_i D_j \exp(-\beta c_{ij}), \forall i, \forall j,$$

$A_i$  et  $B_j$  sont les deux facteurs d'équilibre et s'écrivent pour tout  $i$  et  $j$  :

$$A_i = \left[ \sum_j V_j B_j D_j \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}$$

et

$$B_j = \left[ \sum_i W_i A_i O_i \exp(-\beta c_{ij}) \right]^{-1}$$

### 3.2.2 La méthode RAMOS

RAMOS (Resource Allocation Model Over Space) est un système descriptif dédié à l'aide à la planification sanitaire. Il est le fruit de la collaboration du service de recherche opérationnelle du département britannique de la santé et de la sécurité sociale et de l'I.I.A.S.A. (International Institute for Applied Systems Analysis). Ce travail fait suite à celui réalisé par le London Health Planning Consortium en 1979 sur les besoins de la population du Sud de l'Angleterre ainsi que de leur évolution [MAYHEW 1980a]. RAMOS a été développé pour explorer les conséquences sur les taux d'hospitalisation dus aux changements dans les habitudes de prise en charge des patients et dans le volume et la structure de la population ou du développement des moyens de transport. Ce dernier affecte l'accessibilité du réseau de production de soins.

D'un point de vue technique, RAMOS est un modèle de gravitation exponentiel "attraction contrainte" dédié à la planification sanitaire. Il décrit le flot attendu des patients dans le système régional de soins hospitaliers ; ces déplacements étant expliqués à l'aide de trois facteurs : la morbidité dans chaque zone origine, le volume des lits disponibles dans chaque hôpital et les difficultés géographiques liées à l'accès en temps de transport ou en distance.

Après la présentation du modèle mathématique utilisé par RAMOS, nous décrivons les méthodes d'estimation des différentes données, puis le fonctionnement de cette méthode.

#### 3.2.2.1 Modèle mathématique

La méthode RAMOS utilise un modèle de gravitation "attraction contrainte" pour décrire les mouvements de prise en charge des patients selon leur origine dans les différents établissements hospitaliers. On a donc :

$$T_{ij} = B_j D_j W_i \exp(-\beta c_{ij}) ;$$

avec,

$T_{ij}$  : le flot des patients de la zone de résidence  $i$  traités dans la zone de traitement  $j$  ;

$D_j$  : la capacité en  $j$ , en terme de nombre de cas pouvant être traités dans une spécialité ou groupe de spécialités ;

$W_i$  : Capacité potentielle de la zone  $i$  à générer de la demande en soins. le taux de morbidité dans la zone  $i$  pour la spécialité ou groupe de spécialités étudié(e) ;

$c_{ij}$  : le coût-temps ou la distance du trajet à faire entre  $i$  et  $j$  ;

$B_j$  : un facteur de normalisation ;  $B_j = [\sum_i W_i \exp(-\beta c_{ij})]^{-1}$ .

Ce facteur de normalisation assure que la contrainte  $\sum_i T_{ij} = D_j$  est vérifiée. Cette contrainte impose que les flots issus de tout  $i$  et joignant  $j$  soient égaux à la capacité de l'hôpital ou service situé en  $j$ . En comparant les volumes de patients pris en charge calculés par le modèle et le volume de demande prévue, une mesure de la performance peut être réalisée et les inégalités dans l'accès aux soins peuvent être identifiées.  $\beta$  est le seul paramètre à calibrer.

### 3.2.2.2 L'estimation des données

Il existe trois types principaux de données utilisées dans les applications de RAMOS : le volume des ressources disponibles, les besoins de la population et les coûts d'accès. Chacune de ces données doit être estimées.

#### 3.2.2.2.1 Les ressources disponibles

Plusieurs méthodes sont proposées pour mesurer le volume de ressources disponibles dans un hôpital. La première identifie ce volume à la somme des prises en charge enregistrées dans cet hôpital [MAYHEW 1980a]. Mayhew [MAYHEW 1980b] propose d'affiner cette mesure en introduisant la notion de volume potentiel de prise en charge. Le calcul de ce volume met en relation le nombre de cas traités dans la spécialité au moment  $t$ , le nombre de lits disponibles, la durée de séjour moyen et l'intervalle de temps nécessaire à la mise en disponibilité des lits entre deux prises en charge. Ces deux dernières données sont estimées à partir de résultats nationaux. Le calcul s'effectue au moyen de la formule suivante, à partir de données collectées sur une même année.

$$D_j = 365 \sum_m \frac{B_{jm}}{(l_m + t_m)},$$

avec,

$B_{jm}$  : le nombre de lits en spécialité  $m$  disponibles dans la zone  $j$  ;

$l_m$  : la longueur du séjour moyen entre une admission et une sortie pour la spécialité  $m$  en nombre de jour ;

$t_m$  : le temps moyen nécessaire de préparation entre une sortie et une nouvelle admission pour la spécialité  $m$  en nombre de jour.

#### 3.2.2.2.2 Le potentiel d'une zone à générer de la demande

Le potentiel d'une zone à générer de la demande est assimilé à la morbidité dans la population de cette zone. L'estimation de la morbidité dans une zone s'effectue, dans le modèle proposé, en appliquant les taux d'hospitalisation nationaux par classe d'âge et sexe à la structure par âge et sexe de la population de la zone, soit :

$$W_i = \sum_m \sum_l P_{il} U_{lm},$$

avec,

$P_l$  : le volume de la population résidant dans la zone  $i$  pour la catégorie âge/sexe notée  $l$ ,

$U_{lm}$  : le taux d'hospitalisation national dans la catégorie âge/sexes  $l$  pour la spécialité  $m$ .

### 3.2.2.2.3 Les coûts de transport

Dans le modèle RAMOS, le coût de transport mesure l'accessibilité du système de soins pour une population. Deux propositions sont faites pour évaluer le coût relatif à l'accès aux soins [MAYHEW 1980a].

La première consiste à identifier ce coût à la distance euclidienne séparant le « centre » de la zone origine et le « centre » de la zone destination. Pour affiner cette mesure, une pondération est appliquée à la partie de trajet effectuée en zone urbaine et à la partie du trajet effectué en zone non-urbaine.

La seconde proposition s'appuie sur la dimension temporelle du déplacement. L'accès au système de soins est d'autant meilleur que le temps mis pour se rendre à l'hôpital est court. Les données utilisées pour estimer le temps d'accès aux soins sont issues d'une étude de 1972 menée par le Greater London Council sur les temps de transport inter-district, avec un véhicule privé ou transport en commun. Ces données ont été appliquées à une segmentation de la population selon le type de transport utilisé.

### 3.2.2.3 Fonctionnement de RAMOS

RAMOS opère en deux étapes. La première étape consiste à calibrer le paramètre  $\beta$ . Cette opération s'effectue à partir de données historiques. Elle calcule la valeur des paramètres du modèle qui permettent d'approcher au mieux les valeurs des flux de patients et des taux d'hospitalisation, c'est à dire qui soit le plus proche possible des valeurs observées dans le passé. La seconde étape est une étape de prévision ; elle estime les conséquences sur les flux et taux d'hospitalisation des changements de valeurs des variables en supposant la valeur du paramètre  $\beta$  constante.

#### 3.2.2.3.1 Calibrage du paramètre

Le calibrage du paramètre  $\beta$  consiste à évaluer le paramètre  $\beta$  de telle sorte que le flot des patients  $T_j$  prévu par la formule soit le plus proche possible du flux observé  $N_{ij}$ . L'estimation du paramètre s'effectue en utilisant une série de données sur plusieurs années sur un échantillon de zones de la région étudiée. La méthode retenue, après plusieurs tests, est fondée sur le calcul du coefficient de la droite de régression des flux prédits par le modèle sur les flux observés. Cette méthode recherche la valeur du paramètre qui permettra d'obtenir un coefficient égal à 1, ce qui signifie que les flux prédits par le modèle sont identiques aux flux observés. Ce coefficient correspond au ratio entre la covariance entre les observations et les données calculées et la variance empirique [TOMASSONE 1992]. Ce qui s'écrit :

$$b = \frac{\sum_{i,j} N_{ij} T_{ij} - \frac{\sum_{i,j} N_{ij} \sum_{i,j} T_{ij}}{n}}{\sum_{i,j} N_{ij}^2 - \frac{(\sum_{i,j} N_{ij})^2}{n}},$$

avec,

$b$  : le coefficient de la droite de régression des flux prédits par le modèle sur les flux observés,

$n$  : le nombre de zones productrices de soins,

$N_{ij}$  : le flux observé des patients entre la zone  $i$  et la zone  $j$ ,

$T_{ij}$  : le flux prédit par le modèle entre la zone  $i$  et la zone  $j$ .

### 3.2.2.3.2 *Mode de prévision*

A l'issue du calibrage de  $\beta$ , le décideur peut faire varier les niveaux de ressources de chaque hôpital. La méthode effectue alors les prévisions concernant les conséquences de ces changements sur les flux des patients, sous l'hypothèse de l'invariance du paramètre dans le temps.

### 3.2.3 *Autres applications des modèles de gravitation en planification sanitaire*

A la suite de ce travail, Segall [SEGALL 1992] a proposé une extension de cette méthode, DRAMOS (Disaggregated Resource Allocation Model Over Space). Cette méthode considère le cas où les ressources sont utilisées par plusieurs catégories de patients. Un modèle de gravitation de type exponentiel est associé à chaque catégorie de patients, et la solution optimale est celle qui minimise une fonction non linéaire qui mesure la différence entre la fonction utilité pour la production et la fonction utilité pour la demande. Segall a construit deux modèles : le premier utilise des modèles de gravitation attraction-contrainte, le second des modèles de gravitation production-contrainte. Il a illustré la première méthode sur des données concernant l'utilisation du système hospitalier du Massachusetts [SEGALL 1992].

D'autres méthodes d'aide à la planification sanitaire utilisant des modèles de gravitation ont été élaborés. Mayhew et Taket ont proposé un modèle production-contrainte que Segall [SEGALL 1989] a étendu en incluant la notion de capacité utilisée et non utilisée ; la fonction objectif qu'il cherche alors à minimiser est à la fois la demande totale non prise en compte et la capacité non utilisée sur tout le système. De même, Mayhew [MAYHEW 1980b] utilise un modèle de gravitation doublement contraint pour construire une méthode de planification stratégique ; RAMOS<sup>1</sup>. Dans cette méthode, l'utilisateur indique, pour chaque site offrant des soins, la fourchette dans laquelle le volume des ressources disponibles varie, et celle dans laquelle la demande potentielle en chaque point évolue. Le modèle de gravitation fournit ensuite le schéma d'interaction spatiale « le plus probable » qui correspond à la situation décrite par l'utilisateur.

### 3.2.4 *Conclusion*

De façon générale, les modèles de gravitation estiment relativement bien les mouvements des populations dans l'espace, malgré leur simplicité. En effet, seulement trois types de variables explicatives sont considérées dans la description de ces mouvements : la propulsion de chaque zone origine, l'attraction des zones destination et la distance. La principale difficulté de ces modèles réside dans l'identification et le choix des variables décrivant la propension du phénomène observé, ainsi que dans la précision des mesures qui leur sont associées.

La politique décrite par le système RAMOS correspond à une politique de répartition des prises en charge possibles et existantes (ce nombre de prise en charge est désigné par les capacités de prise en charge des établissements hospitaliers), afin que ces prises en charge soient le moins coûteuses possible en terme de transport. Comme pour tout modèle de gravitation, l'élaboration du modèle, utilisé dans la méthode RAMOS, est soumis à l'existence de données sur la morbidité dans chaque zone géographique, et à la disponibilité des données sur l'origine géographique des patients pris en charge dans chaque établissement, sur un nombre de période important pour un sous-ensemble de zones (pour calibrer le paramètre  $\beta$ , le coût et les capacités de prise en charge).

L'hypothèse de stabilité du paramètre  $\beta$ , paramètre qui peut être considéré comme mesurant l'impact de l'environnement sur la perception de la distance, ne permet pas d'utiliser le modèle lorsque:

- ✓ des changements environnementaux influant les déplacements sont importants,

- ✓ des modifications sont enregistrées au niveau de la nature et l'intensité des relations entre les différentes composantes.

En effet, Mayhew et Taket [MAYHEW 1980a] ont remarqué que le modèle RAMOS ne permettait pas de prédire de manière précise les flots des patients lorsqu'un changement important (la construction d'un nouvel hôpital par exemple) s'effectue. Par extension, on peut effectuer la même remarque aux autres méthodes de planification sanitaire utilisant les modèles de gravitation.

### 3.3 Les modèles de planification *k*-hiérarchiques

De très nombreux modèles traitant de l'accessibilité et de la localisation-allocation ont été proposés dans la littérature consacrée à la programmation linéaire. Les bibliographies extensives [TANSEL 1983], [BRANDEAU 1989], au moins 13 livres entre 1980 et 1996, au moins trois revues consacrées à ce seul sujet (Location Science, Transportation Science, Studies in Locational Analysis) en plus des revues de Recherche Opérationnelle, montre combien la recherche est intense et prolifique dans ce domaine.

Malgré la prédominance, dans la réalité, du nombre de systèmes de production constitués de plusieurs types distincts de structures, la littérature concernant les problèmes de localisation-allocation pour les systèmes hiérarchiques n'est pas très importante [NARULA 1984] ; très peu de chercheurs ont publié dans ce domaine, parmi eux citons [CALVO 1973], [DÖCKMECI 1973], [SCHULTZ 1970], [NARULA 1984]. En fait, l'essentiel de l'effort de recherche est fait pour le cas particulier où le système est composé de structures équivalentes ou identiques.

Même si peu de travaux traitent des problèmes de localisation-allocation dans les systèmes composés de plusieurs types de structures, la majorité d'entre eux a été initié par une étude du système curatif de santé [NARULA 1984]. Cette tendance forte a pour origine les travaux de Llewelyn et Macaulay et ceux de Reutstein [CALVO 1973], [SCHULTZ 1970], dans lesquels une forme théorique idéale du système de santé ainsi que les relations entre les différentes structures de soins le constituant est définie de façon précise. Les modèles élaborés sont appelés "modèles de planification *k*-hiérarchiques", avec *k* le nombre de structures différentes présentes dans le système.

On distingue deux types d'application pour ces modèles : l'organisation des systèmes d'intervention d'urgence et la gestion globale du système de santé. Tous les modèles proposés se placent dans le contexte d'un système de soins inexistant. Préalablement à l'exposé de ces applications, nous définissons le problème général de la localisation-allocation dans les systèmes *k*-hiérarchiques et établissons les différentes versions de ces problèmes.

#### 3.3.1 *Le modèle de planification k-hiérarchique*

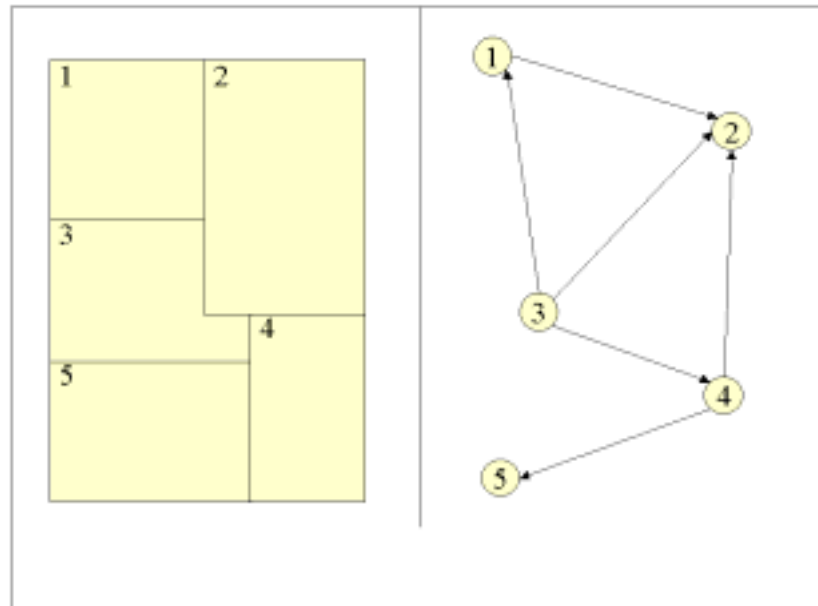
Nous abordons le problème de la planification en faisant référence à un graphe orienté. On considère un ensemble  $N$  de  $n$  sommets auxquels sont associés des poids  $W_i$ ,  $i$  variant de 1 à  $n$ . La correspondance entre un graphe et un problème de localisation-allocation est que les sommets correspondent aux localisations de la demande, les poids à l'importance de la demande ; chaque nœud est candidat à la localisation d'une structure d'offre de soins. Les arcs joignant deux sommets, représentent les déplacements possibles de patients entre deux localisations ; le sens de l'arc indique le sens du déplacement.

Dans le cas du système régional de santé, la région est découpée en zones. Dans chaque zone, on associe, pour chaque type de structure, le volume de patients susceptible d'avoir besoin de soins. Le graphe associé est alors composé d'autant de sommets que de zones dans la région, le poids associé à chaque sommet correspond au volume de la demande prévue dans la zone associée. Les arcs représentent les déplacements possibles de patients entre deux zones.

La Figure 2 représente un exemple de représentation d'une région fictive sous la forme d'un graphe. La région est découpée en cinq zones, et les déplacements potentiels des patients d'une zone vers une autre pour recevoir leurs soins est figurée par les arcs dans le graphe.



Dans un système  $k$ -hiérarchique, il est important de décrire les relations existantes entre les différents types de structures - la hiérarchie des structures. Cette description nécessite la précision de la notion de flot. Le terme de flot traduit le phénomène de déplacement entre deux localisations (sommets). Ainsi le nombre de patients résidant dans une localité et dont l'hospitalisation s'effectue dans une autre localité est un flot.



**Figure 2: Représentation d'une région sous forme d'un graphe**

Dans la suite, nous supposons les structures organisées de telle sorte que le flux des patients se déplace des structures de niveau le plus bas au niveau le plus haut. Le niveau zéro est associé aux sommets pour lesquels aucune installation de structure n'est envisageable, le niveau 1 est associé aux structures composant la base de la hiérarchie, le niveau supérieur rassemble les structures du niveau hiérarchique supérieur, etc. Un flot discriminant est alors défini. Dans un tel graphe, les déplacements de patients s'effectuent toujours vers un niveau supérieur à leur niveau d'origine. Pour assurer l'accès aux soins à tous les membres de la population, aucun des nœuds (sommets) du graphe n'est isolé ; le graphe doit donc être connexe, c'est à dire qu'il n'est constitué que d'une seule composante.

La définition et la description des types de hiérarchies les plus étudiées font l'objet du second paragraphe. Elle est précédée de la présentation de la formulation mathématique générale du système. Lors de cette présentation, nous nous sommes particulièrement inspirés du travail de Tien, El-Tell et Gene [TIEN 1983].

### 3.3.1.1 Le programme mathématique

La traduction mathématique du phénomène décrit par le graphe s'effectue par un modèle de programmation en 0-1. On suppose que le nombre de sommets dans le graphe est  $n$ , que le nombre de niveaux dans le système est  $k$ , et que le nombre de structures à implanter au niveau  $m$  est  $p_m$  ( $m$  compris entre 1 et  $k$ ).

Un problème  $k$ -hiérarchique peut être posé dans ce cas comme : déterminer la localisation-allocation pour  $p_m$  structures de types  $m$  ( $m$  variant de 1 à  $k$ ), parmi  $n$  sites possibles de localisation en optimisant un certain critère.

Formellement, ceci se traduit par le programme présenté à la suite de la définition des variables et constantes.

### 3.3.1.1.1 Les variables et constantes

$$x_{ijm} \begin{cases} 1, \text{ si les individus résidant en } i \ (i = 1, 2, \dots, n) \text{ nécessitent une prise en charge en } j \ (j = 1, 2, \dots, n) \\ \text{où une structure de type } m \text{ est situé,} \\ 0, \text{ si une telle affectation n'est pas prévue;} \end{cases}$$

$a_{im}$  : nombre d'individus qui résident en  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) et qui nécessitent des soins fournis dans une structure de type  $m$  ;

$d_{ij}$  : distance entre les localisations  $i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) et  $j$  ( $j = 1, 2, \dots, n$ ) ;

### 3.3.1.1.2 Le programme mathématique

$$\sum_{j=1}^n x_{ijm} = 1, \text{ pour } i \in \{1, 2, \dots, n\}, \text{ et } m \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (1)$$

$$x_{jjm} \geq x_{ijm}, \text{ pour } i \in \{1, 2, \dots, n\}, j \in \{1, 2, \dots, n\}, m \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{jjm} \leq p_m, m \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (3)$$

La première contrainte assure que tout site de résidence est rattaché à un et un seul site pourvoyeur de soins. En d'autres mots, tous les patients résidant dans une même localité reçoivent leurs soins au même endroit ; cette contrainte interdit la prise en charge de patient d'une même origine géographique sur plusieurs sites. La deuxième contrainte indique que l'affectation de la demande d'un site à un autre est soumise à la localisation d'un service dans ce site. La dernière indique que le nombre de services localisés pour chaque niveau ne doit pas dépasser le nombre maximal autorisé.

Si  $k=1$ , c'est à dire que les structures à localiser sont d'un seul type, alors on retrouve :

- ✓ un problème  $p$ -médian, si l'objectif est de minimiser la distance totale parcourue par les patients, ce qui se formalise par  $\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \sum_{m=1}^k a_{im} x_{ijm}$  ;
- ✓ un problème  $p$ -central, s'il s'agit de minimiser, dans la région étudiée, la plus grande distance séparant une zone d'une structure de soins ; cette distance est souvent pondérée par le nombre de patients qui résident dans cette zone. Ceci s'écrit  $\min (\max_{i,j,m} a_{im} x_{ijm} d_{ij})$ .

Dans la littérature, le critère visant à minimiser la somme des distances est le plus souvent utilisé quand  $k$  est supérieur ou égal à 2 ; Le problème utilisant l'autre critère est relativement difficile à formuler [NARULA 1984].

### 3.3.1.2 Les différents types de hiérarchies

Dans les systèmes  $k$ -hiérarchiques, la spécification des relations existantes entre les différents types de structures - la hiérarchie entre les structures - est une étape importante de la modélisation. Deux types de hiérarchie entre structures ont été particulièrement étudiées ; le premier concerne les relations hiérarchiques successivement inclusives et le second celles successivement exclusives.

#### 3.3.1.2.1 La hiérarchie successivement inclusive

Schultz [SCHULTZ 1970] définit la hiérarchie comme étant successivement inclusive si un type de structure  $m$  ( $m$  variant de 1 à  $k$ ) offre les services d'ordre 1 à  $m$ . Le système de soins tel que défini par Llewelyn et Macaulay [CALVO 1973] constitue une très bonne illustration de ce type de hiérarchie comme nous le verrons par la suite. Il peut aussi s'appliquer au système bancaire, au système postal ou au système scolaire.

Les relations entre les structures sont formalisées à l'aide de la contrainte (3a) qui remplace dans le modèle général la contrainte (3) [TIEN 1983].

$$\sum_{j=1}^n x_{jjm} = \sum_{r=m}^k p_r, \quad m \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (3a)$$

Cette contrainte assure que toutes les demandes en soins de type  $m$  sont prises en charge par une structure de type  $m$  ou supérieur ; c'est à dire que tout site abritant un service de type  $k$  abrite tous les services de type inférieur.

Il existe une autre formulation plus ancienne [CALVO 1973] qui longtemps fut considérée comme la formulation de ces relations hiérarchiques. Tien et col. [TIEN 1983] ont montré que cette formulation correspond plutôt à des relations localement inclusives, c'est à dire qu'un site abritant un service de type  $m$  propose tous ses services (1 à  $m$ ) à la population située dans son voisinage. Seul le service de niveau  $m$  est accessible à la population extérieure à ce voisinage. Le voisinage est ici défini par un nœud.

En posant  $K_l$ , le type de structure établi en  $l$ , ces relations sont décrites par l'introduction des contraintes (1a) et (1b) à la place de la contrainte (1) dans le programme général. La contrainte (1b) traduit le fait que si un service de niveau  $K_l$  est situé en  $l$ , alors tous les patients résidant en  $l$  sont pris en charge dans le service situé en  $l$ . La contrainte (1a) indique que pour tout type de service supérieur à  $l$ , la population résidant en  $l$  est dirigée vers une autre localisation.

$$\sum_{j=1}^n x_{ljm} = 1, \text{ si } x_{llK_l} > 0, \text{ pour } l \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ et } K_l < m \leq k \quad (1a)$$

$$\sum_{m=1}^{K_l} \sum_{j=1}^n x_{ljm} = 1, \text{ si } x_{llK_l} > 0 \text{ et } l \in \{1, 2, \dots, n\} \quad (1b)$$

Ce programme mathématique est difficile à résoudre à cause de la présence du  $K_l$  qui n'est connu qu'à l'issue de la résolution du programme. Cependant, cette hiérarchie reflète de nombreuses situations réelles. Tien et col. [TIEN 1983] proposent une méthode heuristique pour résoudre ce programme. Cette dernière consiste à calculer une solution en décomposant le problème de localisation  $k$  - hiérarchique en  $k$  problèmes de localisation de structures identiques. Ces  $k$  problèmes sont alors résolus de manière itérative selon une procédure ascendante.

Lors de cette procédure, on commence par placer les structures de niveau le plus bas. Puis, en restreignant les possibilités de localisation aux sites sélectionnés lors de l'étape précédente, on résout le programme associé au type de structures de niveau juste supérieur. L'opération est répétée pour le niveau de structure supérieur, etc.. La procédure s'arrête lorsque toutes les structures sont localisées.

### 3.3.1.2.2 *La hiérarchie successivement exclusive*

Dans une hiérarchie de structures successivement exclusive une structure de type  $m$  n'offre des services qu'à ce niveau.

$$\sum_{s=1}^m x_{ijs} \leq 1, \text{ pour } i \in \{1, 2, \dots, n\} \text{ et } j \in \{1, 2, \dots, n\}, m \in \{1, 2, \dots, k\} \quad (1c)$$

La contrainte (1c) qui remplace la contrainte (1) dans le programme général assure que les structures de type  $k$  ne prennent en charge que les patients nécessitant des soins de type  $k$ .

## 3.3.2 *Application aux systèmes d'intervention d'urgence*

La mise en place d'un système de services d'urgence a fait l'objet de nombreux travaux [REVELLE 1977] et reste un problème d'actualité. Cet intérêt est certainement dû à la nature du problème ; l'aspect technique du problème prime sur tous les autres aspects, et le problème revient à trouver une couverture optimale de la population. Il s'agit donc de couvrir une zone géographique ou une

population de manière la plus complète possible en localisant un ensemble fini de services d'urgence médicalisée, tous identiques ou équivalents.

La modélisation de l'organisation du système médicalisé des urgences s'effectue dans deux contextes différents que nous détaillons dans ce qui suit.

### **3.3.2.1 Ressources illimitées**

Dans le contexte de ressources illimitées, une seule stratégie existe. Il s'agit de déterminer le nombre et la localisation des services d'urgence composant le système qui, à un moindre coût, permet à tout membre de la population d'accéder à un service situé à au plus un certain nombre de kilomètres ou d'heures du service le plus proche ; cette distance décrit le rayon d'action du service [CHURCH 1973]. Le coût est associé au nombre de services localisés, et donc l'objectif correspond à une minimisation de la somme des services localisés.

### **3.3.2.2 Ressources limitées**

Organiser le système médicalisé des services d'urgence dans le cadre de ressources limitées semble être plus adapté au problème réel. Le plus souvent ceci se formalise par un nombre limité de services à localiser ; on peut cependant modéliser cette limitation par l'intermédiaire d'autres ressources comme la ressource financière. Deux stratégies sont identifiées lors de la localisation de ces services.

La première stratégie consiste à minimiser la distance (en temps ou en kilomètres) la plus grande qui sépare les résidents de la région du service d'urgence le plus proche. Cet objectif correspond au concept de distance maximale au service [CHURCH 1973]. Dans ce cas, le modèle adopté est un modèle  $p$ -central de localisation.

La seconde stratégie vise à implanter les services afin que le pourcentage de la population à moins de  $S$  heures ou kilomètres d'un service soit maximal. Afin de limiter l'isolation des populations qui ne sont pas couvertes par le système mis en place, une modification de ce problème est proposé. A la distance  $S$  est adjointe une distance  $T$  ; la valeur de  $T$  étant supérieure à celle  $S$ .  $T$  désigne la distance au de là de laquelle il est inacceptable de trouver des résidents non couverts par le système de soins. Le problème se traduit alors par la recherche d'un système médicalisé d'urgence qui prenne en charge l'ensemble des résidents d'une région, ces derniers n'étant jamais éloignés de plus de  $T$  heures ou kilomètres d'un service d'urgence. Ce système maximise sous cette condition le pourcentage de la population résidant à moins de  $S$  heures ou kilomètres d'un service d'urgence [Church 1973].

Church [CHURCH 1973] et Schultz [SCHULTZ 1970] proposent d'appliquer ces stratégies plusieurs fois en faisant varier le nombre de services à implanter, et ainsi de construire une courbe qui permette d'identifier le nombre adéquat de services à localiser. Church cite l'exemple d'une région pour laquelle un système de cinq services permet de couvrir 80% de la population ; et seul un système de 10 services permet de couvrir entièrement le territoire.

### **3.3.3 Application à la gestion du système de soins**

Dans les années soixante-dix, les chercheurs et experts en santé publique se sont plus particulièrement intéressés au système formé par l'ensemble des structures productrices de soins. Après avoir constaté que la hiérarchie qui existe entre ces structures ne formait pas un système bien coordonné, mais plutôt un rassemblement d'établissements, où chacun était plus préoccupé par son fonctionnement interne que par les développements extérieurs, ils se sont interrogés sur ce que devrait être l'organisation de ces structures afin que le système fonctionne de manière optimale. Pour répondre à cette interrogation, ils ont proposé des schémas de fonctionnement hiérarchique permettant de mieux coordonner l'entité et de favoriser la coopération, pour fournir à la population des soins de meilleure qualité [CALVO 1973].

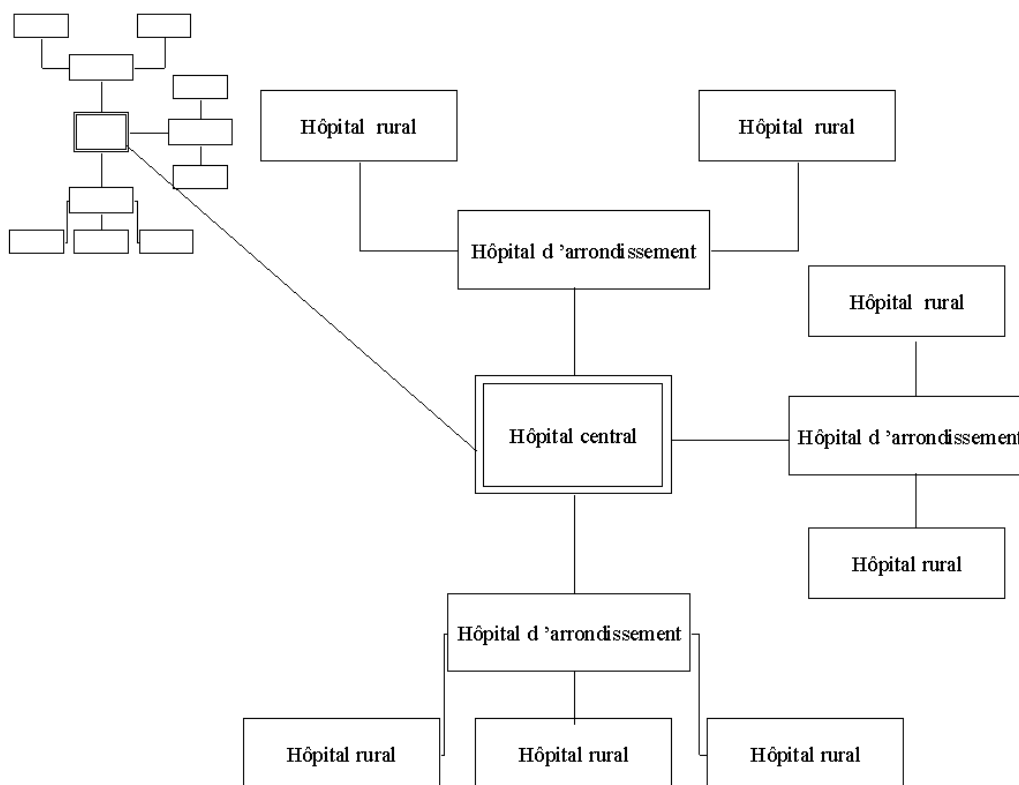
Tien et col. [TIEN 1983] se sont intéressés à la formalisation des relations entre différents services dans le problème de localisation-allocation de ressources sanitaires. Ils n'ont pas été les premiers à se soucier de ce problème de représentation des relations entre différents services. Avant eux, A. B.

Calvo et D. H. Marks [CALVO 1973] et V. F. Döckmeci [DÖCKMECI 1973], entre autres, l'ont aussi étudié. L'hypothèse la plus répandue quant à la forme de la hiérarchie existant entre plusieurs types de services est qu'elle est successivement inclusive [SCHULTZ 1970].

Les propositions de fonctionnement optimal du système hospitalier, ainsi que leur modélisation occupent la première partie de cette présentation. Dans la seconde partie, nous présentons brièvement une hiérarchie plus complexe, étudiée par Tien et El-Tell [TIEN 1984]. Elle formalise les relations existantes entre les différents centres de soins primaires dans les pays sous-développés. Ce travail a fait l'objet d'une application pour l'organisation du système de soins dans une région Jordanienne.

### 3.3.3.1 La hiérarchie du système de soins « idéal »

En Angleterre, en 1966, Llewelyn et Macaulay ont proposé un système régional de soins comme celui décrit par le schéma Figure 3. Celui proposé par Reutstein en 1971 est similaire [Calvo 1973]. Ce système est composé de trois types de structures et est organisé de manière pyramidale.



**Figure 3 : Système de soins hospitaliers.**

Au sommet de la pyramide sont les hôpitaux régionaux. Ces structures proposent un large éventail de soins, des plus spécialisés aux plus courants. Il peut exister des relations entre différents hôpitaux régionaux pour certaines spécialités. Au niveau inférieur sont les hôpitaux d'arrondissement ; chacun dépend d'un seul hôpital régional. Ces hôpitaux prennent en charge des patients ne nécessitant pas de soins très spécialisés, qui requièrent ou non une certaine technicité. Enfin, les hôpitaux ruraux forment la base de la pyramide. Ils fournissent principalement des soins généraux courants. Les relations indiquent non seulement la dépendance des différentes structures entre elles, mais aussi celle de leurs patients.

Les populations résidant à proximité d'un hôpital régional y reçoivent tous leurs soins. Les populations proches d'un hôpital d'arrondissement y reçoivent tous les soins non spécialisés ; les soins spécialisés leur sont fournis par l'hôpital régional dont dépend l'hôpital d'arrondissement qu'elles fréquentent. De manière identique, les populations desservies par un hôpital rural, sont prises en

charge par l'hôpital d'arrondissement dont l'hôpital rural dépend pour les soins non spécialisés qui ne sont pas pris en charge par l'hôpital rural. Pour les soins spécialisés, ces populations ont recours aux soins dispensés par l'hôpital régional qui contrôle l'hôpital d'arrondissement.

Ces représentations hiérarchiques ont initié des travaux de modélisation mathématiques [CALVO 1973], [DÖCKMECI 1972]. Ces modélisations ayant pour objectif de fournir aux planificateurs en santé un outil leur permettant de fonder leurs décisions sur une méthode rationnelle [SCHULTZ 1970]. La formulation mathématique associée à ces représentations du système de soins correspond à un programme de localisation  $k$  - hiérarchique successivement inclusive.

L'organisation proposée par Reutstein [CALVO 1973] diffère un peu dans le rôle que ce dernier attribue aux structures à la base de la pyramide. Ces structures agissent comme des portes d'entrée pour le système. Elles contrôlent l'accès aux hôpitaux de niveau supérieur, et prodiguent des soins généraux courants.

### 3.3.3.2 Un modèle quasi-hiérarchique

Tien et El-Tell [TIEN 1984] ont étudié les systèmes de soins primaires dans les pays sous-développés. Le système de soins primaires regroupe les services de prévention et de premiers soins. Ces services sont dispensés par les cliniques de villages et les centres de soins. Les relations liant ces services entre eux sont plus complexes que les relations hiérarchiques présentées dans les modèles des paragraphes précédents. ces relations sont essentiellement liées à des relations "géographiques" puisque fortement dépendantes de la distance. Dans les pays sous-développés, en raison de la carence en personnel qualifié, l'organisation des différents centres de soins et cliniques de village ne dépend pas uniquement du rattachement de villages à des dispensaires et d'un ou plusieurs dispensaires à un centre de soins ; elle dépend aussi de la possibilité pour le médecin affecté à un centre de soins d'effectuer quotidiennement une visite dans chacun des dispensaires dépendants du centre.

La formulation que propose Tien et col. pour représenter les relations essaie de prendre en compte à la fois l'accessibilité et la disponibilité des différentes composantes. Le modèle proposé est composé de trois ensembles de variables de décision et d'un ensemble contraintes. Les trois ensembles de variables de décision regroupent les trois ensembles de rattachements ou allocations possibles: le rattachement de la demande d'un village aux cliniques de villages, le rattachement de la demande d'un village aux centres de soins, et le rattachement de cliniques de villages aux centres de soins. Les premières contraintes correspondent à deux programmes de base de localisation-allocation. Le premier programme est lié à la localisation des cliniques de village, et à l'affectation des villages à ces cliniques. Le second est lié à la localisation des centres de soins, et à l'affectation des villages et des cliniques. Une contrainte assure que tout village est rattaché soit à une clinique, soit à un centre de soins, les deux services n'étant pas situés au même endroit. Enfin, une contrainte traite de la possibilité pour chaque médecin d'effectuer une tournée quotidienne des cliniques rattachées à leur centre de soins. Pour résoudre ce programme, Tien et col. proposent deux techniques différentes selon que le système de soins doit être entièrement créé ou simplement réorganisé. Dans le cas où le système de soins doit être entièrement créé, ils proposent de traiter le programme sans tenir compte des contraintes liées aux tournées des médecins ; la solution ainsi calculée est confrontée aux contraintes préalablement écartées. Si cette solution ne s'avère pas satisfaisante, une autre solution est recherchée. Le processus est itéré jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit obtenue. Si le système doit simplement être réorganisé, le programme est traité dans son intégralité. Dans chacun de ces cas, toute technique de résolution de problème d'optimisation entière peut être utilisée. Tien et col. ont appliqué ce modèle à la réorganisation du système de soins primaires du district de Mafraq en Jordanie.

### 3.3.4 Conclusion

Nous avançons deux remarques sur l'application de modèles  $k$ -hiérarchiques à la planification sanitaire. La première concerne leur faculté à décrire les relations d'un système de soins hospitaliers et ses objectifs ; la seconde leur adaptation possible au problème réel.

L'application de modèles  $k$ -hiérarchiques dans le cas de la gestion de l'ensemble du réseau de soins hospitaliers, comme certains travaux le propose, ne semble pas adaptée. En effet, en définissant de façon précise les relations de coopération entre les différents établissements, ces modèles ne sont pas compatibles avec la notion de liberté de prescription des médecins et ni avec celle de liberté des patients à choisir leur lieu d'hospitalisation. De plus, les réseaux de soins, dont on observe la mise en place depuis quelques années [VALETTE 1996], ne réfèrent pas à une politique homogène de coopération ni à une logique rigoureuse ; l'élaboration de ces réseaux est plus le fait d'accords tacites entre les différents gestionnaires des établissements. Cette absence de règles ne permet pas l'utilisation de modèles généraux ; l'utilisation de ces modèles est soumise à l'existence de relations bien définies, stables et homogène entre les différents types d'établissements à localiser. Il est important de noter que, dans la majorité des cas, la notion d'accessibilité des services hospitaliers n'est pas seulement liée à celle de distance physique, mesurée en temps ou en kilomètres, mais aussi à des notions plus subjectives comme la qualité des soins [FORTHERRINGHAM 1989].

Malgré les limites que rencontrent ces modèles pour représenter les relations complexes qui existent dans le système réel, il existe des cas qui se prête à l'utilisation d'une telle modélisation. Ce sont les cas où pour des raisons d'efficacité et d'efficience, les contraintes liées à la distance sont prépondérantes. Elles sont souvent édictées par des règlements qui reflètent les limites des techniques disponibles. Ces modèles sont donc particulièrement bien adaptés à la gestion des systèmes d'intervention d'urgence et dans une moindre mesure à l'organisation du réseau des maternités ; dans ce dernier exemple, le modèle doit être enrichi notamment dans la définition de l'accessibilité.

Les techniques utilisées pour résoudre les modèles proposés, de part leur caractère mono-critère, ne prévoient pas l'intervention du décideur. L'extension de ces modèles à un programme multi-critère est possible et des techniques interactives peuvent être appliquées à la résolution de ce type de programmes.

### 3.4 Modèles d'allocation de ressources multi-participants

Les situations comme celles relatives à la planification sanitaire et au développement de politiques publiques sont particulièrement complexes. En effet, en plus de leur caractère multi-critère, elles impliquent souvent au moins deux participants, chacun d'eux étant mu par ses propres objectifs et ses propres intérêts et manœuvrant pour atteindre le résultat qu'il souhaite.

Dans une telle situation, l'élément clé est la gestion des objectifs conflictuels émanant des différents participants. Généralement, aucun participant n'obtient le résultat qu'il escompte ; tous sont cependant d'accord pour préférer l'élaboration d'un compromis plutôt qu'un enlèvement dans un conflit [HIPEL 1993].

Les méthodes qui traitent de l'allocation de ressources multi-critères et multi-participants s'organisent autour de deux étapes. La première consiste à transformer la situation de décision multi-critères multi-participants en une situation mono-critère mono-participant. La seconde propose une allocation de ressources. Cette transformation est indispensable ; on ne sait résoudre mathématiquement que ce type de problème. Les différences entre les méthodes résident dans les traitements que le problème initial subi lors de la transformation. Ces traitements varient selon les caractéristiques du problème, c'est à dire essentiellement selon les relations qui lient les différents participants.

Les méthodes d'allocation de ressources multi-participants peuvent être regroupées en fonction du type de relations qui existent entre les participants (indépendants ou non), ou en fonction de l'application qu'elles visent. Nous avons choisi la seconde taxonomie et présentons un modèle d'allocation de ressources et des modèles plus spécialisées traitant de la budgétisation.

### 3.4.1 Un modèle d'allocation de ressources : HIDS<sup>12</sup>

Le HIDS [CARRIZOSA 1992] est une méthode interactive d'aide à l'allocation de ressources dans les organisations pyramidales. Le point de départ de cette méthode est un travail pour le système de soins Andalou (SAS) ; il s'agissait de développer une méthode d'allocation de ressources qui permette d'augmenter la qualité des soins prodigués dans le système.

Le processus de résolution proposé par Carrizosa se déroule en deux phases: une phase de collecte d'informations concernant les fonctions de préférence des différents participants (agents) impliqués dans la gestion du système de production de soins et une phase de décision. Le processus s'arrête lorsqu'une distribution des ressources qui satisfait globalement l'ensemble des participants est atteinte.

Actuellement, une version générale de cette méthode, c'est à dire pouvant être appliquée à tout problème d'allocation de ressources dans des organisations pyramidales, est disponible.

#### 3.4.1.1 Présentation du problème sur un exemple

L'organisation administrative du service de santé Andalou est schématiquement représenté par la structure pyramidale à quatre niveaux, Figure 4.

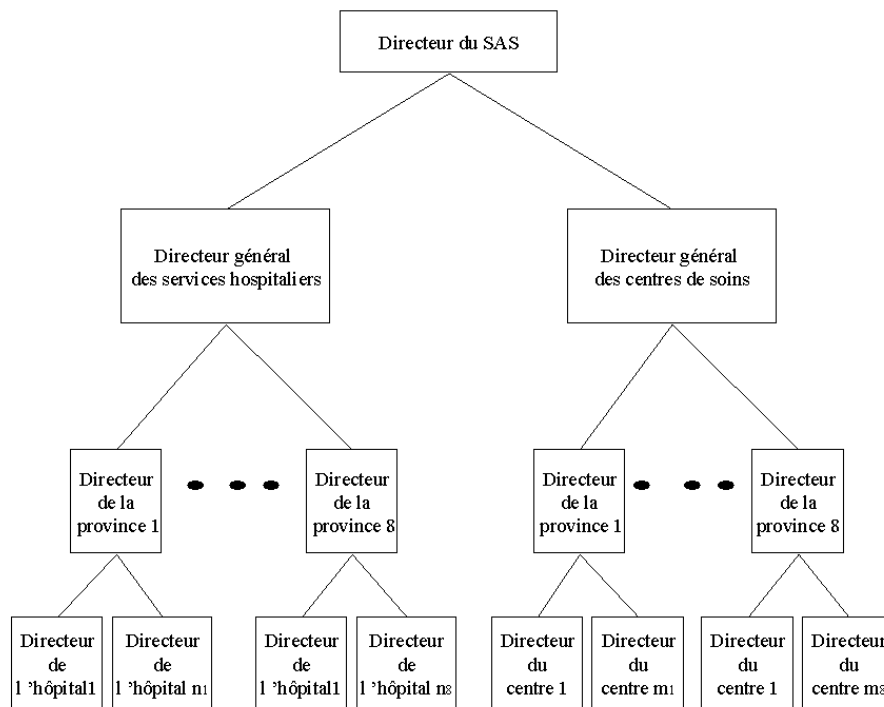


Figure 4 : Modélisation du système de santé Andalou.

Au sommet de la hiérarchie est le directeur des services de santé andalou. Au deuxième niveau de la hiérarchie se trouvent deux directeurs généraux. Le premier est responsable de la gestion des soins hospitaliers et le second des centres de soins. L'Andalousie est divisée en huit provinces administratives. Les structures sanitaires (hôpitaux et centres de soins) de chacune de ces huit provinces sont contrôlées par un gestionnaire provincial. Ce dernier est subordonné aux deux directeurs généraux à la fois. Toute structure sanitaire est dirigée par un directeur.

<sup>12</sup> Hierarchical Information and Decision System



Pour conserver une organisation pyramidale, Carrizosa propose de dupliquer chaque directeur provincial et de subordonner au premier les directeurs d'hôpitaux présents dans sa province, et au second les directeurs de centres de soins.

Le problème auquel est confronté le directeur des services de santé andalou est de distribuer de nouvelles ressources entre les soins hospitaliers et les soins primaires, pour augmenter la qualité de la production des structures sanitaires. La qualité est jaugée par le volume et le type de plaintes enregistrées dans chacune des structures, ainsi que par les réponses qui leur ont été apportées. Ces plaintes sont répertoriées selon quatre critères:

- ✓ le motif de la plainte (manque d'information, propreté, liste d'attente, nourriture, politesse du personnel, ...),
- ✓ le personnel incriminé (médecins, infirmières, aides soignantes, ...),
- ✓ l'endroit où cela s'est passé (service des urgences, salle de chirurgie, laboratoire d'analyses, ...),
- ✓ la suite donnée à la plainte.

### **3.4.1.2 La phase de collecte d'informations**

La phase de collecte d'informations dans une telle structure est importante. En effet, chaque décideur, pour distribuer les ressources de façon pertinente, a besoin d'une connaissance sur les performances du système qui soit aussi générale, globale, que le type de décision qu'il doit prendre. Comme seuls les agents (décideurs) terminaux, c'est à dire ceux à la base de la pyramide, ont accès à une information réelle, mais locale, il est nécessaire de "faire remonter" cette information et de la traiter pour qu'elle soit utile aux agents supérieur dans la hiérarchie.

L'information concernant le fonctionnement du système circule suivant les relations hiérarchiques de façon ascendante. Ces informations sont rassemblées par les agents terminaux (directeurs d'hôpitaux et directeurs de centres de soins) ; ce sont les seuls à avoir un accès direct à l'information. Ces agents collectent des informations de base à l'aide d'indicateurs de performance. Ces indicateurs de performances ainsi que les valeurs vers lesquelles ils doivent tendre sont fixés au début du processus d'allocation de ressources, par exemple chaque année. Ces indicateurs sont, dans le cas de la gestion du système de soins andalou, relatifs aux volumes de ressources possédées par l'hôpital ou le centre de soins, et aux types de plaintes enregistrées, ainsi que le volume acceptable de plaintes.

Tous les mois, les agents terminaux, chacun dans le domaine du système qu'il contrôle, collectent le volume de plaintes enregistrées, instruisent les différents indicateurs de performance et comparent leur valeur observée avec la valeur des buts imposée par le système. A partir de ces déviations, un niveau de réussite est calculé. Ce calcul s'effectue à l'aide d'une fonction mesurant le succès. La forme de cette fonction est choisie, par le décideur, dans un ensemble de fonctions.

A la fin de l'année, les agents terminaux adressent à leur supérieur hiérarchique direct une information synthétique sur les déviations observées. Cette information peut correspondre à la déviation moyenne, à la plus petite ou la plus grande déviation, selon ce qui a été décidé en début de processus. Son rôle est de refléter le degré de satisfaction de l'agent terminal.

Dès leur réception, les agents non-terminaux traitent les informations fournies par leurs subordonnés afin d'obtenir un niveau global de satisfaction. Ce niveau est estimé à l'aide d'une somme pondérée des niveaux de satisfaction communiqués par les agents sous leur contrôle. Ce dernier processus est répété jusqu'à ce que l'agent au sommet de la hiérarchie ait reçu l'information concernant la performance globale du système.

### **3.4.1.3 La phase de décision**

La phase de décision correspond à un processus itératif en deux étapes. Dans une première étape, les agents terminaux expriment leur besoin global en ressources, et associe à ce besoin le niveau de satisfaction que l'obtention de ces ressources leur procurera. Cette information remonte jusqu'à l'agent

au sommet de la hiérarchie. A partir de ces doléances, ce dernier fait une offre de distribution des ressources. Cette offre circule jusqu'aux agents terminaux. Ces deux étapes sont répétées jusqu'à ce qu'un équilibre entre ce qui est demandé et ce qui est accordé soit atteint. De façon plus technique, cette phase se déroule comme suit :

#### **Etape 1:**

**Fixer un volume maximal autorisé** pour chaque ressource et pour chaque agent terminal.

**Demande et satisfaction.** Tout agent fournit à son supérieur hiérarchique direct deux indicateurs ; un indicateur concernant le volume demandé de ressources et un concernant le niveau de satisfaction associé à l'obtention de ce volume de ressources. L'évaluation de ces indicateurs s'effectue différemment selon les agents. Si l'agent est "terminal", alors sa demande doit être motivée par une volonté d'améliorer les performances de la structure, tout en ne dépassant pas ce qu'il lui est possible d'obtenir. Si l'agent n'est pas terminal, il se contente de demander à son supérieur le volume de ressources requis par ses subordonnés ; le niveau de satisfaction qu'il associe à ce volume de ressources correspond à une somme pondérée des niveaux de satisfaction communiqués par ses subordonnés ; le poids accordé à chaque niveau de satisfaction correspond à la crédibilité qu'il porte à chacune des demandes.

**Test de faisabilité.** L'agent au sommet de la hiérarchie vérifie si le volume des demandes en ressources peut être satisfait avec le volume des ressources disponibles. Si oui, un équilibre est atteint et le processus est terminé, si non aller à l'étape 2.

#### **Etape 2**

**Initialisation.** L'agent au sommet de la hiérarchie propose une répartition réalisable des ressources à ses deux subordonnés. Cette répartition est calculée à l'aide d'un programme mathématique linéaire. Ce dernier consiste à identifier l'ensemble des volumes alloués à chacun, des subordonnés qui maximise la satisfaction de l'ensemble de ces agents. Cette satisfaction globale correspond à la somme des volumes alloués à chacun, pondérée par le niveau de satisfaction qu'ils ont communiqués à leur supérieur lors de l'étape 1 et par le degré de crédibilité que ce dernier a accordé à leur demande.

**Propagation du flot de ressources dans l'organisation.** Chaque agent non terminal distribue le volume de ressources qu'il reçoit de son supérieur hiérarchique en appliquant la même méthode que celle décrite précédemment. Le processus s'arrête lorsque tous les agents terminaux ont été atteints. A ce moment là, une nouvelle étape 1 est initiée.

Carrizosa mentionne que la vitesse d'accession à un équilibre est fortement dépendante des bornes supérieures fournies lors de la première étape 1. Il conseille aussi l'utilisation de la méthode AHP pour calculer les poids de crédibilité.

### **3.4.2 Modèles de budgétisation**

Le budget est un produit de la planification dans le sens où il correspond à la conversion du plan programmé en unité monétaire. Différentes méthodes sont proposées pour aider à élaborer le budget parmi lesquelles on peut distinguer quatre types:

- ✓ **les méthodes procédurales** comme la méthode incrémentale qui consistent à actualiser le budget antérieur en le multipliant par un facteur ;
- ✓ **les méthodes relevant de l'analyse économique** qui sont fondées sur l'analyse des coûts ou des coûts/bénéfice dans l'organisation ;
- ✓ **les méthodes liées à la théorie de la décision** ;
- ✓ **les méthodes quantitatives** qui utilisent des modèles mathématiques [SINUANY-STERN 1993].

La planification sanitaire concerne de multiples acteurs, en particulier lors du choix des priorités budgétaires. Nous avons donc restreint notre étude aux méthodes de budgétisation multi-acteurs. De plus, de part le contexte fortement politisé dans lequel la budgétisation est réalisée, il importe de favoriser, dans l'élaboration de la distribution budgétaire, la participation des différents acteurs impliqués, ceci afin d'obtenir un consensus autour de la méthode utilisée [URLI 1995a].

Nous présentons dans cette partie deux méthodes de budgétisation qui s'inscrivent dans cette optique. La première adopte une approche quantitative et s'adresse à la budgétisation dans les organisations pyramidales, c'est à dire aux organisations dans lesquelles des niveaux hiérarchiques sont définis et où des relations existent seulement entre les niveaux hiérarchiques successifs. La seconde<sup>13</sup> est plus générale et s'applique à la budgétisation d'une structure qui résulte d'une concertation entre plusieurs acteurs entre lesquels les relations hiérarchiques ne sont pas réellement formalisées.

### 3.4.2.1 Un modèle de budgétisation applicable dans les organisation pyramidales

Sinary-Stern [SINUANY-STERN 1993] propose une méthode d'optimisation multi-critère de budgétisation dans une organisation pyramidale. Elle a modélisé la budgétisation dans une organisation pyramidale comme un problème de flot et propose une formalisation adaptée à la planification des budgets sur plusieurs périodes. L'objectif poursuivi est de maximiser la satisfaction de l'ensemble des unités de l'organisation, ceci à tous les niveaux ; le terme d'unité est utilisé ici pour désigner indifféremment les unités de production, les unités administratives, les unités commerciales, etc.. La satisfaction de l'ensemble des unités de l'organisation est exprimée, dans le modèle, à l'aide d'une fonction d'utilité additive. Elle correspond à une somme pondérée du niveau de satisfaction de chaque unité de l'organisation. Le niveau de satisfaction de chaque unité et les poids sont évalués à l'aide d'une approche multi-objective qui s'appuie sur la comparaison par paire et la méthode AHP (Analytical Hierarchy Process) [SAATY 1984].

Pour des raisons didactiques, nous présentons d'abord le modèle de budgétisation sur une période puis son extension sur plusieurs périodes.

#### 3.4.2.1.1 *La formalisation du modèle sur une période*

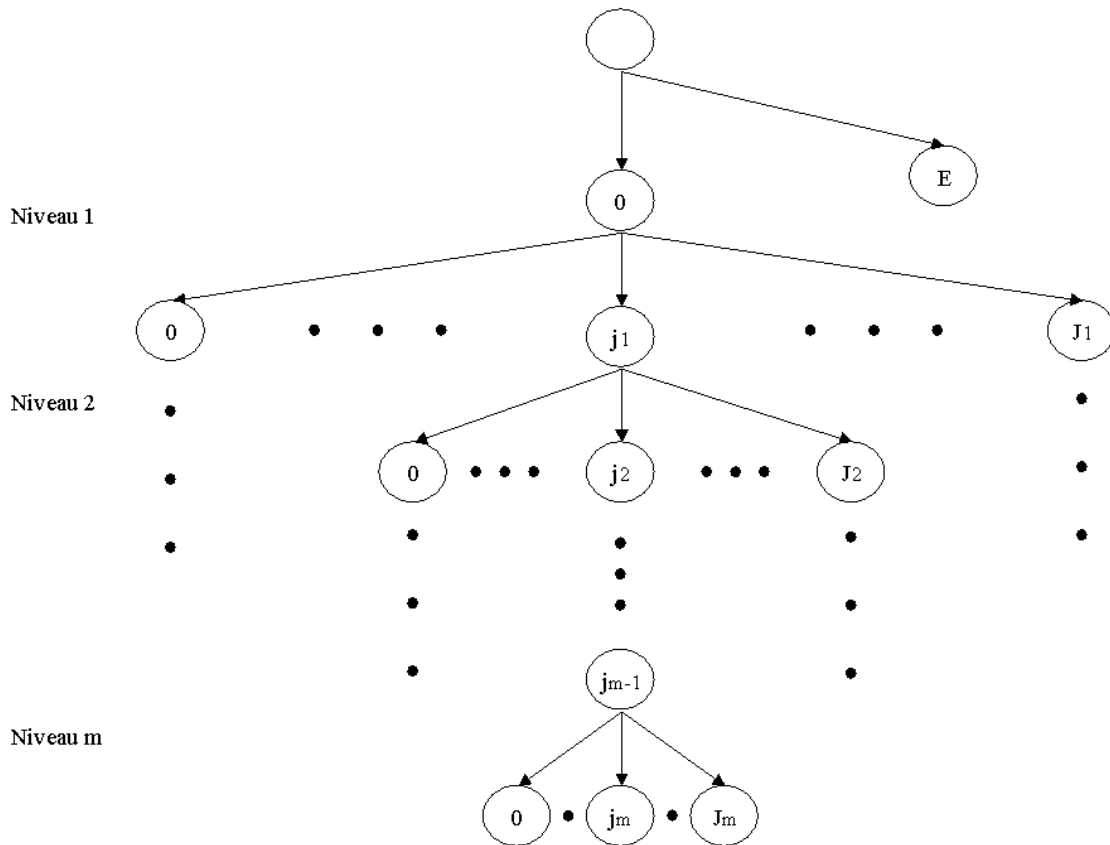
La budgétisation est modélisée comme un problème de flot. Elle est donc représentée par une arborescence. Aux nœuds de l'arborescence est associé le budget alloué à une unité. Ce budget devra être partagé entre les sous unités (administratives, commerciales ou/et de production) qui composent cette unité. La relation d'appartenance d'une sous-unité à une unité est représentée dans l'arborescence par un arc.

La Figure 5, adaptée de [SINUANY-STERN 1993], montre une arborescence associée à une organisation à m niveaux. Au sommet de cette arborescence est associé le budget annuel prévu. Ce budget est réparti entre le budget effectivement alloué à l'organisation (le nœud 0) et les économies (le nœud E). Le budget alloué à l'organisation est partagé entre les différentes unités de niveau 1, c'est à dire celles associées aux sous-directions. Ces budgets sont liés aux nœuds numérotés de 0 à J1. Le budget attribué à chaque unité de niveau 1 est réparti entre les sous-unités qui sont sous son contrôle.... Le budget se propage selon ce processus dans toute l'arborescence.

Dans ce réseau, l'ensemble des allocations, pour constituer un plan budgétaire acceptable, doit vérifier deux types de contraintes. Les premières contraintes concernent les allocations de budgets possibles qui sont définies par un budget minimal et un budget maximal. Le budget minimal correspond à la somme nécessaire au fonctionnement minimal de l'unité. Le budget maximal est obtenu à partir du budget sollicité par cette dernière. Il est évalué à l'aide des résultats obtenus par la comptabilité analytique, ou de manière incrémentale, c'est à dire en multipliant le budget précédent par un coefficient. Les deuxièmes contraintes visent à assurer que le budget alloué à une unité soit entièrement réparti entre ses sous-unités.

---

<sup>13</sup> Une analyse détaillée de cette méthode effectuée au paragraphe 3.7.3 complète la présentation qui est réalisée dans les paragraphes suivants.



**Figure 5: Arborescence associée à une organisation à  $m$  niveaux.**

Le choix des critères selon lesquels les budgets sont alloués est laissé au décideur. Ces critères peuvent être de différente nature, c'est-à-dire qu'ils peuvent être mesurables ou non. De plus, ils peuvent varier selon les différents niveaux. Afin de pouvoir calculer une solution, l'auteur propose de les agréger en une fonction objectif unique. Cette agrégation s'effectue sous l'hypothèse de l'existence d'une utilité marginale<sup>14</sup> constante et de l'indépendance des critères. L'élaboration de cette fonction objectif s'effectue en quatre étapes.

**Étape 1:** L'importance de chaque critère dans la décision de budgétisation est évaluée au niveau de chaque unité. Cette importance est figurée à l'aide de poids. Ces derniers sont calculés à partir d'une matrice  $A$  fournie par le décideur. Chaque coefficient  $a_{ml}$  de cette matrice indique l'intensité avec laquelle le décideur juge l'importance du critère  $m$  par rapport au critère  $l$  dans l'atteinte des buts de l'unité. Il peut, par exemple, percevoir le critère  $m$  comme deux fois plus important que le critère  $l$ . La méthode AHP<sup>15</sup> est appliquée à cette matrice afin d'estimer les poids qui représentent l'importance de la contribution des critères à la réalisation de la politique générale de l'unité.

**Étape 2:** Pour chaque critère, le décideur construit une matrice  $A^m$ , dont les coefficients  $a_{kj}^m$  indiquent l'intensité avec laquelle le décideur perçoit l'importance du critère  $m$  pour l'unité  $k$  par rapport à celle pour l'unité  $j$ ; pour la réalisation de la politique de l'unité supérieure. Les deux unités comparées appartiennent au même niveau hiérarchique de l'organisation. Comme lors de l'étape précédente, la méthode AHP est utilisée pour estimer, à partir de la matrice  $A^m$ , le poids qui représente l'importance de chaque unité, appartenant à un même niveau,

<sup>14</sup> Une fonction utilité marginale correspond à la fonction utilité d'une entité.

<sup>15</sup> Voir la partie 3.7.3.2 de ce chapitre.

dans la réalisation du but associé au critère  $m$ . La procédure que nous venons de décrire est appliquée à tous les niveaux d'unités.

**Étape 3:** Pour chaque unité, une fonction objectif partiel est élaboré. Cet objectif partiel est obtenu par la somme pondérée des critères ; le poids associé à chaque critère correspond au produit du poids associé à l'importance de la contribution de ce critère dans la réalisation de la politique générale de l'unité, et de celui associé à l'importance de l'unité pour ce même critère.

**Étape 4:** La fonction objectif du problème de budgétisation de l'organisation est obtenue en sommant l'ensemble des fonctions objectif partiel. Ces dernières fonctions peuvent être pondérées selon l'importance que le décideur attribue aux unités ; un même poids est affecté à toutes les unités appartenant à un même niveau de l'organisation.

#### 3.4.2.1.2 *Extension*

Sinary-Stern [SINUANY-STERN 1993] a étendu ce modèle au cas de planification de budget sur plusieurs périodes. Pour chaque période, un réseau est construit à partir du modèle présenté dans les paragraphes précédents auquel le nœud associé à une situation d'économie est retiré. En effet, la part du budget non utilisé en une période donnée est ajoutée à la somme prévue pour la période suivante. Les réseaux ne sont pas nécessairement identiques ; le niveau de détail de la structure hiérarchique du système peut varier selon les périodes.

Tous ces réseaux sont connectés à un nouveau nœud ; ce nœud correspond au budget global alloué pour l'ensemble des périodes considérées dans la planification. Les arcs ajoutés représentent les périodes. Dans ce nouveau réseau, un type supplémentaire de contraintes est ajouté. Il concerne la part de budget prévu pour une période et qui n'a pas été allouée. Cette part devient alors disponible pour la période suivante.

La fonction objectif à maximiser dans ce nouveau problème s'obtient en sommant les fonctions objectif calculées pour chaque période ; ces fonctions sont pondérées par l'importance relative accordée à chaque période. Ces poids sont calculés comme tous les autres poids du modèle en utilisant la méthode AHP.

#### 3.4.2.2 **Méthode de budgétisation multi-acteurs non-hiérarchique**

La méthode proposée par Urli et Beaudry [URLI 1995] est une réponse au problème rencontré au Québec par les Conseils Régionaux de la Santé et des Services Sociaux (C.R.S.S.S.). Ces derniers doivent répartir équitablement les enveloppes budgétaires qui leur sont attribuées entre les différentes municipalités régionales de comté dont ils sont responsables. Cette méthode propose l'élaboration d'une grille d'évaluation suivant laquelle l'état de santé de la population des différentes municipalités régionales de comté est estimé. Ces estimations constituent la base du partage « équitable » des enveloppes budgétaires.

La méthode s'organise autour de quatre points ; la construction du modèle d'évaluation, l'obtention des poids qui modélisent les priorités, l'agrégation des évaluations et les recommandations pour l'allocation.

La construction du modèle d'évaluation s'articule autour de deux opérations. La première est liée à la définition opérationnelle d'une mesure de l'état de santé de la population. Pour cela, trois groupes d'experts sont constitués pour identifier les différentes dimensions qui permettent de l'apprécier, ainsi que les indicateurs qui permettent d'estimer ces dimensions. A l'issue de ces choix, ils apportent des informations concernant l'importance des différents critères dans la dimension qu'ils décrivent, ou l'importance des différentes dimensions dans l'évaluation de l'état de santé des populations. Cette collecte d'informations constitue la seconde opération.

A partir des informations collectées sur les critères et dimensions, les poids associés aux critères et aux dimensions sont calculés à l'aide d'une méthode multi-critère AHP<sup>16</sup>. L'ensemble des dimensions ainsi que des critères qui les décrivent et des poids qui leur sont associés constitue un modèle d'évaluation de l'état de santé de la population des différentes municipalités régionales de comté.

Le modèle d'évaluation est appliqué à chaque municipalité, et l'objet de l'opération suivante est de traiter ces évaluations afin de construire un indice synthétique qui représente l'état de santé global de la population dans chaque municipalité. Cette information globale est obtenue en appliquant au résultat de l'évaluation la méthode PROMETHEE<sup>17</sup>. En fonction de ces informations concernant les différentes unités géographiques, une proposition d'allocation de budget est effectuée ; chaque unité reçoit un pourcentage du budget qui est proportionnel à la valeur de l'indice synthétique qui lui est associée.

Cette méthode a été appliquée à la répartition, dans la région de Québec, de l'enveloppe budgétaire allouée à la prise en charge de personnes âgées en perte d'autonomie.

Une description plus détaillée des techniques utilisées est réalisée dans la partie 3.7.3 de ce chapitre.

### 3.4.3 Conclusion

Toutes les méthodes que nous avons décrites impliquent largement les participants dans le choix des critères d'évaluation des satisfactions ou des besoins, ainsi que dans l'élucidation des priorités attribuées à chacun de ces critères. Elles se fondent aussi sur l'hypothèse que chacun des participants est « honnête » dans ces choix, c'est à dire que ces derniers ne sont pas le reflet de stratégies. Les objectifs de ces méthodes sont cependant différents:

- ✓ **la première**, HIDS, vise à être un support d'aide à la négociation et à l'atteinte d'un compromis. Il est à noter que l'atteinte de ce compromis peut être long.
- ✓ **les deux suivantes**, celle proposée par Sinuany-Stern et celle proposée par Urli et Beaudry, cherchent à élaborer un outil de distribution des enveloppes budgétaires qui soit réutilisable et qui satisfasse l'ensemble des participants.

Malgré ces différences entre les méthodes que nous avons présentées, le traitement des critères est identique dans chacune des méthodes. Les critères sont synthétisés au niveau de chaque niveau hiérarchique. Dans les deux premières méthodes les niveaux hiérarchiques correspondent à ceux de l'organisation dans laquelle le budget doit être partagé. Dans la troisième méthode les niveaux hiérarchiques sont figurés par les critères qui sont rassemblés pour décrire des dimensions. De plus, l'outil qui permet d'évaluer les poids associés aux critères pour représenter les priorités est toujours le même. Il s'agit de la méthode A.H.P. mise au point par Saaty [SAATY 1984]. Comme nous le verrons dans la partie 3.7.3.2.1 de ce chapitre, l'utilisation de cette méthode est discutable dans ce cas.

## 3.5 Modèles de programmation par buts

La programmation par buts (Goal-Programming) est une technique qui, dès sa création, a été appliquée à la planification sanitaire [CHARNES 1967]. Elle est redécouverte en 1990, et son utilisation est largement encouragée par certains auteurs [RAIFFA 1990], [SPECHELT 1993] lors de prises de décision en planification sanitaire. Cette technique permet, contrairement aux méthodes de programmation traditionnelle (linéaire ou non-linéaire), de rendre le système de contraintes plus souple, et donc plus flexible.

Le principe de cette technique est présenté avant d'exposer son application à deux problèmes de planification sanitaire. La première concerne l'organisation d'un système d'intervention d'urgence et la seconde la gestion de services hospitaliers de santé mentale.

---

<sup>16</sup> Analytic Hierarchical Process. Cette méthode est décrite dans la partie 3.7.3.2.1 de ce chapitre.

<sup>17</sup> Cette méthode est détaillée dans la partie 3.7.3.2.2 de ce chapitre.

### 3.5.1 *Le principe de la programmation par buts*

L'idée développée dans la programmation par buts, ou Goal-Programming (GP), est de décrire la "situation idéale" non pas au moyen de contraintes, mais par l'ensemble des buts à atteindre ; l'objectif est de trouver une solution qui, à défaut de permettre d'atteindre tous les buts, permet d'en réaliser le plus grand nombre. Formellement, les contraintes du programme linéaire se transforment en but, c'est à dire qu'on accepte qu'elles soient violées, et des variables supplémentaires sont introduites dans le modèle. Le rôle de ces dernières est de mesurer, sur chacun des buts, les déviations positives ou négatives engendrées par le choix d'une solution. La minimisation de ces déviations constitue l'objectif du programme défini par l'ensemble des buts. Bien entendu, s'il existe des buts plus importants que d'autres, les déviations qui leur sont associées seront minimisées de façon prioritaire. La forme mathématique de l'objectif correspond à une somme des écarts pondérés selon les priorités.

L'utilisation de cette technique, dès 1967, est préconisée par Charnes et Cooper [CHARNES 1967], en raison de sa flexibilité par rapport à la détermination des priorités, pour résoudre les problèmes à objectifs multiples et en particulier les problèmes de gestion dans le secteur public. En 1980, Charnes et Storbeck [CHARNES 1980] appliquent cette technique à l'organisation d'un système médicalisé d'urgence au niveau d'une région. Specht [SPECHT 1993] l'utilise dans le cadre de la planification des services spécialisés dans le traitement de la santé mentale. Dans ce qui suit, nous allons brièvement décrire ces applications.

### 3.5.2 *Mise en place de services médicalisés d'urgence*

Charnes et Storbeck [CHARNES 1980] se sont intéressés à l'organisation un système d'intervention médicalisée d'urgence composé de deux types de véhicules, ceux intervenant dans des cas critiques, et ceux intervenant pour des cas courants. Chacun de ces types de véhicule est disponible en un nombre fini, et a un rayon d'intervention différent. Les deux types de véhicules fonctionnent selon deux modes. En parallèle tout d'abord, car chaque type de véhicules prend en charge des demandes différentes. En séquence aussi ; les véhicules prenant en charge les cas courants peuvent servir de relais pour tout cas critique situé dans leur zone d'intervention et hors de la zone d'intervention de tout véhicule habilité. Dans ce cas, ils prennent en charge la demande jusqu'à l'arrivée du véhicule habilité le plus proche.

Cette situation a été formulée au moyen d'un ensemble de deux buts. Le premier but est de pouvoir répondre à toute la demande critique en soins d'urgence, que se soit par une prise en charge directe ou séquentielle ; la première solution étant bien sûr favorisée. Le second est d'apporter une réponse à tout appel pour un cas courant. L'objectif est donc de minimiser simultanément le volume de la population non couverte par les véhicules d'intervention d'urgence pour les cas critiques et le volume de la population dont la demande en soins d'urgence courants ne sera pas couverte par le système.

### 3.5.3 *Gestion de services spécialisés*

Pour faire face à une demande croissante en santé mentale, et conscient de devoir développer la prévention et favoriser l'accès aux soins psychologiques, le gouvernement des Etats-Unis développe depuis 1970 une politique de décentralisation des soins "légers" liés à la santé mentale des centres régionaux vers des centres communautaires. Cette décentralisation s'est accompagnée d'une prise en charge mieux adaptée aux besoins de la population. Elle a été également suivi d'une hausse du budget consacré à ce type de soins. Un rapport de l'administration a suggéré de maîtriser ces coûts en planifiant de manière plus rationnelle l'utilisation des ressources. Specht propose un modèle de planification dédié à la gestion de ces ressources, et l'illustre sur le cas d'une région du Midwest [SPECHT 1993].

Les buts qu'elle a utilisés pour décrire le problème sont au nombre de sept. **Le premier but** est de ne pas proposer de soins inutiles et de ne pas dépasser le budget conseillé. **Le deuxième** concerne la politique de décentralisation. Il prévoit un transfert de 30% des patients recevant des soins en centre régional vers les centres communautaires qui fourniront un suivi psychologique à ces patients. De plus, les désordres psychologiques non critiques ne devront plus être pris en charge en centre régional. **Le troisième but** est de pouvoir faire face à une augmentation de 10% de la demande totale, et **le**

**quatrième** est de fournir les soins psychiatriques ou psychologique à tout patient nécessitant une prise en charge. **Le cinquième** vise à informer tout enfant du primaire et du secondaire vivant dans les zones desservies par les centres communautaires sur la santé mentale. **Le sixième** prévoit que le personnel existe en nombre suffisant pour prodiguer les soins nécessaires à l'ensemble des patients. **Le septième but** concerne la sensibilisation de la population aux problèmes de santé mentale ; il prévoit un doublement de la population sensibilisée. L'objectif poursuivi est de trouver une solution qui s'approche le plus possible de la situation "idéale" décrite par ces buts.

### 3.5.4 Conclusion

Deux aspects de cette technique de la programmation par buts plaident en faveur de son utilisation en planification sanitaire. Le premier réside dans sa simplicité à la fois dans sa mise en œuvre ; il est relativement aisé pour le décideur de déterminer ce à quoi il aspire. De plus son fonctionnement est largement intuitif. Le second est lié à sa capacité à gérer plusieurs buts contradictoires.

Les aspects positifs que nous avons mentionnés ne doivent cependant pas occulter le fait que la minimisation d'une somme pondérée des écarts utilisée pour caractériser la solution optimale repose sur une hypothèse implicite que les écarts relatifs à chaque but sont compensatoires. En d'autres termes, on suppose, lors de l'utilisation de cette technique, que tout écart positif par rapport à un but peut être compensé par un ou plusieurs écarts négatifs relatifs à d'autres buts. Ou encore qu'il existe une échelle quantifiée qui indique l'importance relative d'un but par rapport à un autre.

Une autre limite à ce type de méthode demeure dans la quantification des priorités à l'aide de poids. La valeur des poids est relativement difficile à estimer avec précision, et elle est rarement unique. En effet, les priorités varient généralement en fonction des valeurs grâce auxquelles les buts sont atteints. Pour gérer ces variations, différents seuils peuvent être introduits.

## 3.6 Autres modèles

Cette partie regroupe trois modèles particuliers, dans le sens où ils ne peuvent être rattachés de manière explicite à aucune des catégories que nous avons déterminées ; ce sont des méthodes hybrides.

La méthode RAWP (Resource Allocation Working Party), mise en place en 1978 en Grande Bretagne, est une méthode procédurale qui a connu deux modifications depuis sa première application. Son rôle est de calculer une répartition du budget national dédié au fonctionnement des hôpitaux et établissements sanitaires entre les différentes régions du pays ; ce calcul se fonde sur l'estimation des besoins de la population de chacune des régions.

La méthode de Wong et Au ainsi que celle de Malczewski et Ogryzcek sont toutes les deux des méthodes interactives qui utilisent des cartes géographiques pour afficher les résultats des procédures d'aménagement du système de soins. Ces deux méthodes diffèrent cependant dans la place qu'occupent l'interactivité et l'utilisation des cartes géographiques dans la procédure de décision.

### 3.6.1 La méthode RAWP<sup>18</sup>

La méthode RAWP est une méthode d'allocation de ressources sanitaire utilisée en Grande Bretagne par le ministère de la santé (National Health Service ou NHS) pour répartir le budget dédié au fonctionnement du système hospitalier entre les différentes régions du pays [MAYS 1995]. Cette méthode, dont l'objectif est d'établir un schéma de répartition des ressources financières qui répond objectivement, équitablement et efficacement aux besoins en soins de la population, est de type procédural. Le processus d'élaboration du schéma est défini étape par étape. Le principe de répartition développé dans cette méthode est le suivant : à chaque région est associé un score qui reflète les besoins en soins de sa population. Ce score est calculé à l'aide de cette procédure, et le budget alloué à chaque région est proportionnel à ce score. La méthode RAWP élabore ainsi un schéma cible de la

---

<sup>18</sup> Resource Allocation Working Party



répartition du budget global. Ce schéma cible indique la direction vers laquelle la répartition réelle du budget global doit tendre.

Depuis la première application de la méthode RAWP en 1978, la procédure a subi deux modifications ; une première en 1980, et une deuxième en 1985. La modification de 1980 n'a porté que sur un détail, aussi intégrons nous sa présentation à celle de la procédure d'origine. Elle est suivie par la description de la procédure élaborée en 1985. Cette dernière correspond à une simplification de la procédure d'origine, et se fonde davantage sur des résultats empiriques pour la construction d'un estimateur du besoin que sur des estimations subjectives.

### 3.6.1.1 La méthode RAWP : première génération

La méthode RAWP fait suite à une première tentative d'intégration du facteur population dans l'allocation du budget de santé aux différentes régions : la procédure de Crossman (1971) [MAYS 1995]. Cette dernière se présente comme un compromis entre les indicateurs de besoin de la population et la conservation du schéma de répartition de l'offre existante. Dans la méthode RAWP de 1978, l'estimation du besoin en soins de la population dans le calcul de la cible est fondée sur l'hypothèse que le taux de mortalité standardisé reflète parfaitement ces besoins.

La procédure d'élaboration du schéma de répartition du budget national se déroule de façon linéaire. Elle prend en compte successivement la taille de la population, sa structure par âge et par sexe, la mortalité par type de maladie, les déplacements inter-région de population, enfin la variation des coûts de prise en charge dans les différentes régions. Formellement, cette procédure est constituée de sept étapes pour élaborer la répartition cible, la huitième étape est réservée au choix de l'allocation réelle.

#### *Procédure de calcul*

**Etape 1** : Estimer les effectifs de la population.

**Etape 2** : Pondérer ces estimations par les taux nationaux moyens d'utilisation des ressources pour chaque groupe de services<sup>19</sup> ; ces taux sont calculés par âge et par sexe et sont mesurés en terme de coût par jour et par lit.

**Etape 3** : Multiplier les résultats de l'étape précédente par les taux de mortalité standardisés calculés pour chaque groupe de maladies répertoriées dans le ICD (International Classification of Diseases), et par le taux de fertilité standardisé pour les maternités. Les résultats ainsi obtenus doivent être ajustés en fonction de l'observation de l'utilisation nationale des lits d'hôpitaux pour chaque groupe de maladie.

**Etape 4** : Ajuster les résultats de l'étape 3 en fonction des déplacements inter-régions des patients.

**Etape 5** : Combiner les effectifs des sept populations (chacune relative à un type de service) en fonction du coût de chaque groupe de services.

**Etape 6** : Ajuster en indexant les scores calculés lors de l'étape précédente par rapport à l'échelle des salaires à Londres.

**Etape 7** : Distribuer le revenu disponible proportionnellement à chaque score ainsi obtenu ; cette distribution constitue la cible.

**Etape 8** : L'allocation réelle est déterminée en « tirant » l'allocation précédente vers la cible.

En 1981, une modification minime a été apportée à l'étape 6 ; l'ajustement ne se fait plus en fonction de l'échelle des salaires à Londres, mais en fonction d'un facteur qui mesure « la force du marché Londonien » [MAYS 1995].

---

<sup>19</sup> Les services sont répartis en sept groupes définis par : les services d'hospitalisation non-psychiatriques, les services de soins ambulatoires non-psychiatriques, les services traitant les malades mentaux, les services traitant les handicapés mentaux, les centres de soins, les services d'ambulance, et le planning familial.

### 3.6.1.2 La méthode RAWP : deuxième génération

En 1985, une révision de la procédure appliquée jusqu'alors débute. Cette révision est motivée par la nature trop brute de l'estimation des besoins au moyen du taux de mortalité standardisé. En effet, ce dernier ne permet pas de refléter les variations des besoins, ni la morbidité due aux maladies chroniques. De plus, cette procédure nécessite le calcul de nombreux indicateurs dont la pertinence n'est pas montrée [MAYS 1995].

La procédure utilisée dans cette méthode est appliquée pour la première fois sur la période 1990-91. Les changements qu'elle a subi depuis la rendent plus synthétique et la fondent sur des résultats empiriques : les taux de mortalités standardisés par âge sont remplacés par le taux de mortalité standardisé calculé sur la population des moins de 75 ans, et le poids associé au taux de mortalité standardisé est diminué. Ces changements reflètent aussi une nouvelle définition de l'autorité sanitaire, le NHS. En effet, le NHS se définit comme consommateur de service pour une population, et non plus comme fournisseur de fonds pour les établissements sanitaires. Dans cette optique, le budget alloué à chaque région est proportionnel à la population y résidant et les mouvements inter-région de la population régionale des patients ne sont plus considérés.

Malgré ces modifications, la structure de base de la procédure reste la même. Elle traite, successivement, de la taille de la population, sa structure par âge et sexe et des indicateurs supplémentaires de besoins qui ne sont pas pris en compte dans les deux étapes précédentes. Suis la prise en compte des variations du coût de production de soins à travers le pays.

De façon formelle, la procédure de calcul se compose de six étapes. Les trois premières sont dédiées à la mesure des besoins, la quatrième à l'évaluation des coûts. La cinquième synthétise les estimations des besoins et des coûts afin de construire la cible. Enfin, la dernière concerne les aménagements politiques susceptibles d'être effectués sur la proposition cible pour obtenir l'ensemble des allocations régionales réelles. De manière plus formelle :

#### *Procédure de calcul*

**Etape 1 :** Estimer les effectifs de la population.

**Etape 2 :** Pondérer ces estimations par le coût national moyen d'utilisation de tous les services hospitaliers et sanitaires par groupe d'âge jusqu'à 85 ans et plus.

**Etape 3 :** Multiplier les résultats précédents par la racine carrée de la combinaison des taux de mortalité standardisés pour toutes les causes pour la population des moins de 75 ans.

**Etape 4 :** Ajuster les résultats obtenus à l'issue de l'étape 3 en fonction du coût total des soins. Ce coût est indexé sur l'échelle des salaires à Londres, et sur le facteur « Tamise »<sup>20</sup>.

**Etape 5 :** Partager équitablement le budget disponible entre les régions, en fonction des résultats obtenus en étape 4.

**Etape 6 :** Insérer les aménagements politiques sur les résultats.

De manière générale, les différences entre la procédure d'origine et celle-ci semblent attester la tendance à fonder davantage les calculs sur des réalité empiriques plutôt que sur des jugements informels. Cette tendance s'explique par une volonté de justifier le choix des éléments inclus dans la formule et de construire une procédure plus apte à identifier les variations de besoins. La procédure actuelle constitue cependant un compromis entre les défenseurs d'une approche plus empirique et ceux qui militent pour une approche théorique. En effet, elle prend aussi en compte des paramètres issus de jugements informels comme le facteur « Tamise » et abandonne la prise en compte des déplacements de populations de patients entre les régions par exemple.

---

<sup>20</sup> Ce facteur prévoit une augmentation de 1% des résultats de la région au nord de la Tamise et de 3% de la région au sud de la Tamise. Ce facteur et ses modalités n'ont aucun fondement empirique ; cette décision a été prise par les politiques pour répercuter le coût que représente la prise en charge des « sans domicile fixe » vivant dans ces régions. [MAYS 1995].

### 3.6.2 La méthode de Wong et Au

Wong et Au [WONG 1973] proposent une procédure d'aide à la planification sanitaire qui utilise des cartes géographiques pour visualiser les traits caractéristiques de l'environnement décisionnel (les traits démographiques, topologiques, d'aménagement du territoire en zones d'activité, zones d'attraction des établissements existants), procédure qui propose de déterminer les meilleures extensions du réseau de soins existant en collaboration avec le décideur. Le processus de planification se déroule en deux étapes. La première étape consiste à évaluer la capacité du réseau actuel à répondre aux besoins fondamentaux de la population. Cette évaluation s'effectue dans le cadre du budget alloué à la gestion et au fonctionnement du réseau. Si la capacité du réseau est insuffisante, alors, dans une seconde étape, l'étude d'une extension de ce réseau est menée. Cette étude prend en compte les besoins non couverts par le réseau actuel et les priorités et aspirations du décideur dans ses propositions de localisation, de type et de taille des établissements ; la taille d'un établissement correspond à la taille des services qui le composent. Le coût de chaque proposition ne dépasse pas le budget disponible, c'est à dire le budget alloué au départ moins le coût relatif au fonctionnement du réseau actuel. Techniquement, la méthode procède de la manière suivante.

#### Etape 1

**Initialisation :** Le décideur indique le niveau minimal de prise en charge visé pour chaque type de demande ; par exemple, 80% des cas de cancers du poumon prévus dans la population doivent pouvoir être pris en charge. Le décideur assortit cette indication de volume par des priorités sur les différents types de demande, et d'un budget global.

**Evaluation de la capacité du réseau actuel :** Dans le cadre défini par le budget disponible ainsi que par celui du réseau de soins existant, caractérisé par ses capacités d'évolution ; ces capacités sont liées au type de chaque établissement du réseau et à leur zone d'attraction, le système évalue si l'organisation actuelle du réseau permet d'atteindre les objectifs de couverture des besoins de la population définis par le décideur dans l'étape d'initialisation. Cette évaluation s'effectue par l'intermédiaire d'un programme mathématique dont l'objectif est de maximiser le volume des prises en charge pour chaque type de demande ; les types de demande sont pondérés par la priorité que leur a affectée le décideur.

A l'issue de cette première étape, si le budget permet une extension du réseau, et si cette extension est jugée nécessaire par le décideur, la seconde étape est engagée.

#### Etape 2

**Description des préférences dans le choix des localisations :** Le décideur sélectionne un certain nombre d'indicateurs pertinents dans le choix de la localisation ; par exemple le type de la zone d'activité, la densité démographique, la répartition par âge de population. A chacun de ces indicateurs, il associe un ensemble de poids ; chaque poids est associé à une modalité de l'indicateur. Ces poids représentent ses préférences relatives à la localisation d'une structure de soins. En plus de ces informations, le décideur peut ajouter des contraintes relatives à une distance minimale entre deux localisations.

**Identification des zones candidates à une localisation :** Cette identification se fait de manière progressive. On sélectionne tout d'abord l'ensemble des points de la région dont la totalité de la demandes n'est pas couverte par le réseau de soins existant. A chacun de ces points, un score relatif à son attractivité est calculé. Ce score correspond à la moyenne des poids associés aux valeurs que prennent les indicateurs en ce point ; si un des poids est nul, alors le point est éliminé de la sélection. Si la sélection est encore trop importante d'après le décideur, il peut la rétrécir en contraignant les points sélectionnés à atteindre un niveau de score minimum.

**Elaboration d'une liste d'établissements :** Le système établit une liste des établissements de soins susceptibles d'être implantés. Ces choix s'effectuent en tenant

compte du budget disponible, de la densité de la demande et des priorités dans le traitement des demandes.

**Propositions d'extension :** L'ensemble des points candidats à l'implantation est confronté à la liste des établissements, et des mises en correspondance sont effectuées. A chaque point est associé l'établissement de la liste qui est le mieux adapté au type de demande enregistrée en ce point et aussi le moins coûteux. La proposition est constituée des solutions les moins coûteuses ; le coût est calculé en fonction du prix du mètre carré de terrain en ce point et du coût de construction de l'établissement ainsi que de son coût de fonctionnement.

Tous les résultats et toutes les données sont visibles sur des cartes géographiques. Cette méthode est programmée en APL (A Programming Language).

### **3.6.3 Le modèle de Malczewski et Ogryczak**

Malczewski et Ogryczak ont analysé les raisons du refus des planificateurs d'utiliser les modèles et méthodes traditionnelles de localisation-allocation de ressources existantes [MALCZEWSKI 1990]. Les raisons les plus importantes à leurs yeux résident dans le manque de communication entre l'analyste (celui qui écrit le modèle) et le planificateur, et dans l'absence d'attention au sujet du rôle actif que joue le décideur dans le processus de décision. Pour remédier à ces inconvénients, ils proposent une méthode d'aide interactive d'aide à la localisation de structures dans le secteur public. Ils ont appliqué cette méthode au problème de la réorganisation des services de pédiatrie dans la ville de Varsovie (Pologne). Cette réorganisation s'effectue dans la perspective d'une forte augmentation de la natalité et donc des besoins en soins dans cette spécialité pour l'an 2000. Cette application est décrite en détail dans le paragraphe 3.7.4 de ce chapitre. Les paragraphes qui suivent traitent successivement du modèle général et du mode de résolution proposé par les auteurs ; ce mode de résolution se fonde sur la notion d'apprentissage.

#### **3.6.3.1 Le modèle**

Le programme mathématique associé au problème de localisation s'écrit comme un programme d'optimisation multi-objectif. Le système de contrainte contient les contraintes décrites dans le modèle mathématique général k-hiérarchique, auquel des contraintes sur l'utilisation des ressources sont ajoutées. Ce programme est entièrement formulé par un analyste.

#### **3.6.3.2 Le mode de résolution**

La méthode de résolution adoptée par Malczewski et Ogryczak est une méthode interactive d'optimisation multi-critère ; la méthode du point de référence. Cette méthode a été mise au point par Wierzbicki [VINKE 1988]. La recherche de la solution est menée par le planificateur par l'intermédiaire d'un dialogue avec le système. Ce dialogue concerne le niveau de performance (les scores) que la solution proposée enregistre au niveau de chaque objectif. Dans la suite, et sans perte de généralité, on suppose que tous les objectifs sont à maximiser.

Après avoir indiqué au décideur dans quelle fourchette chaque objectif prend ses valeurs, le système demande à l'utilisateur de lui indiquer pour chaque objectif un seuil en dessous duquel l'objectif ne doit pas prendre de valeur ; un seuil de rejet, et un seuil à partir duquel le score de la solution est considéré comme satisfaisant. A partir de ces indications, le système calcule une solution Pareto-optimale<sup>21</sup> dont les scores sur l'ensemble des objectifs soient les plus proches possibles des niveaux satisfaisants tout en étant les plus éloignés possibles des seuils de rejet. Cette solution est affichée sur une carte géographique ; c'est-à-dire que les sites en lesquels la solution proposée prévoit la localisation de services hospitaliers ainsi que l'origine des patients qui leur sont affecté sont visualisés.

---

<sup>21</sup> De façon intuitive, une solution Pareto-optimale est un vecteur solution réalisable du programme, tel qu'il est impossible d'améliorer le résultat enregistré sur un objectif en ce point sans diminuer celui atteint sur au moins un autre. Une définition plus technique est donnée chapitre 3 partie 5.2.1

Les scores que cette solution enregistre sur chaque objectif sont aussi fournis. En fonction de ces informations, l'utilisateur peut soit arrêter la recherche si la solution proposée lui convient, soit continuer l'exploration des solutions. S'il choisit de continuer, le système lui demandera de fournir de nouveaux seuils. En fonction de ces seuils, le système calculera une nouvelle solution qu'il proposera à l'utilisateur.

### **3.6.4 Conclusion**

Même si elles sont très différentes, nous avons regroupé ces trois méthodes parce que chacune éclaire un aspect important de l'aide à la planification sanitaire.

La méthode RAWP, qui est la seule méthode à être actuellement utilisée, montre que l'atteinte d'un compromis entre une approche formelle et une approche empirique conditionne son application. En effet, la dernière étape de la procédure est toujours réservée au décideur afin qu'il puisse remodeler la proposition calculée. De plus, les décideurs interviennent dans la construction de la procédure de calcul en influant sur le choix des indicateurs utilisés dans la mesure du besoin. Dans ce sens, cette méthode peut être qualifiée d'interactive.

La méthode de Wong et Au ainsi que celle de Malczewski et Ogryczak instaurent aussi toutes les deux une participation active de l'utilisateur dans la recherche de la solution. La première méthode concentre cette participation au niveau de la définition des caractéristiques des zones candidates ; elle l'associe dans la définition des traits pertinents, et dans la définition de l'environnement décisionnel. L'utilisateur participe ainsi à la réduction de l'ensemble des solutions possibles. Sa participation dans la seconde méthode se place plus au niveau de la caractérisation de la solution par rapport à ses scores sur les différents objectifs. Ces deux méthodes, en plus d'intégrer parfaitement l'aspect multi-critère du problème, utilisent un outil cartographique pour afficher les solutions ; ce choix de représentation favorise l'accès à une vision globale et synthétique de la situation.

Les aspects positifs de ces méthodes ne doivent pas masquer leurs faiblesses.

Le choix de certains indicateurs dans la méthode RAWP, comme le facteur « Tamise » et le choix d'arrêter le calcul du taux de mortalité standardisé à l'âge de 75 ans, ainsi que le choix des différentes pondérations sont fortement contestés [MAYS 1995]. Il en est de même de la volonté politique de ne pas intégrer des indicateurs mesurant la « faiblesse sociale » de la population, dont l'incidence sur les besoins en soins a été montrée comme importante [JARMAN 1983].

Dans la méthode de Wong et Au, l'attribution de poids à chaque critère de sélection, ainsi qu'à chaque valeur que peut prendre ce critère, peut s'avérer difficile si le nombre de traits considérés et le nombre de valeurs suivant lesquelles on peut les décliner est important. De plus, le seul objectif qui est optimisé dans ce modèle est le coût.

La méthode de Malczewski et Ogryczak manque de flexibilité au niveau de la définition du modèle d'optimisation. Il ne prévoit pas l'intervention de l'utilisateur dans la définition de contraintes supplémentaires sur les sites d'implantation.

## **3.7 Quelques méthodes appliquées en planification sanitaire**

Dans cette partie, un ensemble d'applications, présentées de manière détaillée, illustre les différents types de méthodes disponibles que nous avons décrits dans les paragraphes précédents. Ces méthodes ont toute fait l'objet d'une application concrète, mis à part la méthode k-hiérarchique. Pour illustrer une application de cette dernière, nous avons choisi un des premiers exemple proposé. De plus, cet exemple constitue une bonne illustration de ce qui se fait en mono-critère. Cette présentation suit le même ordre que celui que nous avons utilisé précédemment. Nous exposerons tout d'abord une méthode géographique, puis une méthode de planification k-hiérarchique, une méthode multi-acteurs, enfin une méthode hybride.

### 3.7.1 Une méthode utilisant un système d'interaction spatiale

Wilson R. M. et Gibbert R. W. [WILSON 1990] considèrent la planification sanitaire comme relevant de la famille des problèmes de localisation-allocation. Ils utilisent une approche utilitariste multi-attribut<sup>22</sup>, pour résoudre ce problème, et proposent un modèle qui permet de calculer la taille des services sanitaires, en nombre de lits, en fonction de la demande. Ils suppose de plus que la zone géographique qu'ils étudient est auto-suffisante en soins. Ils ont illustré leur proposition en calculant, à partir de données réelles, la taille des services de soins intensifs des hôpitaux de la Nouvelle Galle du Sud en Australie.

Afin de modéliser les échanges entre les établissements hospitaliers et la demande de soins dans une région, ils utilisent un modèle d'interaction spatiale (Spatial-Interaction Model) spécialisé dans l'allocation de ressources entre différents points d'une même région géographique ; le modèle de Wilson R. M. et Gibbert R. W. [WILSON 1990] est très proche du modèle RAMOS<sup>-1 23</sup>. Après une présentation sommaire de la méthode qu'ils ont adoptée, nous la commentons.

#### 3.7.1.1 Présentation de la méthode

Dans une première phase, Wilson R. M. et Gibbert R. W. découpent la zone étudiée en sous-zones, et concentrent en un point géographique toute la demande de soins de la population qui y réside. Puis ils définissent une matrice T origine-destination qui représente la répartition de la demande de chaque sous-zone entre les différents établissements sanitaires. Les coefficients de cette matrice sont calculés à l'aide d'un modèle d'interaction spatiale.

La valeur de chaque coefficient  $T_{ij}$  de la matrice origine-destination dépend de la capacité d'accueil de l'établissement hospitalier  $j$  et du nombre de patients originaire de la zone  $i$ . Il existe deux manières de calculer ces coefficients, chacune est dépendante de la situation que l'on cherche à modéliser, selon que l'on envisage la possibilité ou non de création d'une liste d'attente pour les demandes [SEGALL 1992]. Wilson R. M. et Gibbert R. W. ont considéré que toute demande de soins doit être prise en charge dès qu'elle est formulée. Ils ont utilisé un modèle d'interaction spatiale sous sa forme "origine contrainte" (origin-constrained form) pour représenter cette situation. Dans ce modèle, l'ensemble des patients devant recevoir des soins est connu, et la capacité de chaque établissement hospitalier doit être estimée.

On note,

$T_{ij}$  : l'estimation du nombre de patients résidant en  $i$  qui seront pris en charge dans l'établissement situé en  $j$ .

$D_j$  : le facteur d'attractivité de l'établissement situé en  $j$ . Il se mesure en terme de capacité. Plus la capacité d'un établissement est importante, plus il est attractif.

$W_i$  : le nombre de patients originaires de  $i$  qui ont besoin de soins (en nombre de prise en charge).

$c_j$  : le coût supporté par les patients originaires de  $i$  pour accéder à l'établissement situé en  $j$ .

<sup>22</sup> L'approche utilitariste multiattribut repose sur l'idée que le décideur recherche implicitement à maximiser un critère numérique qui synthétise l'ensemble des points de vue à prendre en compte lors du processus de décision. [VINCKE 89]

<sup>23</sup> En 1979, en Angleterre, le London Health Planning Consortium a développé RAMOS (Resource Allocation Model Over Space), un modèle d'interaction spatiale pour simuler l'activité des différents services hospitaliers d'une région. Il décrit le flux des patients entre leur lieu d'habitation (origine) et l'endroit où ils reçoivent leurs soins hospitaliers (destination). En 1980, Taket et Mayhew, au sein de l'IIASA ont amélioré le modèle mathématique de base pour l'allocation régionale de ressources hospitalières [MAYHEW 1980a]. Ce modèle est nommé RAMOS<sup>-1</sup>

$A_i$  : le paramètre de normalisation qui garantit que  $\sum_j T_{ij} = W_i$ . Ce paramètre mesure l'accessibilité aux soins des patients d'origine  $i$

En utilisant ces notations, la forme "origine contrainte" du modèle d'interaction spatiale utilisée dans cette étude s'écrit :

$$T_{ij} = A_i D_j W_i \exp(-\beta D_{ij})$$

avec  $\beta$  un paramètre qui mesure la sensibilité des déplacements par rapport à la distance.

Wilson et Gibbert évaluent ensuite chaque allocation de ressources à l'aide des trois indicateurs suivants :

- ✓ l'efficacité (mesurée par le coût total de production), ce qui s'écrit  $\sum_j k_j D_j$ , avec  $k_j$  le coût du lit par an dans la région  $j$  ;
- ✓ l'iniquité dans la prise en charge (mesurée par la somme, sur les établissements sanitaires  $j$ , du carré de la différence entre nombre de patients résidant en  $i$ , qui pourront effectivement être soignés en  $j$ , et du nombre initial de demande de soins émanant de  $i$  vers  $j$ ), soit  $\sum_i \left( \sum_j W_i \exp(-\beta D_{ij}) \right) D_j - W_i \right)^2$  ;
- ✓ l'iniquité d'accessibilité (mesurée par la somme, sur l'ensemble des établissements sanitaires, du carré de la différence entre la distance parcourue par les personnes hospitalisées en  $j$  et une distance idéale). Ceci a été écrit  $\sum_i (A_i - A)^2$ , avec,  $A$  la mesure moyenne de l'accessibilité aux soins sur tout le système.

Ils décrivent le bien-être public par une somme pondérée des mesures de chacun de ces indicateurs. Les poids sont choisis par le décideur dans le but d'homogénéiser les différentes unités.

### 3.7.1.2 Analyse de la méthode

La méthode proposée par Wilson et Gibbert est principalement discutable de par le choix de modéliser ce problème multi-critère que constitue la localisation-allocation des ressources hospitalières en un programme mono-objectif dont la fonction objectif correspond à une somme pondérée des mesures des critères du problème initial. Le résultat obtenu par cette méthode est très riche. En effet il correspond à une fonction qui permet de ranger tous les schémas de localisation-allocation de ressources hospitalières du meilleur au moins bon.

La richesse de ce résultat ne doit cependant pas occulter le fait qu'elle est due à la présence d'hypothèses fortes. L'utilisation de l'opérateur somme, pour qu'elle ait un sens, doit s'effectuer entre des termes qui s'expriment tous en une même unité ; les différents critères sont donc comparables et indépendants. Le rôle des poids associés à chaque critère est d'homogénéiser les unités de mesure. Cette agrégation suppose de plus que les critères soient totalement compensatoires ; un grand écart sur un critère peut être compensé par plusieurs petits écarts sur d'autres critères [VINCKE 1989].

Ces remarques sur l'application de cette méthode d'agrégation nous permet de nous interroger sur la légitimité de son emploi dans le cas présenté par Wilson et Gibbert. Quelle unité commune peut-on trouver entre un coût exprimé en unité monétaire, une distance physique au carré, et un nombre de patients au carré? Ces critères sont-ils entièrement compensatoires?

Si le traitement de l'aspect multicritère du problème est discutable, le modèle mathématique de base constitué par les modèles d'attraction décrit en revanche de manière adéquate les "échanges" qui existe dans le système de soins hospitaliers [MAYHEW 1980a], [MAYHEW 1980b]. Il reproduit assez précisément les observations empiriques relatives au comportement des patients effectuées au cours de différentes études sociologiques [MIZRAHI 1982], [MAYHEW 1982] et statistiques [LHPC 1979] en utilisant très peu d'hypothèses. Son élaboration nécessite cependant d'avoir à sa disposition des données exhaustives sur les déplacements et les caractéristiques socio - professionnelles des patients [MIZRAHI 1982], [RAFTERY 1993].

Le choix et la modélisation des différents critères sont intéressants. Ils ont fait l'objet de nombreux travaux. Mayhew et Leonardi [MAYHEW 1982], en particulier, ont étudié isolément la sensibilité et le comportement de différents critères.

### 3.7.2 Une méthode k-hiérarchique

En 1972, Dökmeci V. F. s'est intéressée à la planification régionale du système formé par un ensemble hiérarchisé d'établissements hospitaliers situés dans une même région. Elle définit le système régional de soins hospitaliers comme un système hiérarchique inclusif à quatre niveaux. Ces niveaux correspondent, si on les énumère de façon ascendante, aux centres sanitaires, aux hôpitaux locaux, aux hôpitaux intermédiaires et aux centres médicaux [DÖKMECI 1972].

Dökmeci V. F. a réduit ce problème à un problème de localisation - allocation dans un système hiérarchisé et a proposé un modèle quantitatif qui permet de déterminer les caractéristiques optimales de ce système de soins hospitaliers. Ces caractéristiques sont le nombre de services pour chaque niveau de la hiérarchie, la taille de ces services ainsi que leur localisation dans une région. Son travail est essentiellement théorique ; elle n'a pas appliqué sa méthode à un cas concret.

#### 3.7.2.1 La méthode

Dökmeci V. F. munit le plan de la région d'un repère de coordonnées cartésien. A chaque point de la région elle fait correspondre un couple de coordonnées. Chacun de ces points est une localisation potentielle pour un établissement hospitalier. Elle suppose que la qualité des soins est également distribuée sur tout le territoire, et donc que les patients s'adressent toujours à l'établissement qui leur est le plus proche. La mesure de la distance qu'elle adopte est la mesure euclidienne. Elle discrétise ensuite la demande de soins. Pour cela, elle découpe la région en différentes zones. Ce découpage en zones peut correspondre à un découpage administratif. Dans chacune de ces zones, elle choisit un point où la totalité de la demande en soins hospitaliers de la zone est concentrée. Pour chacun de ces points, elle calcule, à l'aide d'un processus Markovien, le nombre de patients qui sera dirigé vers les différents niveaux de soins.

Le critère selon lequel elle évalue les différents schémas de localisation-allocation est le "coût total du système pour la société". Ce coût total est défini par la somme des coûts de fonctionnement des établissements (coûts fixes et de production), et des coûts de déplacement pour les différentes populations en contact avec le système de soins hospitaliers (les employés, médecins, patients hospitalisés ou reçus en externe et les visiteurs). Ces derniers coûts sont supposés proportionnels à la distance parcourue pour atteindre l'établissement hospitalier.

Le problème qu'elle cherche à résoudre est donc de déterminer, pour chaque niveau, le nombre optimal d'établissements à localiser, leurs coordonnées dans le plan de la région et de leur allouer à chacun le volume de demande à laquelle il devront répondre. A partir du volume de patients qui devra être soigné dans chaque établissement, le volume de lits d'hospitalisation et le nombre de professionnels nécessaires sont déduits. Elle traduit cette situation par le programme mathématique suivant.

Trouver  $x_j, y_j, a_{ij}, p_m$ , et  $D_{jm}$  qui minimisent :

$$z = \sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^p T_{ij} a_{ij} d_{ij} t + \sum_{m=1}^4 (a_m p_m + b_m A_m) \quad (1)$$

sous les contraintes :

$$A_m = \sum_{j=1}^p D_{jm}, \text{ pour tout niveau } m,$$

$$d_{ij} = \left[ (x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ quels que soient } i \text{ et } j.$$

Avec,

$$(x_i, y_i) : \text{ les coordonnées du point } i ;$$



- $T_j$  : le flot des patients de la zone de résidence  $i$  traité dans l'établissement situé en zone  $j$  ;
- $\alpha_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{si l'établissement } j \text{ dessert la demande du point } i, \\ 0 & \text{sinon;} \end{cases}$
- $d_j$  : la distance entre l'établissement sanitaire situé en  $j$  et le point  $i$  d'où est issue la demande ;
- $D_{jm}$  : la capacité de l'établissement de niveau  $m$  situé en  $j$  ; cette capacité s'exprime en nombre de patients pris en charge ;
- $t$  : le coût unitaire de déplacement ;
- $p = p_0 + p_1 + p_2 + p_4$ , avec  $p_0$  le nombre de points où est concentrée la demande,  $p_1$  le nombre de centres sanitaires,  $p_2$  le nombre d'hôpitaux locaux,  $p_3$  le nombre d'hôpitaux intermédiaires,  $p_4$  le nombre de centres médicaux ;
- $A_m$  : la capacité totale de production de soins pour l'ensemble des établissements du niveau  $m$ ,  $m \in \{1; 2; 3; 4\}$  ; cette capacité s'exprime en terme de nombre de patients pris en charge ;
- $a_m$  et  $b_m$  sont respectivement les coûts fixes et les coûts de prise en charge associés au niveau de service  $m$ ,  $m \in \{1; 2; 3; 4\}$  ;

Afin de résoudre ce programme mathématique, Dökmeci utilise une heuristique<sup>24</sup> en trois étapes. Lors de la première étape, le nombre d'établissements à localiser est estimé pour chaque niveau de la hiérarchie. La deuxième étape consiste à calculer une première solution. La troisième étape correspond à une étape d'affinage de la première solution. Techniquement, ces trois étapes se décrivent comme suit:

**Etape 1:** Les valeurs de  $p_1, p_2, p_3$  et de  $p_4$  sont estimées.

**Etape 2:** Une procédure de localisation des établissements est appliquée de façon itérative à chaque niveau de la hiérarchie ; elle prend seulement en compte les interactions avec les niveaux inférieurs à celui auquel elle est appliquée. Cette procédure commence par calculer une première localisation des établissements du niveau 1 (les centres sanitaires). A cet effet, elle réalise une partition optimale en  $p_1$  sous-ensembles de l'ensemble constitué des points en lesquels la demande est concentrée. Cette partition est réalisée à l'aide d'une méthode « eliminate-alternate-correction » fondée sur le critère de la distance minimale [COOPER 1967]. A l'issue de cette opération, un établissement est localisé dans chaque sous-ensemble. Les coordonnées de ces établissements sont obtenues en résolvant, pour chaque sous-ensemble, le programme général avec pour objectif la minimisation de la fonction :

$$z_1 = \sum_{i=1}^{p_{10}} \sum_{j=1}^{p_{10}} T_{ij} \alpha_{ij} d_{ij} t + p_1 a_1 + b_1 A_1 ,$$

où,

$$p_{10} = p_0 + p_1 .$$

Une méthode fondée sur l'utilisation des dérivées partielles est employée pour évaluer les coordonnées des sites qui minimisent cette fonction. Elle les identifie aux valeurs qui annulent les dérivées partielles de la fonction objectif, et les estime à l'aide de suites qui convergent vers ces valeurs [DÖKMECI 1977].

<sup>24</sup> Les heuristiques sont des méthodes qui construisent des solutions réalisables ayant « intuitivement » parlant « une bonne probabilité » d'être « proche » de la solution optimale. Les méthodes heuristiques sont généralement utilisées lorsque le calcul de la solution exacte est trop coûteux en temps [ABADI 1969].

Afin d'obtenir la localisation des établissements de niveau supérieur, la procédure que nous avons décrite est appliquée en commençant par partitionner l'ensemble constitué des points en lesquels la demande est concentrée et les points en lesquels les établissements de niveaux inférieurs à celui considéré sont localisés.

**Etape 3:** La solution élaborée lors de l'étape précédente est progressivement ajustée jusqu'à ce qu'une stabilité de la solution soit atteinte, c'est à dire que la variation des coordonnées calculées lors de deux processus d'ajustement successifs soit faible. La procédure d'ajustement consiste à "effacer" de la solution les coordonnées calculées à un niveau et à recalculer ces coordonnées en minimisant la fonction objective (1). Les valeurs prises par les variables concernant les autres niveaux sont celles obtenues lors du dernier calcul les concernant.

Cette méthode est appliquée pour toutes les valeurs de  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  et de  $p_4$  envisageables, et la solution la moins coûteuse est choisie.

### 3.7.2.2 Analyse et commentaire

Essentiellement deux aspects de cette méthode sont discutables. Il s'agit des hypothèses fortement simplificatrices qui forment son fondement, et du choix des critères d'évaluation des différentes alternatives.

En effet, les hypothèses fondatrices de son modèle sont rarement vérifiées dans la réalité.

- ✓ Dökmeci ne considère pas le caractère fini des ressources ;
- ✓ La localisation des différents établissements s'effectue dans le plan, alors qu'il est difficilement envisageable de construire un établissement hospitalier hors de toute agglomération ;
- ✓ Elle suppose que la qualité des soins est distribuée de manière égale sur tout le territoire, ce qui n'est pas vrai dans la réalité.

Le choix de mesurer l'optimalité de la solution par son coût est aussi discutable, en particulier la modélisation proposée du coût de déplacement. Le coût de déplacement calculé comme proportionnel à la distance à parcourir n'est pas vraiment judicieux. L'emploi de la distance euclidienne ne permet pas de prendre en compte la topographie, les dessertes routières, aériennes, comme de la difficulté matérielle et physique d'effectuer le déplacement. De plus, le coût du déplacement n'est pas seulement proportionnel à la distance, il est fonction aussi de caractéristiques sociales et physiologiques ainsi que du temps [FOTHERIGHAM 1989]. Il n'est donc pas évident que le coût de déplacement puisse se mesurer en unité monétaire, comme l'auteur l'a proposé.

Malgré les défauts de cette méthodes, Dökmeci est, à notre connaissance, l'une des première à traiter le problème de localisation-allocation en tenant compte de l'aspect hiérarchique du système hospitalier. De plus, la forme de la méthode de résolution proposée est très moderne.

### 3.7.3 Une méthode multi-acteurs d'allocation de budget

Urli B. et Beaudry D. [URLI 1995a] ainsi que Urli D. [URLI 1995b] se sont intéressés au problème de l'allocation des ressources financières que rencontraient les Centres Régionaux de la Santé et des Services Sociaux de la province de Québec, et plus particulièrement à celui concernant la répartition du budget alloué au programme des personnes âgées et en perte d'autonomie.

L'application de cette méthode aboutit à la construction d'une grille d'évaluation des différentes structures à financer. L'évaluation des structures à l'aide de la grille est traitée par une procédure qui calcule une répartition équitable, par rapport aux résultats de l'évaluation, de l'enveloppe budgétaire entre les différentes structures.

### 3.7.3.1 Présentation de la méthode

Urli B. et Beaudry ont découpé la Province de Québec en plusieurs zones qu'ils ont appelées unités territoriales. Ils ont ensuite proposé une méthode en deux étapes qui permet de répartir un budget entre des unités territoriales, en fonction de leurs besoins en soins et en structures sanitaires.

La première étape est dédiée à l'élaboration du modèle d'évaluation des besoins en soins et en structures sanitaires des différentes unités territoriales de la région. Lors de cette étape, ils utilisent une méthode fondée sur la négociation afin de construire une définition opérationnelle de cette notion de besoin qui rassemble un large consensus au sein des différentes parties concernées (les professionnels de la santé, les dirigeants politiques, les consommateurs, les économistes). Des experts des différentes parties sont donc sollicités pour :

- ✓ Identifier les "dimensions" du besoin en soins et en structures sanitaires d'une unité territoriale et pondérer ces dimensions en fonction de leur importance relative dans l'évaluation du besoin. Ces dimensions sont les attributs du besoin en soins et en structures sanitaires. Par exemple, dans le cas de la répartition du budget attribué au programme des personnes âgées et en perte d'autonomie, les dimensions démographiques, socio-économiques, ainsi que celles relatives au système soins et services, à la vitalité du milieu et le programme personnes âgées ont été identifiées [URLI 1995a].
- ✓ Identifier, pour chacune de ces "dimensions", un certain nombre d'indicateurs qui se rapportent à une unité territoriale. Ces indicateurs sont les attributs des dimensions, et sont pondérés. Chaque poids représente l'importance relative de l'indicateur dans la description de la dimension à laquelle il est associé. Par exemple, dans le cas présenté dans [URLI 1995a], la dimension démographique est décrite par un triplet dont les composantes sont : la taille de la population, le taux de variation de la population et le rapport entre les moins de quinze ans et les plus de soixante-cinq ans.

Le choix des dimensions et des indicateurs est confié à des groupes distincts d'experts. Ces groupes doivent également pondérer les dimensions et les indicateurs qu'ils ont identifiés. Plus précisément, au sein de chaque groupe, les experts remplissent individuellement :

- ✓ soit une matrice  $M$  de comparaisons par paire des attributs du besoin en soins et en structures sanitaires d'une unité territoriale (les dimensions),
- ✓ soit une matrice  $M$  de comparaisons par paire des attributs des dimensions (les indicateurs),

selon que le travail du groupe ait porté sur l'identification des dimensions ou des indicateurs.

Chaque coefficient  $M_{ij}$  de ces matrices mesure l'importance relative que l'expert accorde à l'attribut  $i$  par rapport à l'attribut  $j$  pour décrire la notion qu'il considère. Il correspond à la réponse chiffrée de l'expert à la question : " Combien de fois l'attribut  $i$  est-il plus pertinent que l'attribut  $j$  dans la description de la notion que je considère?" .

Au sein de chaque groupe, le niveau de cohérence de chaque matrice est ensuite évalué à l'aide de l'outil AHP (Analytic Hierarchy Process) [SAATY 1986]. Les matrices qui n'atteignent pas le minimum de cohérence requis sont écartées. Les matrices restantes sont agrégées en une matrice de synthèse qui sera une représentation des préférences du groupe. Cette matrice de synthèse correspond à une moyenne pondérée des matrices retenues. Le poids de chaque matrice correspond au niveau de cohérence de chacune d'elles. La pondération des indicateurs et des dimensions est obtenue ensuite en appliquant AHP aux matrices de chaque groupe.

A l'issue de cette première étape, un ensemble  $W$  de poids associés aux différents indicateurs est disponible. Ces poids sont calculés en multipliant le poids de l'indicateur dans la description de la dimension qui lui est associée, avec le poids de cette dimension. Les dimensions ne seront plus utilisées dans les étapes ultérieures.

On évalue ensuite pour chaque région  $i$  l'indicateur  $j$  et on consigne ces valeurs dans une matrice d'évaluation  $V$ . Chaque coefficient  $V_{ij}$  correspond à la valeur de l'indicateur  $j$  pour l'unité territoriale  $i$ .

Dans la seconde étape, les différentes unités territoriales sont rangées selon leur besoin, puis les ressources sont réparties en fonction de leur rang dans la hiérarchie, et de l'importance de leurs besoins. A cet effet, on choisit pour chaque indicateur  $j$  une fonction  $P_j(a,b)$  qui mesure l'intensité de préférence d'une unité territoriale  $a$  par rapport à une autre unité territoriale  $b$  selon l'indicateur  $j$ . Cette fonction  $P_j(a,b)$  est croissante en fonction de l'écart entre  $V_{aj}$  et  $V_{bj}$ , et vaut 0 si cet écart est négatif. Puis, à l'aide de la méthode de surclassement<sup>25</sup> PROMETHEE, la performance globale de chaque unité territoriale est évaluée à partir des différents ensembles de poids, et de cet ensemble de fonctions  $P_j(a,b)$ .

La technique d'agrégation des critères (ici des indicateurs), PROMETHEE, est une variante de la méthode de Borda [MARCHANT 1996]. Elle associe un score  $S$  à chaque alternative (unité territoriale). Ce score correspond à la somme pondérée des performances de l'alternative sur chacun des critères. La performance d'une alternative suivant un critère (indicateur) est évaluée au moyen de la somme des écarts entre l'intensité de préférence de l'alternative comparée à chacune des autres alternatives et l'intensité de préférence des autres alternatives par rapport à l'alternative considérée. La pondération des performances correspond au poids des critères (indicateurs). En notant  $w_j$  le poids du critère  $j$ , le calcul du score de l'alternative  $a$  s'écrit aussi :

$$S(a) = \sum_j w_j \sum_{b \neq a} P_j(a;b) - P_j(b;a).$$

Le classement final s'obtient en ordonnant les alternatives par score décroissant.

Une fois les régions ordonnées, le budget est réparti entre les différents territoires selon leur rang dans la hiérarchie et le score qui leur est associé.

### 3.7.3.2 Analyse de la méthode

Urli B. et Beaudry D. illustrent la présentation de leur méthode par une application concrète de celle-ci. Cette illustration ne saurait cependant pas occulter le manque d'arguments scientifiques développés par les auteurs concernant le choix des outils utilisés dans l'élaboration de cette méthode. Pour justifier le choix d'AHP, ils invoquent sa propriété de tamisage et motivent l'utilisation de PROMETHEE par la simplicité et la facilité de présentation des concepts sous-jacents. Nous allons montrer que cette faiblesse dans l'argumentation est significative. Dans un premier temps, nous montrons que la méthodologie présentée pour construire le modèle d'évaluation ne permet pas toujours d'obtenir des résultats satisfaisants. Nous indiquons dans un deuxième temps dans quelles conditions l'utilisation de PROMETHEE est légitime pour agréger les évaluations. Dans un troisième temps, une synthèse des remarques est effectuée et nous montrons que la méthode proposée ne peut pas fournir, dans le cadre général de l'allocation de ressources hospitalières, les solutions rationnelles qu'elle annonce.

#### 3.7.3.2.1 La construction du modèle d'évaluation

Comme il a été exposé dans la partie précédente lors de la construction du modèle d'évaluation, AHP est utilisée à deux reprises pour évaluer la cohérence des différentes matrices, puis pour calculer le poids des indicateurs et des dimensions. Après une présentation d'AHP, nous montrerons que la construction de la matrice de synthèse rend difficile l'interprétation des différents poids obtenus.

AHP est un outil multicritère d'aide à la décision dont les fondements ont été posés en 1977. Parmi ces fondements, l'hypothèse de l'existence d'une échelle fondamentale de mesure [SAATY 1985] est posée. AHP associe à chaque alternative un « poids ». Ce « poids » est la somme des poids de

<sup>25</sup> Une méthode de surclassement vise à classer différentes alternatives. Dans ce classement, une alternative est considérée comme meilleure qu'une autre s'il existe suffisamment d'arguments qui permettent de conclure que cette alternative est "au moins aussi bonne" que l'autre sans qu'il y ait de raison importante de refuser cette affirmation. [VINCKE 89]

l'alternative selon chaque critère. Le poids d'une alternative selon un critère est calculé à partir d'une matrice d'intensité de préférence relative à ce critère, et correspond à la valeur en unité de mesure fondamentale de l'alternative selon ce critère. Les poids des alternatives selon les critères ainsi obtenus ne peuvent cependant être cohérents avec les comparaisons par paire, que si la matrice d'intensité des préférences utilisée pour le calcul est consistante. C'est-à-dire, d'après Saaty [SAATY 1986], si  $M_{ik}$  et  $M_{kj}$  représentent respectivement l'intensité de préférence de l'alternative  $i$  par rapport à l'alternative  $k$  et de celle de l'alternative  $k$  par rapport à l'alternative  $j$ , alors l'intensité de préférence de l'alternative  $i$  par rapport à l'alternative  $j$  est égale au produit de  $M_{ik}$  et  $M_{kj}$ . Une procédure de calcul de la cohérence des matrices de préférence est intégrée à l'outil AHP. Ce mode de construction du poids d'une alternative suppose implicitement l'existence d'une fonction additive qui décrit la structure sous-jacente du décideur, c'est à dire que le taux de substitution entre deux critères (le quotient de leur poids) ne dépend pas de la valeur des autres critères [SCHENCKERMAN 1994]. Dans les cas concrets, cette situation est très rarement observée.

La méthode Urli-Beaudry n'utilise pas AHP comme un outil multicritère pour ranger des alternatives, mais plutôt comme outil pour calculer des poids de critères. En effet, au sein de chaque groupe, les différents poids sont obtenus par l'application d'AHP à une matrice de synthèse sensée représenter les préférences d'un groupe d'expert. La matrice de synthèse est évaluée par une moyenne des matrices qui, parmi celles collectées dans le groupe d'experts, vérifient un « certain niveau de cohérence ». Cette moyenne est pondérée par le niveau de cohérence de chacune des matrices. Cette évaluation pose essentiellement deux problèmes. Le premier est relatif au calcul de la moyenne. En effet, lors de la sommation des matrices, il est implicitement supposé que les échelles utilisées par chacun des experts pour évaluer les différentes alternatives sont identiques. Tous les experts mesureraient donc leurs intensités de préférence en utilisant la même unité de mesure. Cette hypothèse est d'autant plus difficile à vérifier que les mesures utilisées par les experts sont subjectives, c'est à dire, relatives à leur expérience, à leur connaissance et à leur intuition. Le deuxième problème est lié à la procédure de sélection des matrices de préférence selon leur niveau de cohérence. En effet, cette procédure de sélection de matrices correspond à un tri des experts selon la "cohérence" de leurs évaluations. Tout se passe comme si la compétence d'un expert se mesurait par la cohérence de sa matrice d'intensité de préférence. La matrice de synthèse ne refléterait donc pas l'avis de l'ensemble du groupe d'experts, mais d'une partie seulement. La véritable raison de ce tri semble être technique, le but étant de maximiser la cohérence de la matrice de synthèse.

Dans un tel contexte, il est difficile d'assurer la représentativité des différents poids calculés à l'aide d'AHP. Ceci est d'autant plus difficile que les axiomes qui forment la base d'AHP ne décrivent pas un comportement de choix, mais correspond à une suite de définitions [DYER 1990].

### 3.7.3.2.2 *L'agrégation des évaluations*

Afin d'ordonner les unités territoriales selon leurs besoins en soins et structures sanitaires, la méthode PROMETHEE est utilisée. PROMETHEE rencontre beaucoup de succès auprès des décideurs. Une des raisons de sa popularité est l'existence d'un interface utilisateur très convivial : PROMCALC (PROMethee CALCulation). Sa convivialité fait cependant souvent oublier que son application est limitée à des contextes décisionnels qui vérifient un ensemble d'axiomes [MARCHANT 1996]. De Keyser et Peeters dans [DE KEYSER 1994] indiquent dans quels cas cette méthode peut être légitimement utilisée. Dans notre cas, « le décideur » désigne l'entité abstraite qui rassemble l'ensemble des experts. L'utilisation de PROMETHEE pour ordonner un ensemble d'alternatives suppose que :

- ✓ Le décideur peut exprimer ses préférences entre deux alternatives pour chaque critère à l'aide d'un taux.
- ✓ Le décideur peut exprimer l'importance qu'il attache à chaque critère à l'aide d'un taux. Ce taux peut être assimilé à l'utilité marginale du critère.
- ✓ Le décideur désire prendre en compte tous les critères et il est conscient que les poids associés à chaque critère représentent les taux d'échange entre critères.

- ✓ Pour chaque critère, la différence de valeur entre deux alternatives est porteuse de sens.
- ✓ Le décideur sait que PROMETHEE est une variante de la méthode de Borda et par conséquent que cette méthode est fortement "manipulable"<sup>26</sup>. Il doit donc être parfaitement conscient de son influence sur la décision finale lorsqu'il ajoute ou retire une ou plusieurs alternatives.

La méthode PROMETHEE n'est pas, dans cette méthode, utilisée dans un contexte adéquat. En effet, la valeur arbitraire des poids obtenus à l'issue de l'étape d'évaluation ne leur permet pas d'être significatif. L'utilisation de PROMETHEE n'est donc pas légitime dans ce cas.

### **3.7.4 Une méthode de réorganisation régionale de services**

Afin de faire face à la croissance prévue de la demande en soins pédiatriques, l'autorité sanitaire de Varsovie décide d'augmenter en quinze ans l'offre régionale de soins pédiatriques. La capacité d'accueil en pédiatrie devra passer de 994 lits en 1986 à 2432 en 2010. Une telle augmentation suppose une réorganisation des services pédiatriques dans la région : révision des capacités des services déjà existants ainsi qu'une ouverture de nouveaux services. L'autorité sanitaire a choisi dans la région huit sites qui peuvent potentiellement accueillir un nouveau service ; quatre d'entre eux au maximum devront être retenus.

Malczewski et Ogryczak [MALCZEWSKI 1990a] se sont intéressés au problème du choix du meilleur schéma d'aménagement du réseau des services pédiatriques. Ils formulent dans un premier temps ce problème de localisation-allocation (par un programme multi-objectif à variables entières mixtes). Dans un second temps ils utilisent une généralisation du goal-programming pour résoudre de manière interactive ce programme.

#### **3.7.4.1 Présentation de la méthode**

Malczewski et Ogryczak modélisent ce problème de localisation - allocation par un programme multi-objectif à variables entières mixtes. Ils représentent l'offre régionale de soins par un réseau dont les nœuds sont les services pédiatriques et dont les arcs symbolisent le flux de patients. L'ensemble des nœuds est partitionné en deux classes : les nœuds fixes qui correspondent aux services déjà existants (ces services ne pourront pas être fermés), et les nœuds potentiels qui correspondent aux localisations potentielles de nouveaux services. A chaque arc est associé un coût qui correspond soit au coût d'implantation de la nouvelle structure, soit à un coût proportionnel au nombre de patients affectés au service. Les arcs ont tous pour origine un point source. Chaque point source correspond au centre administratif d'une zone sanitaire.

Cet aménagement du réseau sanitaire concerne plusieurs acteurs (l'autorité publique, les autorités sanitaires, les professionnels, et les usagers potentiels) dont les intérêts sont divergents. Les analyste ont retenus cinq objectifs représentatifs de ces intérêts divergents :

- ✓ la minimisation du coût de transport pour l'ensemble de la population ;
- ✓ la maximisation du niveau moyen de satisfaction des usagers potentiels face au schéma de localisation des hôpitaux ; la satisfaction d'un usager potentiel est modélisée par une fonction d'attraction de type exponentiel dont le paramètre est l'attractivité du service. Cette attractivité se mesure par une pondération de la distance à parcourir par l'utilisateur pour atteindre ce service ;
- ✓ la minimisation du coût global des investissements effectués ;
- ✓ la minimisation du coût global du fonctionnement du réseau de soins ;

<sup>26</sup> Une méthode est dite manipulable, s'il est toujours possible de trouver un individu (ou un groupe d'individus) qui peut, en exprimant une préférence différente de sa véritable préférence, obtenir un résultat supérieur à celui qu'il aurait obtenu en votant sincèrement.

- ✓ la minimisation de la somme des indices de pollution environnementale sur les sites d'implantation des services.

Afin de calculer une solution satisfaisante, Ogryczak et Malczewski utilisent le système DINAS (Dynamic Interactive Network Analysis System) qui est un système d'aide à la décision dans le cadre de problèmes de transport multi-objectif. Le calcul de la solution de compromis s'effectue par la méthode de résolution par point de référence proposée par Wierzbicki [WIERZBICKI 1982], méthode incluse au système DINAS. Cette méthode est une généralisation du goal-programing. Ses concepts de base sont les suivants [MALCZEWSKI 1990b] :

- ✓ Le décideur formule ses attentes en terme de niveau d'aspiration, c'est à dire qu'il spécifie les valeurs idéales pour chaque objectif.
- ✓ Le décideur élabore la solution de manière interactive avec le système de résolution du programme mathématique (le décideur peut changer la valeur idéale de ses objectifs au cours de l'analyse).
- ✓ Le système de résolution fournit au décideur une solution Pareto-optimale<sup>27</sup> la plus proche des niveaux d'aspiration spécifiés, même s'il existe une solution qui, sans être Pareto-optimale, atteint tous les objectifs idéaux.

Elle permet ainsi de favoriser l'échange d'informations entre le décideur et le système de résolution. Le travail d'analyse multi-objectif s'effectue en deux phases.

**Lors de la première phase**, le système fournit au décideur des informations afin qu'il puisse avoir une vue générale du contexte décisionnel. Ces informations initiales sont composées du point utopique et du point nadir. Les coordonnées de ces points sont calculées à partir de la matrice des gains. Les colonnes de cette matrice sont associées aux critères et les lignes aux variables. Chaque colonne  $i$  de la matrice correspond aux coordonnées du point optimal selon le seul critère  $i$ . Les composantes du point utopique sont obtenues en affectant à chaque composante la valeur la plus importante qui lui est associée dans la matrice, celles du point nadir sont obtenues en affectant à chaque composante la valeur la plus mauvaise qui lui est associée dans la matrice.

**Lors de la seconde phase**, une sélection de la solution efficace "la plus satisfaisante" est élaborée. Le décideur indique, en s'appuyant sur son expérience et sur son intuition, les valeurs minimales que certains objectifs doivent atteindre (le niveau de réserve), ainsi que les valeurs qu'il souhaiterait voir affectées à certains objectifs (le niveau d'aspiration). Chacune des valeurs qu'il choisit doit se situer entre les valeurs correspondantes du nadir et du point utopique. Le système calcule alors, au moyen d'une fonction "scalarisante", la solution qui satisfait au mieux ces volontés, c'est à dire qui dévie le moins des aspirations du décideur tout en vérifiant le mieux ses réserves. Cette solution est une solution Pareto-optimale du programme multi-objectif initial. Elle est présentée comme solution courante. Si cette solution ne satisfait pas le décideur, il doit changer ses valeurs d'aspiration et de réserve pour quelques objectifs afin qu'une nouvelle solution courante soit calculée. Le processus est répété aussi longtemps que le décideur n'est pas satisfait de la solution.

L'entrée et l'édition des données s'effectuent à l'aide d'un éditeur de réseaux EDINET, outil inclus au système DINAS. Cet outil permet de visualiser les données sur une carte et les relations entre les différents points du réseau.

#### 3.7.4.2 Analyse et commentaire

Cette méthode, contrairement à celles précédemment présentées, se place dans une perspective d'apprentissage. Le processus de calcul devient un assistant, qui à chaque étape, fournit la solution qui correspond le mieux aux attentes du décideur telles qu'il les a formulées. L'arrêt du processus est du seul ressort du décideur ; il s'effectue lorsque la solution atteint une forme qui satisfait le décideur.

<sup>27</sup> De façon intuitive, une solution Pareto-optimale est un vecteur solution réalisable du programme, tel qu'il est impossible d'améliorer le résultat enregistré sur un objectif en ce point sans diminuer celui atteint sur au moins un autre. Une définition plus technique est donnée chapitre 3 partie 5.2.1

L'interface graphique, qui permet l'affichage sur une carte géographique, améliore la lisibilité de la solution pour le décideur. Ce dernier peut donc plus facilement l'évaluer à chaque étape.

Cette coopération entre le décideur et le processus de calcul a pour avantage de favoriser les échanges. Par l'intermédiaire de la fixation des différents niveaux, le décideur inclut son expérience, et aide ainsi le processus de calcul à construire la solution qui satisfait le mieux et le système et les attentes du décideur. Le processus de calcul permet au décideur, en lui fournissant à chaque étape cette solution, d'affiner ses attentes pour que la solution le satisfasse mieux.

Les échanges fructueux que l'interaction favorise ne doivent pas occulter la difficulté que rencontrera le décideur lors de la fixation des niveaux d'aspiration et de réserve. En effet, s'il est raisonnable de supposer que le décideur en début de procédure est capable de fixer des niveaux d'aspiration. Néanmoins, il peut être difficile pour lui d'en fixer de nouveaux à chaque itération. Cette difficulté est accentuée par le fait que, souvent, la relation entre les niveaux d'aspiration et de réserve et la solution fournie par le système n'est pas vraiment transparente [VINCKE 1989]. Ce manque de transparence handicape le décideur dans la spécification de ses souhaits. En effet, le décideur fonde son jugement concernant la validité de la solution à la lumière de deux critères. Le premier correspond aux scores que la solution réalise sur les critères de choix, le second à la forme de la solution. La forme de la solution se rapporte à la distribution spatiale des différentes structures ainsi que l'affectation des patients aux différentes structures ; le décideur a une idée confuse de la forme « idéale » de la solution. Comme les relations entre ces deux critères ne sont ni claires, ni simples, le décideur ne peut pas tester ses hypothèses à l'aide de la méthode.

### 3.8 Discussion et conclusion

La planification sanitaire est un problème de décision publique. Elle concerne le choix de la localisation des services hospitaliers et des volumes de ressources qui leur sont alloués. Ce choix s'effectue à l'intérieur des contraintes définies par le volume disponible des ressources, il doit apporter une réponse adaptée à la demande en soins de la population et surtout remporter un large consensus auprès des différents acteurs de la planification, les politiques, les professionnels de la santé et les administratifs entre autres. Chacun de ces acteurs est mu par une stratégie différente caractérisée par des objectifs souvent contradictoires.

La difficulté de ce problème réside essentiellement en la nature du contexte décisionnel. Il n'existe pas de définitions opérationnelles qui permettent d'estimer la demande en soins, et de préciser ce qu'est une réponse adaptée à cette demande ; de façon générale, on note l'absence de normes en matière de protocole de prise en charge médicale. On ignore de plus la forme des relations qui existent entre l'offre de soins, la demande, les caractéristiques culturelles, sociales, démographiques de la population, et de la géographie. Cette absence de définitions concernant le fonctionnement du système hospitalier s'explique par la nature intrinsèquement dynamique du système : la demande en volume et en nature évolue avec le temps, tout comme les techniques médicales, les priorités politiques de développement, ainsi que les relations entre les « fournisseurs » de soins et les patients. L'évolution de ces dernières se traduit actuellement par une demande d'information croissante de la part des patients ; ils souhaitent aussi de plus en plus participer au choix de leur traitement. Cette demande s'accompagne d'un essor ces dernières années des revues, numéros spéciaux et rubriques traitant de vulgarisation de la médecine.

Afin d'aider les différents protagonistes (administratifs, professionnels de la santé et politiques) à définir un plan régional d'allocation de ressources, des méthodes ont été élaborées. Nous avons identifié cinq grands types de modèles utilisés par ces méthodes, les modèles économiques, les modèles de planification k-hiérarchiques, les modèles d'allocation de ressources multi-participants, les modèles de planification par buts, et les modèles hybrides. Chacun d'entre eux a fait l'objet d'une présentation des principes généraux, puis les méthodes se référant à ces principes ont été décrites de manière succincte. Ces descriptions de méthodes ont été suivies d'analyses qui ont mis en lumière les limites techniques de l'application du type de modèle dans le cadre de la planification sanitaire.



De façon générale, toutes les méthodes proposées se déroulent, plus ou moins explicitement, en deux phases : une phase de formalisation pendant laquelle le modèle d'évaluation est construit, et une phase de résolution pendant laquelle le « meilleur » schéma de répartition des ressources est sélectionné.

**La première phase** consiste à définir l'ensemble des alternatives du problème de décision, c'est à dire l'ensemble des candidats, ainsi que l'ensemble des critères de sélection. Dans le cas de la planification sanitaire, l'ensemble des alternatives est défini à l'aide d'un ensemble de contraintes. On distingue généralement deux types de méthodes selon que la formalisation du problème est stable, c'est à dire qu'elle n'est pas susceptible d'être modifiée en cours de procédure, ou évolutive. Les méthodes évolutives prévoient la possibilité de changer la formulation au cours de la procédure de décision, pour prendre en compte des résultats intermédiaires ou l'évolution naturelle de l'environnement [VINCKE 1989]. D'après cette taxonomie, les méthodes de planification sanitaire proposées sont toutes, exceptée celle proposée par Wong et Au [WONG 1973], stables. Cette dernière prévoit, au cours du processus de choix la possibilité pour l'utilisateur d'intervenir afin d'ajouter des contraintes pour restreindre le nombre de candidats. Il est remarquable cependant que la participation des différents protagonistes (ou représentants) à l'élaboration de l'ensemble de contraintes et à l'identification des critères de sélection soit favorisée dans les méthodes récentes. En effet, on observe que les méthodes d'allocation de ressources multi – participants, [URLI 1995a], [SINUARY-STERN 1993], [CARRIZOSA 1992], impliquent les différents acteurs de la planification sanitaire dans le choix des critères d'évaluation ; les méthodes de programmation par buts, [SPECHT 1993], [CHARNES 1980], et celle de Wong et Au [WONG 1973], mettent plutôt l'accent sur la participation des utilisateurs dans la caractérisation des solutions potentielles.

L'examen du déroulement de **la seconde phase** permet de distinguer deux types de méthodes : les méthodes déterministes, qui construisent le "meilleur" schéma sans que les décideurs puissent intervenir sur la construction de celui-ci, [WILSON 1990], [URLI 1995a], [WONG 1973], et les méthodes interactives qui permettent aux décideurs d'influencer la construction du "meilleur" schéma en modifiant l'importance des objectifs du modèle, [MALCZEWSKI 1990b]. Les méthodes interactives alternent les étapes de calcul, qui fournissent les compromis successifs, et les étapes de dialogue, sources d'informations supplémentaires sur les préférences du décideur [OTHMANI 1998].

Malgré la pléthore de méthodes d'aide à la planification proposées, très peu sont utilisées dans la pratique. Les décideurs leur préfèrent l'outil de négociation traditionnel. La désaffection des planificateurs à l'égard d'une large utilisation de ces méthodes est principalement due au rôle quasi-passif qu'elles lui réservent dans le processus de décision (en première phase et/ou en seconde phase des méthodes). En effet, une méthode d'aide à la décision est considérée comme pertinente par un décideur s'il peut parfaitement la contrôler et si la méthode n'essaie pas d'automatiser le processus de décision ou d'imposer des solutions [POMEROL 1995].

La majorité des méthodes disponibles relèguent le planificateur à un rôle de pourvoyeur d'informations utiles à la mise à jour de variables d'initialisation du modèle (première phase des méthodes). Ces méthodes sont plus ou moins rigides, et n'associent pas ou très peu le planificateur au processus de résolution (seconde phase de la méthode). La décision « optimale » est alors le produit de calculs plus ou moins complexes, le planificateur ne contrôlant pas ou peu son élaboration [DENSHAM 1987]. La décision, produit d'un processus automatique, n'est donc pas prise par le planificateur, mais par l'analyste qui a mis au point la méthode. D'ailleurs, peut-on encore parler de décision, là où un algorithme ou programme existe, c'est à dire où l'élaboration de la solution est déterministe [POMEROL 1992]. Les méthodes interactives autorisent le planificateur à intervenir sur les valeurs des critères de sélection, mais leur manque d'évolutivité ne permet pas de rendre compte du caractère changeant de l'environnement décisionnel, car le cadre dans lequel s'effectue la construction de la solution est incertain, tant au niveau des règles de gestion locale qu'au niveau de l'évolution des différents paramètres (les techniques médicales, les moyens de transport utilisés, ...). De plus, les relations entre la valeur des critères et la forme de la solution proposée ne sont pas évidentes ; il est difficile d'assurer la stabilité d'une solution par rapport aux variations sur la valeur des critères [VINCKE 1989].

En conclusion, pour les problèmes de décision comme la planification sanitaire, il convient de restituer à l'ordinateur son rôle et sa vocation de partenaire du décideur, ce que la majorité des méthodes quasi-automatiques présentées dans cette partie tendent à négliger. Il est donc nécessaire de prévoir la possibilité 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 qu'il a acquise. La technique et les systèmes de calcul lui permettent chemin faisant de mesurer, mieux qu'il ne peut le faire a priori, la validité des hypothèses du décideur. Les interventions du décideur peuvent aussi bien se traduire soit par une modification du modèle d'évaluation par ajout ou retrait de contraintes, soit par une redéfinition des priorités sur les critères de sélection.

Dans toute la suite, nous allons identifier la planification sanitaire à un problème multicritère d'allocation spatiale de ressources.

## 4 PROPOSITION D' UN OUTIL: HERO<sup>28</sup>

La planification sanitaire est un problème de décision publique qui concerne l'allocation régionale de ressources hospitalières, et par conséquent leur localisation. Un outil d'aide à la planification est donc avant tout un outil d'aide à la décision<sup>29</sup>. A partir des caractéristiques générales des outils d'aide à la décision que nous mentionnons dans un premier temps, nous élaborons une architecture générale de HERO, un outil d'aide à la planification sanitaire.

### 4.1 les Systèmes Interactifs d'Aide à la Décision (SIAD)

Un SIAD est un outil d'aide à la décision. Cet outil ne fait qu'assister le décideur dans sa prise de décision. En effet, un processus de décision n'est pas entièrement automatisable [POMEROL 1992]. L'identification des points du processus qui peuvent être automatisés, c'est à dire qui peuvent être traités par des routines constitue un point important de la définition d'un SIAD.

#### 4.1.1 Le rôle d'un SIAD

Un SIAD est un système informatique dont le rôle est d'assister le décideur tout au long du processus de décision [LEVINE 1995]. Un processus de décision, dans le cadre défini par la gestion des organisations, se compose de quatre phases : une phase d'information, une phase de conception, une phase de choix, et une phase d'évaluation du choix [LEVINE 1989]. La procédure décrite par cette succession de phases n'est pas purement séquentielle. Des retours en arrière peuvent se produire notamment lors de la phase de conception ; l'élaboration d'un scénario peut nécessiter l'acquisition d'informations supplémentaires.

Si la phase de choix relève du décideur seul, un système d'information a sa place dans les deux phases de préparation à cette prise de décision, et dans la phase d'évaluation du choix. En effet, la capacité de traitement des informations des ordinateurs permet au décideur, pendant la phase d'information, d'accéder rapidement à des informations brutes ou traitées concernant la situation courante et le champ des manœuvres autorisées par exemple. Cette capacité de traitement de l'information peut être aussi utilisée lors de l'évaluation des scénarios décrivant les différentes options envisagées par le décideur lors de la phase de conception. Dans cette phase, le système d'information peut fournir des éléments d'évaluation des scénarios à l'aide d'indicateurs calculés à partir de modèles ou de procédures de calcul adaptés. La phase d'évaluation du choix correspond à une évaluation a posteriori du choix du décideur ; cette évaluation permet de corriger les petites erreurs. La détection des erreurs et des aspects à améliorer peut être facilités par l'apport d'informations et d'indices calculés par le système d'information. [KERSTEN 1990], [LEVINE 1989].

---

<sup>28</sup> **HE**althcare Resource Optimization

<sup>29</sup> En accord avec la définition donnée par Pomerol [POMEROL 1992], une décision est le résultat d'un processus qui ne peut pas être automatisé dans son ensemble.

Un SIAD en favorisant l'association d'un système informatique et d'un décideur permet la formation d'un système de décision complet. Le décideur de par sa connaissance pratique possède un méta-modèle du processus de décision, et le SIAD, par sa capacité de traitement de l'information, l'aide à structurer le modèle [LEVINE 1992], [LEVINE 1989]. En d'autres termes, le décideur contrôle le processus de décision et le SIAD l'assiste en effectuant les calculs standards et répétitifs sur les données [KERSTEN 1990]. Dans une telle perspective, le processus de décision s'identifie à une recherche heuristique menée par le décideur ; le système jalonne le processus de recherche à l'aide d'indicateurs et d'informations. Le décideur, en fonction de ces informations produites à l'issue de traitements des données, continue l'exploration heuristique des actions possibles, ou arrête si tout lui indique que la solution construite rencontre ses buts de façon satisfaisante [POMEROL 1997], [LEVINE 1989]. De ce fait la coopération entre le décideur et le système informatique ne peut être fructueuse que dans le cadre d'un système interactif [POMEROL 1997], [POMEROL 1992], [LEVINE 1989].

#### 4.1.2 Principe d'un SIAD

Un SIAD se compose de trois modules : un module de dialogue, un module contenant les données et un module contenant les procédures de calcul ou modèles. Comme l'indique la Figure 6, le module de dialogue est interconnecté avec les deux autres modules. Il constitue l'interface entre l'utilisateur et le reste du système. Dans les paragraphes qui suivent, nous présentons le rôle et la composition de chacun des modules.

*Le module de dialogue* comme le montre la Figure 6, est essentiel. Par l'intermédiaire des interfaces gérées par ce module, le décideur accède aux données et aux fonctions de calcul, et le système utilise le même vecteur pour lui communiquer le résultat des manipulations effectuées par le décideur. Les échanges sont d'autant plus favorisés que les représentations des résultats, tout comme le mode de questionnement du système, correspondent aux représentations mentales du décideur. Ainsi, le décideur peut exercer son contrôle et effectuer sa recherche heuristique dans de bonnes conditions.

*Le module base de données* assure la fonction de mémoire ; il stocke non seulement les données, de façon permanente ou passagère, mais il gère aussi l'enregistrement de données volatiles ainsi que l'effacement de ces mêmes données selon le souhait de l'utilisateur. Ces données volatiles correspondent aux résultats obtenus au cours de traitements de données. Les données que nous avons qualifiées de permanentes sont les statistiques ou autres données qui décrivent la situation courante et passée. Parmi ces données, il peut aussi y avoir des estimations concernant l'évolution de certains paramètres environnementaux.

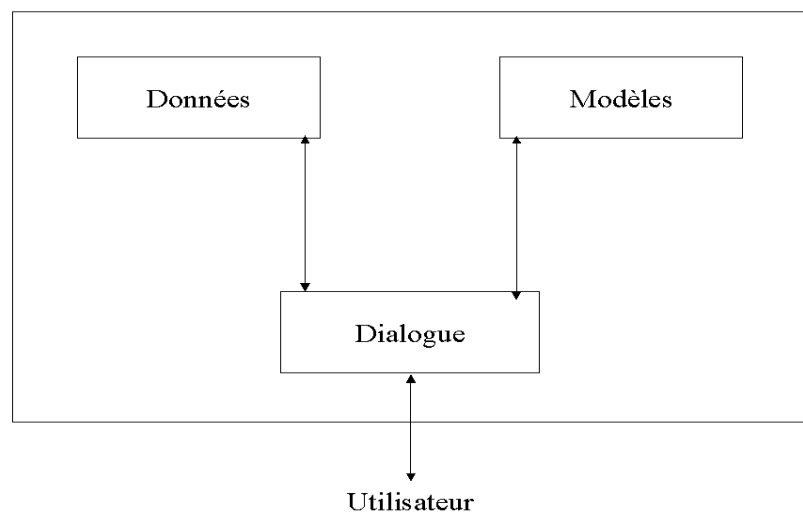


Figure 6 : Principe des SIAD suivant Sprague

Le module "modèles" contient l'ensemble des procédures de computation utilisées dans les différents traitements standards des données mis à disposition de l'utilisateur. Il peut s'agir de calculs standards (d'indices et d'indicateurs par exemple) et de procédures de représentation des données. Si les procédures de représentation intègrent une dimension spatiale (cartes géographiques, plan d'usine par exemple) alors on est face à un « Système Spatial Interactif d'Aide à la Décision », (Spatial Decision Support System).

## 4.2 Proposition d'un outil d'aide à la planification sanitaire

Pour concevoir un plan sanitaire régional sanitaire qui vérifie toutes les contraintes et rencontre tous les buts, le planificateur doit avoir à sa disposition un ensemble de données pertinentes et une méthode efficace qui permet de convertir de façon optimale les données disponibles, et de calculer une solution qui satisfasse l'ensemble des contraintes spécifiques au problème tout en réalisant au mieux les objectifs. Idéalement, le modèle conceptuel d'aide à la planification sanitaire devrait avoir les caractéristiques suivantes:

- ✓ une représentation réaliste des situations relatives au système de santé dans la région géographique ;
- ✓ une couverture compréhensive de toutes les caractéristiques essentielles et activités dans le système intégré ;
- ✓ une capacité de s'adapter aux changements de l'environnement et du système ;
- ✓ une flexibilité dans la prise en compte de différents critères de planification et politiques ;
- ✓ une possibilité de s'étendre pour recevoir des développements futurs dans le cadre de situations nouvelles ou complexes.[WONG 1973].

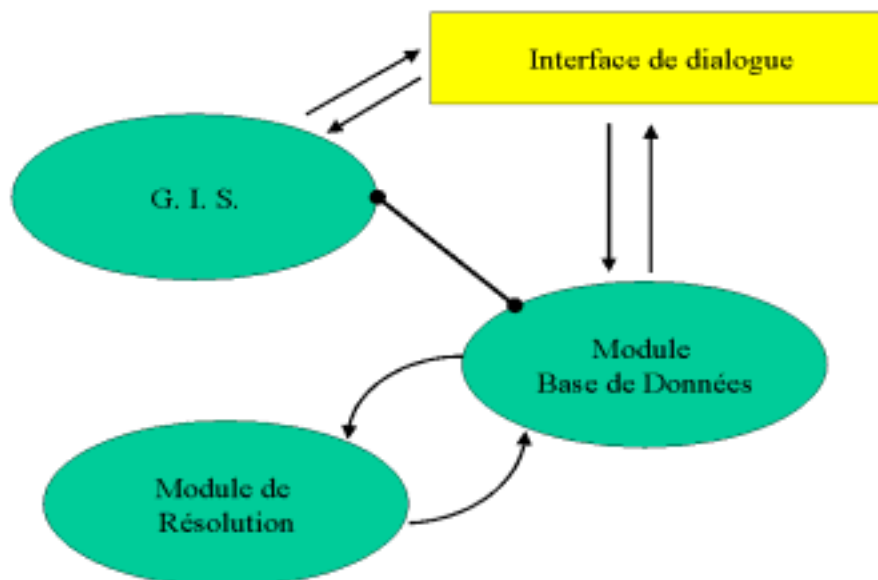


Figure 7: Architecture générale de HERO

En d'autres termes, l'outil idéal d'aide à la planification doit informer, être flexible et interactif. Son rôle d'information est incontournable. Lors de la phase de diagnostic, il doit assister le planificateur en lui fournissant un ensemble de données pertinentes sous une forme qui facilite la compréhension globale des mécanismes de la consommation des soins hospitaliers, ainsi que la compréhension des

relations entre la structure de l'appareil de production de soins hospitaliers, la consommation de ces soins et la structure de la population pour chaque type de pathologie.

La flexibilité de l'outil est rendue nécessaire par les caractéristiques de l'environnement décisionnel. En effet, l'environnement décisionnel en planification sanitaire est dynamique et évolue constamment. De plus, les changements environnementaux et ceux du système sont rarement connus à l'avance. Il est, par exemple, difficile de connaître l'évolution comportementale des patients face à un changement du système de production de soins, ceci en raison de la complexité des rapports entre la production et la demande [PINAULT 1996]. Ainsi le planificateur doit-il tester divers scénarios d'évolution.

Dans un tel type de décision, les critères employés par le décideur ainsi que la politique qu'il suit sont rarement monolithiques [LEVINE 1995] ; la manière dont le planificateur évalue les différents plans évolue avec l'expérience acquise pendant le processus de planification et avec l'arrivée de nouvelles informations d'ordre économique, social ou médical. En outre, chaque planificateur peut avoir son propre mode de raisonnement et de décision, au moins au niveau de ses préférences [POMEROL 1997]. C'est pour prendre en compte cet aspect évolutif de l'évaluation que l'outil doit être interactif.

Dans leur description de l'outil idéal d'aide à la planification sanitaire, Wong et Au insistent sur le choix d'une représentation réaliste des données relatives à l'offre et à la demande de soins, et ils soulignent dans ce cas la pertinence de l'utilisation de cartes géographiques pour visualiser ces données [WONG 1973] ; une telle représentation favorise l'acquisition d'une information globale et plus complète, puisque l'intégration de la dimension géographique permet d'enrichir l'information.

L'architecture du système d'aide à la planification sous-jacente à la définition de l'outil idéal est illustrée par la Figure 7. Elle se compose de quatre modules interconnectés : un module interface de dialogue, un module base de données, un Système d'Information Géographique (SIG en français et GIS en anglais) et un module d'évaluation. Les arcs figurent le flux d'informations. Le lien entre le module base de données et le SIG est particulier. En effet, pour des raisons de cohérence dans le système, il est nécessaire que tout changement enregistré dans la base de données soit immédiatement répercuté sur les représentations du SIG. Le lien entre ces deux modules est donc dynamique.

Le module d'interface-utilisateur a deux fonctions. Par le biais d'un système d'information géographique, il fournit au planificateur des représentations de données géographiques lui permettant d'améliorer sa connaissance des mécanismes de production de soins hospitaliers et leur consommation. Il permet aussi au planificateur de contrôler la recherche de la solution satisfaisante en lui permettant de mettre à jour l'ensemble des contraintes environnementales de planification, et de saisir les différents scénarios à tester.

Le module base de données stocke des bases de données concernant la situation sanitaire de la région, c'est-à-dire renfermant des données au sujet de la demande, des besoins, de l'offre, et de la consommation de soins, ainsi que des données sur l'environnement décisionnel (les priorités locales, l'évolution de la demande). Le planificateur peut à tout moment remettre à jour les données concernant l'environnement décisionnel.

Le SIG et le module d'évaluation sont des modules de traitement de l'information ; ce sont des modules de computation. Leur rôle est cependant différent ; ils n'interviennent pas au même niveau dans le processus de décision.

Le module d'évaluation inclut un modèle multi-critère de localisation-allocation de ressources, qui rassemble les contraintes qu'un plan sanitaire doit vérifier (ne pas dépasser les volumes de ressources disponibles et prévoir la prise en charge de toute demande par exemple) ainsi qu'une méthode interactive de résolution. Le modèle intégré dans ce module est incomplet dans le sens où le planificateur peut ajouter des contraintes supplémentaires ou / et en modifier certaines. Le rôle principal de ce module est de réaliser les calculs standards c'est-à-dire notamment vérifier si les contraintes au sujet du volume de ressources disponibles sont respectées, et compléter en détail la solution suggérée par le planificateur. Si la solution calculée ne satisfait pas ce dernier, le décideur peut toujours modifier le modèle en apportant des informations supplémentaires. Ce module n'intervient donc que dans la phase de conception du processus de décision.

Le SIG intervient tout au long du processus de décision. Il contient des procédures de représentation de données dans l'espace géographique. Il sert à visualiser aussi bien les données relatives à la situation sanitaire de la région que certaines informations issues du module d'évaluation. Ces dernières correspondent à la solution calculée à partir des propositions du planificateur ; il s'agit d'un plan régional de localisation-allocation de ressources hospitalières conformes aux contraintes de planification, donc réalisables.

## 5 CONCLUSION

Notre objectif dans cette thèse est de proposer un outil d'aide à la planification sanitaire vu comme un problème de décision publique relatif à la localisation et à l'allocation de ressources hospitalières. L'étude des pratiques actuelles conforte notre sentiment relatif à la nécessité d'un tel outil.

L'analyse des méthodes « scientifiques » proposées jusqu'à présent est enrichissante tant au point de vue technique - de nombreuses approches sont explorées et différents outils de modélisation sont utilisés - qu'au point de vue des raisons de leur échec dans leur application - une implication trop faible du décideur dans leur élaboration, un caractère évolutif et une flexibilité réduits -. L'identification de ces dernières raisons a permis d'isoler un certain nombre d'écueils à éviter.

Idéalement, un outil d'aide à la planification sanitaire doit vérifier un ensemble de caractéristiques. Ces dernières sont relatives à :

- ✓ l'information de l'utilisateur sur le fonctionnement du réseau hospitalier,
- ✓ la capacité d'intégrer les variations dans l'évaluation, et dans les données,
- ✓ l'ouverture de l'outil vers de potentiels développements.

Ces remarques nous ont amené à formuler une proposition d'outil. Cette proposition concerne un Système Interactif d'Aide à la Décision (SIAD) qui intègre un outil de visualisation géographique des données, soit un Système d'Information Géographique (SIG).

Les deux chapitres suivants traitent de l'analyse des différentes composantes du système et de l'objectif qui sont en jeux, cette analyse aboutissant à la proposition d'un modèle général, et à la description de l'outil. Le quatrième chapitre est consacré à une illustration du fonctionnement de l'outil d'aide à la planification sanitaire.

## Chapitre 2

### *Analyse et modélisation du problème*

"*L'analyse est l'étude du domaine d'un problème, avant d'entreprendre quelque action*", De Marco in [SCHOLL 1995].





## INTRODUCTION

La référence aux besoins de santé de la population est constante dans toute politique sanitaire. Ces besoins doivent agir comme un guide, un repère lors de tout aménagement du réseau d'offre de soins hospitaliers ; cet aménagement, ou schéma d'organisation sanitaire, devant permettre d'ajuster cette offre de soins au mieux avec les besoins.

Préalablement à toute proposition d'outil, il est nécessaire de définir de façon opérationnelle chaque élément de la problématique, soit l'offre de soins hospitaliers, les besoins de santé, les propriétés d'un schéma d'organisation sanitaire ainsi que l'objectif poursuivi. L'analyse et la définition de ces notions complexes font l'objet de ce chapitre.

### 1 L'OFFRE DE SOINS HOSPITALIERS

L'offre de soins hospitaliers est une composante importante du système. Elle se caractérise par la capacité de production des établissements hospitaliers formant le réseau étudié. Pour connaître a priori cette production, il est nécessaire de s'interroger sur ce qu'est la production de l'hôpital. La subdivision qui suit traite de cette question et montre que de part la nature de cette production, il est difficile de décrire a priori l'offre de soins. Son observation partielle a posteriori est cependant possible par l'intermédiaire d'indicateurs, et c'est à l'aide de cette observation, et sous un certain nombre d'hypothèses, que nous proposons une description opérationnelle de l'offre de soins hospitaliers.

#### 1.1 Difficulté à définir la production hospitalière

La capacité de production d'un hôpital correspond à sa production potentielle globale. Elle comprend l'ensemble des processus susceptibles d'être mis en œuvre lors de la prise en charge de patients. Chacun des processus est caractérisé par la mobilisation d'un ensemble de compétences, professionnelles, techniques et organisationnelles ; ces compétences étant présentes à l'intérieur de l'établissement sanitaire [VALETTE 1995]. Ces processus ne peuvent être définis concrètement qu'en présence de patients. En effet, chaque prise en charge résulte d'un choix du praticien, choix qui ne dépend pas uniquement des caractéristiques du patient (âge, sexe, revenu et catégorie sociale), mais aussi du contexte local d'offre de soins. On observe ainsi qu'un même problème peut générer des prises en charge différentes [KERLEAU 1998].

D'après les travaux de Wennberg et Co.[KERLEAU 1998], les variations observées entre les pratiques médicales pour une pathologie donnée est due à la présence d'une forte incertitude professionnelle. Les pratiques médicales sont relativement stables lorsque des règles et procédures consensuelles bien définies existent. C'est le cas des interventions chirurgicales et du suivi des grossesses par exemple. Les pathologies ou pratiques qui répondent à ces critères ne forment cependant pas la majorité, et la dispersion des réponses médicales s'explique alors par le manque de stabilité dans les connaissances. Dans ce cas, le choix du praticien ne dépend pas principalement de déterminants individuels (sa formation et son expérience), mais des pratiques dominantes dans l'établissement hospitalier dans lequel il exerce, ceci malgré les tentatives de rationalisation du choix des pratiques hospitalières ; en France, cette rationalisation s'est concrétisée avec la mise en place du Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information ou PMSI<sup>30</sup>.

#### 1.2 Proposition d'une définition opérationnelle

Comme nous l'avons vu dans les paragraphes précédents, la nature même de la production médicale et en particulier hospitalière ne permet donc pas d'élaborer aisément des normes consensuelles sous la forme de protocoles standardisés pour le traitement de chaque pathologie ou type de pathologie. La

---

<sup>30</sup> Pour plus de renseignement sur ce programme, voir l'annexe A

production hospitalière ne peut donc pas être décrite à partir de sa production potentielle. Il existe cependant une autre piste pour la caractériser de façon opérationnelle.

La production hospitalière est dépendante de la capacité de production de chacun des éléments producteurs (établissements sanitaires considérés), et la capacité de production d'un hôpital est fonction, entre autre, des ressources qu'il peut mobiliser. L'offre générée par un établissement hospitalier peut donc se caractériser par l'ensemble des ressources dont il dispose pour répondre aux demandes de soins émanant de patients. Ces ressources sont de natures différentes, et se classent selon trois catégories: les équipements techniques, les lits, et le personnel.

En France, le recensement des ressources possédées par chaque établissement s'effectue chaque année au niveau régional. Ce recensement est organisé par la DRASS. Les données ainsi recueillies sont regroupées dans un document public, nommé SAE (Statistiques Annuelles des Etablissements sanitaires)<sup>31</sup>. Ce document, en plus d'indiquer le volume de ressources dont dispose chaque établissement sanitaire, c'est à dire le nombre de lits affectés aux différentes spécialités (médecine, chirurgies, psychiatrie, obstétrique), le nombre et le type des équipements lourds possédés, mentionne également le type d'activité que l'établissement est autorisé à pratiquer, ainsi que le nombre d'intervention dans un certain nombre de secteur comme les urgences, les accouchements, césariennes, et IVG, le nombre de patients ayant utilisés les différents équipements lourds, la durée moyenne des séjours, ... Ces données complémentaires permettent de mettre grossièrement en relief les pratiques de prise en charge de l'établissement, en utilisant les indicateurs centraux que sont les moyennes. Ainsi, sous l'hypothèse, d'une conservation des pratiques de prises en charge dans chaque établissement, il est possible de prévoir un volume moyen potentiel de prise en charge à partir du volume de ressources possédé. Les pratiques de chaque établissement, peuvent aussi être comparées avec les pratiques "conseillées" et par conséquent si elles en sont trop éloignées, être rectifiées.

L'utilisation des données enregistrées dans le PMSI, peut permettre d'affiner l'image des tendances dans les pratiques de prises en charge ; en effet, cette base de données rassemble l'ensemble des renseignements relatifs à la trajectoire de tout patient pris en charge dans chaque établissement sanitaire régional, ainsi que les motifs d'hospitalisation. Comme nous n'avons pas eu accès direct à ces dernières données, nous ne les avons pas utilisées dans notre définition.

## 2 BESOIN EN SANTE

Malgré la position centrale qu'occupent les besoins en soins de la population dans la majorité des politiques sanitaires développées dans les différents pays, il en existe très peu qui fondent la répartition des ressources sur une mesure précise de ces besoins. La seule expérience de grande ampleur connue dans la recherche et l'application d'une caractérisation "objective" des besoins de la population, est menée depuis 1970 en Grande Bretagne. Les critiques et les ajustements continuels dont cette caractérisation fait l'objet illustre la difficulté à définir de façon opérationnelle et complète une notion aussi complexe que celle des besoins en soins d'une population [MAYS 1995], [BENZEVAL 1994].

La mise en place d'une définition opérationnelle des besoins en santé d'une population se heurte à plusieurs écueils. Certains correspondent à une absence de volonté politique, d'autres à des problèmes conceptuels et méthodologiques, liés à l'imprécision de la notion de besoin en santé, et un manque de données réellement adaptées à la mesure de cette notion pouvant aisément permettre de prédire le volume de ressources hospitalières nécessaires. Les difficultés techniques ne sont cependant pas insurmontables, et la comparaison de plusieurs sources d'informations permet d'obtenir une estimation acceptable des besoins en santé de la population [PINEAULT 1995].

Essentiellement deux approches d'identification des besoins en santé d'une population existent ; l'identification par enquête auprès de la population, et celle qui requiert utilisation d'indicateurs du système de santé. La première approche permet la mesure qualitative des phénomène reliés à la santé, alors que la seconde approche se caractérise par le caractère quantitatif de la définition qu'elle fourni. Elle n'utilise, en effet, que des données objectives. Ces deux approches ne sont pas antinomiques, et de

---

<sup>31</sup> pour une description plus complète du contenu de cette bases de données, voir Annexe B

nombreuses méthodes sont une combinaison de ces deux approches. Le coût et les difficultés de mise en œuvre ne sont pas non plus équivalentes dans les deux approches. L'élaboration d'une enquête sur les besoins en soins nécessite de mobiliser de nombreuses compétences, prend du temps et est par conséquent coûteux. De plus, il est nécessaire d'effectuer régulièrement l'enquête, afin d'identifier les modifications des besoins et l'impact des politiques de soins mises en place pour répondre aux besoins identifiés dans l'enquête précédente. La seconde approche consiste à utiliser les statistiques officielles collectées en routine. En fait, elle consiste à compiler des données déjà existantes, et, au lieu de produire de nouvelles informations, elle analyse celles qui existent, les interprète et s'en sert pour déduire les besoins. Cette approche est la plus utilisée, et c'est celle que nous avons choisi de présenter. En effet, il existe en France de très nombreuses bases de données publiques qui sont exploitables, ainsi que des études épidémiologiques et démographiques qui permettent de construire une image des besoins en soins de la population relativement précise. Le lecteur intéressé par la méthode par enquête peut cependant se référer à l'ouvrage écrit par Pineault et Devaluy [PINEAULT 1995], qui la traite de façon détaillée.

Dans les paragraphes qui suivent, après avoir cadré ce que sont les besoins en santé et identifié les raisons pour lesquelles cette notion ne peut être appréhendée de façon complète et précise, nous décrivons une méthode par indicateurs qui permet d'estimer les besoins en soins hospitaliers d'une population.

## 2.1 Le besoin en santé: une notion complexe

La difficulté à définir les besoins de santé réside essentiellement dans l'imprécision du concept de santé. Les définitions de la santé disponibles dans la littérature diffèrent selon le point de vue adopté par les auteurs ; ces points de vue peuvent être plutôt de nature perceptuelle, fonctionnelle, ou relative à l'adaptation. Du point de vue perceptuel, la santé correspond à un état de bien-être pressenti par l'individu.

Sous l'angle fonctionnel, la santé est décrite comme une capacité individuelle à réaliser les rôles et les tâches qui lui incombent. L'approche adaptative considère la santé comme un ajustement réussi et permanent d'un organisme à son environnement [PINEAULT 1995]. L'existence de différents types de définition nous renseigne sur la multi-dimensionalité de cette notion. On peut identifier cependant un point commun à toutes ces approches: elles définissent toutes la santé comme une état d'équilibre entre la personne et son milieu. Cet équilibre ne s'évalue par conséquent pas seulement à l'aune de la globalité de l'individu (physique et psychique), mais aussi à celle de son environnement matériel et humain. L'évaluation de la santé fait donc référence à une capacité d'agir qui est mesurée à la fois par l'individu et par les groupes dont il fait parti. Elle s'exprime alors en fonction d'une évaluation individuelle et collective ; chacune de ces évaluations s'effectue par rapport à une norme différente [PAMPALON 1997].

Le besoin de santé, comme tout besoin, est caractérisé par une déviation, une différence entre un état actuel ou réel et un état optimal. Le besoin de santé ainsi défini ne s'identifie pas toujours à l'existence d'un problème de santé. Tout problème de santé n'engendre pas forcément un besoin de santé, c'est le cas par exemple, de certaines maladies parasitaires dans des tribus d'Afrique, qui sont tellement répandues dans la population que leur contraction par les individus de la tribu est considérée comme normale [PINEAULT 1995]. Ainsi, l'évaluation du besoin de santé dépend largement de celui qui évalue. Cette remarque a mené à l'élaboration d'une taxonomie des besoins de santé en fonction de la norme de référence utilisée. Parmi les classes de besoins identifiées, on peut citer celles des besoins diagnostiqués, des besoins perçus, des besoins exprimés, des besoins satisfaits, des besoins non-satisfaits qui se traduisent par des demandes en soins, une consommation ou utilisation de services ou ressources.

Dans le cadre de ce travail, notre souci est d'estimer les besoins de santé d'une population. Les définitions de besoin individuel que nous avons mentionnées ci dessus, si elles nous éclairent sur la notion de besoin de santé, ne nous permettent pas de définir les besoins de santé d'une population. En effet, ces besoins ne correspondent pas uniquement à la somme des besoins de santé des individus qui

composent cette population ; cette notion recouvre d'autres réalités qui n'existent qu'à un niveau macro-économique ou agrégé [PAMPALON 1997].

Le besoin de santé d'une population est un concept, et correspond par définition à une réalité complexe, impalpable et non quantifiable. Si on considère le besoin de santé comme étant la différence entre l'état de santé réel et un état de santé optimal, son estimation nécessite l'appréciation de chacun des termes de la différence. Si l'état de santé réel n'est pas directement observable à cause d'une absence de définition claire et objective, il existe cependant des outils issus de l'épidémiologie descriptive, dont les indicateurs de santé (espérance de vie, morbidité, ...), qui permettent de l'apprécier, même partiellement. Le problème de la définition de l'état de santé optimal n'admet pas de réponse satisfaisante ; l'amélioration des états de santé ne semble pas connaître de limites précises. Par conséquent, cette définition est fortement normative et varie selon les références utilisées [PAMPALON 1997].

Par définition, les besoins en soins d'une population sont potentiellement infinis, et la réponse adaptée à ces différents besoins de santé ne relèvent pas toujours de la médecine. En effet, une réponse adaptée au problème des traumatismes crâniens chez les enfants, par exemple, réside plus dans une action de prévention des accidents de la route que dans l'organisation à grande échelle de services de neurochirurgie [DESCHAMPS 1982]. Ainsi, si on souhaite améliorer l'état de santé essentiellement par une meilleure répartition géographique du système de soins, encore faut-il s'inquiéter de la contribution effective de ce dernier dans l'amélioration de l'état de santé des populations. Cette question est éclairée par la mise en évidence, à cet égard, du rôle très important joué par des déterminants autres que le système de soins: déterminants d'environnement (d'ordre culturel, économique et social) ; déterminants liés aux comportements et modes de vie (sédentarité, nutrition, alcoolisme, tabagisme). Comme dans ce travail, seuls les besoins pouvant être traités de façon efficace et adaptée par une structure hospitalière au moyen du volume fini de ressources disponibles, nous intéressent. Les besoins de santé que nous considérerons sont donc ceux susceptibles d'être réduits grâce à l'intervention du réseau de services de santé hospitalière.

L'objet de la partie suivante n'est pas de construire la mesure et d'identifier l'indicateur universel du besoin de santé d'une population, mais de présenter sans être exhaustif les mesures et indicateurs qui existent, et de discuter de leur intérêt et de leurs limites.

## **2.2 Vers une définition opérationnelle du besoin de santé d'une population**

L'étude de l'estimation ou mesure du besoin en soins d'une population est un secteur de recherche très actif [MIZRAHI 1963], [MIZRAHI 1982], [PAMPALON 1995], [PINEAULT 1995], [WENBERG 1987], [HYMAN 1971], en particulier en Grande Bretagne et au Canada. L'approche par indicateur est la plus fréquemment utilisée pour estimer les besoins de la population ; certaines informations quantifiables du domaine de la santé ont été associées de façon cohérente au recours à des services de santé. Ces informations traduisent dans un certain sens les services nécessaires à la population. En effet, un indicateur de besoin de santé doit être une mesure capable de traduire à la fois les caractéristiques sanitaires et sociales de la population tout comme le recours au service de santé.

Les résultats obtenus lors des différentes recherches sont toujours incomplets ; le problème de la définition d'une mesure des besoins de santé universelle et pertinente, c'est à dire telle qu'elle doit être signifiante, simple et opérationnelle, est, comme nous l'avons déjà mentionné, un problème difficile. Aussi, les études portant sur l'estimation des besoins de santé de la population se fondent essentiellement sur les données pouvant être observées, soit la demande satisfaite en soins [PINEAULT 1995]. Tous les résultats issus des recherches menées jusqu'à présent ont été obtenus de manière empirique, aucune loi générale qui permette de déterminer les besoins en soins en fonction d'un nombre fini de caractéristiques de la population n'a été identifiée. L'utilisation de ces résultats pour effectuer l'estimation des besoins futurs en soins de la population, suppose cependant que l'importance relative mise à jour entre les différentes caractéristiques est stable dans le temps ; ceci ne peut bien évidemment pas être vérifié a priori.

Pendant longtemps, la seule mesure utilisée pour estimer le besoin en soins d'une population a été l'indicateur statistique de morbidité. Cet indicateur connaît deux variantes, l'indicateur de morbidité incidente et l'indicateur de morbidité prévalente. La première se calcule comme le ratio entre le nombre de nouveaux cas de maladie détectés dans la population et le nombre d'éléments qui composent cette population. La seconde diffère de la première par la valeur de son numérateur ; ce dernier correspond au nombre total des cas de maladie enregistrés dans la population. Cette dernière variante est appliquée dans le cas de l'étude de maladies chroniques (insuffisance rénale, etc.). L'utilisation de cette statistique pour évaluer les besoins futurs suppose trois conditions. La première condition est que le phénomène "morbidité" ait été observé sur un nombre de cas suffisamment important, La deuxième est que la collecte des données ait été relativement exhaustive sur l'ensemble de la population, et la troisième est que le phénomène soit distribué de façon homogène dans la population. Mis à part l'étude effectuée sur des maladies rares, la première condition n'est pas toujours vraie. Il n'est cependant pas vraiment possible de vérifier si la deuxième condition est réalisée. Par contre, des études empiriques montrent que la troisième condition n'est pas toujours satisfaite. En effet, il est actuellement largement admis dans le milieu médical que le besoin en soins d'une population est le résultat de l'interaction des individus qui la composent avec leur environnement, [MIZRAHI 1963], [PINEAULT 1995]. Par conséquent, l'état physique des individus, estimé par l'indicateur statistique mesurant la morbidité, n'est plus qu'un élément parmi d'autres. Des études épidémiologiques<sup>32</sup> (dont celles décrites dans [MIZRAHI 1963] et [MIZRAHI 1982] par exemple) ont permis de mettre en évidence quelques caractéristiques influentes dans l'apparition d'un besoin en soins:

- ✓ L'environnement économique et social dans lequel évolue les individus de la population (chômage, niveau de scolarisation, revenu) ;
- ✓ Les caractéristiques du système de soins et des services qui sont proposés à la population ;
- ✓ Les caractéristiques démographiques de l'environnement (âge, et composition par sexe) ;
- ✓ Les habitudes de vie des populations (exercice physique, proportion de fumeurs, consommation d'alcool, ...) ([PINEAULT 1995], [MAYS 1995]).

Le calcul de l'indicateur de morbidité ne s'effectue qu'à partir de données observées, c'est à dire de besoins exprimés plus souvent désignés par le terme de demande qui se traduit par un recours aux services de santé. Si les caractéristiques sanitaires et sociales de la population telles que la morbidité et les conditions et les habitudes de vie jouent un rôle évident dans l'émergence de besoins en soins, d'autres comme celles relatives à la production de services exercent une influence non négligeable sur le recours en soins. On peut citer parmi ces dernières caractéristiques la disponibilité et accessibilité, ainsi que le mode de pratique.

L'influence de l'offre de soins s'est particulièrement fait sentir dans la distribution régionale des ressources où, pendant longtemps, les ressources déjà possédées déterminaient l'ampleur des investissements, accentuant ainsi l'écart entre régions [SOUBIE 1995]. De plus, cette influence sur l'expression des besoins en santé est difficile à quantifier. En effet, comment distinguer un recours aux soins "légitime" d'un recours aux soins généré par la présence des ressources en l'absence de références objectives. Cette difficulté à identifier l'influence de l'offre est accentuée par le fait que tous les besoins ne sont pas exprimés, et de nombreuses raisons peuvent expliquer ce phénomène, en particuliers les caractéristiques culturelles, socio-économiques et géographiques de chaque individu. L'objectif de la planification sanitaire, en revoyant la répartition des ressources, est de favoriser

<sup>32</sup> L'épidémiologie concerne l'étude des facteurs favorisant l'apparition d'une maladie. Il n'existe pas toujours de statistiques mesurant l'impact de ces facteurs dans la population. De plus, certains facteurs sont difficilement mesurables directement (alimentation équilibrée, ...). Ces données ne sont donc pas toujours utilisables telles quelles; elles sont mesurées indirectement par l'intermédiaire d'un autre trait qui lui est fortement corrélé [PAMPALON 1997]. On peut supposer, par exemple, qu'une alimentation équilibrée est fortement corrélée avec le niveau d'instruction et le revenu.

l'expression de ces besoins en soins tus, en particulier si ces besoins correspondent à des besoins fondamentaux et légitimes [PAMPALON 1997].

Ainsi, on calcule l'indicateur statistique de morbidité non plus sur la population entière mais sur une partition de cette dernière, qui permet d'homogénéiser les besoins dans chaque groupe. Cette partition s'effectue généralement en intégrant des dimensions économiques, sociales et géographiques. Les études anglaises et canadiennes les plus récentes montrent que le revenu, le fait d'avoir un emploi, le niveau d'étude et la situation "familiale" sont des caractéristiques dont l'influence est relativement importante sur l'estimation du besoins en soins. Par exemple, le besoin en soins hospitalier est en général plus important dans les populations à faible revenu, sans emploi et au niveau d'étude faible. Ce plus fort recours aux soins hospitaliers dans cette population peut s'expliquer par le faible recours à la médecine libérale [MIZRAHI 1963].

En France, des données disponibles pour effectuer ces études existent pour de nombreuses pathologies. Elles sont généralement collectées au niveau de l'hôpital par l'intermédiaire du PMSI. Ces données mesurent cependant davantage l'activité de la structure hospitalière que le volume de demande de soins. Dans le cas où il existe un consensus quant à la nécessité de l'hospitalisation (par exemple pour l'accouchement), ces indicateurs d'activité reflètent avec précision la demande. Dans tous les autres cas, ces indicateurs doivent être affinés en intégrant des résultats issus de l'épidémiologie descriptive et démographique. Les résultats ainsi obtenus constitue une connaissance suffisante pour évaluer la nature et le volume de la demande.

### 3 UN MODELE QUI CARACTERISE UN SCHEMA D'ORGANISATION SANITAIRE

Maintenant que les éléments offre de soins hospitaliers et demande de santé ont été caractérisés, nous abordons la formulation des règles que toute allocation spatiale de ressources hospitalières doit respecter. Nous avons choisi d'utiliser l'outil mathématique de la programmation linéaire entière pour formuler ces règles. Les motifs principaux de ce choix sont la richesse d'expression que permet cet outil ainsi que l'existence de logiciels performants adaptés à la résolution de ces programmes.

Le modèle que nous proposons s'intègre dans la perspective de l'allocation de ressources en fonction d'une demande homogène ; homogène signifie ici que le traitement des patients potentiels nécessite les mêmes ressources hospitalières. Cette restriction du modèle aux données homogènes du point de vue du traitement est rendue nécessaire par la complexité du problème global, qui ne pourrait être traduite qu'à l'aide d'un programme trop important pour être résolu. Ainsi, ce modèle s'applique aux besoins qui nécessitent l'emploi de ressources identiques.

Dans les paragraphes qui suivent, nous définissons les notations utilisées, décrivons la liste des données, puis, dans ses grandes lignes, le modèle mathématique d'allocation spatiale de ressources que nous avons adopté, c'est à dire les contraintes. L'ensemble de ces contraintes peut être scindé en deux sous-ensembles. Le premier sous-ensemble regroupe les contraintes traduisant les règles communes à tout problème d'allocation de ressources hospitalières, le second sous-ensemble rassemble les contraintes qui concerne l'utilisation des ressources ; ces dernières sont dépendantes du type de besoin étudié et de sa traduction en terme de ressources nécessaires.

#### 3.1 Notations des indices, des constantes et des variables

##### 3.1.1 Les notations des indices

Lors de l'allocation de ressources hospitalières, les variables et données qui vont être manipulées sont à rapprocher de trois types d'objets: les sites candidats à la prise en charge des patients potentiels, les zones dont sont originaires les patients potentiels, et les ressources. Chacun de ces types d'objet est représenté par un indice. Ainsi,  $i$  indique le site de traitement et varie de 1 à  $N$ ,  $j$  signale la zone origine des patients potentiels et varie de 1 à  $M$  et  $r$  informe sur la ressource, cet indice varie de 1 à  $R$ .

### 3.1.2 Les données

Les données nécessaires à l'initialisation du modèle sont relatives aux ressources à allouer, à la situation courante de l'offre, à la demande prévue, ainsi qu'aux distances séparant l'offre courante ou envisagée de la demande.

Pour chaque ressource  $r$  à répartir entre les différents sites, le volume total disponible avant toute répartition doit être connu. Ce volume est noté  $b_{or}$ .

L'offre de soins courante, dans le modèle, est décrite à l'aide d'un booléen  $x_{oi}$ , qui vaut 1 si le site candidat abrite une structure pouvant prendre en charge la demande considérée, 0 sinon. Elle peut être aussi caractérisée par d'autres données utilisées dans la formulation opérationnelle de l'objectif. Il peut s'agir par exemple du coût moyen d'une prise en charge dans chaque site candidat, des coûts fixes auxquels ces sites doivent faire face, des ressources qu'ils possèdent déjà, par exemple.

La demande de soins qui s'exprime dans une zone  $j$  est décrite par la quantité  $y_{oj}$  de patients potentiellement générés dans cette zone. Nous supposons que la préférence des patients originaires de la zone  $j$  concernant leur lieu de prise en charge  $i$  est inversement proportionnelle à la distance  $d_{ij}$  dans un rayon  $d_{\max j}$ . Au delà de cette distance  $d_{\max j}$ , la préférence des patients vaut  $-\infty$ .

L'hypothèse concernant l'existence d'une distance au delà de laquelle les patients ne se déplaceront plus pour recevoir les soins dont ils ont besoin s'appuie sur des observations effectuées dans les travaux statistiques traitant des déplacements de la population, et de l'attractivité des points de production sur la population [MIZRAHI 1982], [FOTHERINGHAM 1989], [SEN 1996]. De plus, cette distance correspond parfois à un impératif médical, c'est le cas par exemple de la distribution géographique des services d'urgence. En effet, tout point du territoire doit être à moins de trente minutes d'un tel service.

Les distances utilisées dans ce modèle sont mesurées soit en kilomètre, soit en heure. Cette proposition de mesure est simplificatrice, car il a été montré que la préférence des patients pour un lieu de traitement dépend de la distance perçue, qui prend en compte, en plus de la distance physique, d'autres facteurs comme l'âge, le sexe, le niveau de vie et d'étude des patients ainsi que leur état de santé [MIZRAHI 1963], [MIZRAHI 1982]. Il n'existe cependant pas de fonction générale qui permette de quantifier cette distance perçue.

### 3.1.3 Les variables de décision

On distingue six ensembles de variables de décision différents ; qui peuvent être regroupés selon qu'ils se rapportent à un site candidat à la prise en charge des patients ou à leur zone origine.

Cinq types de variable de décision caractérisent un site candidat  $i$ .  $x_i$  est une variable booléenne qui vaut 1 si les patients peuvent être pris en charge dans le site candidat  $i$ , 0 sinon.  $z_{1i}$  et  $z_{2i}$  sont des variables booléennes qui indiquent respectivement si la prise en charge a été rendue possible dans le site  $i$  ou si elle a été rendue impossible.  $o_i$  est un entier positif qui indique quelle est la capacité en nombre du site candidat  $i$  ; cette capacité est formulée en nombre de cas pouvant être traités dans la structure.  $b_{ir}$  est un entier positif dont la valeur égale le volume de ressources de type  $r$  affecté au site candidat  $i$ .

Les variables de décision associées à une unité de demande  $j$  correspondent à la répartition de son volume de demande entre les différents sites candidats  $i$ . Ces variables, notées  $y_j$  sont des entiers positifs.

Maintenant que les indices, données et variables de décisions sont définis, nous pouvons décrire les relations qui existent entre ces différents éléments.

## 3.2 Les contraintes

Les sites candidats à la prise en charge de patients atteints de la pathologie considérée sont à classer en deux catégories ; ceux qui déjà produisent le type de soins adapté, et ceux qui ne le produisent pas encore. Chacun des sites peut changer de catégorie, ou rester dans celle à laquelle il appartient. Cette situation se traduit par:

$$x_{0i} + z_{1i} - z_{2i} = x_i, \forall i \quad (1)$$

$$x_{0i} + z_{1i} \leq 1, \forall i \quad (2)$$

$$x_{0i} - z_{2i} \geq 0, \forall i \quad (3)$$

$$z_{1i} + z_{2i} \leq 1, \forall i \quad (4)$$

Le développement ou l'implantation de l'activité thérapeutique sur un site est, en général, soumis à deux conditions. La première condition réside dans la présence d'un volume non nul de demande, ce qui est formalisé en (5). La seconde condition est que sa capacité soit non nulle (6).

$$x_i \leq \sum_j y_{ij}, \forall i \quad (5)$$

$$x_i \leq o_i, \forall i \quad (6)$$

La capacité d'un site se calcule en fonction du volume de ressources allouées à ce site (7), et doit être suffisante pour faire face à la demande qui théoriquement se manifesterait vers ce site (8), les ressources ne peuvent pas être allouées à un site sur lequel il n'est pas prévu qu'une activité soit implantée ou développée (9).

$$o_i \leq f(b_{i1}, \dots, b_{iR}), \forall i \quad (7)$$

$$o_i \geq \sum_j y_{ij}, \forall i \quad (8)$$

$$b_{ir} \leq x_i \cdot b_{0r}, \forall i, \forall r \quad (9)$$

Les volumes des différentes ressources allouées aux différents sites ne peuvent pas dépasser le volume total de ressources disponibles (10).

$$\sum_i b_{ir} \leq b_{0r}, \forall r \quad (10)$$

L'affectation théorique de la demande entre les différents sites est elle aussi soumise à différentes conditions ; nous en avons identifiées deux. La première est que l'affectation des demandes ne s'effectue pas vers des sites trop éloignés (11). La seconde stipule que l'affectation de patients ne peut se faire que vers des sites sur lesquels l'activité existe (12).

$$y_{ij} \cdot d_{ij} \leq d_{\max j} \cdot y_{ij}, \forall i, \forall j \quad (11)$$

$$y_{ij} \leq y_{0j} \cdot x_i, \forall i, \forall j \quad (12)$$

Et bien évidemment, comme le prévoit la constitution française, tous les patients, quelque soit leur origine géographique, doivent recevoir les soins qui leur sont nécessaires (13).

$$\sum_i y_{ij} \geq y_{0j}, \forall j \quad (13)$$

## 4 A LA RECHERCHE D'UNE DEFINITION OPERATIONNELLE DE L'OBJECTIF POURSUIVI

A la définition du schéma régional d'organisation sanitaire que nous avons donnée correspondent de nombreuses configurations de distribution de l'offre possible. Il s'agit pour nous, dans cette partie, de caractériser celui qui sera le plus satisfaisant.



Dans les problèmes de décision, et particulièrement ceux qui concernent l'intérêt public, il est important, pour que la décision soit légitime, d'identifier tous les objectifs autour desquels il existe un vaste consensus et de les formuler de manière opérationnelle. Souvent, l'objectif initial pour un problème de décision d'intérêt public est complexe et correspond à une fin. En matière de distribution des soins dans une région, l'objectif principal est d'adapter l'offre de soin aux besoins de la population. Dans ce cas, il est nécessaire d'identifier des mesures susceptibles d'indiquer le niveau de satisfaction de cet objectif. Pour cela, cet objectif nécessite d'être explicité, notamment dans la signification du terme "adapté", souvent utilisé dans la littérature comme équivalent à "équitable".

La tâche de clarification de la notion d'équité, qui dans certains cas correspond à la notion d'égalité [CULYER 1993], est loin d'être aisée. Les différents travaux menés en économie et en philosophie politique soulignent la difficulté de trouver une définition qui soit simultanément suffisamment générale pour rassembler autour d'elle un large consensus, et suffisamment précise pour que son application soit utile ([LE GRAND 1984] [CULYER 1993]). Cette difficulté est accrue par la recherche d'une définition univoque. Par exemple, Culyer dans [CULYER 1993] cite quatre définitions de l'équité utilisées dans le contexte de la santé, l'égalité des dépenses par individu, répartition des ressources en fonction des besoins, l'égalité d'accès et l'égalité de santé, qui ne traduisent que de façon partielle l'objectif poursuivi dans le cadre d'une meilleure répartition spatiale des soins ; chacune de ces définitions favorise un seul aspect de la notion d'équité.

En partant du postulat selon lequel la complexité de l'objectif général ne peut être reflétée par un seul et unique objectif simple mais peut être décrit par un ensemble d'objectifs quantitatifs, nous avons décomposé cet objectif général en utilisant une méthode proposée par Keeney et Raiffa [KEENEY 1976] pour expliciter de façon opérationnelle les objectifs complexes, et en particulier ceux poursuivis dans le cadre de politiques publiques.

Après avoir motivé le postulat selon lequel la répartition spatiale des ressources hospitalières est fondamentalement un problème multi-objectif, nous présentons de la méthode de décomposition que nous avons utilisée, puis nous proposons une décomposition de l'objectif général poursuivi lors de la planification, puis une série de mesures qui peuvent être utilisées pour estimer chacun de ces objectifs. Lors de ce travail, nous nous plaçons toujours dans le cas où les besoins considérés sont tous de la même nature.

## 4.1 Un objectif multi-dimensionnel

La planification vise à ajuster au "mieux" l'offre de soins hospitaliers à la demande via une intervention sur la répartition régionale des ressources hospitalières. Mis à part l'impact limité de d'une telle action, limites que nous avons soulignées dans les paragraphes précédents, la définition de la notion de "meilleur ajustement" et des moyens pour l'atteindre varient selon le point de vue adopté. Ce point de vue peut être médical, financier, ou relatif à l'aménagement du territoire par exemple. Chacun d'entre eux permet d'appréhender un aspect différent de la planification sanitaire, c'est à dire le développement des techniques médicales, le coût de production, la richesse en terme de gestion des bassins d'emploi, et du bien-être de la population. Ainsi, pour approcher la planification sanitaire dans sa globalité, il est nécessaire que l'objectif utilisé pour discriminer les solutions reflète ces différents points de vue. Deux approches peuvent être adoptées pour gérer cette multitude de points de vue [MAYSTRE 1994].

La première approche consiste à synthétiser les différents points de vue en un critère unique. On obtient ainsi un programme mathématique d'optimisation mono-objectif. Cette approche n'est pas adaptée aux problèmes de la planification sanitaire. En effet, la modélisation des préférences sur les critères sous la forme d'une fonction mathématique est difficile. Elle suppose une connaissance précise des relations de préférences qui lient les différents critères d'évaluation [VINCKE 1989]. Cette connaissance ne peut pas être obtenue dans le cas de la planification sanitaire car on observe que les préférences ne sont pas figées (en France, après une période de forte médicalisation des soins, une approche plus raisonnée est amorcée [SOUBIE 1995]), elles varient avec le contexte (en Afrique noire, la planification sanitaire passe plus par l'éducation que par le développement de techniques médicales sophistiquées), et les échelles de valeur utilisées sur chacun des critères sont rarement proportionnelles

(comment mesurer le bien-être d'une population en fonction d'une unité monétaire). En outre, l'utilisation de cette approche suppose que la solution optimale est unique, ce qui constitue une hypothèse irréaliste dans le cas de la planification sanitaire.

La seconde approche consiste à construire autant d'objectifs que de critères d'évaluation. L'inconvénient de cette modélisation est que le problème n'est mathématiquement pas bien posé. Il est généralement impossible d'optimiser simultanément tous les objectifs, par conséquent il n'y a pas de solution unique. Il existe cependant des méthodes qui permettent de traiter ce type de problèmes. Ces méthodes sont fondées sur le développement de la coopération entre le décideur et les modèles mathématiques. Cette approche est préconisée lorsque le problème considéré concerne la gestion d'organisations humaines; la planification sanitaire est un tel problème [KEENEY 1976], [MAYSTRE 1994].

Dans les paragraphes suivants, nous allons présenter la méthode que nous avons utilisée pour décomposer l'objectif général de la planification sanitaire en un ensemble d'objectifs mesurables, et présenter le résultat de cette décomposition.

## 4.2 La méthode utilisée

L'objectif d'un projet indique la direction dans laquelle la politique doit être orientée. Dans le cas de problèmes d'intérêt public, cet objectif correspond à une orientation globale, pour lequel il est nécessaire d'identifier une mesure qui permet d'estimer le "niveau de réalisation" de cet objectif. Cette estimation ne peut être obtenue qu'en précisant sa signification. Dans le cas de l'allocation spatiale de ressources hospitalières, l'objectif poursuivi est d'améliorer l'adaptation de l'offre à la demande de soins.

L'étape d'élucidation de l'objectif initial constitue une étape importante dans le processus de modélisation. La méthode présentée par Keeney et Raiffa [KEENEY 1976] [KEENEY 1988] permet de décomposer l'objectif initial en objectifs secondaires plus simples. L'optimisation de l'ensemble de ces objectifs secondaires conditionne celle de l'objectif décomposé qu'il décrit. En appliquant ensuite cette méthode de façon récursive à l'ensemble des objectifs secondaires, une description plus précise de l'objectif initial est obtenue. Ainsi, pas à pas, on met à jour une structure hiérarchique de type pyramidal, appelée hiérarchie des objectifs. Au sommet de cette structure hiérarchique se trouve l'objectif initial. Tous les niveaux intermédiaires correspondent à des définitions moins précises qui ont été utilisées pour engendrer la description finale. Les objectifs à la base de cette hiérarchie constituent la description la plus fine trouvée à ce niveau de décomposition de l'objectif initial.

De façon plus formelle, le processus de génération de la structure se déroule autour de trois étapes:

**Etape 1:** Identification de l'objectif du projet, dans notre cas, il s'agit de celui poursuivi lors de la répartition spatiale des ressources hospitalières.

**Etape 2:** Spécifier le sens donné à cet objectif en terme d'objectif plus simples.

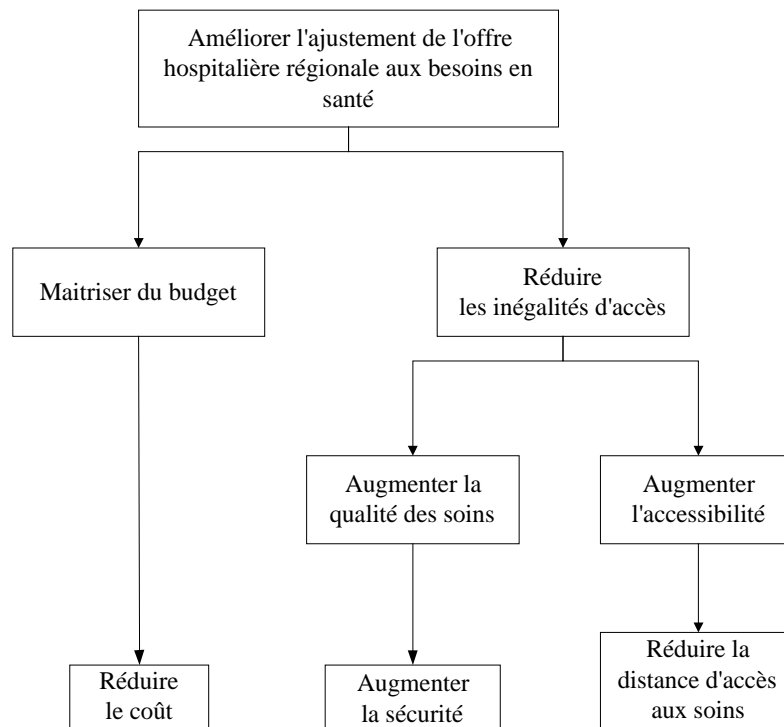
**Etape 3:** S'il existe un objectif qui doit encore être spécifié, alors lui appliquer l'étape 2, si non, la décomposition est terminée.

Le processus de subdivision des derniers objectifs identifiés s'arrête lorsqu'ils forment une description opérationnelle de l'objectif initial. La notion de description opérationnelle de l'objectif initial n'est pas simple [KEENEY 1976]. Dans le cadre de notre travail, nous considérons comme opérationnelle toute décomposition en objectifs non ambigus et pour laquelle on peut associer à chaque objectif une mesure quantitative. La Figure 8 schématise une décomposition de l'objectif général poursuivi.

## 4.3 Une décomposition de l'objectif poursuivi

L'objectif général poursuivi dans la mise en place d'une politique de planification régionale du système de soins hospitaliers est d'améliorer l'ajustement de l'offre régionale de soins hospitaliers à la demande de ce type de soins [VATIMBELLA 1993]. Les spécifications de cet objectif général sont obtenues à

partir de la réponse à la question: "Qu'entend-on par amélioration de l'ajustement de l'offre régionale de soins hospitaliers à la demande de soins?"



**Figure 8:Hiérarchie des objectifs**

Dans de nombreux pays développés, l'adaptation de l'offre de soins hospitaliers aux besoins correspond à la volonté d'associer économie et santé. Cet objectif comprend deux aspects, [PINEAULT 1995], chacun d'eux correspond à un objectif qu'on qualifiera de secondaire. Le premier se concentre sur l'aspect productif du système hospitalier et vise à contrôler les dépenses occasionnées par cette production [LOTH 1995]. Le second essaye de réduire les inégalités d'accès des patients au système hospitalier de production de soins. Ces inégalités ont une dimension à la fois sociale, médical et géographique [MIZRAHI 1982], [PORTOS 1995].

La volonté de contrôler les dépenses en soins hospitaliers se justifie par la part croissante que ces dépenses représentent dans l'économie de chaque pays. Leur importance oscille entre 5% et 13% du PIB et est en constante augmentation [HENRARD 1995]. Afin de maîtriser cette croissance, dans de nombreux pays comme le Canada, l'Italie, la France, l'Allemagne, la Grande-Bretagne, les dépenses de santé et en particulier les dépenses hospitalières sont budgétisées tous les ans, [VATIMBELLA 1993]. L'objectif de cette politique est de contenir le coût de production de soins.

De nombreux indicateurs [LOTH 1995], [COCA 1998] soulignent que cet accroissement des dépenses ne s'est cependant pas accompagné d'un meilleur accès du public au système de soins, au contraire. Par exemple, au cours des vingt dernières années, les différences d'espérance de vie entre les différentes catégories sociales n'ont pas cessées d'augmenter au détriment des salariés les moins qualifiés [VATIMBELLA 1993]. On observe que ces inégalités apparaissent à deux niveaux: l'accessibilité au système de production de soins et la qualité des soins [COCA 1998].

Améliorer l'accessibilité des soins au public se comprend ici comme une volonté de rapprocher les structures de soins des patients potentiels. Cette politique s'inscrit dans un mouvement de décentralisation, et vise à diminuer la distance séparant les patients des éléments du réseau d'offre de soins hospitaliers. La distance est une notion subjective lorsqu'il s'agit d'évaluer un déplacement vers

une structure d'offre de soins hospitaliers [LUCAS 1997], et différentes mesures peuvent être adoptées comme nous le verrons dans la partie qui suit.

La qualité des soins, comme pour tout autre produit, est une notion composite. Elle se définit par un ensemble d'éléments différents parmi lesquels on peut citer les caractéristiques techniques qui encadrent la production, la sûreté des soins produits, la sécurité, le suivi des patients, l'information fournie aux patients avant et lors de leur prise en charge (d'après [CHOVI 1993]). De part la nature de la production hospitalière, il est difficile de proposer une mesure de la qualité des soins a priori, en n'utilisant que les renseignements sur les ressources possédées par une structure. En effet, la relation entre les moyens mobilisés lors d'une prise en charge et le résultat sur l'état de santé d'un patient n'est pas triviale ; une augmentation des moyens mobilisés n'assure pas toujours une amélioration de l'état de santé d'un patient, et donc du résultat [BOUTAT 1992]. Par conséquent, l'évaluation de la qualité des soins à la seule vue de l'allocation des ressources hospitalières est difficile<sup>33</sup>. S'il est impossible de mesurer a priori la qualité des soins fournis dans un réseau de structures hospitalières, il est cependant possible de favoriser la sécurité des patients en garantissant que les soins prodigués dans le réseau s'effectuent dans les meilleures conditions matérielles possibles. Ces conditions matérielles sont définies par un ensemble de normes qui s'appliquent entre autres à l'activité des structures ; une activité insuffisante ou trop importante peut porter préjudice aux patients. En effet, une activité insuffisante ne permet pas au personnel hospitalier de maintenir son savoir-faire, la précision dans ses gestes et dans son diagnostic. Ce manque d'entraînement rend les traitements moins sûrs. De même, un service hospitalier surchargé est un service qui doit faire face à trop de demande en comparaison de sa capacité de prise en charge ; cette capacité est liée au volume de ressources dont il dispose (lits, personnel, budgets, temps machine). Un tel service ne peut également pas répondre aux besoins de façon appropriée. Ces normes varient en fonction des types de prise en charge, et sont donc à déterminer au cas par cas. Il est cependant important de noter que si ces normes de sécurité sont nécessaires à la production de soins de qualité, elles ne peuvent malheureusement pas garantir la qualité réelle des soins produits. En effet, cette qualité dépend fortement du patient et de l'environnement médical [LUCAS 1997].

## 4.4 Quelques attributs, mesures applicables

Un attribut ou un vecteur d'attributs indique le degré avec lequel les différentes solutions vérifient l'objectif global. Il correspond ainsi à une mesure ou ensemble de mesures quantitatives. Pour identifier et exprimer les attributs associés au choix d'une politique de répartition régionale des ressources hospitalières, c'est à dire identifier la solution qui vérifie le mieux l'objectif, nous allons nous appuyer sur la liste des classes d'objectifs opérationnels obtenue dans la partie précédente. Ces objectifs sont la minimisation du coût, l'optimisation des normes de prises en charge pour assurer une meilleure sécurité des patients, l'augmentation de la qualité des soins et de l'accès aux soins. L'utilisation de cette liste d'objectifs nous a permis de déterminer quelques attributs pour chaque dimension de la répartition des ressources. La présentation des attributs s'accompagne de l'indication de leur sens et de leurs limites. La liste des attributs identifiés est récapitulée à la fin de la partie sous la forme d'un tableau.

### 4.4.1 Mesures associées au coût

Dans la majorité des pays développés, le coût engendré par le réseau des structures hospitalières est un indicateur important, dont la progression doit être freinée. Pour cela, l'évolution de ce coût est contenue par un budget. Nous proposons de mesurer le coût au moyen du coût global, c'est à dire de la somme nécessaire au financement de l'activité hospitalière dans le réseau régional. Cette somme

---

<sup>33</sup> Il existe cependant de nombreux indicateurs qui permettent d'évaluer a posteriori la qualité des soins fournis par un service hospitalier. Parmi les indicateurs existant, on peut citer le taux d'infection nosocomiale, différents taux de mortalité, le taux de réadmission, le pourcentage des patients pour lesquels un résumé de sortie standardisé a été établi, le pourcentage de patients qui connaissent le nom de leur médecin. Les références suivantes en fournissent d'autres [C&L SANTE 1995].

correspond à la somme allouée à chaque structure hospitalière, afin qu'elle puisse mener à bien le rôle qui lui a été assigné lors de la répartition des ressources. Ces sommes prennent en compte les coûts de fermeture et d'ouverture d'une activité, les coûts fixes tels que l'entretien des bâtiments et des équipements, et les coûts de production des soins, calculés à l'aune du nombre de prises en charge prévues. Des indices de coût pour chaque prise en charge sont estimés en France pour chaque groupe de patients homogènes. Un groupe de patients homogènes est constitué de patients dont l'état nécessite des soins équivalents. Le coût associé à la prise en charge d'un patient dépend du groupe homogène de patients auquel ce patient appartient de part la pathologie dont il est affecté. Ce coût est mesuré à l'aide des données contenues dans le PMSI [POLTON 1995].

#### 4.4.2 Mesures associées à la sécurité

Assurer la sécurité des patients lors de leur prise en charge est une caractérisation de l'objectif global qui est clairement décrite dans la loi portant réforme hospitalière de juillet 1991 [TRUCHET 1995].

Pour favoriser la sécurité des patients lors de leur prise en charge, des normes sur l'activité ont été établies. Ces normes sont construites à partir de l'identification d'un seuil en dessous duquel l'activité est considérée comme insuffisante. Par exemple, pour pouvoir être considérée comme fiable, il est nécessaire pour une maternité d'enregistrer au moins 450 accouchements par an. Le seuil à partir duquel un minimum de qualité peut être garanti pour un service de chirurgie est de 4 opérations par jour lorsqu'il s'agit d'actes relevant de la chirurgie digestive légère (courante) et de 1 ou 2 lorsque ce sont des actes de chirurgie cardiaque lourde.

Un attribut qui permet d'évaluer la sous-utilisation des services dans un réseau de structures hospitalières est celui qui mesure la plus grande différence entre le volume des actes prévus lors de l'affectation des ressources et le nombre minimal d'actes à produire par an pour assurer un minimum de sécurité aux patients. Formellement, si on note  $\varepsilon_i$  la différence entre le nombre d'actes prévus dans le service  $i$  et le nombre minimal d'actes à produire, l'attribut correspond à  $\max_{\text{sur l'ensemble des services } i} \varepsilon_i$ .

Il est aussi communément reconnu qu'un service surchargé ne peut pas répondre de façon adaptée à chacun des patients. Il est donc nécessaire de contrôler ce facteur influant la non qualité. Ce contrôle peut s'effectuer par l'intermédiaire d'un attribut qui mesure la surcharge prévisible la plus grande dans le réseau des structures hospitalières, une fois l'allocation des ressources effectuée. Cet attribut correspond au  $\max_{\text{sur l'ensemble des services } i} \text{Surcharge}_i$ , avec  $\text{Surcharge}_i$  une mesure de la surcharge du service situé en  $i$ . La valeur de la surcharge correspond à la différence entre le nombre d'actes prévus d'être pratiqués dans le service et le nombre d'actes qui peuvent être pratiqués au vu des ressources disponibles.

#### 4.4.3 Mesures associées à l'accès aux soins

La notion d'accès identique pour tous aux soins est un principe populaire de répartition des ressources, en santé tout comme dans d'autres secteurs publics. C'est une des raisons pour lesquelles l'amélioration de l'accès des patients potentiels au réseau hospitalier constitue un objectif essentiel de la planification régionale des ressources hospitalières. Culyer [CULYER 1993] distingue entre autres trois définitions de l'accès aux soins. La première identifie l'accès à l'utilisation des ressources. La deuxième correspond, pour chaque patient potentiel, à sa possibilité de choix. La troisième correspond au coût supporté par les patients potentiels pour pouvoir être pris en charge dans une structure hospitalière appropriée. Nous n'avons pas trouvé de modèles qui utilisent les deux premières définitions de l'accès, ce qui n'est pas le cas de la troisième définition qui est largement utilisée. Nous proposons dans les deux premières séquences des mesures applicables dans le contexte défini par les deux premières définitions, puis nous présentons les mesures utilisées lorsque l'accès est identifié à un coût.

#### **4.4.3.1 L'accès aux soins vu comme une utilisation de ressources**

Dans ce contexte, l'accès aux soins se mesure par rapport aux différents types de soins auxquels chaque patient potentiel peut accéder [CULYER 1993]. Une mesure de l'accès tel qu'il est ainsi défini est le nombre de patient potentiels qui ne pourront pas être pris en charge dans de bonnes conditions ; ici les bonnes conditions peuvent correspondre à un volume de ressources nécessaires à la prise en charge.

#### **4.4.3.2 L'accès aux soins vu comme une possibilité de choix**

Cette définition de l'accès aux soins met l'accent sur le nombre de structures hospitalières entre lesquelles un patient potentiel peut choisir. Nous proposons deux mesures qui peuvent illustrer cette perception de l'accès au soins. Ces mesures sont:

- ✓ le nombre minimal de structures hospitalières adaptées, atteignables par un patient potentiel, ceci dans un rayon fixé,
- ✓ le nombre moyen de structures hospitalières adaptées, atteignables par chaque patient potentiel, toujours dans un rayon d'action fixé.

La deuxième mesure est à utiliser avec précaution. En effet, comme tout indicateur central, elle a tendance à inhiber l'effet des valeurs extrêmes, et masquer ainsi une grande disparité dans l'accès aux soins.

#### **4.4.3.3 L'accès aux soins vu comme un coût**

Culyer définit cet accès aux soins en terme de coûts supportés par un patient potentiel pour accéder aux soins dont il a besoin. De nombreux modèles proposent de mesurer cet accès par l'intermédiaire des coûts de transport [MAYHEW 1982] [REVELLE 1977] qui sont définis soit:

- ✓ comme une somme pondérée des plus petites distances (en kilomètre ou minute) séparant la zone de résidence des patients potentiels et des différents hôpitaux qui forment le réseau hospitalier. Les poids peuvent correspondre au nombre de patients qui effectue le trajet ;

soit,

- ✓ comme la valeur de la distance maximale (en kilomètres ou minutes) qu'au moins un des patients potentiels doit parcourir pour pouvoir être pris en charge. Cette distance peut être pondérée.

En réalité, il faudrait s'attacher à mesurer la distance telle qu'elle est perçue par les patients potentiels. La valeur de cette dernière est fonction, entre autre, de la distance en kilomètres et en temps [FOTHERINGHAM 1989]. Comme nous ne disposons pas de formules mathématiques pour estimer cette valeur précisément, une des deux mesures proposées ci-dessus peut être utilisée indifféremment. Il semble cependant que l'adoption de la seconde mesure garantisse un accès plus équitable des patients potentiels. En effet, dans la première mesure, qui peut être vue comme une équivalence de l'indicateur central qu'est la moyenne, les valeurs extrêmes peuvent se compenser, et par là même masquer de grandes disparités dans l'accès aux soins entre les différents patients. L'utilisation du kilomètre comme unité de distance semble être la plus appropriée, car plus stable ; la mesure d'une distance en temps est plus fluctuante: elle dépend de nombreux paramètres, tels que le type de véhicule utilisé, la météo, le jour et l'heure de la mesure.

#### **4.4.4 Résumé des mesures proposées**

Le tableau ci-dessous regroupe l'ensemble des définitions des mesures que nous avons présentées dans les paragraphes précédents. Ces définitions sont regroupées autour de l'objectif auquel elles sont rattachées, et selon l'approche de l'objectif qu'elles illustrent. Bien entendu, cette liste de mesures n'est pas exhaustive et de nombreuses autres peuvent être trouvées dans la littérature ([C&L SANTE 1995] et

[PINEAULT 1995]). Il est possible aussi d'en construire, la seule limite à l'élaboration de tels outils d'évaluation réside dans la nécessité d'être simple et porteur de sens [PAMPALON 1997].

Nom de l'objectif décrit	Définition de l'objectif	Description de la mesure associée	Unité utilisée
<b>Coût</b>	Identifié au coût global	Somme des coûts engendrés par la prise en charge de l'ensemble des patients potentiels.	Unité monétaire
<b>Sécurité</b>		L'écart le plus important enregistré entre le nombre minimal d'actes à effectuer dans une structure hospitalière du réseau et le nombre d'actes prévus	Nombre d'actes
		L'écart le plus important enregistré entre la capacité en nombre d'actes réalisables par une structure hospitalière du réseau et le nombre d'actes prévus	Nombre d'actes
<b>Accessibilité</b>	Identifiée à l'utilisation	Le nombre de patient potentiels qui ne peuvent pas être pris en charge par un établissement hospitalier par manque de ressources	Le patient
	Identifiée à une possibilité de choix	Le nombre minimal de structures hospitalières adaptées atteignables par un patient potentiel, ceci dans un rayon fixé	Structure hospitalière
		Le nombre moyen de structures hospitalières adaptées atteignables par un patient potentiel, ceci dans un rayon fixé,	Structure hospitalière
	Identifiée à un coût	La valeur de la distance maximale (en kilomètres ou minutes) qu'au moins un des patients potentiels doit parcourir pour pouvoir être pris en charge	Kilomètre (ou minute)
		La somme pondérée des plus petites distances séparant la zone de résidence des patients potentiels et les différents hôpitaux qui forment le réseau hospitalier.	Kilomètre (ou minute)

**Tableau 1 : Récapitulatif des attributs proposés**

#### **4.4.5 Comment formuler un objectif opérationnel**

Nous avons choisi de ne pas définir l'objectif poursuivi lors de la répartition des ressources hospitalières de façon monolithique, et d'intégrer à cette définition les multiples dimensions dans lesquelles il "agit". La nature et le nombre des dimensions de cet objectif peuvent varier en fonction de

la pathologie ou types de besoins auxquels on souhaite apporter une réponse appropriée ; de même que la formulation de l'objectif peut changer.

L'objectif est ainsi constitué d'indicateurs qui décrivent de manière opérationnelle les caractéristiques générales qui sont utiles à l'évaluation d'une répartition régionale de ressources hospitalières. Par exemple, le budget nécessaire au financement de la mise en place du réseau modifié et au fonctionnement, de même que la distance existante entre les centres d'offre et la demande sont des mesures qui permettent de décrire partiellement la notion d'efficacité dans le domaine de la planification sanitaire.

Dans les paragraphes précédents, nous avons proposé une décomposition de l'objectif général en un ensemble de classes d'objectifs opérationnels. Nous avons fourni également une liste non-exhaustive des façons de formuler les éléments de ces classes qui correspondent à des objectifs opérationnels traduisant chacun un aspect particulier, simple et précis de l'objectif général. La décomposition de l'objectif général nous a conduit à identifier trois classes d'objectifs opérationnels ; la première correspond au coût budgétaire que représente le remaniement et le fonctionnement du système de soins, la deuxième est associée à l'accès physique de la populations aux soins, et la troisième classe renferme les mesures de qualité formalisées comme des normes dont le respect est non obligatoire, mais que l'on souhaite atteindre au plus près. Parmi ces dernières mesures, ont été identifiées la surcharge, et la sous-utilisation de ressources.

La formulation de l'objectif se construit donc en choisissant dans chacune des deux premières classes un élément ou attribut. Dans la troisième classe, un ou plusieurs attributs complémentaires peuvent être intégrés dans la définition de cet objectif général. Ainsi que nous l'avons mentionné déjà, la liste des attributs que nous avons proposée n'est pas exhaustive et par conséquent, de nouveaux attributs peuvent être élaborés. Le choix de ces derniers doit être cependant guidé par la connaissance de la pathologie considérée et de la prise en charge qui lui est associée, par la possibilité de disposer des données nécessaires à leur formulation et doit s'appuyer sur la recherche de signification dans le cadre dans lequel on agit ; le résultat doit pouvoir être aisément être expliqué et compréhensible.

## 5 CONCLUSION

L'élaboration d'un schéma régional d'organisation sanitaire (SROS) consiste à ajuster de façon adaptée l'offre médicale de soins afin d'améliorer la réponse apportée par le réseau hospitalier aux besoins de santé de la population. L'objet de ce chapitre a été de préciser les différentes notions utilisées dans cette définition.

La production médicale correspond à un ensemble de processus dont l'objectif est d'améliorer l'état de santé des patients. Les travaux économiques [VALETTE 1996], [KERLEAU 1998] portant sur la définition de la production médicale, en particulier hospitalière, que nous avons étudiés montre que cette production n'est que très rarement le résultat de processus consensuels et maîtrisés. Deux raisons principales expliquent ce déficit de consensus et de maîtrise. La première réside dans le caractère équivoque de la notion de santé, et par là même de l'estimation du résultat du processus qui est l'amélioration de cet état. La deuxième est l'absence d'une relation parfaitement stable et prévisible entre le processus de soins appliqué et l'amélioration de l'état de santé. Comme la production d'une structure d'offre de soins hospitaliers ne peut pas être quantifiée à l'aune de résultats potentiels, différents économistes proposent de caractériser cette production à l'aide de l'ensemble des ressources possédées par la structure [DESCHAMPS 1982], [KERVASBOUE 1993].

La recherche d'outils permettant d'estimer les besoins de santé d'une population est un sujet largement traité dans les travaux d'épidémiologie [WENNBERG 1987], [PAMPALON 1997] et d'économie [MIZRAHI 1982]. Ces travaux, pour la plus part empiriques, ont permis de mettre en évidence l'effet de facteurs socio-économiques (revenu, niveau d'étude, statut matrimonial), physique (sexe, âge) et géographique (zone d'habitat) sur l'expression de besoins en santé et ainsi de dessiner les caractéristiques de population à l'intérieur desquelles les besoins s'expriment de façon homogène. C'est la raison pour laquelle, en connaissant la structure d'une population en fonction de ces différents



facteurs ou d'une partie de ces facteurs, une première estimation de ses besoins potentiels peut être formulée, sous l'hypothèse de stabilité de l'effet des différents facteurs dans le temps.

Des données sur les ressources et équipements lourds dont dispose chaque établissement hospitalier sont disponibles en France via le SAE. Les données démographiques éditées par l'INSEE ainsi que les études épidémiologiques menées tant au niveau national que régional fournissent des renseignements suffisants pour le calcul d'un volume probable de besoins de santé dans l'ensemble des groupes d'individus qui forment la peuplement régional. En mettant en relation ces données dans le système des règles qui définissent un schéma régional d'organisation sanitaire, nous avons proposé une définition de ce schéma sous la forme d'un programme mathématique de base composé de contraintes linéaires.

La connaissance de la caractérisation proposée du schéma régional d'organisation sanitaire ne permet cependant pas de construire le schéma le plus satisfaisant. Pour ce faire, il est nécessaire de préciser ce que satisfaisant signifie pour un tel schéma. A l'aide de la méthode de décomposition d'objectif généraux en un ensemble d'objectifs opérationnels proposée par Keeney et Raiffa [KEENEY 1976], nous avons identifié un ensemble de sous objectif caractérisant l'objectif principal qui dirige le choix d'un schéma d'organisation des ressources hospitalières ; ces sous-objectifs sont: la "minimisation du coût", la "maximisation de la sécurité" et la "maximisation de l'accessibilité des soins". A la suite de cette identification, nous avons proposé pour chaque sous-objectifs un ensemble de mesures qui permettent d'évaluer le niveau que le schéma atteint sur chacun de ces aspects de l'objectif général, et une méthode pour construire un vecteur d'attributs qui décrit de façon rationnelle le plus complètement possible l'objectif général.

Maintenant que ce travail de clarification des concepts est effectué, la proposition de HERO, un outil d'aide à l'élaboration de schéma d'organisation sanitaire peut être avancée.



## **Chapitre 3**

### *Description générale de l'outil HERO*

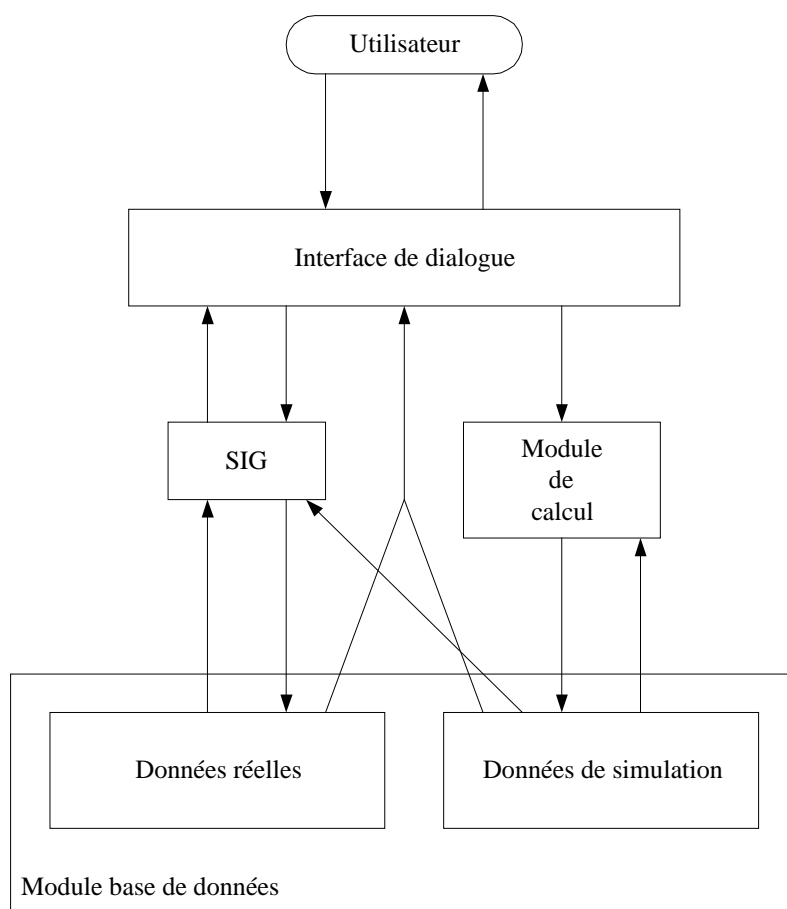


## INTRODUCTION

L'objectif du système HERO est de fournir au planificateur un outil "souple" et simple d'utilisation qui l'assiste efficacement dans sa recherche de solution au problème de planification sanitaire. Dans le premier chapitre, nous avons proposé un tel outil sous la forme d'un système composé de trois modules connectés à une interface de dialogue. Cet ensemble de modules est constitué d'une base de données, d'un Système d'Information Géographique (SIG) et d'un module de résolution. Dans ce chapitre, nous allons préciser le fonctionnement général de cet outil, puis nous détaillons le contenu et le rôle de chaque composante de l'outil, en commençant par l'interface de dialogue. La base de données, le SIG et le module de résolution sont ensuite décrits. La description de ce dernier module, parce qu'il constitue un apport original au traitement de ce problème, est particulièrement détaillé.

### 1 FONCTIONNEMENT GENERAL DE HERO

L'outil d'aide à la planification sanitaire HERO est un système interactif d'aide à la décision "incluant une dimension spatiale". Son rôle est double. Il consiste à informer l'utilisateur sur la situation sanitaire et à l'assister dans sa recherche de solution. Afin de remplir ces fonctions, HERO est constitué de trois modules interconnectés, un module de stockage de données ou base de données et deux modules de traitement de données soit un SIG et un module de résolution. Le système formé par ces trois modules est lié à une interface qui gère le dialogue entre l'utilisateur et le système (cf. Figure 9).



**Figure 9: Architecture générale de HERO**

La fonction information, nécessaire à toute aide efficace au diagnostic, est réalisée par le sous-système que constitue le SIG (Système d'Information Géographique) et la base de données, en particulier la

partie de la base contenant les données réelles ; ces données concernent la demande, l'offre et la consommation des soins hospitaliers. Via l'interface, le planificateur visualise, sur des cartes géographiques de la région, le résultat d'analyses thématiques effectuées sur les données brutes contenues dans la base de données. La visualisation de ces cartes lui permettent d'améliorer ses connaissances sur les spécificités régionales, tant au niveau de l'organisation spatiale du système hospitalier qu'au niveau de la répartition des ressources entre les différents hôpitaux, des pratiques médicales de prise en charge, de l'activité des différents sites et des besoins de la population. Il peut, ainsi, affiner son analyse de la situation sanitaire de la région, structurer les informations à sa disposition afin de comprendre le fonctionnement du système régional de soins hospitaliers et identifier les actions prioritaires à inclure dans la politique sanitaire de la région. Une fois le diagnostic posé, la recherche d'une solution adaptée peut être initiée.

Lors de la recherche d'une solution adaptée à la situation qu'il a identifiée, le planificateur peut bénéficier de l'assistance de HERO. Cette aide met en jeu le système formé des trois modules. Par le biais de fenêtres de dialogue (cartes géographiques de la région ou autres), le planificateur enrichit le modèle d'allocation spatiale de ressources contenu dans le module de résolution, en mettant à jour l'ensemble des contraintes liées au volume des ressources disponibles et en saisissant différentes hypothèses sur l'évolution souhaitable du système d'offre de soins hospitaliers. Ces hypothèses peuvent concerner les niveaux d'aspiration sur les différents objectifs de planification, ou des contraintes supplémentaires sur l'allocation des ressources. Ces informations sont enregistrées parmi les données de simulation de la base de données, et c'est par cet intermédiaire que le module de résolution y accède. Après calcul, le module de résolution propose, s'il en existe, une solution de compromis au modèle enrichi. Cette solution est projetée sur une carte ; ce traitement est effectué par le SIG, et des indicateurs comme les scores réalisés par cette solution sur les différents objectifs sont visualisés dans une fenêtre. Si la solution ne satisfait pas le planificateur, il peut indiquer pour quels objectifs les scores sont à améliorer et modifier les informations qu'il a fourni. Le processus s'arrête lorsque le planificateur est satisfait par une solution.

## 2 L'INTERFACE DE DIALOGUE

L'interface de dialogue figure le lieu d'échange entre l'utilisateur et le reste du système constitué du module base de données, du système d'information géographique, et du module de calcul. Le dialogue s'instaure via un menu ; les items de ce dernier permettent à l'utilisateur :

- ✓ D'accéder aux informations concernant, par exemple, la situation sanitaire de la région, précédente, actuelle et prévue ; le déploiement géographique du réseau hospitalier, la distribution des ressources entre les établissements. Ces informations sont communiquées à l'utilisateur sous la forme de cartes thématiques ou de fiches signalétiques.
- ✓ De contrôler la recherche d'une (ou plusieurs) solution(s) satisfaisante(s) en instanciant les paramètres et certaines variables et en indiquant des buts à atteindre. La saisie de ces informations s'effectue dans des masques ou formulaires accessibles par le menu.

L'interface de dialogue est programmée en Visual Basic 5. Ce choix a été motivé par la possibilité qu'offre ce langage de créer rapidement une interface. De plus, Visual Basic est compatible avec le système d'information géographique que nous avons utilisé.

## 3 LE MODULE BASE DE DONNEES

Le module base de données stocke deux types de données : les données relatives au fonctionnement réel du système sanitaire de la région ou données " réelles ", et les données dites " de simulation ". Une description plus détaillée du contenu et de l'organisation de ce module est proposée dans le travail de Melle Desvignes [DESVIGNES 1998].

### 3.1 Les données " réelles "

Les données " réelles " sont relatives à la capacité de prise en charge du système sanitaire, à son activité réelle, à la composition de la population et à ses besoins en soins, actuels et prévus. Ces données sont issues de diverses bases de données publiques. La capacité de prise en charge de chaque établissement sanitaire est décrite par l'intermédiaire des ressources dont il dispose, et pour cela les données du SAE<sup>34</sup> (Statistiques Annuelle des Etablissements de santé) sont utilisées. L'activité des établissements sanitaires est représentée à partir des indices d'activité contenus dans le SAE (ces indices mesurent le nombre d'accouchements, le nombre d'IVG<sup>35</sup>, le nombre de césariennes et le nombre d'entrée par les urgences, par exemple), et des données du PMSI<sup>36</sup> (Programme Médicalisé des Systèmes d'Information). Ce dernier regroupe, pour chaque patient pris en charge, une description des soins qu'il a reçu. Les informations contenues dans le PMSI qui concernent les motifs d'hospitalisation des patients ainsi que les données des registres de santé (disponibles dans certaines régions et pour certaines pathologies seulement) sont utilisées pour représenter les besoins en soins de la population, et les données produites par l'INSEE sur la démographie régionale, son historique et les prévisions dépeignent la structure de la population régionale par âge et sexe.

L'essentiel des difficultés, lors de l'élaboration de cette base de données, réside dans la diversité des institutions collectant les données, et la dispersion des fichiers. Il faut donc centraliser, consolider, puis harmoniser ces informations [DESIGNES 1998]. L'ensemble des données pré-traitées est stocké de façon permanente dans la base de données et n'est accessible qu'en lecture. L'utilisateur y a accès soit via un traitement SIG soit via des fiches.

### 3.2 Les données " de simulation "

Les données de simulation sont pour la plupart volatiles (temporaires) ; elles ne sont gardées en mémoire que le temps d'une session. Elles n'accèdent au statut de données permanentes que sous la demande de l'utilisateur. Ce dernier peut aussi les détruire.

Il existe trois classes de données de simulation. La première classe regroupe une copie de certaines données réelles, comme le volume de besoins prévu dans chaque unité géographique. La deuxième classe correspond aux données de définition du modèle et d'initialisation des paramètres de celui-ci ; ces données sont fournies par l'utilisateur. Enfin, la troisième classe est composée des résultats issus de la résolution du programme, c'est à dire de la solution courante, de la meilleure solution calculée depuis le début de la recherche ainsi que les possibilités d'améliorer cette solution.

## 4 LE SIG.

Le SIG (Système d'Information Géographique) est l'un des deux modules de traitement de l'information contenu dans HERO. Il sert non seulement à afficher des données cartographiques, mais aussi à réaliser des analyses (Burrough 1986, Goodchild and Kemp 1990 in [ALBRECHT 1995]).

Son rôle dans l'outil HERO est de fournir une image réaliste et compréhensive de l'état sanitaire d'une région, par exemple, en projetant différents ensembles de données (épidémiologiques, démographiques, relatives à l'activité des hôpitaux, ...) dans l'espace géographique de cette région, tout en permettant à l'utilisateur d'interagir avec le système et de réaliser des manipulations de données et des analyses. Dans la phase de renseignement du processus de décision, ces projections permettent d'identifier les zones géographiques défavorisées, d'appréhender les inégalités d'accès aux soins, les différences de besoins, quantitativement et qualitativement, les différences dans les pratiques médicales par exemple. Dans la phase de conception, l'affichage des résultats des calculs permet de visualiser dans son ensemble la proposition concernant l'organisation du système de soins et de la mettre en relation avec les besoins identifiés.

<sup>34</sup> Voir Annexe B pour une description de cette base de données.

<sup>35</sup> Interruption Volontaire de Grossesse.

<sup>36</sup> Voir Annexe A pour une description de cette base de données.

Une description du fonctionnement général d'un SIG fait l'objet des premiers paragraphes. La suite de cette partie présente un exemple d'analyses réalisables à l'aide d'un SIG dans le cadre de la planification sanitaire.

## 4.1 Définition

Un SIG est un système informatique composé de " hardware ", de logiciels, de données et d'applications. Il est utilisé pour saisir des données, les éditer, les stocker, les manipuler, effectuer des analyses et les afficher [ALBRECHT 1995]. De façon schématique, l'architecture d'un SIG correspond à la Figure 10. Un SIG se compose donc d'un système de gestion de bases de données et de deux types de données : les données spatiales, et les autres [KEENAN 1995].

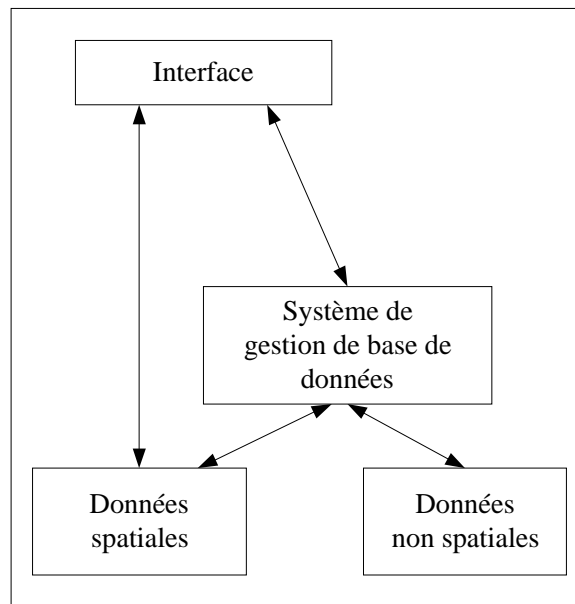


Figure 10: Architecture d'un SIG

**Les données spatiales** décrivent l'emplacement, la géométrie et la topologie de l'information à modéliser. Elles correspondent à des objets géographiques comme les points, les surfaces, les segments ou ensembles de segments formant des réseaux ou des frontières. Une position géographique est associée à chacun des objets géographiques définis. Cette position géographique correspond à des coordonnées, ou à une liste de coordonnées [SCHOLL 1996].

**Les données non spatiales** décrivent les éléments d'information non spatiale. Elles peuvent être vues comme des informations attributs des objets géographiques. Ces informations correspondent à des enregistrements alphanumériques structurés, et constitue la partie descriptive du phénomène étudié. Ces enregistrements peuvent être relatifs à la taille d'une population résidente, à un taux de chômage, ou à l'incidence d'une maladie, par exemple [SCHOLL 1996].

**Le système de gestion de bases de données** met en relation les données spatiales et un ou plusieurs de leurs attributs. Il traduit les relations entre les attributs et les données spatiales de façon numérique et graphique. Il réalise ainsi des cartes thématiques.

L'avantage lié à l'utilisation d'un SIG réside dans l'information synthétique que constitue une carte thématique. Cette information est plus riche que celle contenue dans le seul ensemble des données non spatiales. Pour s'en convaincre, il suffit de regarder la Figure 11.



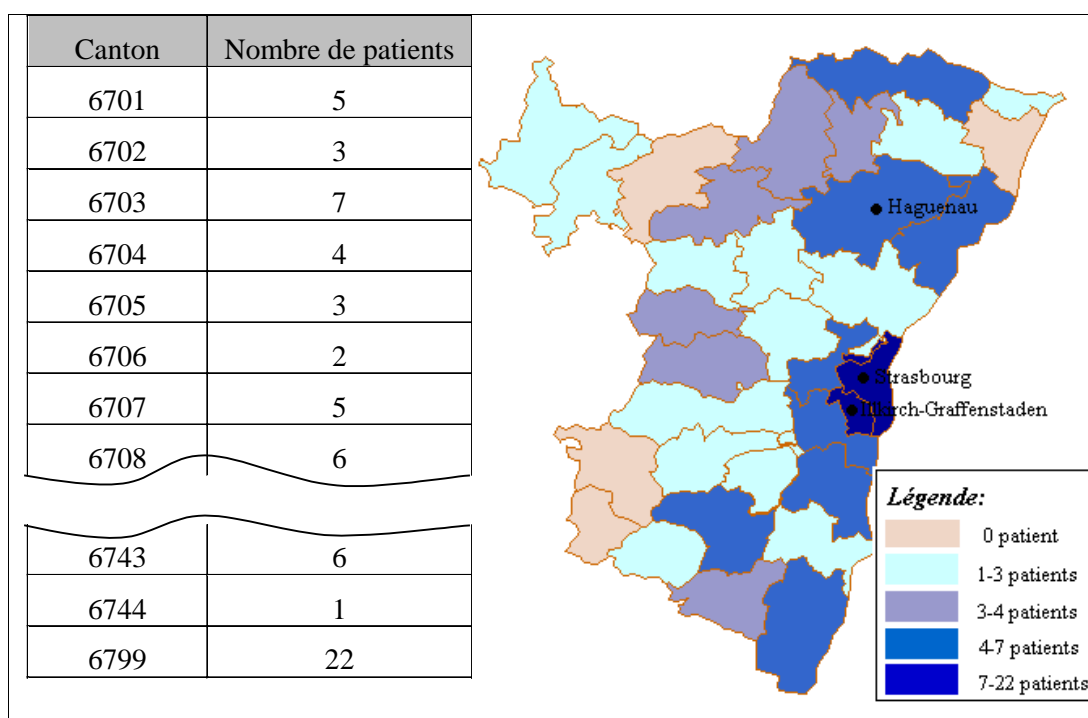


Figure 11: Liste de patients par canton et représentation géographique

## 4.2 Exemple d'utilisation d'un SIG en planification sanitaire

Les applications du SIG en planification sanitaire sont multiples. Nous avons choisi d'illustrer l'aide que constitue l'utilisation d'un tel outil en planification pour l'étude des différences de pratique médicale dans les services de maternité du Bas-Rhin<sup>37</sup>. Cet exemple est constitué de trois cartes, une première carte illustre le nombre d'accouchement dans chaque service d'obstétrique (Figure 12), une deuxième montre le rapport entre le nombre d'accouchements et le nombre de lits d'obstétrique (Figure 13), enfin la troisième affiche le nombre de césariennes réalisées par accouchement pour chaque service d'obstétrique (Figure 14). Ces cartes ont été réalisées à partir des données du SAE du Bas-Rhin et valent pour l'année 1996.

Le choix des thèmes des analyses a été guidé par l'ensemble des indicateurs de qualité utilisés traditionnellement pour évaluer les maternités ainsi que par celui des données dont nous disposons. Ces indicateurs sont généralement assortis de norme ; toute valeur d'indicateur inférieure à la norme constitue un signe invitant les analystes à étudier de plus près la cause de cette valeur.

Le nombre d'accouchements réalisés par an est un indicateur communément utilisé. Ce nombre est comparé au nombre théorique de 350 qui figure une borne inférieure à l'activité d'une maternité.

Le taux d'occupation d'un service est calculé pour tous les types de services hospitaliers. Il permet d'apprécier l'utilisation des ressources dont dispose le service, notamment des lits, et aussi d'identifier les éventuelles sous utilisations. Cet indicateur est un indicateur plutôt économique.

<sup>37</sup> Cette illustration a été réalisée conjointement avec M<sup>elle</sup> Desvignes dans le cadre de son projet de fin d'étude à l'ENSIMAG (Grenoble).

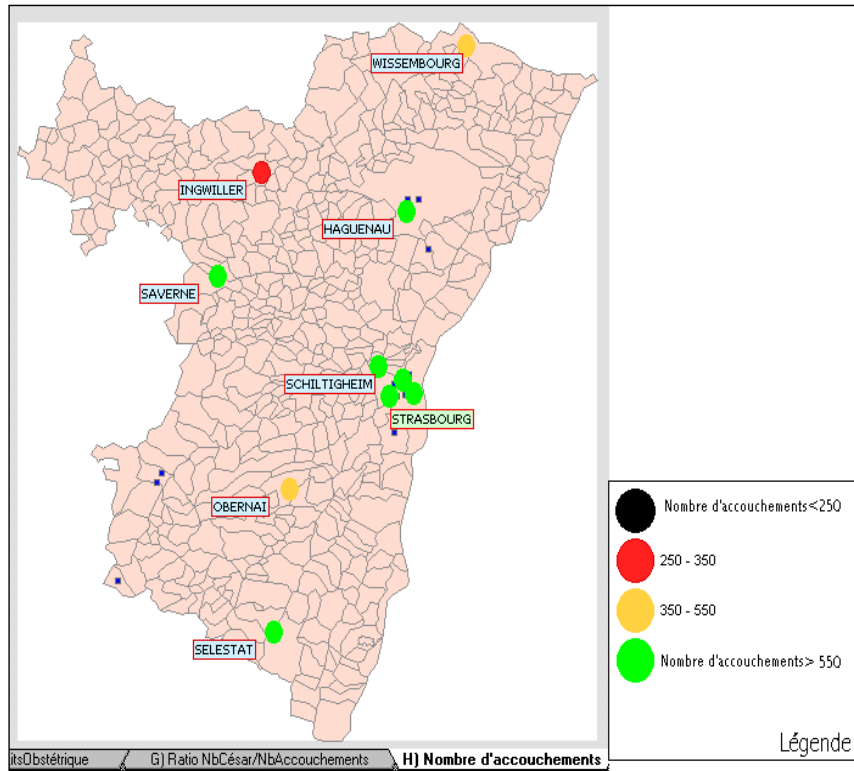


Figure 12: Résultat d'une analyse thématique: le nombre d'accouchements

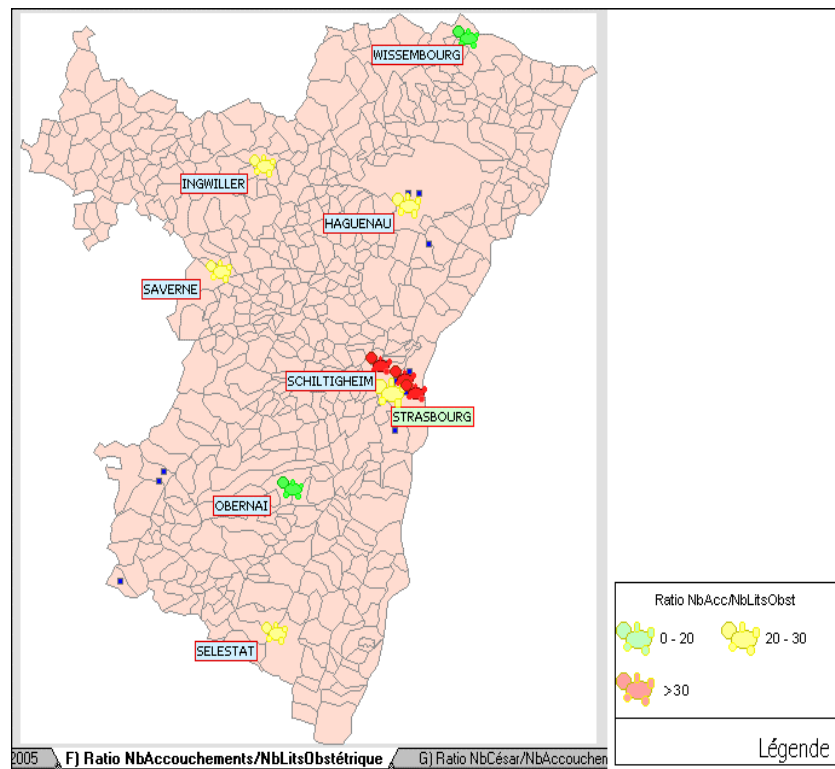
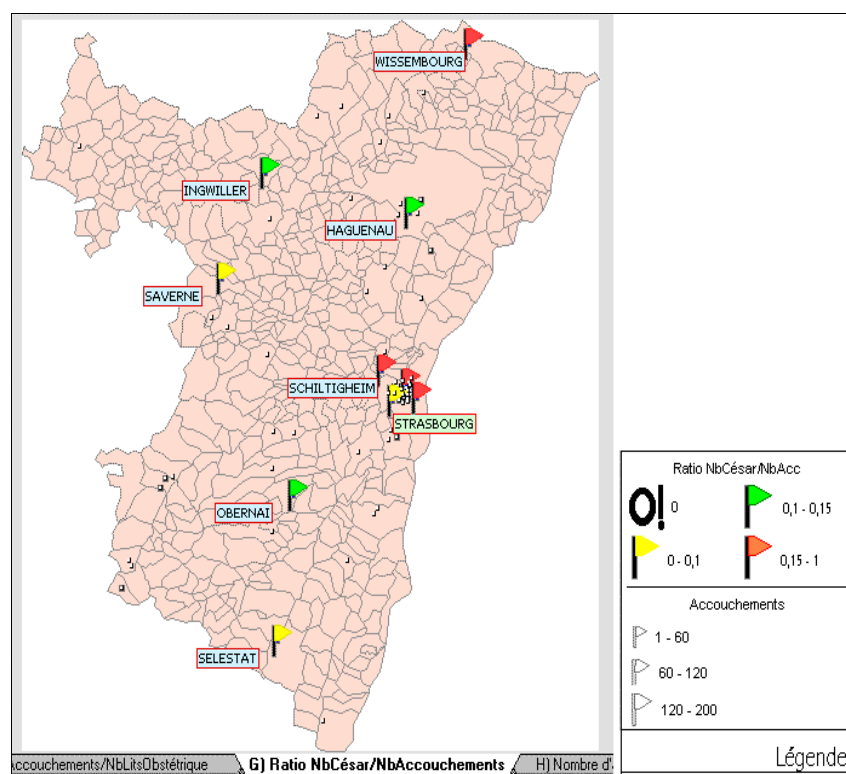


Figure 13: Résultat de l'analyse thématique: nombre d'accouchement / nombre de lits en obstétrique



**Figure 14: Résultat de l'analyse thématique: nombre de césariennes / nombre d'accouchements**

Le taux de césarienne est un marqueur de l'activité d'une maternité. Un taux césarienne de 10% est préconisé par l'Organisation Mondiale de la Santé.

Dans nos commentaires des cartes, nous nous bornons à observer les résultats de l'analyse. Expliquer ces résultats ne relève pas de notre compétence. En effet, elle nécessite une connaissance approfondie du fonctionnement des maternités dans le Bas-Rhin, et surtout de la situation démographique et économique de la population ; connaissance que nous ne possédons pas.

Les trois cartes reproduite ici indiquent pour chacune des dix maternités du Bas-Rhin les valeurs des trois indicateurs de qualité que nous avons présentés. Sur la première carte, les hôpitaux disposant de lits en obstétrique sont représentés par un cercle dont la couleur est fonction du nombre d'accouchements. On constate que l'établissement situé à Ingwiller a une activité inférieure à la norme de référence (de 350 accouchements par an). Le nombre d'accouchements est également faible dans les établissements situés à Obernai et Wissembourg. L'analyse présentée par la deuxième carte montre que malgré un nombre d'accouchements inférieur à la norme pour l'établissement situé à Ingwiller, le nombre de lits installés est adapté à cette faible activité. Les établissements situés à Wissembourg et Obernai semble être en sous-utilisation. La troisième carte souligne le pourcentage important de césariennes dans les établissements qui, sur la deuxième carte, a le taux d'occupation le plus élevé, ainsi qu'à Wissembourg, où le nombre d'accouchements est inférieur à la norme de référence.

Ces trois cartes permettent de mettre en évidence un certain nombre de disparités dans le mode de fonctionnement des différentes maternités du Bas-Rhin. Mises en correspondance avec des analyses thématiques sur la démographie et l'origine géographique des patientes pour chaque maternité (ce qui est possible en utilisant les données de l'INSEE et du PMSI), une explication à ces différences peut être élaborée.

## 5 LE MODULE DE RESOLUTION

Le rôle du module de résolution est d'assister le planificateur dans sa recherche heuristique de solution de compromis ; cette recherche s'effectue lors de la phase de conception, la deuxième phase du processus de décision. L'aide fournie par cette partie du système est de deux ordres. Elle consiste à la fois :

- ✓ à vérifier la compatibilité des différentes hypothèses émises par le planificateur ; ces dernières forment un scénario, avec les règles de planification sanitaire identifiées dans le chapitre précédent (faciliter l'accès des services aux patients potentiels, fournir des soins de qualité et assurer la sécurité) ;
- ✓ à définir une solution de compromis qui tienne compte du scénario et des règles de planification, et à fournir un ensemble d'indicateurs qui caractérise cette solution.

L'ensemble des indicateurs permet au décideur d'évaluer la solution proposée et de formuler une nouvelle direction de recherche en précisant la solution qu'il pressent si cette dernière ne le satisfait pas.

Pour remplir ce rôle, le module de résolution se compose d'un modèle d'allocation spatial de ressources multi-objectif paramétrable et d'un module de calcul adapté à la résolution de ce type de modèle (cf. figure 6). Le modèle utilisé est du même type que celui présenté dans le chapitre précédent. Il rassemble des contraintes de non-dépassement des volumes disponibles et de couverture des besoins de la population, quelle que soit la pathologie considérée, ainsi que des contraintes relatives à l'utilisation des ressources et équipements alloués. Comme les ressources et les équipements utilisés varient selon la pathologie étudiée, ces dernières contraintes changent et sont définies au cas par cas.

Dans les paragraphes qui suivent, après la présentation de l'architecture générale du fonctionnement du module de résolution, nous passons brièvement en revue les méthodes d'optimisation multicritère disponibles pour traiter les programmes "linéaires" à solution entière. Nous décrivons ensuite la méthode utilisée dans le module de calcul. En fin, nous indiquons les choix technologiques que nous avons adoptés pour l'implantation de ce module de résolution.

### 5.1 Fonctionnement du module de résolution

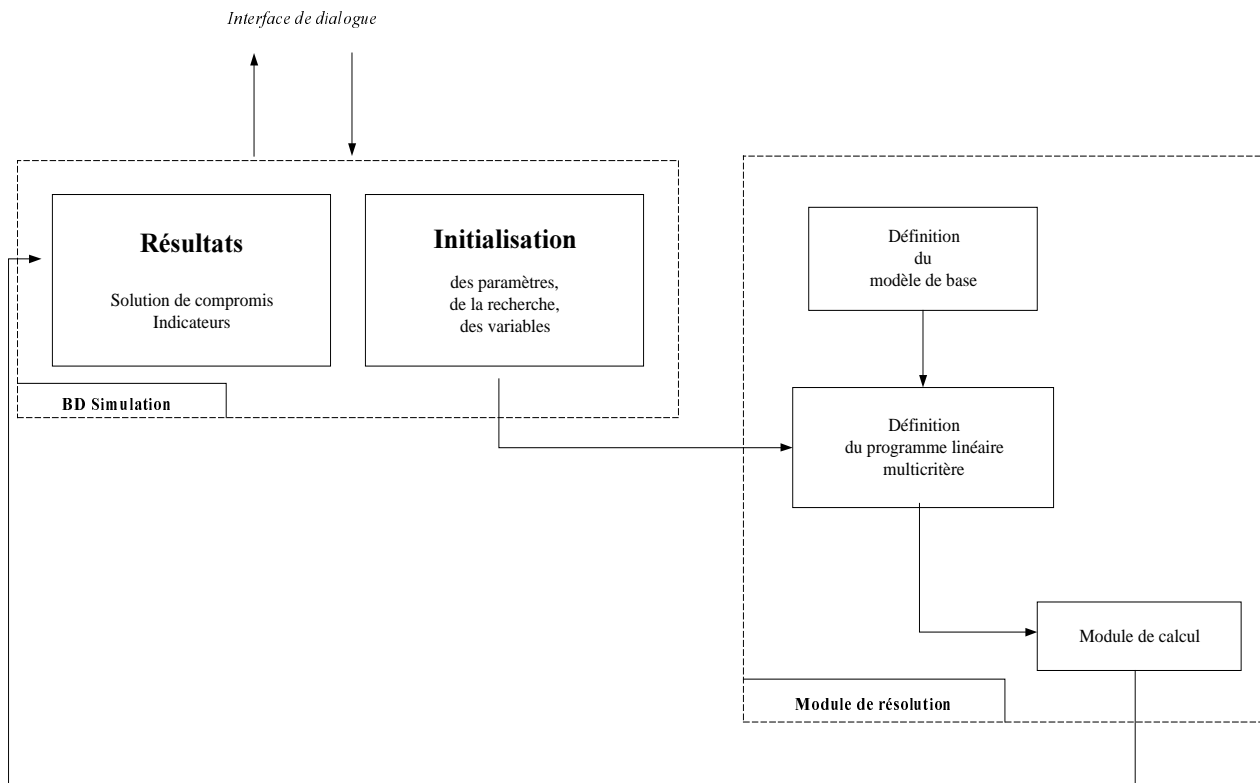
Le module de résolution est composé d'un modèle général paramétrable, et d'un module de calcul. Dans le modèle général sont définies les variables (volume de chaque ressource allouée à chaque site, volume des patients affectés à chaque site), les contraintes liées à l'allocation des ressources ainsi que les objectifs. Le module de calcul fournit une solution entière de compromis au programme "d'optimisation" multi-objective. La Figure 15 et la Figure 16 montrent le processus de calcul d'une solution au problème de planification.

Via un ensemble de fenêtres de dialogue, le planificateur définit la valeur de l'ensemble des paramètres, c'est à dire qu'il indique pour chaque ressource le volume qui est à répartir ainsi que la distance maximale séparant les patients du lieu de leur prise en charge. A partir de ces données stockées dans la partie de la base de données réservée aux données de simulation, le modèle général est paramétré. Le planificateur propose ensuite le scénario qu'il souhaite tester. Ce scénario correspond à une précision des propriétés que la solution, pressentie par le planificateur comme la plus satisfaisante, doit vérifier. Ces précisions concernent l'ensemble de variation des différentes variables, et complètent le modèle.

Le programme linéaire multi-objectif ainsi défini est résolu dans le module de calcul. Ce module de calcul identifie, si elle existe, une solution de compromis entière au programme, et calcule la valeur d'un ensemble d'indicateurs caractéristiques. Ces indicateurs correspondent, entre autres, aux valeurs prises par les objectifs en cette solution. Le résultat de ces calculs est enregistré dans la partie simulation de la base de données. C'est à ces données enregistrées que l'utilisateur peut ensuite avoir

accès à partir de fenêtres de dialogue ou sur des cartes. En cas d'absence de solution, un message est délivré au décideur.

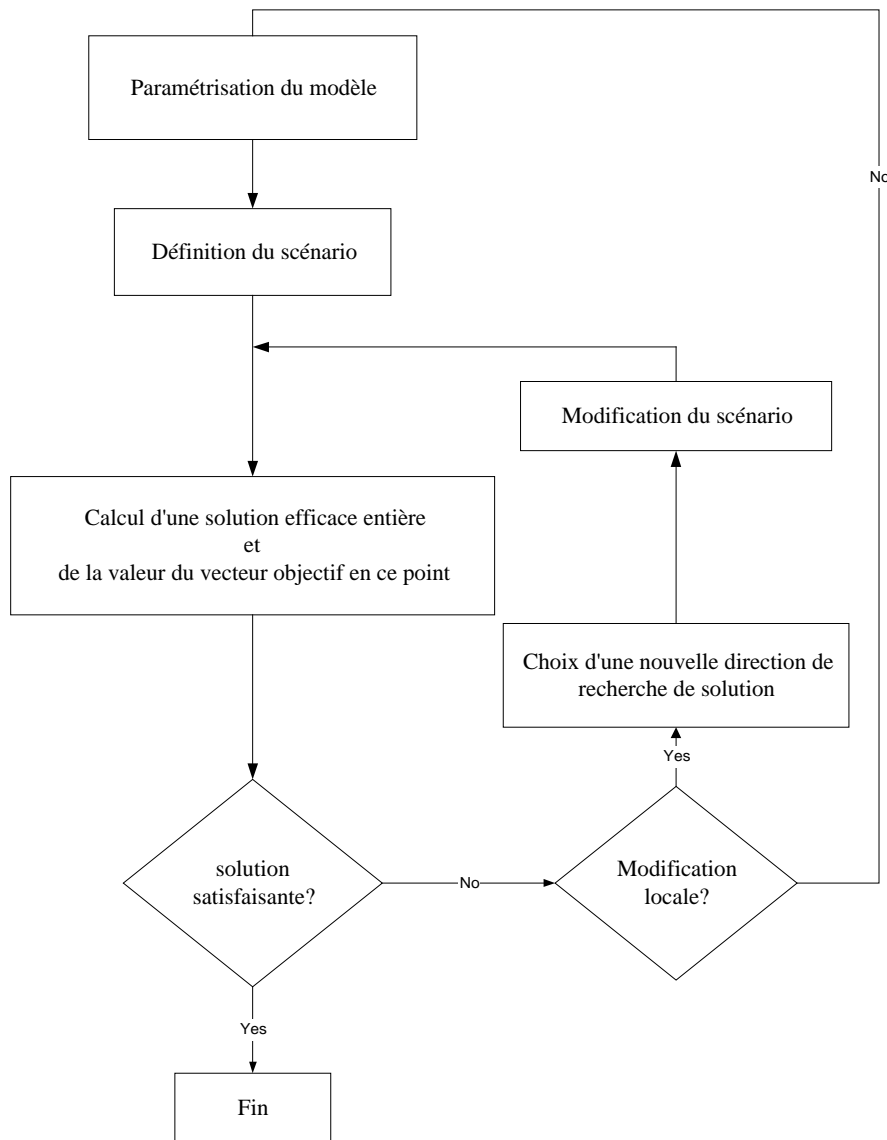
Comme l'indique la Figure 16, après le calcul de la solution de compromis et des indicateurs qui la caractérisent, une étape de dialogue est engagée avec l'utilisateur. Si la solution satisfait le planificateur, le processus de recherche est terminé. Si ce n'est pas le cas, le planificateur peut suivre deux stratégies différentes pour tenter d'améliorer les résultats obtenus.



**Figure 15: Fonctionnement du module de résolution**

La première stratégie consiste à modifier ou préciser le scénario. Les modifications se traduisent par une redéfinition des intervalles de définition des différentes variables, et les précisions par la détermination des valeurs minimales que doivent vérifier les objectifs. Le modèle général est à nouveau instruit avec ces nouvelles données et le module de calcul est appliqué à ce programme multi-objectif généré. Le résultat de ce traitement est présenté au planificateur qui peut évaluer la nouvelle solution de compromis. Dans ce cas, le planificateur effectue des modifications locales, dans le sens où le planificateur affecte les propriétés de la solution en agissant sur les caractéristiques de certaines variables, ou sur la valeur attendue de l'objectif multiple (du vecteur objectif).

La seconde stratégie correspond à la volonté pour le planificateur d'agir sur des aspects globaux de la planification. Elle consiste à changer le paramétrage du modèle général, c'est-à-dire à modifier le cadre de la planification en corrigeant la valeur des constantes associées au système dans son ensemble, comme celle des volumes de ressources à répartir, le nombre minimal et maximal de sites entre lesquels répartir ces ressources, et la distance maximale séparant les patients du lieu de leur prise en charge. Suite à ce paramétrage, un nouveau scénario peut être défini.



**Figure 16: Algorithme général de la recherche de solution**

Les paragraphes qui suivent sont dédiés à la présentation du module de calcul, c'est-à-dire à la méthode de résolution que nous avons programmée dans ce module. Cette présentation est précédée d'une brève description de l'optimisation multicritère en nombres entiers.

## 5.2 L'optimisation multi-objectif en nombres entiers

Les problèmes d'optimisation à solution entière sont courants dans de nombreux domaines (industriels et financiers par exemple), tout comme les problèmes qui incluent plusieurs objectifs. Ces derniers sont composés d'objectifs qui, par nature, sont conflictuels, ce qui exclut la présence d'une solution unique qui optimise simultanément l'ensemble des objectifs. Le problème ne se traduit donc pas par la recherche d'optimum mais par la recherche d'une solution de meilleur compromis, ou, en termes formels, solution efficace<sup>38</sup> la plus satisfaisante.

Le calcul des solutions efficaces a fait l'objet de nombreux travaux de recherche, en particulier lorsque cette solution varie dans un domaine continu. Dans ce cas, des algorithmes de calcul existent. Ces algorithmes ne sont cependant pas applicables tels quels quand la solution recherchée est entière. La

<sup>38</sup> Pour une définition du terme efficace dans le cadre de l'optimisation multicritère, voir les paragraphes suivants

présence de contraintes d'intégrité modifie la structure du problème, ce qui rend nécessaire l'élaboration d'algorithmes spécifiques [TEGHEM 1986].

Notre problème pouvant se traduire en un programme mathématique linéaire, nous avons restreint notre étude aux méthodes résolvant les programmes linéaires d'optimisation multi-objectif à solutions entières. Il existe plusieurs types de méthodes qui permettent de résoudre des problèmes linéaires d'optimisation multi-objectif à solutions entières. La plus simple consiste à énumérer toutes les solutions efficaces et à les présenter au décideur afin qu'il choisisse celle qu'il préfère. Parmi ces méthodes, signalons celle proposée par Klein et Hannan [KLEIN 1982]. Une autre approche utilisée pour résoudre un problème d'optimisation multi-objectif à solutions entières consiste à construire en premier lieu la fonction utilité du décideur. Une fois cette fonction déterminée, le problème se ramène à un problème d'optimisation mono-objectif (pour un exemple d'une telle méthode voir [GABBANI 1986]). Ce type d'approche ne semble pas adapté à la résolution de ces problèmes d'optimisation ; l'ensemble des solutions réalisables est généralement supposé convexe, ce qui n'est pas le cas lorsque cet ensemble est constitué uniquement d'entiers. Finalement quelques auteurs proposent des méthodes interactives pour résoudre ces problèmes d'optimisation.

Afin de présenter quelques méthodes interactives de calcul de solutions entières efficaces, la notion d'efficacité dans le cadre d'optimisation multi-objective entière est évoquée.

### 5.2.1 La notion d'efficacité

De façon générale, il existe un consensus sur le fait que les solutions efficaces sont les meilleures candidates pour former les solutions de meilleur compromis. Ces solutions correspondent intuitivement aux solutions pour lesquelles il est impossible d'améliorer la performance qu'elles enregistrent sur un objectif sans diminuer celle qu'elles enregistrent sur au moins un autre objectif. Formellement, si on note  $f = (f_1, \dots, f_p)$  le vecteur des objectifs à maximiser<sup>39</sup>,  $X$  l'ensemble des solutions possibles au problème, et  $Eff(X)$  l'ensemble des solutions efficaces de  $X$ , alors  $x \in Eff(X)$  s'il n'existe pas  $x' \in X$  tel que  $f_i(x) \leq f_i(x'), \forall i \in \{1, \dots, p\}$ , et  $i_0 \in \{1, \dots, p\}$  tel que  $f_{i_0}(x) < f_{i_0}(x')$ .

Dans le cas où la définition de  $X$  ne contient pas de contraintes d'intégrité, la caractérisation des points efficaces due à Soland [SOLAND 1979] est souvent utilisée. Cette caractérisation s'énonce sous la forme du théorème suivant.

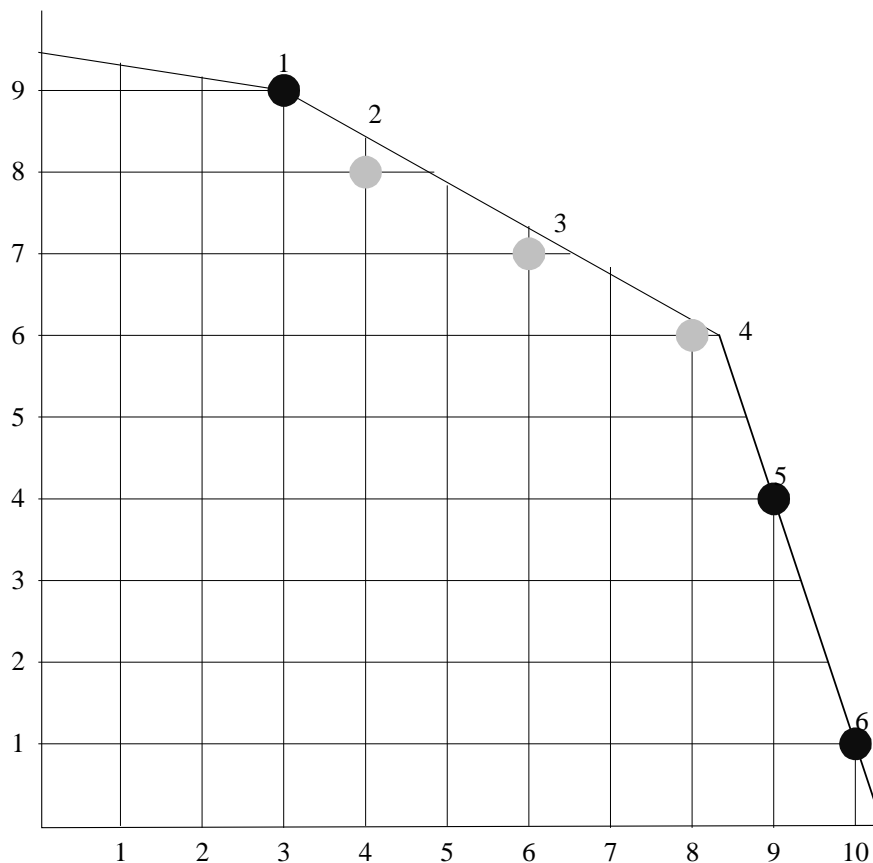
**Théorème** : Soit  $g$  une fonction définie sur  $\mathcal{R}^p$  et à valeur dans  $\mathcal{R}$ , et strictement croissante sur l'image de  $X$  par  $f(\cdot)$ . Cette image de  $X$  par  $f(\cdot)$  est noté  $f(X)$  dans la suite. On a alors  $x \in Eff(X)$  si et seulement si il existe un vecteur  $b \in \mathcal{R}^p$  tel que  $y$  est la solution du problème  $(P_{g,b})$  définie par :

$$\max[g(f(x))] \text{ avec } x \in X \text{ et } f(x) \geq b.$$

En général, on définit  $g(\cdot)$  comme une fonction linéaire de  $f(\cdot)$ , soit  $g(f(x)) = \sum_{i=1..p} \alpha_i f_i(x)$ .

Cette caractérisation ne permet cependant pas de calculer l'ensemble des solutions efficaces lorsque des contraintes d'intégrité sont ajoutées à la définition du problème. En effet, comme le montre la Figure 17 dans laquelle les solutions efficaces entières sont marquées d'un point et les solutions calculées à l'aide de la caractérisation correspondent à la partie supérieure de la frontière du polyèdre, seules les solutions entières convexes, les points en bleu foncé sur la figure, peuvent être ainsi caractérisées. Ces points sont parfois nommés "solutions efficaces supportées" (supported efficient solutions). Les solutions efficaces entières qui ne peuvent pas être ainsi construites sont appelées "solutions efficaces non-supportées" (non-supported efficient solutions) [TEGHEM 1986]. Ces dernières sont identifiées à l'aide d'un point gris.

<sup>39</sup> Si le vecteur des objectifs est à minimiser, alors, le sens des inégalités s'inverse.



**Figure 17: Exemple de solutions efficaces entières**

De nombreux travaux ont été menés pour caractériser l'ensemble des solutions efficaces entières. Pour le moment aucune de ces caractérisations n'est opérationnelle [TEGHEM 1986].

### 5.2.2 Quelques méthodes interactives de résolution

Malgré l'absence de définition opérationnelle d'une solution efficace entière, quelques méthodes sont disponibles pour résoudre les problèmes linéaires d'optimisation multi-critère à solutions entières. Cette étude est volontairement restreinte aux quelques méthodes interactives d'optimisation multi-critère entière spécifiques<sup>40</sup> que nous avons étudié avant de choisir l'algorithme intégré dans l'outil HERO. Ces méthodes sont celles proposées par Villarreal et Karwan [VILLARREAL 1981], par Vassilev et Narula, [VASSILEV 1993] et [NARULA 1994] et par Marcotte et Soland [MARCOTTE 1986]. Toutes ces méthodes adoptent des approches différentes et fournissent au décideur une solution efficace entière et non une approximation. Elles se fondent aussi uniquement sur l'hypothèse de l'existence d'une relation d'ordre partiel<sup>41</sup> sur les différentes alternatives. Les deux dernières méthodes se placent dans une perspective de processus d'apprentissage.

Comme ces trois méthodes sont assez techniques, nous ne présentons que l'idée générale développée dans chacune d'elles. Les lecteurs intéressés peuvent se reporter aux travaux des différents auteurs.

<sup>40</sup> Pour une revue plus complète de ces méthodes d'optimisation multi-critère à solutions entières voir les articles de Teghem et Kunsch [TEGHEM 1985], [TEGHEM 1986].

<sup>41</sup> Une relation d'ordre sur des objets est qualifiée de partielle si elle ne permet pas de statuer pour toutes les comparaisons d'objets, c'est à dire qu'elle admet l'existence d'objets incomparables.



### 5.2.2.1 La méthode de Villarreal et Karwan

Villarreal et Karwan proposent un algorithme dynamique de construction de la meilleure solution entière de compromis [VILLARREAL 1981]. La constatation qui est à l'origine de cette méthode est que si la solution efficace entière  $x = (x_1, \dots, x_n)^T$ <sup>42</sup> est la meilleure pour le problème  $P^n$  défini par:

$$\begin{cases} v\_ \max Cx, \\ Ax \leq b, \\ 0 \leq x_i \leq N_i, \forall i \in \{1, \dots, n\} \end{cases}$$

avec  $C \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^n$ ,  $p$  étant le nombre de composantes du vecteur à "optimiser"<sup>43</sup>,  $A \in \mathbb{R}^n \times \mathbb{R}^m$ , et  $b \in \mathbb{R}^m$ ,

alors,  $x' = (x_1, \dots, x_{n-1})^T$ , formée des  $n-1$  premières composantes du vecteur  $x$ , est la meilleure solution de compromis entière<sup>44</sup> pour le problème  $P^{n-1}$  défini par:

$$\begin{cases} v\_ \max C_{n-1} x', \\ A_{n-1} x' \leq b - a^n x_n, \\ 0 \leq x_i \leq N_i, \forall i \in \{1, \dots, n-1\} \end{cases}$$

avec  $C_{n-1}$  la restriction de  $C$  à ses  $n-1$  premières colonnes,  $A_{n-1}$  la restriction de  $A$  à ses  $n-1$  premières colonnes et  $a^n$  la  $n^{\text{ième}}$  colonne de  $A$ .

Ainsi, si on construit l'ensemble des solutions efficaces pour tous les sous problèmes en ajoutant à chaque fois une dimension, il est possible de générer toutes les solution efficaces, et par conséquent la solution la plus satisfaisante. Comme ce nombre de ces solutions est potentiellement très grand, la méthode proposée par Villarreal et Karwan, intègre une étape d'interaction avec le décideur. Cette étape a pour objectif de réduire à chaque étape le nombre des solutions à générer en éliminant les sous-politiques que le décideur juge insatisfaisantes. L'ensemble des solutions, pas à pas ainsi réduit, contient forcément la solution la plus satisfaisante. En d'autres termes, la méthode proposée par les deux auteurs consiste à identifier progressivement les sous-politiques  $x^i$  qui sont susceptibles de former les  $i$  premières composantes du vecteur solution  $x$ .

L'algorithme se déroule en trois étapes ; une étape d'initialisation et une étape de construction de sous-politiques qui sera répétée  $n-2$  fois ( $n$  est la taille du vecteur solution) et une étape finale. Lors de l'étape d'initialisation, on construit l'ensemble des sous-politiques qui contient toutes les valeurs que  $x_1$  peut prendre sans violer les contraintes  $A_1 x_1 \leq b$  ( $A_1$  correspond à la matrice composée de la première colonne de  $A$ ). Cet ensemble de sous-politiques est présenté au décideur en même temps que la valeur de l'objectif multiple que chacune d'elles engendre. A partir de ces données, le décideur sélectionne les sous-politiques qui lui semblent les plus aptes à fournir une solution de compromis la meilleure. A l'issue de cette sélection, l'ensemble des sous-politiques composées des deux premières composantes du vecteur solution est élaboré. Cet ensemble regroupe tous les vecteurs  $(x_1, x_2)^T$  tels que  $x_1$  est une sous-politique sélectionnée à l'étape précédente,  $A_2 (x_1, x_2)^T \leq b$  ( $A_2$  correspond à la matrice composée des deux premières colonnes de  $A$ ). L'ensemble des sous-politiques ainsi construites sont présentées au décideur avec la valeur de l'objectif multiple associée à chacune d'elles. Le décideur sélectionne celles qu'il considère comme les meilleures. A partir de cet ensemble, on construit de la même façon l'ensemble des sous-politiques composées des trois premières composantes, le décideur choisit celles qu'il préfère, et on recommence jusqu'à obtenir l'ensemble des sous-politiques préférées de taille  $n-1$ . On applique alors l'étape finale. Il s'agit de compléter chaque sous-politique sélectionnée  $x' = (x_1, \dots, x_{n-1})^T$  avec la valeur de  $x_n$  qui soit telle que le vecteur

<sup>42</sup> L'exposant T à droite du vecteur signale que le vecteur est écrit sous sa forme transposée.

<sup>43</sup> Comme l'optimisation a un sens moins précis dans le cas d'un objectif multiple que dans celui d'objectif unique, on a utilisé dans le modèle la notation  $v\_ \max$  pour désigner qu'il s'agit de maximiser un vecteur.

<sup>44</sup> Cette solution de compromis est, de plus, efficace pour le problème restreint  $P^{n-1}$ .

$x = (x_1, \dots, x_{n-1}, x_n)^T$  soit une solution efficace au problème initial. L'ensemble des solutions efficaces ainsi calculées est présenté au décideur qui choisit alors la meilleure solution de compromis.

Les reproches qui sont généralement formulés à l'encontre de cette méthode sont liés:

- ✓ d'une part à la nature des renseignements demandés au décideur: il semble difficile pour le décideur d'indiquer au début du processus, lorsque les solutions partielles ne concernent que peu de variables, quelles sont les sous-politiques préférées [TEGHEM 1985] ;
- ✓ d'autre part, au volume de mémoire important nécessaire au stockage de l'ensemble des solutions partielles retenues ainsi qu'au calcul des solutions efficaces qu'elles vont générer [VILLARREAL 1981], [TEGHEM 1985].

### 5.2.2.2 La méthode de Vassilev et Narula

Vassilev et Narula, [VASSILEV 1993] et [NARULA 1994], utilisent dans leur méthode des directions de référence pour trouver la meilleure solution entière de compromis. Trois étapes constituent l'algorithme de résolution. Lors de l'étape d'initialisation, une solution entière efficace au programme d'optimisation multi-objectif entière est calculée. Si cette solution satisfait le décideur, le processus s'arrête. Si ce n'est pas le cas, une étape de dialogue est amorcée durant laquelle le décideur doit fournir ses niveaux d'aspiration sous la forme d'un point de référence. Une étape de calcul est effectuée et une nouvelle solution entière efficace est proposée au décideur ; elle est la solution la plus proche de celle à laquelle le décideur avait aspiré. Cette nouvelle solution est présentée au décideur. Si elle le satisfait, le processus s'arrête, si non, une nouvelle étape de dialogue commence, [VASSILEV 1993] et [NARULA 1994].

Cette méthode a l'avantage de minimiser le nombre de solutions entières à calculer ; une seule solution est calculée par itération. De plus, le volume d'informations demandées au décideur à chaque itération est faible ; uniquement un point de référence. Même s'il semble raisonnable de supposer que le décideur est capable, en début de procédure, de fixer ses niveaux d'aspiration, cette tâche peut s'avérer de plus en plus difficile à chaque itération. Cette difficulté peut être d'autant plus grande que le décideur n'a aucun repère sur la variation possible des scores des objectifs.

Pour accélérer encore la méthode, les deux auteurs proposent de fournir au décideur une première solution réelle, et de calculer la solution entière efficace la plus proche seulement si le décideur l'estime nécessaire. Cette proposition est cependant peu adaptée à la résolution de programmes contenant des variables en 0-1.

### 5.2.2.3 La méthode de Marcotte et Soland

L'algorithme développé par Marcotte et Soland [MARCOTTE 1986] permet d'effectuer une recherche heuristique sur l'ensemble des solutions entières efficaces à l'aide d'une adaptation au problème d'optimisation multi-objectif de la technique de Branch & Bound<sup>45</sup>. A chaque itération, une borne supérieure aux scores pouvant être atteints par les objectifs - sur le programme ou sur une restriction du programme considéré - est fournie au décideur ainsi qu'une solution entière efficace. Si la solution satisfait le décideur, alors le processus s'arrête. Si non, une étape de dialogue commence. Le décideur indique alors quels changements dans la direction de la recherche il souhaite effectuer. Ces changements correspondent à la définition d'un sous-ensemble de solutions à explorer. Une solution entière efficace, qui reflète les choix du décideur, ainsi que des indications sur les valeurs maximales que peuvent prendre les objectifs dans le paradigme défini par ces choix sont calculées. Si la solution calculée convient au décideur, alors le processus s'arrête, si non, une nouvelle étape de dialogue est amorcée.

---

<sup>45</sup> Pour une présentation générale de cette technique voir la partie suivante.

Cette méthode prévoit le calcul de  $p+1$  solutions entières efficaces par itération ( $p$  étant le nombre d'objectifs à considérer). Ce nombre peut paraître grand (notamment si  $p \geq 4$ ), mais l'information ainsi fournie au décideur lui permet d'être plus précis dans ses choix. Sa grande flexibilité permet au décideur de naviguer comme il le souhaite dans sa recherche de solution de compromis. Cette navigation est cependant structurée par la technique de Branch & Bound, contrairement à la méthode précédente.

### 5.3 La méthode développée dans le module de calcul

Le module de calcul utilise une méthode interactive d'optimisation multi-objectif élaborée à partir de celle proposée par Marcotte et Soland [MARCOTTE 1986]. L'algorithme sous-jacent à cette dernière applique le principe de Branch & Bound pour explorer l'ensemble des solutions efficaces d'un programme mathématique multi-objectif. Cette méthode permet d'explorer l'ensemble des solutions potentielles, en commençant par celles qui semblent les meilleures pour le décideur.

Plusieurs raisons ont motivé notre choix. La première réside dans le faible nombre des objectifs que nous avons identifiés (Minimiser le coût, maximiser la sécurité et maximiser l'accessibilité). La deuxième tient à la faiblesse des hypothèses émises sur la structure de préférence du décideur ; ces hypothèses se résument à l'existence d'une solution préférée qui soit une solution Pareto optimale ou efficace. La troisième raison est liée au fait que le décideur dirige réellement l'exploration de l'ensemble des solutions. Il indique ses priorités dans l'exploration et peut les modifier en cours de processus. De plus, il peut arrêter le processus de recherche à tout moment, c'est à dire quand la solution proposée lui semble être la meilleure ; cette solution est toujours efficace. La quatrième raison est sa simplicité de mise en œuvre ; cet algorithme peut être aisément programmé.

La présentation de la méthode programmée dans le système est précédée de la description du principe du Branch & Bound et de l'algorithme développé par Marcotte et Soland. Lors de son implantation dans le système, nous l'avons adapté afin de rendre la construction de la solution plus rapide et d'ajouter de la flexibilité au modèle. Nous indiquons donc à la suite de la présentation de l'algorithme les modifications que nous avons effectuées. Enfin, en guise de conclusion, l'algorithme programmé dans le module de calcul est décrit.

#### 5.3.1 Le principe du Branch & Bound

Le Branch & Bound (Evaluation-Spécification) est une technique de résolution connue et particulièrement adaptée à la résolution de problèmes en nombres entiers ou mixtes. Ce n'est pas nécessairement la plus efficace mais elle offre cependant un schéma algorithmique qui garantit qu'une solution optimale peut être éventuellement trouvée. L'idée fondatrice de cette technique est d'énumérer les solutions entières réalisables, dans le but d'identifier la solution optimale. L'utilisation de la procédure d'énumération est cependant structurée de sorte à restreindre le plus possible l'ensemble des solutions réalisables à énumérer. La stratégie élaborée pour atteindre cet objectif peut se résumer par "diviser pour résoudre".

Le processus mis en œuvre pour structurer la procédure d'énumération s'effectue selon deux règles: la règle de séparation (Branch) et la règle d'évaluation (Bound). Afin de décrire ce processus, nous nous plaçons dans le cadre de l'optimisation entière et nous supposons devoir maximiser une ou plusieurs quantités. Pour des raisons de simplicité de langage, nous désignons par objectif cette ou ces quantités à maximiser, même si l'optimisation d'une ou plusieurs quantités ne relèvent pas du même paradigme. Après une étape d'initialisation des paramètres, le processus de cet algorithme s'organise autour de trois étapes.

##### Etape 1:

La règle de séparation est appliquée pour décomposer l'ensemble de toutes les solutions réalisables en plusieurs sous-ensembles. Cette décomposition s'effectue après avoir sélectionné une solution réalisable dans l'ensemble original.

Si l'étape précédente est l'étape d'initialisation, alors la valeur de l'objectif en cette solution devient la valeur courante de l'objectif. Si non, si la valeur courante en cette solution est "supérieure" à la valeur courante de l'objectif, alors elle devient la nouvelle valeur courante de l'objectif.

### **Etape 2:**

La règle d'évaluation est employée. Cette règle fonctionne en deux temps. Dans un premier temps, une borne supérieure à la valeur maximale que prend l'objectif est calculée pour chaque sous-ensemble généré lors de la première étape. Ces sous-ensembles assortis de leur borne calculée précédemment sont ajoutés à l'ensemble noté  $P$ . Cet ensemble  $P$  contient les sous-ensembles générés depuis le début de la recherche de la solution.

Dans un second temps, les sous-ensembles de  $P$  dont la borne supérieure est "inférieure" à la meilleure solution calculée jusqu'à présent (ou valeur courante) sont écartés.

### **Etape 3:**

Si l'ensemble des sous-ensembles non écartés est vide, alors le processus s'arrête<sup>46</sup>.

Si non, une phase de sélection commence. Elle consiste à choisir l'élément de l'ensemble des éléments non écartés dont la borne supérieure est la meilleure. On retourne, après, à l'étape 1.

La qualité du processus est mesurée au nombre de solutions énumérées. Ce nombre est dépendant des choix effectués concernant l'évaluation des bornes supérieures, ainsi que de ceux relatifs à la construction des sous-ensembles dans l'étape 1. Il est dépendant enfin du choix du sous-ensemble dans la troisième étape.

De nombreux ouvrages traitent de cette technique de façon plus précise, par exemple [SAKAROVITCH 1984], [HILLIER 1972] et [THIENEL 1995].

## **5.3.2 L'algorithme de Marcotte et Soland**

Pour résoudre le programme mathématique associé à l'action de planification sanitaire, nous avons adopté un algorithme interactif d'optimisation multicritère qui utilise une technique de Branch & Bound (Séparation-Evaluation). La résolution se fait donc par une énumération de toutes les solutions efficaces dans le but d'identifier une solution de compromis satisfaisante pour le planificateur. La procédure d'énumération est structurée de sorte à restreindre le plus possible l'ensemble des solutions à énumérer. Cet algorithme constitue la pierre angulaire du module de calcul.

Nous définissons tout d'abord quelques concepts importants de l'analyse multicritère utiles à sa compréhension et mettons en place les notations. Puis nous décrivons l'algorithme dont nous illustrons le fonctionnement sur un exemple simple.

### **5.3.2.1 Notations et définitions**

La compréhension de l'algorithme de Marcotte et Soland est conditionnée par la connaissance de quelques concepts de base de l'analyse multicritère qui sont les concepts d'alternative et d'idéal. Dans les paragraphes qui suivent, leur définition est rappelée et les notations utilisées sont mises en place.

- $X$  est l'ensemble des alternatives ou solutions réalisables au problème étudié. Cet ensemble est défini de manière implicite, c'est à dire par un ensemble de contraintes. On rappelle que dans le cas qui nous intéresse les alternatives sont des vecteurs d'entiers.

---

<sup>46</sup> Le processus s'arrête bien lorsqu'une solution optimale est trouvée. En effet, lorsqu'une solution réalisable, atteint, sur l'objectif, un score plus important que toutes les bornes supérieures associées à chacun des sous problèmes non encore traités, il est impossible de trouver un sous-ensemble qui contienne une solution meilleure.

- $f = (f_1, \dots, f_p)$  est le vecteur objectif. Chacune de ses composantes est une fonction définie sur l'ensemble des alternatives, et prend ses valeurs dans  $\mathfrak{R}$ . Pour améliorer la lisibilité de ce qui suit, nous supposons, sans perte de généralité, que  $\forall i \in \{1, \dots, p\}$ ,  $f_i$  est une fonction objectif à maximiser.
- $Eff(X)$  est l'ensemble des solutions efficaces de  $X$ .
- $\beta$  est l'idéal associé à  $X$ . L'idéal est un vecteur. Sa  $i^{\text{ième}}$  composante correspond à la valeur optimale du  $i^{\text{ième}}$  objectif pour le problème considéré. De manière plus formelle, et en utilisant les notations définies ci-dessus, l'idéal s'écrit:

$$\beta = (\beta_1, \dots, \beta_p) \text{ avec, pour } i=1..p, \beta_i = \max(f_i(x)) \text{ avec } x \in X.$$

Généralement, parce que les objectifs sont contradictoires, l'idéal ne correspond pas à une solution réalisable.

### 5.3.2.2 L'algorithme

L'utilisation de la technique du Branch & Bound dans un algorithme traitant de problème d'optimisation multi-objectif nécessite la définition du calcul de la borne supérieure et des règles de comparaison. Si le choix de l'idéal comme borne supérieure est relativement naturel et rassemble un consensus assez large [KIZILTAN 1983], [TEGHEM 1986]; ce vecteur est composé des valeurs maximales que peuvent prendre les différents objectifs sur l'ensemble des solutions réalisables, il n'en est pas de même pour la définition de règles de comparaison entre vecteurs. En effet, en l'absence de relations naturelles d'ordre total dans tout espace de dimension supérieure à un, une définition incontestable d'une telle relation est difficile à établir, et donc l'automatisation de la comparaison entre la solution courante et la nouvelle solution calculée (étape 1 du Branch & Bound) et de la sélection du meilleur sous-problème (étape 3 du Branch & Bound) ne peut pas être effectuée. La solution proposée par Marcotte et Soland consiste à utiliser le libre arbitre du décideur pour lever cette difficulté de choix, en lui fournissant toute l'information utile susceptible de l'aider dans l'élaboration de son jugement.

L'algorithme se déroule comme le processus de Branch & Bound. Après une étape d'initialisation des paramètres, qui correspond au calcul de l'idéal du problème et à l'initialisation de la solution courante et de l'ensemble des programmes à résoudre, le processus de résolution s'organise autour de trois étapes; les deux premières sont automatisées, la troisième correspond à une étape d'interaction.

Dans une première étape, dite de séparation, on calcule une solution efficace au programme à l'étude. Ce calcul s'effectue en utilisant le théorème de Soland. On décompose ensuite le programme en  $p$  sous-programmes,  $p$  étant la taille du vecteur objectif. Chacun de ces sous-programmes correspond au programme à l'étude auquel on a rajouté une contrainte sur la valeur d'une composante du vecteur objectif. Ainsi, le sous-programme ( $P_j$ ) aura pour contrainte supplémentaire de fournir des solutions efficaces pour lesquelles la valeur de la  $i^{\text{ième}}$  composante du vecteur objectif est meilleure que celle obtenue à partir de la solution efficace calculée précédemment. L'ensemble des solutions efficaces des sous-programmes obtenus par l'opération de séparation constitue une partition de l'ensemble des solutions efficaces du programme décomposé, auquel on retire la solution efficace calculée au début de l'étape.

Dans une deuxième étape, étape d'évaluation, les sous-programmes générés dans la première étape et dont l'ensemble de solutions est vide sont éliminés. Ensuite, pour tous les autres sous-programmes, on calcule l'idéal. Cet idéal peut être vu comme une borne supérieure. En effet, chacune des  $p$  composantes de ce vecteur correspond à la valeur la plus grande que peut prendre la fonction associée à ces composantes sur le sous-programme. Les sous-programmes non-éliminés sont inclus dans l'ensemble des sous-programmes à résoudre.

La troisième étape est celle de la sélection. En l'absence de relation d'ordre naturel sur les espaces à plus d'une dimension, toutes les opérations de comparaison et de classement vont être réalisées par l'utilisateur. Si la solution efficace calculée dans la première étape lui semble plus satisfaisante que la

solution courante, alors elle devient la nouvelle solution courante. Ensuite, si il lui semble que cette solution courante doit être améliorée, il choisit parmi l'ensemble des sous-programmes contenus dans l'ensemble des sous-programmes à résoudre celui qui lui semble pouvoir générer une solution plus satisfaisante que cette dernière.

Ce sous-programme sera à son tour décomposé en sous-programmes, qui seront évalués, ... . Ces opérations sont reconduites jusqu'à ce que la solution courante satisfasse entièrement l'utilisateur, ou que toutes les solutions efficaces aient été énumérées.

De manière plus formelle, l'algorithme se décrit comme suit:

### L'étape d'initialisation :

On initialise la solution courante  $Sc$  à  $-\infty$ , le vecteur idéal  $\beta$  à  $(+\infty, +\infty, \dots, +\infty)$ , et le vecteur  $b$  à  $(-\infty, -\infty, \dots, -\infty)$ ;  $b$  est le paramètre utilisé dans le théorème de Soland.  $X$  est l'ensemble des solutions réalisables. Et on note  $P$  l'ensemble des sous-ensembles sélectionnés; on initialise  $P$  à  $\{X \cap \{x \in X | f(x) \geq b\}\}$ . Enfin, on applique l'étape d'évaluation et l'étape de sélection à l'ensemble des solutions réalisables  $\{X \cap \{x \in X | f(x) \geq b\}\}$  puis on vérifie les conditions d'arrêt à l'issue de ces deux étapes. A l'issue de cette étape, on pose  $j = 1$ .

#### L'étape de séparation :

On choisit dans  $P$  l'élément dont l'idéal est le meilleur. On note cet élément  $Y_j$ .  $b_j$  et  $\beta_j$  sont le vecteur "de bornage" et l'idéal qui sont associés à cet élément. A la suite de cette sélection, on identifie un point  $y_j$  appartenant à  $Eff(Y_j)$ . Cette identification s'effectue en utilisant le théorème de Soland. On construit la fonction objectif du théorème de Soland en sommant les objectifs du problème multi-objectif. Chacun d'eux est pondéré avec un poids strictement positif. On construit enfin l'ensemble  $I$  des indices tel que  $I = \{k=1..p | \beta_{jk} - y_{jk} \geq 1\}$ <sup>47</sup>. Pour chaque  $k \in I$ , on définit un nouveau sous-ensemble  $\{X \cap \{x \in X | f(x) \geq b_j^k\}\}$ ;  $b_j^k = (b_{j1}^k, \dots, b_{jp}^k)$  est défini par  $b_{jk}^k = y_{jk}$  et  $b_{ji}^k = b_{ji}$  pour  $i \neq k$ .

#### L'étape d'évaluation:

On calcule pour chaque nouveau sous-ensemble  $\{X \cap \{x \in X | f(x) \geq b_j^k\}\}$  son idéal.

### L'étape de sélection:

L'utilisateur indique si  $Sc = -\infty$  ou  $Sc$  est "moins bonne" que  $y_j$ . Si c'est le cas, alors on remplace la valeur de  $Sc$  par celle de  $y_j$ . On inclut, ensuite, dans  $P$  tous les nouveaux sous-ensembles puis on applique à tous les éléments de  $P$  les deux tests suivants. Le test 2 est effectué par le planificateur

**test 1-** Le sous-ensemble n'a pas de solution réalisable;

**test 2-** Son idéal est "moins bon" que la solution courante  $Sc$ ;

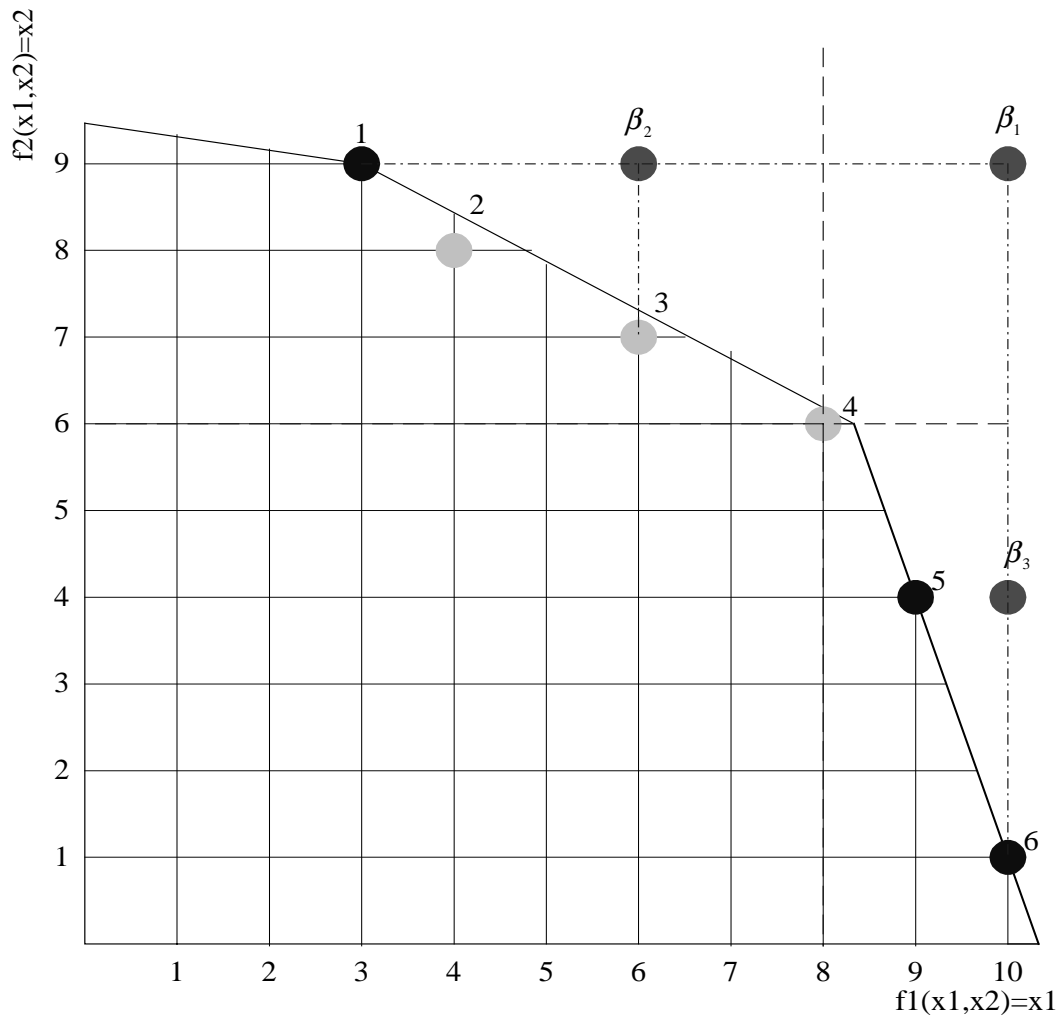
#### La règle d'arrêt

On arrête lorsque l'ensemble  $P$  est vide. La solution courante est la plus satisfaisante. Si non, on retourne à l'étape de séparation.

<sup>47</sup>  $I$  est l'ensemble des indices des fonctions contenues dans le vecteur objectif dont les valeurs peuvent être améliorées, c'est à dire dont la valeur atteinte par la solution efficace est inférieure de plus d'une unité à celle atteinte dans l'idéal.

### 5.3.2.2.1 Un exemple illustratif à deux dimensions

On considère le programme linéaire à solution entière défini par le polyèdre de la Figure 18 ; l'objectif est de maximiser simultanément  $x_1$  et  $x_2$ . Le nombre des solutions réalisables correspond aux 86 points caractérisés par des coordonnées entières. L'ensemble des solutions efficaces du programme sont numérotées de 1 à 6.



**Figure 18: Exemple de l'application de l'algorithme**

L'idéal du programme initial, noté  $\beta_1$  sur la Figure 18, a pour coordonnées (10, 9). Sous l'hypothèse de poids identiques pour chaque objectif, et le choix de la somme pondérée des composantes du vecteur objectif comme fonction d'agrégation, le point efficace identifié est le point numéro 4 de coordonnées (8, 6). En effet, c'est en ce point que la quantité  $x_1 + x_2$  est la plus grande. Les sous-programmes alors générés sont au nombre de deux.

Le premier sous-programme,  $Q_1$ , est défini par les 16 points contenus dans l'intersection du polyèdre et du demi-plan  $x_2 > 6$ . Il contient les points efficaces numérotés 1, 2 et 3. L'idéal associé à ce sous-programme est noté  $\beta_2$  sur la figure, et a pour valeur (6, 9)

Le second sous-programme,  $Q_2$ , correspond aux 7 points contenus dans l'intersection du polyèdre et du demi-plan  $x_1 > 8$ . Les points efficaces sont les points numéro 5 et 6. L'idéal qui lui est associé est noté  $\beta_3$  sur la figure. La valeur de  $\beta_3$  est (10, 4).

Si le point 4 ne satisfait pas l'utilisateur, Il choisit dans  $P = \{Q_1, Q_2\}$  l'un des deux sous-programmes. Selon qu'il considère  $\beta_2$  ou  $\beta_3$  préférable, la recherche de la solution continue en appliquant la méthode à  $Q_1$  ou  $Q_2$ .

### 5.3.3 Adaptations apportées à l'algorithme

La description de l'algorithme que nous avons choisi de programmer dans le système nécessite d'être précisée en ce qui concerne le choix de la pondération des objectifs lors de l'agrégation des objectifs, manipulation qui permet la transformation du programme multi-objectif en un programme mono-objectif. Cette transformation est en effet nécessaire au calcul d'une solution efficace au programme multi-objectif. A la suite de la présentation de nos choix en matière de pondération, nous indiquons comment nous avons élargi les possibilités d'intervention de l'utilisateur lors de la phase d'évaluation. Cet élargissement des possibilités d'intervention est nécessaire ; en effet, il permet de mieux prendre en compte le fait que le modèle programmé est incomplet et que l'affinement de ce modèle ne passe que par l'apport d'informations supplémentaires fournies par le planificateur ; ces informations supplémentaires correspondent à la matérialisation de son intuition.

#### 5.3.3.1 L'agrégation des objectifs

Le choix du mode d'agrégation des objectifs est toujours délicat en optimisation multi-objectif ; il n'existe pas de règles générales [VINCKE 1989]. En l'absence de règles générales, et pour éviter de prendre une décision arbitraire concernant la pondération des objectifs, Marcotte et Soland [MARCOTTE 1986] préconisent de laisser au planificateur le soin de désigner l'importance de chaque objectif sous la forme d'un poids. Cette désignation s'effectue lors de chaque étape d'évaluation. Cette proposition est cependant discutable. En effet, ces poids correspondent à des taux de substitution et il est largement reconnu que les décideurs ne les spécifient pas facilement [VINCKE 1989]. C'est pour cette raison, ainsi que pour éviter d'alourdir le nombre d'informations demandées au planificateur au cours de la phase d'évaluation, que nous avons choisi de ne pas impliquer le planificateur dans la détermination du vecteur de pondération.

Dans le module de calcul, le poids associé à chaque objectif est estimé automatiquement. Cette estimation s'effectue à l'aide d'une fonction. La fonction utilisée adjoint à chaque objectif un poids d'autant plus important que la moyenne des scores obtenus sur cet objectif lors du calcul de l'idéal est loin du score idéal.

Plus précisément, si on note  $x^i$  la solution efficace telle que  $f_i(x^i) = \beta_i$ , alors la fonction  $W$  qui calcule le poids de chaque objectif est définie de la façon suivante:

$$W(x^1, x^2, \dots, x^p) = (w_1, w_2, \dots, w_p),$$

avec,  $\forall k \in \{1, \dots, p\}$ ,

$$w_k = \begin{cases} (\sum_{j=1}^p f_k(x^j) - \beta_k) / p, & \text{si cette quantité est supérieure à } \delta_k, \\ \varepsilon, & \text{sinon} \end{cases}$$

$\varepsilon$  est une constante arbitrairement petite, et  $\delta_k$  un seuil fixé par le programmeur ; nous avons choisi de lui donner la valeur<sup>48</sup> 1.

Le choix d'une procédure de calcul pour pondérer les objectifs favorise forcément une forme de solution efficace. Notre choix semble induire le calcul d'une solution moyenne, c'est à dire pas trop

<sup>48</sup> Une valeur égale à 1 pour  $\delta_k$  se justifie par le fait que nous travaillons en valeur entière.



déséquilibrée par rapport aux scores sur les différents objectifs. Favoriser les solutions moyennes semble être approprié dans le cas de la planification sanitaire.

### 5.3.3.2 Interactivité accrue de la méthode

Au niveau de chaque sélection, l'utilisateur choisit non seulement le sous-programme à résoudre, mais il peut agir sur la structure de la solution en fournissant au système une définition partielle de la solution qui lui semble devoir être une bonne solution de compromis. Cette définition partielle de la solution correspond, au niveau du programme, à un ensemble de contraintes supplémentaires. Ces contraintes formalisent l'inclusion ou l'exclusion de sites dans la solution, et pour chaque service, l'encadrement de la valeur du budget et la définition de valeur de capacité minimale et /ou maximale différentes de celles imposées par les normes de sécurité. Ces contraintes supplémentaires peuvent aussi traduire les affectations de patients à un service qui sont possibles et/ou impossibles selon l'origine géographique de ces patients. Le système de résolution complète alors la solution proposée ou vérifie sa faisabilité.

Cette possibilité de modification accordée à l'utilisateur illustre la volonté d'inclure l'expérience et l'intuition de l'utilisateur dans la recherche d'une solution. De plus, cette démarche permet la prise en compte d'événements extérieurs qui ne peuvent être modélisés ou prévus par le modélisateur, et qui influent fortement sur la construction du plan (création d'une nouvelle route, fermeture d'une caserne, ...).

### 5.3.4 L'algorithme implanté

L'algorithme que nous avons programmé dans le module de résolution de HERO pour assister le décideur dans sa recherche empirique de la solution de compromis la meilleure est interactif et utilise pour cela une adaptation de la technique de Branch & Bound. Il autorise l'utilisateur à intervenir à la fois localement sur les propriétés des variables associées et aussi à diriger la recherche de la solution en formalisant ses exigences au niveau des minima que la solution doit réaliser sur les objectifs. L'organigramme présenté en Figure 19 montre le déroulement de la recherche de la solution telle qu'elle est organisée dans l'algorithme.

Après la paramétrisation et l'initialisation du modèle général intégré au module de résolution, le décideur peut préciser les propriétés d'un certain nombre de variables. A la suite de ces précisions, qui constituent un enrichissement du modèle général afin de le rendre plus proche de la réalité perçue par le décideur, une solution efficace entière est calculée et est présentée au décideur avec des informations. Ces informations concernent la valeur du vecteur objectif en ce point et la valeur de l'idéal dans le problème défini par le modèle enrichi. Si cette solution satisfait le décideur, alors la recherche s'arrête. Si ce n'est pas le cas, le décideur peut choisir de modifier le scénario ; dans ce cas, une étape de séparation est réalisée par le système. Cette opération permet le découpage de l'ensemble des solutions efficaces en sous-ensembles qui en forment une partition. Ces sous-ensembles rejoignent l'ensemble des sous-ensembles non encore explorés. Le décideur choisit, dans cet ensemble, le sous-ensemble à partir de la valeur minimale et de l'idéal que prend le vecteur objectif sur ce sous-ensemble de solutions.

Suite à ce choix, il peut modifier les propriétés des variables du modèle. Une nouvelle solution efficace est proposée au décideur. Si la modification du scénario ne semble pas pouvoir aboutir une amélioration suffisante de la solution de compromis, le décideur peut choisir de redéfinir totalement le modèle et donc d'effectuer une nouvelle paramétrisation. Il faut cependant noter que la possibilité pour le décideur de modifier les propriétés afin d'intégrer dans le modèle ses intuitions, ne permet pas d'assurer que la solution de compromis proposée à chaque étape soit une solution efficace du problème initial à cause de l'aspect dynamique de modélisation que permet le système d'aide à la décision HERO.

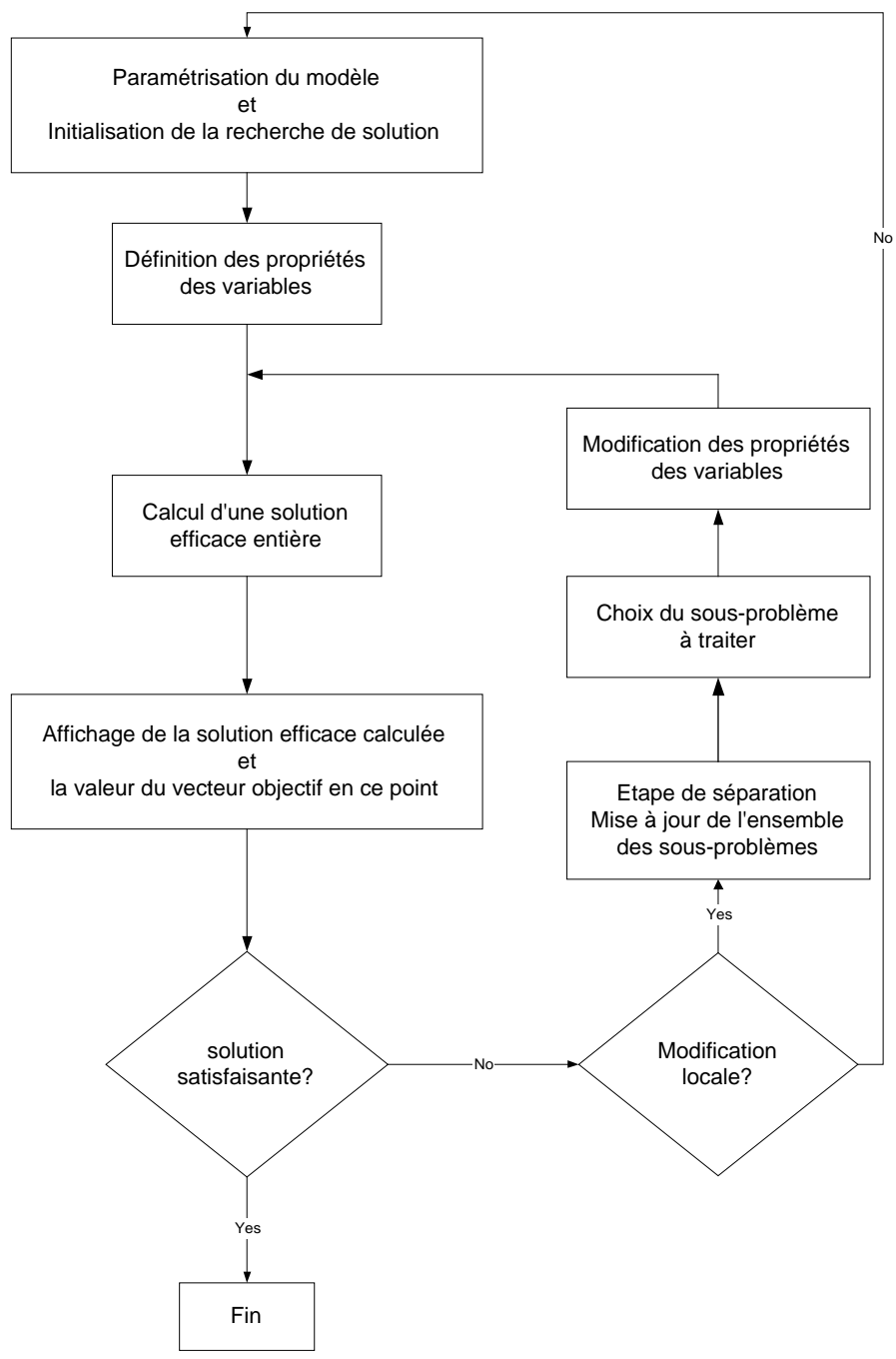


Figure 19: Algorithme détaillé de recherche de solution

## 5.4 Choix technologiques

Lors de la programmation du module de calcul des choix technologiques ont dû être effectués. Il s'agit de la représentation des composantes du problème et du langage de programmation. Nous avons choisi d'adopter une approche objet et d'utiliser un langage de programmation par contraintes à support logique pour programmer le modèle et l'algorithme interactif d'optimisation entière multi-objectif. Ces choix ont été dictés par une recherche de flexibilité pour le système, ainsi que par un confort de programmation qui permet une mise à jour facile des "upgrades" de HERO.

### 5.4.1 Approche objet

L'approche objet est née de la volonté de rendre les programmes plus fiables, plus souples et plus évolutifs, afin d'augmenter leur qualité [SCHOLL 1995]. Cette amélioration de la qualité des programmes provient de la réduction de la distorsion entre le problème et la solution, réduction obtenue par l'emploi de représentations proches des représentations naturelles utilisées par l'utilisateur dans sa pratique. Ces représentations correspondent à des entités stables, douées d'autonomie et qui se manifestent par des informations accessibles et des comportements, soit des objets [SCHOLL 1995]. Le premier paragraphe précise les concepts développés dans l'approche objet.

La nécessité d'avoir un outil flexible par rapport à l'ajout et le retrait d'établissements sanitaires ainsi que par rapport à l'évolution des protocoles de prises en charge explique notre choix de l'utilisation d'une approche objet. Le deuxième paragraphe expose l'application de cette approche au problème de la planification sanitaire.

#### 5.4.1.1 Les concepts développés dans l'approche objet

L'approche objet se caractérise par une fusion des données et de leurs traitements. Ces informations sont regroupées en une notion qui est celle de classe d'objets. La classe d'objets est une représentation générale, un modèle, qui définit une famille d'objets ; les objets appartenant à une même famille ont des propriétés analogues. La classe d'objets décrit ces propriétés en terme de propriétés informatives (ou attributs) et propriétés actives (ou méthodes). Le premier type de propriétés fournit des renseignements sur l'objet qui ne le modifie pas. Par exemple, dans la classe "établissement sanitaire", l'indication concernant le nombre de lits dans chacune des spécialités (obstétrique, chirurgie, médecine ou psychiatrie), le nombre de caissons hyperbare installés, les activités de soins autorisés (réanimation, chirurgie cardiaque, ...), ou encore le nombre de patients traité dans chaque spécialité sont des attributs. Le deuxième type de propriétés déclenche des traitements à l'intérieur de l'objet et décrit son comportement. Ces propriétés provoquent soit la modification de l'objet, c'est à dire de son contenu ou de son état, ou doit la satisfaction d'un service émanant d'un autre objet. Par exemple, pour la classe "établissement sanitaire", il existe une méthode fermer-une-spécialité qui prend pour paramètre une spécialité, le nombre de patients traités dans cette spécialité et un coefficient. Elle change la valeur associée à la spécialité quand le nombre de patients traité est trop faible ou que le coefficient l'impose. La valeur associée à la spécialité est alors "absent". L'élaboration des classes s'effectue lors d'un travail d'abstraction sur les objets réels ; elles doivent fournir une représentation qui permettent la création d'objets qui soient les plus proches possibles des entités réelles qu'on souhaite étudier, ou du moins de la partie concernée par le problème. Tous les objets sont créés à partir de ces classes par une instanciation.

La programmation objet ne se cantonne cependant pas à la définition de classes. Elle prévoit une hiérarchisation de ces classes suivant le critère de spécialisation. Par exemple, les classes "Centre Hospitalier Universitaire" et "Maison de Convalescence", sont des spécialisations de la classe "établissement sanitaire". Inversement, on parle de généralisation lorsque la hiérarchie est parcourue dans le sens inverse. Dans les classes qui sont des spécialisations d'autres classes, seules les propriétés supplémentaires ou celles qui sont redéfinies par rapport au(x) supérieur(s) hiérarchique(s) sont consignées. Les autres propriétés sont accessibles par un processus d'héritage.

La dynamisation de l'ensemble formé par les objets ou les agrégats d'objets<sup>49</sup> s'effectue par l'intermédiaire de fonctions qui décrivent leurs relations.<sup>50</sup>

---

<sup>49</sup> Une entreprise est un agrégat d'objets; elle est définie par un ensemble d'employés, de bâtiments, de machines, de ressources et de produits par exemple.

<sup>50</sup> Il existe de nombreux ouvrages traitant de l'approche orientée objet, parmi lesquels [DESFRAY 1996] et [SCHOLL 1995].

### 5.4.1.2 Application au problème de la planification sanitaire

"Les objets pertinents pour le système sont ceux que l'utilisateur identifie naturellement" (Vauquier D. in [SCHOLL 1995]). Dans le cadre de la gestion des ressources prévue par la planification sanitaire, deux types d'acteurs sont aisément identifiables: les établissements sanitaires offreurs de prestations sanitaires, et les populations génératrices de demande de soins. Chacune de ces classes d'objets est décrite par un ensemble d'attributs et de méthodes. On distingue deux types d'attributs, les variables et les constantes ; cette distinction s'effectue selon les autorisations d'accès pour le système de calcul qui leur sont associées, lecture et écriture ou lecture seule.

Dans le modèle objet utilisé par le modèle de calcul, la classe "établissement sanitaire" est décrite par les variables de décision comme l'existence de l'activité, le volume de chaque ressource allouée dans le plan et une capacité de traitement définie en terme de nombre de prises en charge possibles, et par des constantes. Ces constantes correspondent à :

- ✓ un ensemble de données qui caractérisent l'activité de l'établissement sanitaire pour la pathologie étudiée, comme le nombre de lits réservés au traitement de la pathologie, le nombre et le type des équipements possédés, le nombre de personnels et les coûts relatifs à la "production de ces soins" ; ces données ne sont disponibles qu'en lecture ;
- ✓ les données qui définissent l'ensemble de variation pour la valeur de chaque variable de décision ; ces attributs ont un accès utilisateur en lecture et en écriture.

Objet: Etablissement sanitaire	
Attributs :	- Localisation : (X,Y) - Existence de l'activité étudié - Volume la de ressource 1 possédé - Volume de la ressource 2 possédé - Coût moyen d'une prise en charge - Budget alloué ...
Méthodes :	- Ressources_si_activité - Activité_si_ressources - Ouverture_de_l'activité - Fermeture_de_l'activité - Calcul_du_budget ...

Figure 20: Exemple d'objet "Etablissement sanitaire"

Les méthodes qu'elle contient vérifient la cohérence entre les valeurs des différents attributs, et définissent les relations entre les attributs variables et les attributs constantes. Par exemple, le maintien de l'activité dans un établissement sanitaire est soumis à l'allocation d'un volume suffisant de ressources. Symétriquement, il est inutile d'allouer des ressources à un établissement sanitaire dont l'activité n'est pas maintenue. De plus, le budget alloué doit prendre en compte les différents coûts relatifs à l'activité dans l'établissement sanitaire, et la capacité d'accueil de chaque établissement sanitaire correspond au nombre de prises en charge pouvant être envisagées au vue des ressources qu'il possède.

La Figure 20 est un exemple général de la définition de la classe "établissement sanitaire" ; les attributs, et en particulier celle relative aux ressources, ainsi que le contenu des méthodes, varient selon les pathologies étudiées ; il est donc impossible d'être plus précis dans un cadre général.

Les attributs qui décrivent la classe "population" sont :

- ✓ sa capacité à générer de la demande en soins, cette capacité s'exprime en nombre de patients à prendre en charge ; cet attribut est une constante ;

- ✓ les différentes affectations prévues de ces patients aux établissements sanitaires ; ces attributs sont des variables.

Les méthodes associées à cette classe d'objets concernent les règles d'affectation des patients. Ces règles imposent une affectation de tous les patients prévus ; ces affectations doivent s'effectuer vers des établissements sanitaires qui ont une activité, et qui ne sont pas trop éloignés géographiquement par exemple.

La Figure 21 correspond à une illustration de ce que peut être la définition d'une classe "population".

Objet: Population	
Attributs :	- Localisation : (X,Y) - Volume des patients potentiels - Distance à chaque établissement potentiel ...
Méthodes :	- Condition_d'affectation ...

**Figure 21: Exemple d'objet "Population"**

## 5.4.2 Programmation par contraintes

La programmation par contraintes est une méthode de programmation développée dans la fin des années 80. Cette méthode est caractérisée par le fait que les objets qui sont manipulés sont des contraintes. La recherche en programmation par contraintes a donné naissance à plusieurs langages et bibliothèques fondés sur la gestion des contraintes (Charme, Ilog-solver, PrologIII, Chip) [FRON 1994].

Après avoir indiqué ce qu'est cette méthode de programmation, nous motivons notre choix d'utiliser le langage de programmation par contraintes Chip++.

### 5.4.2.1 Qu'est-ce que la programmation par contraintes?

La programmation par contraintes (PPC) est un outil informatique constitué d'un ensemble d'algorithmes de traitement de contraintes ; une contrainte correspond à une relation qui concerne une ou plusieurs variables. Elle hérite, historiquement, de plusieurs domaines, et en particulier de l'Intelligence Artificielle, et de la Recherche Opérationnelle. Cette double filiation permet aux outils de PPC d'allier des techniques de traitement de données symboliques à des techniques numériques, et ainsi d'intégrer dans la formulation de modèle des réalités complexes qui ne peuvent pas se réduire à des chiffres comme, par exemple, la composition d'un service, ou les relations fonctionnelles et hiérarchiques entre différents établissements ou services sanitaires.

Les applications industrielles de la PPC sont nombreuses. Elles s'inscrivent le plus souvent dans les problématiques de gestion du temps, de gestion et allocation de ressources, de planification et d'ordonnancement, d'optimisation ainsi que de simulation comportementale de système [FRON ??] [HEUS 1996].

Un programme écrit en utilisant un outil de PPC, contrairement aux programmes écrits dans des langages classique de type C et Pascal qui détaillent toutes les étapes à suivre pour construire une solution, décrit la solution recherchée à travers ses propriétés. Cette description s'effectue à l'aide de variables liées entre elles par des contraintes. Ces contraintes peuvent revêtir des formes aussi variées que linéaires, quadratiques, d'ensembles finis, de dépendances de variables, pour ne citer que les plus couramment utilisées. Le rôle du système de satisfaction de contraintes, formé par l'ensemble des

algorithmes de gestion de contraintes de l'outil, est alors de trouver la (ou les) solution(s) correspondante(s) à la description fournie par l'analyste. La recherche de la ou les solutions par le système de satisfaction de contraintes s'effectue de manière globale et asynchrone, par opposition à séquentielle.

#### **5.4.2.2 Chip++**

Le support de l'outil "programmation par contraintes" est variable. Nous avons choisi de travailler avec un langage qui est une extension de Prolog. La raison principale de ce choix réside dans le caractère récuratif de ce langage ainsi que dans le fait qu'il soit parfaitement approprié à la définition de parcours arborescents, comme celui prévu par l'algorithme que nous utilisons.

Chip (Constraint Handling In Prolog) est un langage de programmation logique avec contraintes conçu et développé à l'ECRC (*Electronic Commerce Resource Center*) à partir de 1985/86. Chip, outil développé au sein de l'entreprise Cosytec, est le premier langage qui marie la puissance de la programmation logique avec des techniques efficaces de manipulation de contraintes symboliques et numériques pour résoudre les problèmes de recherches sous contraintes [FRON 1994]. De plus, la coopération récente (1998) de Cosytec et de Dash Associates, permet de combiner la programmation par contraintes avec des outils d'optimisation entière performants.

## **6 CONCLUSION**

HERO est un système interactif d'aide à la planification qui allie un Système d'Information Géographique (SIG) et un outil de résolution. Son rôle est d'assister le planificateur dans la phase de diagnostic de la situation sanitaire comme dans la phase de conception de la solution. La visualisation de données statistiques concernant le secteur des soins hospitaliers (demande, offre, consommation) par l'intermédiaire d'un SIG participe à la simplification de la tâche de diagnostic du décideur. L'outil de résolution aide le planificateur dans sa recherche heuristique de solution.

Dans ce chapitre, une description du fonctionnement et des différentes composantes du système HERO a été effectué ; l'accent a été mis sur la composante de résolution. La description de cette dernière nous a amené à présenter quelques méthodes interactives d'optimisation entière multi-objective. L'algorithme programmé dans la composante de résolution définie dans HERO s'inspire de l'algorithme de Branch & Bound proposé par Marcotte et Soland [MARCOTTE 1986]. Nous l'avons adapté au traitement de la planification sanitaire en élargissant les zones d'intervention de l'utilisateur.

Dans le chapitre suivant, une application de ce système au problème du traitement de l'insuffisance rénale dans la région du Bas-Rhin est effectuée.

## **Chapitre 4**

*Illustration du fonctionnement de HERO sur un exemple de gestion d'appareils d'hémodialyse.*





## INTRODUCTION

L'insuffisance rénale chronique (IRC) est le résultat d'une dégradation progressive du fonctionnement des reins. Au stade évolué, c'est-à-dire quand les fonctions rénales ne sont plus assurées, les patients doivent, en attendant une greffe rénale, suivre un traitement qui pallie partiellement l'absence de fonctionnement des reins. La dialyse est ce traitement qui permet la survie, théoriquement illimitée, des individus dont les reins ont cessé de fonctionner. Son principe est simple: elle permet une épuration du sang des patients en autorisant des échanges entre ce sang et un liquide de dialyse, ceci au travers d'une membrane.

Une des applications les plus répandues de la technique de dialyse (environ 90% des insuffisants rénaux chroniques étaient ainsi traités en 1997, en France) consiste à utiliser un appareil qui fait office de "rein artificiel", machine à laquelle on branche le patient dont les reins sont déficients. L'épuration du sang s'effectue donc à l'extérieur de l'organisme, le sang purifié y est ensuite réintroduit par une voie intra-veineuse aménagée à cet effet. Ce traitement est l'hémodialyse, et nous restreignons notre étude à ce type de traitement. Malgré son fort taux d'application, comme tout autre procédé de dialyse<sup>51</sup>, elle ne pallie que partiellement fonctions rénales: seules les fonctions de filtrage des impuretés et d'élimination de l'excès d'eau sont réalisées. Pour que ce traitement puisse donner des résultats cliniques et biologiques satisfaisants, tout insuffisant rénal chronique traité ainsi doit subir trois séances d'épuration sanguine par semaine.

Le traitement par dialyse, est l'un des plus coûteux de tous les traitements médicaux actuellement existants; 25 000 patients étaient traités en France en 1997, et le coût de la dialyse dépassait en 1997 les 10 milliards de francs par an, prix du transport et des traitements complémentaires inclus [JUNGERS 1998]. Les coûts engendrés par l'hémodialyse correspondent à la part la plus importante de ces dépenses, à peu près 80%. L'augmentation régulière de l'incidence de l'IRC terminale en France, évaluée à environ 5% par an [LESUR 1997], souligne la nécessité de maîtriser cette masse financière. Jungers indique qu'une amélioration de la maîtrise des coûts pourra seulement être obtenue par une meilleure répartition des structures de traitements, une compression des coûts et le développement de la transplantation rénale [JUNGERS 1998].

Dans le développement qui suit, nous proposons une modélisation du traitement hors centre de l'hémodialyse dans le Bas-Rhin. Ce choix est motivé par le fait que l'Alsace est l'une des régions où la prévalence du traitement de l'insuffisance rénale chronique est parmi les plus élevées [LESUR 1997]. De plus l'ensemble des unités d'hémodialyse hors centre, sauf une située dans le Haut-Rhin, est gérée par une unique association, l'AURAL (Association pour l'Utilisation du Rein Artificiel en ALsace) qui nous a fourni des données spatiales sur l'origine géographique de ses patients. Du fait du monopole de l'AURAL dans le Bas-Rhin, nous avons restreint notre étude à ce seul département. Cette association prend en charge environ 40% des patients souffrant d'insuffisance rénale chronique terminale en Alsace, la moitié d'entre eux réside dans le Bas-Rhin (142 patients sur 272 enregistrés) [LESUR 1997].

Après la présentation des patients insuffisants rénaux chroniques du Bas-Rhin pris en charge par l'AURAL et son organisation, nous formalisons un problème d'allocation spatiale de ressources; cette formalisation est une interprétation libre de la gestion des postes d'hémodialyse dans ce département. Enfin, nous proposons une illustration du fonctionnement de HERO sur ces données.

## 1 L'HEMODIALYSE PERIODIQUE

Il existe deux modalités thérapeutiques pour dispenser l'hémodialyse; le choix de l'une ou de l'autre dépend de l'état général et cardio-vasculaire du patient. Si ce dernier est déficient, alors l'hémodialyse en centre est obligatoire. Elle se déroule à l'hôpital ou en clinique sous surveillance médicale continue au cours de la séance d'hémodialyse. Cette modalité peut aussi être utilisée temporairement en début

---

<sup>51</sup> Il existe en fait deux type de dialyse, l'hémodialyse et la dialyse péritonéale qui utilise la membrane naturelle qui enveloppe la cavité abdominale lors des échanges entre le liquide de dialyse et le sang. Le lecteur intéressé pourra consulter [JUNGERS 1998].

de traitement et chez les patients suivant normalement l'autre modalité de traitement, à l'occasion d'une complication intercurrente. L'alternative au traitement en centre est gérée par des associations, et s'adresse aux patients dont l'état de santé permet une certaine autonomie. Il s'agit de traitements se déroulant dans des unités de soins non médicalisées ou para-médicalisées, où les patients ont accès à des machines. Cette modalité de prise en charge favorise une plus grande liberté du patient car ce dernier a une plus grande latitude de choix horaire. De plus, il donne de meilleurs résultats en terme de longévité et qualité de vie tout en étant moins coûteux [JUNGERS 1998].

Trois types d'hémodialyse peuvent être proposés par ces associations: l'hémodialyse à domicile, l'auto-dialyse et l'auto-dialyse médicalisée.

L'hémodialyse à domicile, première alternative au traitement en centre, consiste à installer chez le patient une machine ; ce dernier prend alors en charge son traitement de façon autonome. Elle est actuellement de moins en moins utilisée par les patients, au profit de l'hémodialyse en appartement thérapeutique ou auto-dialyse ; la machine du patient est alors installée dans un local en dehors de son domicile. Plus récemment, pour faire face au vieillissement de la population des insuffisants rénaux chroniques tout en favorisant au minimum leur autonomie, l'auto-dialyse s'est médicalisée. Ce dernier type de soins est dispensé dans des unités paramédicales et est réservé aux insuffisants rénaux chroniques dont l'état général ne justifie pas une prise en charge en centre, mais dont l'autonomie est réduite. On observe cependant que près de 70% des hémodialyses se pratiquent en centre, contre 30% en hors centre, malgré un coût de séance 2 à même 4,5 fois plus élevé. Les unités d'auto-dialyse médicalisée ont été créées en partie pour décharger les centres des cas les moins lourds.

Dans un premier temps, nous précisons la technique d'hémodialyse, puis, dans un deuxième et troisième temps nous présentons l'auto-dialyse et l'auto-dialyse médicalisée.

## 1.1 La technique de l'hémodialyse

L'hémodialyse est une méthode discontinue dans le temps. Elle utilise une machine fonctionnant comme un rein externe. Le malade est branché à cette machine. Son sang passe alors par un circuit extra-corporel. Lors du parcours dans le circuit, le sang est mis en contact avec le liquide de dialyse à travers une membrane semi-perméable ou dialyseur. C'est lors de ce contact que les déchets contenus dans le sang et l'excès d'eau traversent la membrane et se retrouvent dans le liquide de dialyse pour être ensuite éliminés. Le sang épuré regagne alors l'organisme [JUNGERS 1988].

Pour des raisons physiologiques, seule une petite quantité de sang peut-être épurée à la fois, il est nécessaire de faire circuler le sang plusieurs fois dans l'appareil avant qu'il ne soit totalement purifié. Ce qui explique que chaque séance d'hémodialyse dure entre quatre heures et quatre heures et demi. Avant et après chaque séance un certain nombre d'opérations doivent être réalisées. L'appareil de dialyse doit être préparé avant la séance (changement de la membrane et des solutions de dialyse), le patient doit ensuite être branché à la machine, et lorsque la séance de dialyse est terminée, la machine doit être nettoyée et désinfectée. Cet ensemble d'opérations nécessite entre une heure et une heure et demi. Une séance d'hémodialyse dure donc en réalité six heures [LESUR 1997].

Afin d'obtenir un état biologique satisfaisant, il est nécessaire que chaque patient subisse trois fois par semaine ce traitement, d'où son nom d'hémodialyse périodique. Ces séances doivent être régulièrement espacées selon un cycle lundi/mercredi/vendredi ou mardi/jeudi/samedi. Ces épurations régulières du sang permettent théoriquement une survie illimitée des malades dont les reins sont fonctionnellement détruits. [JURGERS 1998].

## 1.2 L'auto-dialyse

L'auto-dialyse concerne les patients souffrant d'insuffisance rénale chronique qui ne présentent pas de complication due à l'âge ou à la présence de co-morbidité ; ces cas "difficiles" sont pris en charge dans des structures médicalisées appelées centres et qui sont situées dans des hôpitaux ou des cliniques. Les unités d'auto-dialyse sont gérées par des associations et ont été mises en place en 1980 et ont pour objectif de maintenir l'autonomie des patients. La création de ces unités vise à éliminer les contraintes

d'espace et de disponibilité de proches que comportait la dialyse à domicile. Les appareils de dialyse sont installés dans des locaux non médicalisés, qui correspondent à un substitut de domicile, et placés sous la responsabilité des patients.

A l'origine, chaque patient disposait d'une machine personnelle dont il assurait l'entretien. Sous la pression de la demande et l'alourdissement des pathologies dû à l'âge de plus en plus avancé des patients, cette règle a peu à peu perdu de sa rigueur. Les unités d'auto-dialyse se sont paramédicalisées : les infirmières présentes pendant toute la durée des séances aident les patients à mettre en œuvre leur traitement et à entretenir leur machine, qui a parfois perdu son caractère individuel et est le plus souvent utilisée par deux patients, voire davantage. Cette para-médicalisation des unités d'auto-dialyse a, par ailleurs, souvent contribué à figer les horaires d'ouverture, imposant aux patients des contraintes en contradiction avec le principe initial de l'auto-dialyse.

### 1.3 L'auto-dialyse médicalisée

Les unités d'auto-dialyse médicalisée fonctionnent comme des centres allégés. Il s'agit de structures intermédiaires entre le centre d'hémodialyse traditionnel et les unités d'auto-dialyse. Dotées d'un personnel infirmier et prévoyant une surveillance médicale discontinue, elles ont pour objectif d'accueillir des patients trop lourds pour les unités d'auto-dialyse, mais ne nécessitant pas encore la couverture paramédicale et médicale des centres tels qu'ils existent aujourd'hui. Les unités d'auto-dialyse médicalisées ont été créées à titre expérimental : un poste est utilisé par plusieurs malades ; un médecin néphrologue, présent au début de la séance, permet de mieux adapter la séance de dialyse au patient. On peut estimer le temps-médecin à 1 heure/1 heure 30 minutes pour chaque cycle de dialyse. De plus, pendant la séance, le patient est totalement pris en charge par le personnel médical.

## 2 L'AURAL : DEMANDE ET OFFRE EN AUTO-DIALYSE

L'AURAL est la seule association qui gère les prises en charge alternatives à l'hémodialyse en centre dans le Bas-Rhin. Elle propose aux insuffisants rénaux chroniques résidant dans ce département un large spectre de techniques de prise en charges : l'hémodialyse à domicile, la dialyse péritonéale, l'auto-dialyse et plus récemment l'auto-dialyse médicalisée.

L'activité principale de cette association réside dans celle de la dialyse péritonéale (53,3%). Le volume de patients inscrits dans cette association et recevant des soins d'auto-dialyse, médicalisée ou non, représente 41,6%. Cette proportion de malades est plus faible que celle des patients utilisant la technique de dialyse péritonéale, mais elle mobilise plus de matériels. Le choix de la localisation géographique des équipements est de plus critique car les patients doivent se rendre trois fois par semaine en ces lieux pour assainir leur sang. C'est à ce problème de choix des affectations spatiales les plus appropriées des équipements que nous nous sommes intéressés. Ces affectations de matériels doivent tenir compte à la fois de la répartition géographique de la demande et des locaux que l'association possède déjà.

Nous traitons de ces deux paramètres dans les paragraphes qui suivent. Il convient toutefois d'insister sur le caractère fictif de l'exemple que nous allons traiter. En effet, il ne s'agit que d'un cas d'étude dont l'objectif est d'être le plus conforme possible à ce qui peut se rencontrer dans la réalité de la gestion des postes d'hémodialyse ; il ne peut en aucun cas être regardé comme un reflet exact de la situation Bas-Rhénoise du phénomène de prise en charge hors centre de l'insuffisance rénale chronique. Nous avons élaboré cet exemple en fonction de la connaissance partielle que nous avons pu acquérir sur ce phénomène. Cette connaissance s'est construite à partir de documents et données publics qui nous ont été communiqués par différents organismes sanitaires: l'AURAL, les services de l'Assurance Maladie de la région Alsace-Moselle, ainsi que la DRASS d'Alsace. Le premier nous a fourni, pour l'année 1998, une liste de ses patients rendus anonymes, de même que le rapport de gestion du conseil d'administration de l'année 1997 ; le deuxième un rapport de 1997 réalisé par le Docteur Lesur sur l'insuffisance rénale chronique en Alsace ; enfin, le troisième un document synthétique du SAE<sup>52</sup> de

<sup>52</sup> Voir annexe II pour plus de détails sur le contenu de ce document synthétique.

1996. Cette connaissance du phénomène local s'est enrichie de la lecture d'ouvrages généraux traitant de cette pathologie et de son traitement [JUNGERS 1998] & [JUNGERS 1988] et de la rencontre avec M. Rey-Jouvin et M. Blayer, respectivement responsable des services techniques et directeur adjoint de l'AGDUC (Association Grenobloise pour la Dialyse des Urémiques Chroniques).

## 2.1 Les patients

La liste des patients, communiquée par l'AURAL, renseigne sur la domiciliation de ces derniers. Chaque ligne de la liste est associée à un patient et contient des informations postales sur son lieu de résidence. En effet, sont mentionnés le nom de la ville avec le bureau distributeur dont dépend chaque patient et le code postal.

Dans la liste transmise, aucune information sur le type de traitement utilisé par les patients ni sur le lieu où ils reçoivent leurs soins n'est fournie. Nous avons donc dû réaliser une procédure de traitement aléatoire des données pour construire l'exemple de répartition de la demande sur lequel nous allons illustrer le fonctionnement de HERO.

Une première partie présente le choix de l'unité géographique sur laquelle va porter l'étude statistique effectuée ; l'unité géographique définie par le code postal est trop petite pour réaliser cette étude statistique. La seconde partie expose le résultat de la simulation de la répartition des patients pris en charge en auto-dialyse et auto-dialyse médicalisée.

### 2.1.1 *Choix de la résolution*<sup>53</sup>

Le choix de la résolution est important : il conditionne la lecture et l'interprétation des chiffres. Ce choix, pour être optimal, doit vérifier simultanément deux conditions: il doit présenter les données de façon synthétique, et doit fournir le plus de renseignements possibles.

Nous avons choisi de travailler au niveau des cantons. Plusieurs raisons expliquent cette décision. Tout d'abord il n'est pas possible de travailler au niveau de la commune ; une zone postale peut s'étendre sur plusieurs communes. Le choix de la zone postale n'est pas non plus approprié pour des problèmes d'anonymat ; on recense pour chaque zone postale un ou deux cas d'insuffisance rénale chronique. Enfin, pour réaliser des prévisions, il est nécessaire de travailler à une échelle suffisamment grande afin d'avoir un nombre suffisamment grand d'observations.

Comme le montre la Figure 22, les cas d'insuffisance rénale chronique, sont peu nombreux et sont disséminés sur l'ensemble du département du Bas-Rhin. On observe cependant l'existence d'une forte concentration d'insuffisants rénaux chroniques autour de Strasbourg (entre 7 et 22 patients). Cette large dispersion des patients souligne l'importance du choix de la localisation des équipements dans le département.

### 2.1.2 *Répartition géographique des patients auto-dialysés*

Maintenant que l'unité géographique est choisie, il faut déterminer, parmi les insuffisants rénaux chroniques inscrits à l'AURAL, le nombre de ceux traités par hémodialyse en appartement. L'absence de données précises concernant le type de prise en charge de chaque patient, nous oblige à réaliser une simulation sur les données dont nous disposons pour obtenir une image probable de la répartition des demandes d'auto-dialyse.

La présentation de la procédure aléatoire que nous avons appliquée précède celles des résultats que nous avons obtenus.

---

<sup>53</sup> La résolution correspond à la granularité de l'information utilisée pour l'allocation des ressources

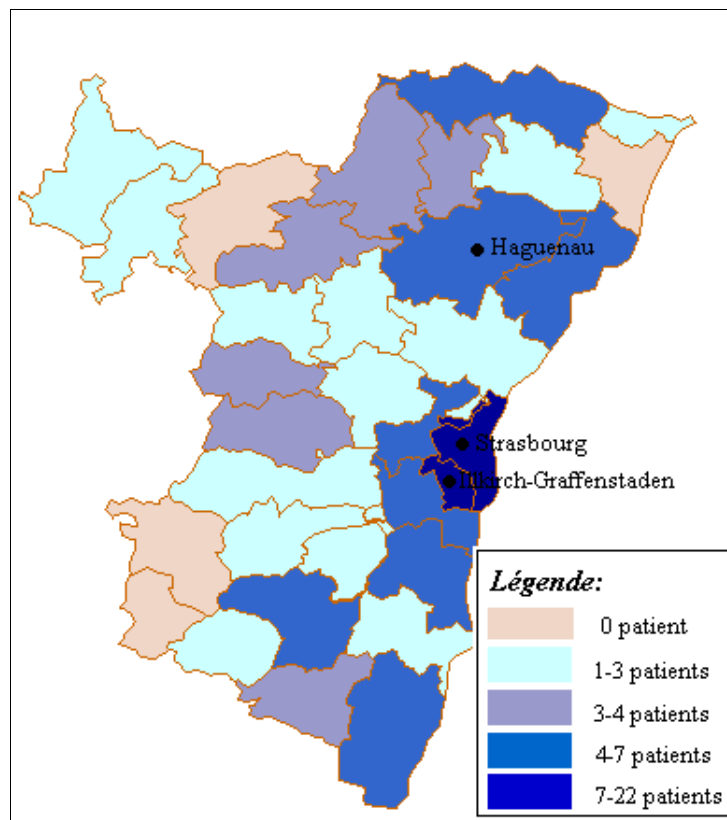


Figure 22: Répartition des patients de l'AURAL toute technique confondue (1998)

### 2.1.2.1 Procédure de simulation

La procédure que nous avons utilisée pour construire une répartition de la demande, est fondée sur l'hypothèse forte selon laquelle la probabilité pour un insuffisant rénal chronique inscrit à l'AURAL d'être traité en appartement thérapeutique est indépendante de son lieu de résidence. Cette hypothèse ignore l'influence de l'âge et de la gravité de l'état général du patient.

A l'aide des indications concernant le pourcentage des patients inscrits auprès de l'AURAL pris en charge en auto-dialyse et en auto-dialyse médicalisée, le nombre de patients qui ont choisi chacune de ces techniques d'hémodialyse en appartement thérapeutique est évalué ; on les note  $n_1$  et  $n_2$ . La somme de ces nombres constitue la taille de l'échantillon que nous allons tirer dans la population des patients de l'AURAL résidant dans le Bas-Rhin. Ces patients sont caractérisés par leur canton de résidence. Les  $n_1$  premiers patients tirés sont affectés à la technique de l'auto-dialyse et les  $n_2$  suivant à la technique d'auto-dialyse médicalisée.

### 2.1.2.2 Résultats de la simulation

D'après le rapport d'activité de l'association 23,6% des patients traités par ses soins le sont en auto-dialyse, et 18% suivent un traitement en auto-dialyse médicalisée. Dans le Bas-Rhin, 141 insuffisants rénaux chroniques sont inscrits à l'AURAL. Par conséquent, 33 patients sont traités en unité d'auto-dialyse et 25 en unité d'auto-dialyse médicalisée.

Nous avons tiré un échantillon de 58 patients parmi les 141 inscrits à l'AURAL. Les résultats de ce tirage sont représentés sur la Figure 23 et la Figure 24.

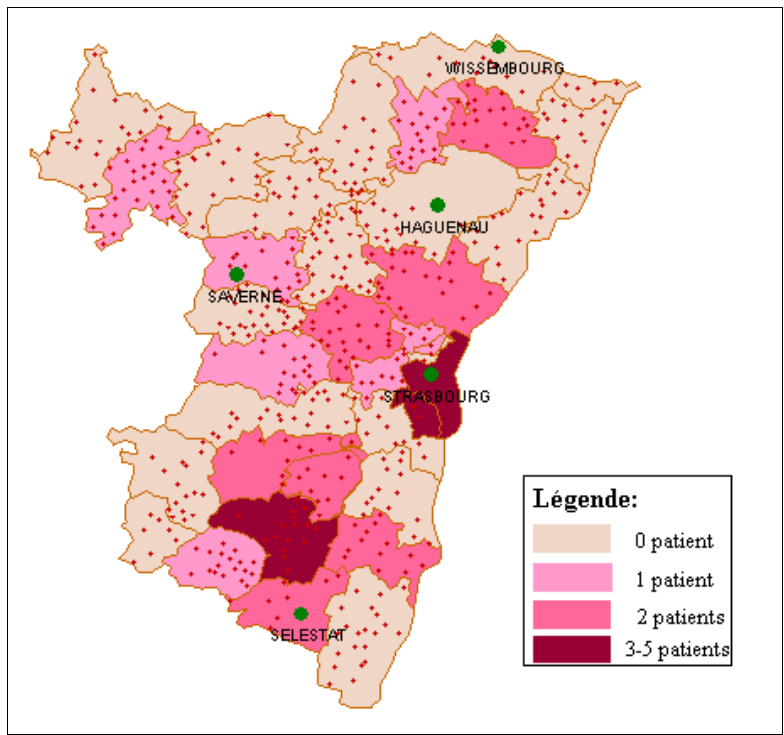


Figure 23: Répartition des patients traités par auto-dialyse

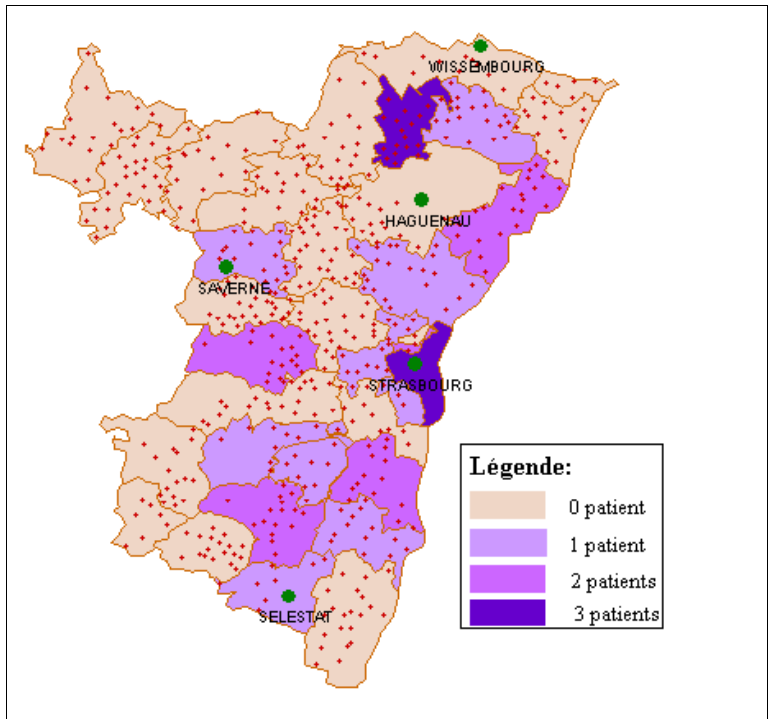


Figure 24: Répartition des patients traités par auto-dialyse médicalisée

## 2.2 Les unités d'auto-dialyse gérées par l'AURAL dans le Bas-Rhin

Nous décrivons dans les paragraphes qui suivent l'offre proposée en 1997 par l'AURAL. Dans un premier temps, nous présentons les unités d'auto-dialyse que possède l'AURAL, puis, dans un second temps nous exposons le mode de fonctionnement de chaque unité tel que l'association le définit.

### 2.2.1 Les unités d'auto-dialyse

En 1997, l'AURAL dispose de 50 postes d'hémodialyse destinés au traitement par auto-dialyse. Ces postes sont répartis entre cinq unités, qui sont situées à Haguenau, Illkirch-Graffenstaden et Strasbourg.

Toutes ces unités ne peuvent, pour des raisons de spécialité, proposer l'auto-dialyse médicalisée. Généralement, une unité restreint son activité à un seul type d'auto-dialyse. Ceci est vérifié par toutes les unités du Bas-Rhin gérées par l'AURAL, sauf à Haguenau, où la même unité produit les deux techniques d'hémodialyse.

Le Tableau 2 est une synthèse des données fournies par le SAE<sup>54</sup> 1996 et le rapport de gestion du conseil d'administration de 1997. La carte de la Figure 25 représente la répartition de la demande en auto-dialyse toute technique confondue, et situe les différentes unités gérées par l'AURAL. Nous avons utilisé des symboles différents pour individualiser les deux types de techniques d'auto-dialyse proposées dans les unités. Les unités dispensant des soins d'auto-dialyse médicalisée sont marquées d'un triangle vert, et celles qui proposent des soins d'auto-dialyse sont signalées par un fanion rouge.

L'unité "Aural Strasbourg-siège" est signalée par un symbole différent ; une étoile. En effet, elle a un rôle particulier dans ce réseau d'unités. En plus d'abriter le siège administratif de l'association, il a en charge la formation des nouveaux inscrits en auto-dialyse, ainsi que la fourniture de soins aux patients, habituellement en auto-dialyse, dont l'état de santé est temporairement rendu plus précaire.

Numéro	Nom	Nombre de postes d'hémodialyse	Auto-dialyse		
			médicalisée		autre
FINISS			Activité	Nombre de cycles	
670795921	Aural Haguenau	12	Oui	1	Oui
670794528	Aural Illkirch Graffenstaden	18	Non	-	Oui
670781574	Aural Strasbourg-siège	10	Non	-	Oui
670799667	Aural Clinique Bethesda	6	Non	-	Oui
670000000 <sup>55</sup>	Aural Porte de l'Hôpital	10	Oui	2	Non

**Tableau 2: Identification des unités et données sur leur activité en 1997**

On observe, d'après la carte Figure 25, que l'offre d'auto-dialyse n'est géographiquement pas équilibrée. En effet, les unités sont concentrées dans la partie est du département, et en particulier aux alentours de Strasbourg ; quelques unes sont localisées au nord-est.

<sup>54</sup> Voir Annexe II pour plus de détails sur le contenu de ce documents.

<sup>55</sup> Ce numéro FINISS est arbitraire; cette unité n'existait pas en 1996, et donc n'est pas répertoriée dans le document rassemblant les fiches de synthèse du SAE de 1996.

## 2.2.2 Le fonctionnement d'une unité

Nous définissons le fonctionnement d'une unité d'auto-dialyse par des règles qui régissent le traitement proposé au patient ainsi que le coût engendré par cette prise en charge. En l'absence de données et de descriptif concernant le fonctionnement de l'unité "AURAL Strasbourg-siège", nous l'excluons de notre étude.

### 2.2.2.1 Les règles

Les règles qui régissent le traitement d'un patient diffèrent selon la modalité de prise en charge par l'unité d'hémodialyse.

Dans une unité d'auto-dialyse, il est conseillé de réserver un poste à chaque patient pris en charge. L'AURAL s'efforce d'appliquer cette règle [LESUR 1997]. A Haguenau où les deux types de prise en charge se côtoient, les patients en auto-dialyse partagent leur poste avec les patients en auto-dialyse médicalisée.

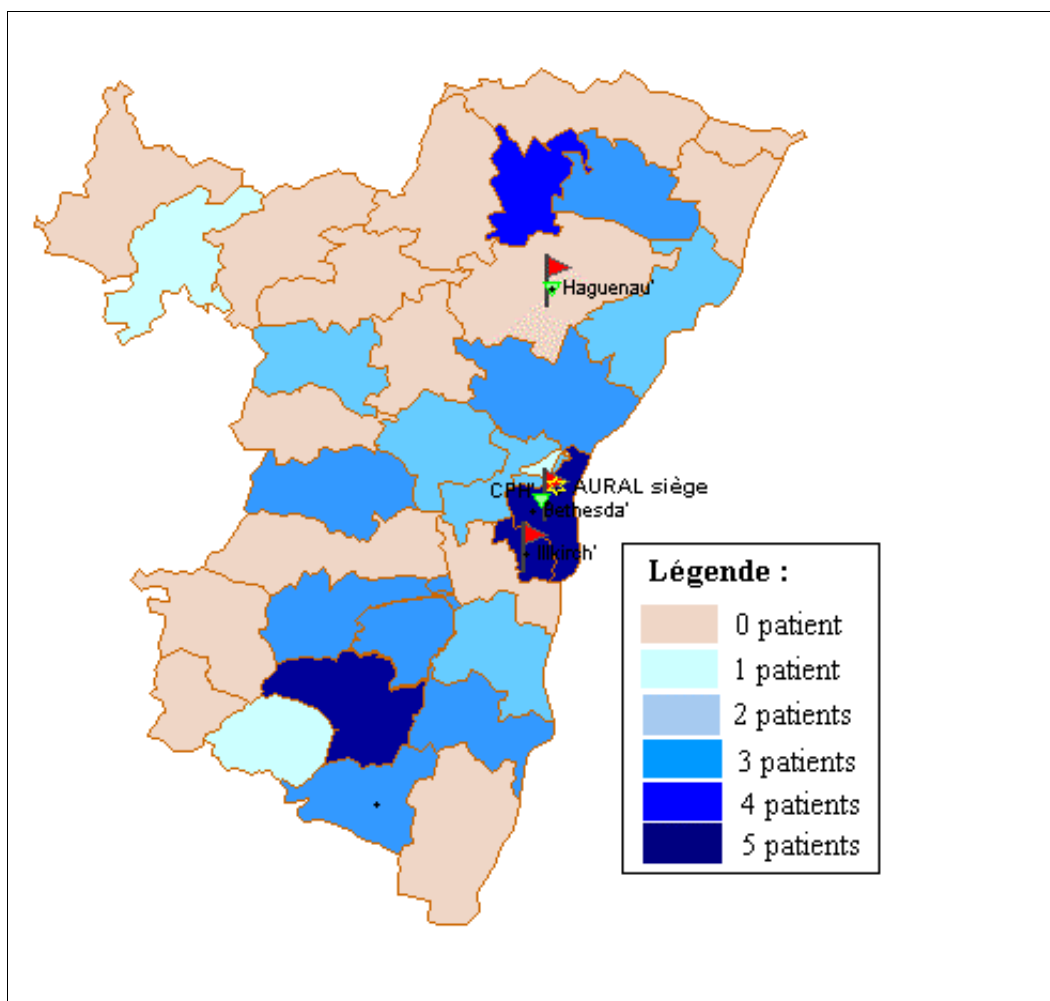


Figure 25: Situation géographique des différentes unités et répartition calculée de la demande

Dans une unité d'auto-dialyse médicalisée, de part la mobilisation de personnels médicaux qu'elle implique, la prise en charge est moins souple pour les usagers, dans le sens où ils doivent prendre rendez-vous pour s'assurer de la disponibilité, en début de dialyse, d'un néphrologue. Il n'est, par conséquent, plus nécessaire de réserver une machine par patient ; généralement, une machine peut être partagée par plusieurs patients (de 1 à 6).



### 2.2.2.2 Le coût de prise en charge

L'évaluation du coût financier d'une prise en charge inclut celui induit par les soins, à savoir le coût de fourniture des soins. Il comprend plusieurs composantes regroupées en:

- ✓ l'utilisation du poste d'hémodialyse et des produits de dialyse,
- ✓ l'immobilisation de professionnels de la santé (aides-soignants, infirmiers, médecins).

Le coût des soins varie donc en fonction du coût de chacun de ces éléments. Jungers [JUNGERS 1998] évalue le coût de la séance d'auto-dialyse à 1500FF, traitement EPO compris. L'AURAL indique un surcoût de 233FF (codé K 18,5x 12,60) par séance d'auto-dialyse médicalisée. Ce surcoût s'explique par la nécessité de la présence d'un médecin néphrologue en début de séance. Une séance d'auto-dialyse médicalisée peut donc être évaluée à 1733FF.

Ces coûts sont les coûts moyens observés dans les structures publiques. Cependant, l'AURAL, dans l'unité d'auto-dialyse qu'elle gère dans une clinique strasbourgeoise (la clinique "Bethesda"), présente des coûts de séances plus élevés: 2500FF par séance [LESUR 1997].

## 3 LE MODELE

Le modèle multi-objectif d'allocation spatiale de ressources, que nous décrivons ici, est celui que nous avons utilisé pour tester le module de calcul, programmé en CHIP++. Après avoir défini les indices, les constantes et les variables de décision, nous formulons les contraintes (sous la forme d'un système) puis les objectifs.

### 3.1 Les indices, les données constantes et les variables

#### 3.1.1 Définition des indices

Dans tout ce qui suit, l'indice  $i$  indiquera que la variable ou donnée qui en sera affectée doit être rapportée à une unité de dialyse, et l'indice  $j$  indiquera que la variable ou donnée qui en sera affectée doit être rapportée à un canton. L'indice  $i$  varie, comme nous l'avons vu en 3.2.1, de 1 à 5 tandis que  $j$  varie de 1 à 35 (nombre de cantons dans le Bas-Rhin).

#### 3.1.2 Définition des données constantes

Les notations que nous avons adoptées pour représenter les données qui permettent d'initialiser le système de contraintes sont les suivantes:

$$x_i^0 = \begin{cases} 1, & \text{si l'unité de dialyse existe déjà,} \\ 0, & \text{si non.} \end{cases}$$

$$AD_i = \begin{cases} 1, & \text{si l'unité dispense, ou peut dispenser, des soins en auto - dialyse,} \\ 0, & \text{si non.} \end{cases}$$

$$ADM_i = \begin{cases} 1, & \text{si l'unité dispense, ou peut dispenser, des soins en auto - dialyse médicalisée,} \\ 0, & \text{si non.} \end{cases}$$

$R_i^0$ : nombre maximal de postes d'hémodialyse pouvant être installés dans l'unité  $i$ ,

$NbPatMedPost_i$ : nombre de patients en auto-dialyse médicalisée qui se partagent un poste d'hémodialyse dans l'unité  $i$ ; cette donnée varie selon le mode de fonctionnement de l'unité et varie de 1 à 6,

$DC_j$ : nombre de patients, originaires du canton  $j$ , nécessitant une auto-dialyse,

$DM_j$  : nombre de patients, originaires du canton  $j$ , nécessitant une auto-dialyse médicalisée,

$\delta_{ij}$  : distance séparant le canton  $j$  de l'unité de dialyse  $i$ ,

$\delta_{Max,j}$  : distance maximale pouvant séparer un patient d'origine  $j$  de son unité d'affectation,

$Pr ixPost$  : prix d'un nouveau poste d'hémodialyse dans une unité,

$CoûtCréation$  : coût associé à la création d'une nouvelle unité,

$Pr ixSéanceAD_j$  : prix d'une séance d'auto-dialyse dans l'unité  $i$ ,

$Pr ixSéanceADM_j$  : prix d'une séance d'auto-dialyse médicalisée dans l'unité  $i$ ,

$CoûtMain$  : coût annuel associé à la maintenance d'un poste d'hémodialyse,

$PostM$  : nombre maximal de postes pouvant être distribués dans le département du Bas-Rhin,

$PostePossédé$  : nombre de postes d'hémodialyse dont dispose l'association sur l'ensemble de ses unités.

### 3.1.3 Définition des variables de décision

Ici, toutes les variables sont des entiers.

$r_i$  : nombre de postes installés dans l'unité  $i$ ,

$rSec_i$  : nombre de postes de secours installés dans l'unité  $i$ ,

$dC_{ij}$  : nombre de patients originaire de  $j$  et nécessitant un traitement en auto-dialyse, qui suivent leur traitement dans l'unité  $i$ .

$dM_{ij}$  : nombre de patients originaire de  $j$  et nécessitant un traitement en auto-dialyse médicalisée, qui suivent leur traitement dans l'unité  $i$ .

$x_i = \begin{cases} 1, & \text{si la solution du modèle prévoit effectivement l'existence d'une unité de dialyse en } i, \\ 0, & \text{si non.} \end{cases}$

$z_i^1$  : booléen qui indique si une unité de dialyse s'est ouverte en  $i$ ,

$z_i^2$  : booléen qui indique si une unité de dialyse s'est fermée en  $i$ ,

$T_1$  : nombre de postes à acquérir pour réaliser le schéma proposé par le modèle,

$T_2$  : nombre de "postes possédés" et non utilisés dans le schéma proposé par le modèle,

$NouvP$  : booléen qui indique s'il est nécessaire d'acquérir de nouveaux postes.

## 3.2 Les contraintes

De part l'aspect vital du traitement (tout patient souffrant d'insuffisance rénale chronique, qui n'est pas dialysé ou maintenu sous dialyse, en attendant une hypothétique greffe, est condamné à mourir), tous les patients doivent pouvoir suivre le traitement que leur impose leur état de santé. En Alsace, dans la mesure du possible, on essaie d'attribuer, à chaque patient suivant un traitement d'auto-dialyse, un poste qui lui est propre. Les patients traités par auto-dialyse médicalisée partagent les postes d'hémodialyse, à raison de 1 à 6 patients par poste, selon le mode de fonctionnement de l'unité qui les prend en charge. Ces conditions sont traduites par les contraintes (2.1), (2.2), (2.3), et (2.4).

$$\sum_j dC_{ij} \leq AD_i \times r_i, \forall i, \quad (2.1)$$

$$\sum_i dC_{ij} = DC_j, \forall j, \quad (2.2)$$

$$\sum_i dM_{ij} = DM_j, \forall j, (2.3)$$

$$\sum_j dM_{ij} \leq ADM_i \times NbPatMedPost_i \times r_i, \forall i, (2.4)$$

De plus, pour des raisons de sécurité, et pour pallier aux pannes de machines, il est prévu d'installer, dans chaque unité, une machine supplémentaire pour chaque tranche de cinq machines présentes (2.5) et (2.6).

$$5 \times rSec_i \geq r_i, \forall i, (2.5)$$

$$5 \times (rSec_i - 1) + 1 \geq r_i, \forall i, (2.6)$$

Le traitement par hémodialyse implique pour le patient de se rendre trois fois par semaine dans l'unité de dialyse. Ce traitement étant fatigant pour le patient [JUNGERS 1998], il est important pour ce dernier de pouvoir trouver une unité de dialyse proche de son domicile. Les contraintes (3.1) et (3.2) reflètent cette "volonté".

$$\delta_{ij} \times dC_{ij} \leq \delta_{Max,j} \times dC_{ij}, \forall i, j (3.1)$$

$$\delta_{ij} \times dM_{ij} \leq \delta_{Max,j} \times dM_{ij}, \forall i, j (3.2).$$

A ces contraintes signifiantes, quelques contraintes techniques ont été ajoutées:

$$x_i^0 + z_i^1 - z_i^2 = x_i, \forall i (4.1)$$

$$z_i^1 + z_i^2 = 1, \forall i (4.2)$$

$$rSec_i + r_i \leq R_i^0, \forall i (4.3)$$

$$\sum_i r_i + rSec_i \leq PostM, \forall i (4.4)$$

$$\sum_i r_i + rSec_i = PostePossédé + T_1 - T_2, (5.1)$$

$$T_2 \leq PostePossédé \times (1 - NouvP), (5.2)$$

$$T_1 = (PostM - PostePossédé) \times NouvP, (5.3)$$

L'existence d'une unité dans la solution du modèle est soumise à l'affectation de patients à cette unité (6), de même, aucun patient ne sera affecté à une unité non existante dans cette solution (7.1) et (7.2).

$$x_i \leq \sum_j dC_{ij} + dM_{ij}, \forall i (6)$$

$$dC_{ij} \leq DC_j \times x_i \times AD_i, \forall i, j (7.1)$$

$$dM_{ij} \leq DM_j \times x_i \times ADM_i, \forall i, j (7.2)$$

### 3.3 Les objectifs

Le traitement de l'insuffisance rénale chronique par hémodialyse est coûteux [JURGERS 1998] et il est contraignant pour les patients ; il nécessite de nombreux déplacements. La minimisation du budget nécessaire à la prise en charge de cette pathologie dans une région, ainsi que l'amélioration de l'accessibilité physique à l'unité de dialyse sont les objectifs principaux. Du fait qu'un poste ne peut pas autoriser plus de 6 séances par jour (6 × 4heures = 24heures), et qu'il est vital que chaque patient soit pris en charge, la sur-utilisation d'un poste est physiquement impossible.

L'objectif concernant l'accessibilité physique à l'unité de dialyse est doublement important. En effet, en plus d'imposer de longs déplacements aux patients, elle induit un coût à l'organisme d'assurance maladie. Ce dernier rembourse les déplacements tri-hebdomadaires des patients. Le montant du remboursement varie selon la distance parcourue par le patient, et le moyen de transport qu'il choisit.

On peut cependant restreindre, à un facteur multiplicatif près, l'évaluation de ce coût au nombre de kilomètres entre le lieu de résidence du patient et l'unité à laquelle il est affecté pour recevoir ses soins.

La traduction que nous avons donné aux deux objectifs, coût et accessibilité, est la suivante<sup>56</sup>.

Le budget correspond au coût annuel du traitement de l'ensemble du traitement des patients, soit le prix de chaque séance multiplié par le nombre de séances effectuées dans l'année (3x52), auquel sont ajoutés les investissements prévus (achat de machines ou ouverture d'un nouveau centre), ainsi que le coût induit par la maintenance des infrastructures, nous n'avons ici considéré que celle des machines.

$$\begin{aligned} \text{Min Budget} = & 3 \times 52 \times (\sum_{i,j} (dM_{ij} \times \text{PrixScéanceADM}_i + dC_{ij} \times \text{PrixScéanceAD}_i)) \\ & + T_1 \times \text{PrixPost} + \text{CoûtMain} \times \sum_i (r_i + r_{\text{Sec}_i}) + \sum_i z_i^1 \times \text{CoûtCréation} \end{aligned}$$

La distance est identifiée à la distance moyenne parcourue par un patient pour recevoir ces soins.

$$\text{Min Distance} = \sum_{i,j} (\delta_{ij} (dM_{ij} + dC_{ij})) / \sum_i (DC_i + DM_i)$$

## 4 ILLUSTRATION DU FONCTIONNEMENT DE HERO

L'illustration du fonctionnement de HERO utilise une adaptation du modèle général exposé dans le chapitre précédent ; adaptation aux données sur l'offre et la demande d'hémodialyse hors centre, dans le Bas-Rhin. Nous rappelons que le scénario testé et les résultats obtenus, présentés dans cette partie, n'ont pas de valeur autre qu'illustrative. Ils ne peuvent en aucun cas servir de jugement sur la stratégie de développement suivie par l'AURAL. Nous rappelons que de part son activité particulière, nous ne considérons pas l'unité "AURAL Strasbourg-siège" dans l'exemple suivant.

### 4.1 Le scénario de développement

Suite au constat fait au paragraphe 3.2.1 (voir en particulier les Figure 23 et Figure 24), pour rééquilibrer la répartition géographique de l'offre par rapport à la demande, l'implantation d'une nouvelle unité à Selestat est envisagée. Le coût d'implantation de cette nouvelle unité est estimé à 360 000FF. Cette unité proposera les deux types d'auto-dialyse. Sa capacité maximale en terme de postes d'hémodialyse sera de 12 postes. Le nombre de cycles en auto-dialyse médicalisée sera dans un premier temps de 2. Le coût estimé de la séance d'auto-dialyse sera de 1 300FF, et de 1 600FF dans le cas de l'auto-dialyse médicalisée.

Parallèlement à ce projet de création d'une nouvelle unité, et afin de faire face à la demande croissante d'auto-dialyse médicalisée, l'augmentation d'un cycle des possibilités de prise en charge à Haguenau ou d'un cycle à Strasbourg Porte de l'Hôpital est testée.

### 4.2 Test du scénario

#### 4.2.1 L'initialisation du programme

Par construction, nous supposons dans le modèle que les activités d'auto-dialyse et d'auto-dialyse médicalisée ne sont pas exclusives ; une même unité peut proposer les deux types de soins simultanément ; dans ce cas les équipements sont partagés, comme à Haguenau.

Chaque unité de traitement est associée à un ensemble de variables regroupées sous la forme d'un objet. Les attributs de chacune de ces unités sont ceux présentés dans la partie 3 et dans la présentation du scénario.

<sup>56</sup> On peut aussi transformer la condition "un patient en auto-dialyse a sa propre machine" en deux objectifs contradictoires, à savoir "minimiser le nombre de postes partagés par des patients en auto-dialyse", ainsi que "minimiser le nombre de patients partageant un poste".

Les distances, que nous avons adoptées dans le modèle, ont été estimées par la distance euclidienne entre le centre de chaque canton et les villes où sont situées les unités de traitement.

Les autres constantes du modèle ont été fixées arbitrairement ou estimées à partir de documents publicitaires. La valeur maximale de déplacement de chaque patient vers son unité de prise en charge est de 35 kilomètres lorsqu'il existe au moins une unité dans ce champ. Lorsque ce n'est pas le cas, aucune distance maximale n'est imposée. Le nombre maximal de postes pouvant être implantés dans le réseau est de 70, et le prix d'un appareil d'hémodialyse neuf a été estimé à 100 000FF à partir des documents communiqués par l'entreprise B. Braun. Le coût annuel relatif à la maintenance d'un appareil d'hémodialyse est évalué à 50 000FF.

La Figure 26 montre un écran proposé par HERO lors de l'initialisation. Dans la fenêtre de gauche, la répartition géographique de la demande ainsi que celle de l'offre, telle qu'elle est prévue par le scénario, sont représentées. Les activités pratiquées par les différentes unités sont symbolisées par un fanion rouge pour l'auto-dialyse et par un triangle vert pour l'auto-dialyse médicalisée. L'intensité des couleurs permet de distinguer les activités existantes (rouge ou vert intense) de celles dont on envisage la création (rouge ou vert pastel).

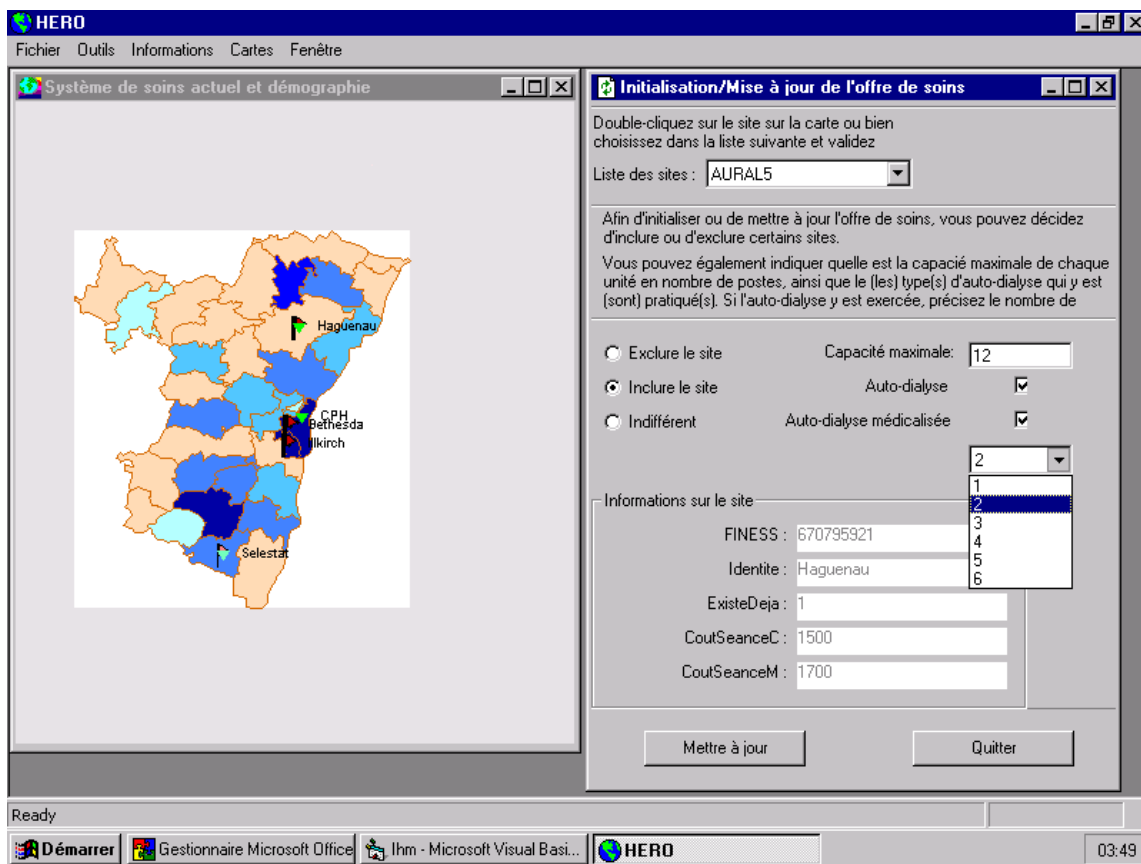


Figure 26: Visualisation du scénario et données relatives à l'unité de Haguenau

La fenêtre de droite permet de renseigner l'utilisateur sur les caractéristiques de chaque unité, et d'initialiser la recherche de solution en lui proposant la possibilité de modifier la valeur de certaines d'entre elles, comme le type d'activité proposé, le nombre de cycles, et l'appartenance ou non à la solution recherchée.

Une fois que l'utilisateur a saisi l'ensemble des modifications qu'il souhaite apporter à chaque unité, la recherche d'une solution satisfaisante qui vérifie les conditions formulées dans le modèle est initiée.

## 4.2.2 Visualisation des premières solutions

La solution identifiée par le moteur de calcul à l'issue de son appel est présentée à l'utilisateur via l'écran Figure 27. On observe, sur la carte de la fenêtre de gauche, que l'ouverture d'une unité à Selestat n'a pas été retenue. La fenêtre de droite fournit des renseignements quantitatifs sur cette solution. Ainsi, le budget associé à cette solution a une valeur de 16 846 000FF, et la distance moyenne parcourue par un patient dans ce réseau est de 18 km. Les budgets calculés sont arrondis au millier de francs supérieur, et la valeur du trajet moyen au kilomètre supérieur. A partir de cette fenêtre, des informations sur la valeur des attributs de chaque objet "unité" peuvent être visualisées. La Figure 28 montre les valeurs des différents attributs de l'unité située à Illkirch pour la première solution.

Afin de rendre les soins encore plus accessibles aux patients, l'utilisateur décide de continuer sa recherche de solution en imposant que le trajet moyen par patient soit inférieur à 18 km. Le système indique alors quelles sont les valeurs minimales que peuvent prendre les objectifs. Ici, ces valeurs minimales sont de 17 907 000FF pour le budget, et 12 kilomètres pour la distance moyenne.

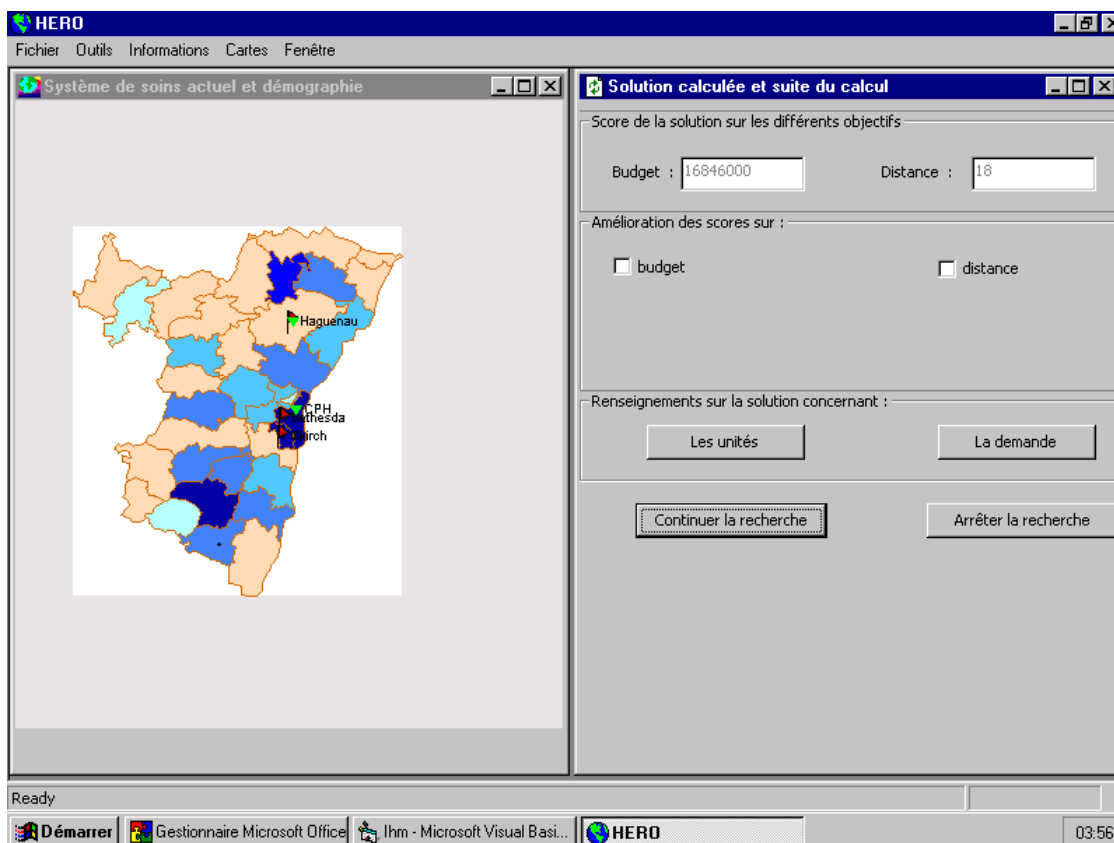


Figure 27: Première solution proposée par HERO

La Figure 29 montre la solution proposée à l'issue de cette nouvelle recherche. Cette solution est caractérisée par une diminution de la distance moyenne parcourue par un patient pris en charge dans ce réseau d'unités de 1 kilomètre par rapport à la solution précédente. Cette diminution s'accompagne d'une augmentation de près d'un million de francs du budget proposé sur la Figure 27.

L'observation de la fenêtre de droite nous indique aussi que seule une autre diminution de la distance est possible. L'absence de l'option relative à la diminution du budget montre l'impossibilité de trouver une solution qui soit caractérisée simultanément par une distance moyenne inférieure à 18 km et par un budget inférieur à 18 057 000FF. On remarque qu'une diminution supplémentaire de la distance moyenne ne pourra être obtenue qu'avec au minimum un budget de 23 069 000FF.

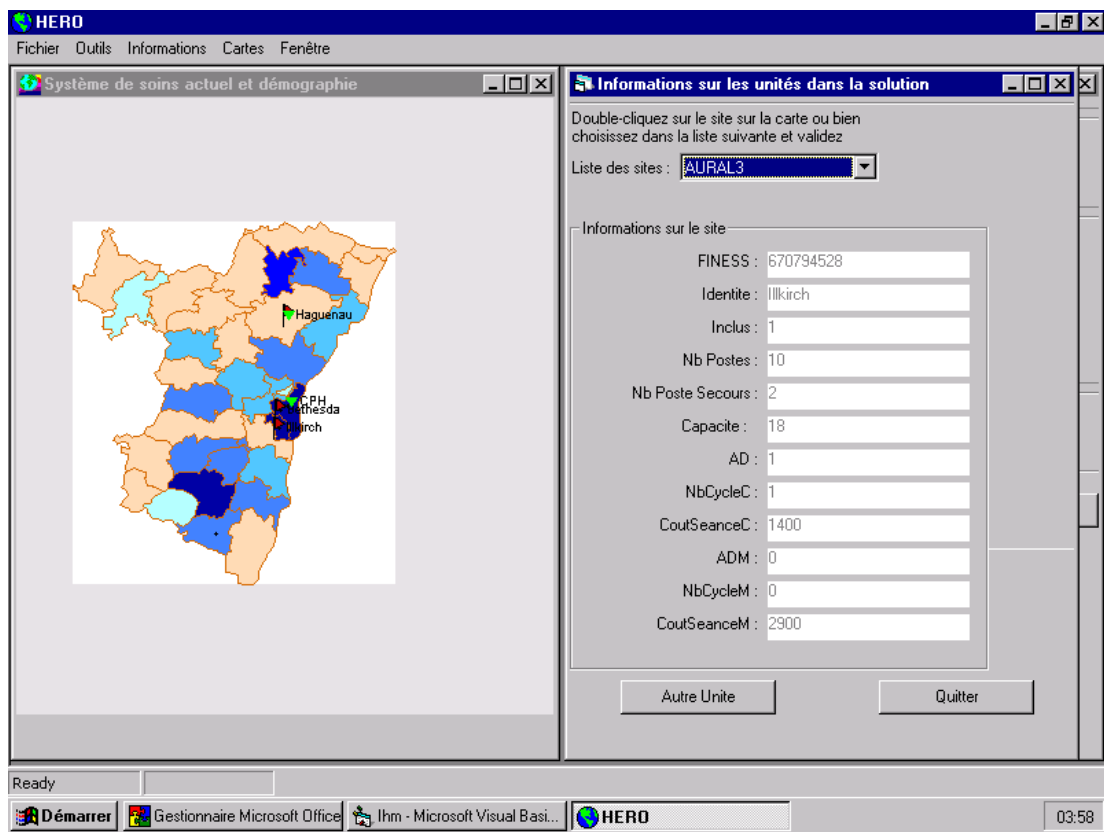


Figure 28: Valeurs des attributs de l'unité située à Illkirch

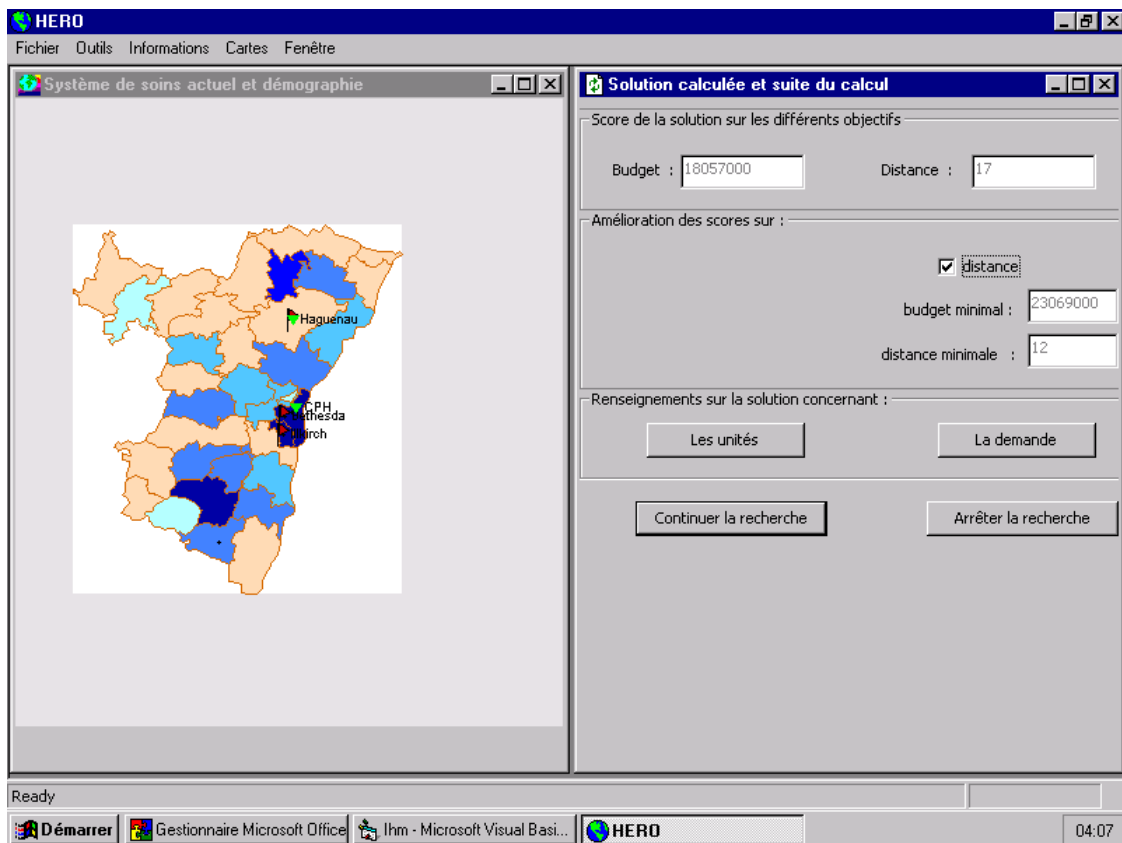


Figure 29: Seconde solution proposée par HERO

Dans la Figure 29, la carte indique que l'ouverture d'une unité à Selestat n'a pas été prévue. L'amélioration de l'accessibilité des soins a donc été obtenue par le biais d'une seule réorganisation des postes entre les différentes unités déjà existantes. Le Tableau 3 répertorie le nombre de postes installés dans chaque unité tel que le prévoit chacune des solutions proposées par l'outil.

Numéro FINESS	Nom	Solution 1		Solution 2	
		Postes	Postes de Secours	Postes	Postes de secours
670795921	Aural Haguenau	10	2	12	3
670794528	Aural Illkirch Graffenstaden	15	3	10	2
670799667	Aural Clinique Bethesda	5	1	10	2
670000001	Aural Porte de l'Hôpital	10	2	10	2
670000002	Aural Selestat	0	0	0	0

**Tableau 3 : Nombre des postes affectés aux unités dans chacune des solutions**

On observe ainsi que 51 postes ont été nécessaires dans la seconde solution, pour que l'ensemble des besoins de la population puissent être pris en compte, alors que la première solution n'en prévoyait que 48.

## 5 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons voulu souligner, sur un exemple fortement empreint de réalité, ce qu'un outil, comme HERO, combinant un système d'information géographique et un moteur de calcul, peut apporter dans la recherche d'une allocation spatiale de ressources rares ainsi que dans son évaluation.

La nécessité de trouver une solution de compromis entre accessibilité et coût des soins rend intéressante l'application de HERO à la gestion des postes d'hémodialyse dédiés à la prise en charge en appartement thérapeutique des insuffisants rénaux chroniques inscrits à l'AURAL. Ce dernier en renseignant sur la répartition géographique de la demande et des unités aide l'utilisateur à identifier les restructurations du réseau d'appartements thérapeutiques nécessaires à l'amélioration de la qualité des soins. HERO assiste ainsi l'utilisateur dans l'élaboration de scénario. La faible couverture des besoins au sud du département nous ont conduits à envisager une extension du réseau d'unité géré par l'AURAL en ouvrant un appartement thérapeutique à Selestat. Le test de ce scénario nous a permis de voir que la population des insuffisants rénaux chroniques n'est pas, en moyenne, mal desservie par les unités existantes ; 17 km séparent en moyenne chaque patient de son unité de soins.

L'outil a permis d'élaborer et visualiser rapidement différentes possibilités ainsi que leurs caractéristiques en terme de budget et de distance moyenne des patients à leur unité d'affectation, facilitant ainsi le choix de l'allocation des ressources.

A la suite de cette illustration, nous pouvons envisager d'améliorer le modèle que nous avons proposé pour l'allocation des postes d'hémodialyse. Nous pouvons aussi appliquer cette méthode à d'autres types de prise en charge: la cancérologie ou l'accouchement.



*Conclusion et Perspectives*



La mise au point d'une méthode d'aide à l'élaboration et l'évaluation des schémas d'organisation spatiale des ressources sanitaires constitue, pour la majorité des pays, une urgence. Les tendances actuelles montrent que parallèlement à un accroissement important des dépenses dévolues par chaque Etat à l'amélioration de la santé, les inégalités entre les populations d'un même pays ne cessent de croître ; ces inégalités sont à la fois géographiques, sociales et physiques. De plus, le volume des dépenses de santé devient si important pour chaque pays qu'il menace la pérennité des différents systèmes de santé.

La raison principale évoquée pour expliquer cette évolution est historique. Le parc sanitaire s'est partout développé de façon anarchique, sans tenir compte de l'environnement social, géographique, culturel et économique dans les différents choix d'expansion du parc. Ce développement désordonné a conduit à cet accroissement du décalage entre offre de soins, besoins de la population et environnement ([ARBUZ 1993], [BLAMONT 1994] & [COUTY 1993]). La situation actuelle est donc le produit d'une absence d'anticipation des mutations démographiques, sociologiques, économiques, médicales et techniques qu'ont connues les différentes sociétés.

La volonté de mieux gérer le développement du parc hospitalier et de diminuer les inégalités de santé dans la population, est le résultat de cette constatation. Elle s'est caractérisée en France par l'instauration de la planification sanitaire régionale, c'est-à-dire par l'obligation, au niveau de chaque région, d'organiser l'offre de soins en fonction des besoins de la population via une révision de la répartition spatiale des ressources hospitalières. Cette volonté se confronte cependant à une complexité décourageante due principalement à la multiplicité des acteurs qui interviennent dans la gestion du système de santé. Parmi ces acteurs on peut citer les politiques, les médecins, les patients potentiels et les organismes payeurs. Chacun de ces acteurs a une connaissance du système de santé qui est relatif à son rôle, et son système de valeurs reflète ses différences, tout comme ses intérêts.

Ainsi, la planification sanitaire régionale est un problème de décision multi-objectif qui concerne l'allocation spatiale de ressources présentes en quantités finies et en majorité non sécables (lits, scanners, postes d'hémodialyse et postes d'IRM par exemple). Il s'agit de déterminer le nombre de sites hospitaliers entre lesquels les ressources seront distribuées, de les localiser et de déterminer leur taille en terme de volume de ressources allouées à chacun de ces sites. L'objectif poursuivi lors de ces choix de localisation et d'allocation est multiple. Il concerne l'amélioration de la qualité des soins produits ainsi que de leur accessibilité pour la population. La complexité des relations entre les différentes composantes du système de soins, sa nature dynamique, ainsi que l'importance du caractère politique de la décision ne permettent pas de définir de façon précise le contexte décisionnel.

Une étude des différentes méthodes, disponibles et présentées dans la littérature, montre que les obstacles principaux à l'application des méthodes de planification sanitaire proposées sont d'ordres conceptuels et techniques. En effet, leur échec dans leur application est principalement dû à trois raisons : - un manque de données structurées concernant l'offre, la demande et la consommation des soins dans une région - un manque d'interactivité entre le système et le planificateur - une grande rigidité du système face à l'évolution de l'environnement. Ce constat nous a amené à élaborer un outil, HERO (Healthcare Resource Optimization), qui soit interactif, évolutif et aide le planificateur à structurer les données.

HERO est un système interactif d'aide à la planification qui allie un Système d'Information Géographique (SIG) et un outil *de résolution*. Son rôle est d'assister le planificateur dans la phase de diagnostic de la situation sanitaire et la phase de conception de la solution. Via le SIG, le planificateur accède à des représentations des données qui sont synthétiques, significatives et compréhensibles ; ces données sont celles qui ont été identifiées comme pertinentes pour décrire l'état de santé de la population et l'offre de soins hospitaliers. Ces représentations permettent au planificateur d'améliorer ses connaissances concernant l'état sanitaire courant de la région et les tendances passées ; il l'aide ainsi à poser un diagnostic. Une fois le diagnostic posé, l'outil de résolution assiste le planificateur dans l'évaluation des solutions partielles qu'il propose, et de la pertinence de ses choix face aux objectifs nationaux ; ces derniers concernent la couverture des besoins de la population régionale, le contrôle des dépenses et l'amélioration de la qualité et de l'accessibilité des soins par exemple. L'outil

de résolution agit dans le prolongement de l'intuition du planificateur en vérifiant la faisabilité de la solution partielle soumise par ce dernier, et le cas échéant, en la complétant. Pour réaliser cette tâche, il utilise une procédure interactive d'optimisation multi-critère en nombre entier associée à la programmation par contrainte. Ces outils de calcul sont appliqués à un modèle multi-objectif d'allocation spatiale de ressources paramétré par le planificateur.

Dans cette thèse, nous nous sommes plus particulièrement intéressés à deux points:

- ✓ la formalisation du problème, c'est-à-dire la caractérisation opérationnelle des différents éléments pris en compte en planification sanitaire (santé d'une population, offre de soins hospitaliers, schéma de répartition des ressources) ainsi que de l'objectif poursuivi,
- ✓ l'élaboration du module de résolution, soit le choix de l'algorithme et son adaptation à l'évolutivité de l'environnement décisionnel, et aux préférences de l'utilisateur,

sans toutefois négliger totalement les autres aspects de l'outil: la représentation des données et résultats, et la gestion du dialogue homme – machine. Tout au long de ce travail, nos choix ont été guidés par notre souci de proposer un outil dont la compréhension du fonctionnement puisse être accessible intuitivement au plus grand nombre des utilisateurs potentiels sans discrimination au niveau de leur formation. Nous avons essayé d'éviter l'appel à des boîtes noires dont le fonctionnement général est obscur pour les non-initiés, tout comme l'utilisation de mesures trop synthétiques en ce qui concerne la formulation du problème, ceci pour des raisons d'efficacité, et de pragmatisme. Nous nous sommes donc restreints à des mesures simples et significatives.

L'illustration du fonctionnement de HERO sur l'exemple de la gestion des postes d'hémodialyse dans le département du Bas-Rhin montre que, pour toute application de cet outil il est nécessaire de préciser et d'adapter la formulation générale du problème que nous avons proposée. En effet, la formulation du problème dépend fortement des données disponibles (incidence de (des) pathologie(s) étudiée(s), soins curatifs et ressources nécessaires pour la (les) prendre en charge).

Ce travail constitue un premier pas dans l'élaboration d'un outil pragmatique joignant outils de calcul et expérience du décideur. Afin que son utilisation soit facilitée, quelques travaux complémentaires doivent être réalisés.

Pour que HERO puisse être appliqué de façon efficace, il est nécessaire de répertorier les connaissances médicales concernant les ressources utilisées dans la prise en charge de chaque pathologie, les données sur les soins prodigués dans les hôpitaux et les données relatives à l'état de santé de la population. Ce travail de classement des données disponibles est préliminaire à celui, indispensable, de création de bases de données plus spécifiques à la planification sanitaire, et doit être le fruit d'une large concertation entre les représentants des différentes disciplines concernées par la planification sanitaire. Les bases de données ainsi constituées doivent adopter un formalisme standard qui puisse être commun à toutes les données. Ainsi, une information complète, et non plus fragmentée comme c'est le cas actuellement, pourra être intégrée à l'outil HERO. Ce dernier pourra ainsi mieux accomplir son rôle d'informateur. Les résultats obtenus permettront entre autres de développer les possibilités du SIG et de préciser les modèles d'affectation des ressources.

La diffusion de l'information est une nécessité pour faire accepter dans la population et parmi les professionnels les différentes décisions prises en planification. Pour permettre cette diffusion il peut être envisagé d'utiliser les outils d'internet pour développer une version distribuée de HERO. L'accès à cette version sera différencié selon le rôle de l'utilisateur dans la prise de décision. Alors que le module descriptif pourra être mis à la disposition de chacun, les simulations sur des bases de données à distance et en temps réel pourront être réalisées par les personnes intervenant dans la prise de décision (représentants des professionnels de la santé, représentants politiques des citoyens, représentants des organismes payeurs, ...). Ces simulations peuvent constituer des préparations utiles à la négociation dont sera issue la décision ultime. De plus, la mise à disposition de cette méthode promeut ce type de méthode auprès de ces représentants.

Dans un souci d'accroître le réalisme de HERO, et mieux prendre en compte l'aspect qualificatif de certains critères (la satisfaction du patient par exemple), et l'incertitude de l'évolution du domaine de décision (l'évolution de la santé des populations, des techniques médicales, du réseau de transport, de la situation économique, ...), l'introduction des notions de prise de décision dans l'incertain ainsi que des outils de quantification de jugements comme ceux proposés par Vansnick par exemple [OTHMANI 1998] peuvent s'avérer d'une grande aide.



## Bibliographie

- [ABADI 1969] Abadi J. (1969). "Une méthode arborescente pour les programmes non-linéaires partiellement discrets," *Revue Française d'Informatique et de Recherche Opérationnelle*, Vol. 3, pp. 24-50.
- [ALBRECHT 1995] Albrecht J. (1995). *Universal Analytical GIS Operation: a Task-oriented systematization of data structure - independent GIS functionality leading toward a geographic modelling language*, Ph. D. in Geography, University of Veckta, Germany.
- [ARBUZ 1993] Arbus G. (1993). "Pour une Démarche de Projet à l'Hôpital," *Gestions Hospitalières*, N°. 326, pp. 366-373.
- [BENZEVAL 1994] Benzeval M. and K. Judge (1994). "The Determinants of the Hospital Utilisation: Implication for Resource Allocation in England," *Health Economics*, Vol. 3, pp. 105-116.
- [BLAMONT 1994] Blamont F. (1994). "Les Réseaux Ville-Hôpital, un Projet Politique pour 1995," *D.S.*, N°. 55, pp. 12-14.
- [BONNET 1996] Bonnet J.L., G. Costa, O. de Cadeville, S. Jampierre, M. Landrieux, J. Magda, H. Mauss, F. Quatremarre et P. Tisserant (1996). "La Protection Sociale: Reforme en Cours et à Venir," *document CNED préparant au concours de recrutement des inspecteurs principaux*, Fascicule 4.
- [BOUTAT 1992] Boutat A., Y. Eggli et P. Frutiger (1992). "Evaluation de la performance interne des services de santé," *Soz. Präventiv Med.*, Vol 37, pp. 179-187.
- [BRANDEAU 1989] Brandeau M. L. and S. S. Chiu (1989). "An Overview of Representative problems in Location Research," *Management Science*, Vol. 35, N°. 6, pp. 645-675.
- [C&L SANTE 1995] C&L Santé (1995). "Annexes," *Etude Internationale sur les Indicateurs Synthétiques et Globaux pour les Etablissements Hospitaliers*.
- [CALVO 1973] Calvo A.B. and Marks D.H. (1973). "Location of Health Care Facilities: an Analytical Approach," *Socio-Economic Planning Science*, Vol. 7, pp. 407-422.
- [CARRIZOSA 1992] Carrizosa E., E. Conde, F.R. Fernandez and J. Puerto (1992). "A Management Tool for Indicator-Supported System: a Public Health Service Application," *European Journal of Operational Research*, Vol. 61, pp. 204-214.
- [CHARNES 1967] Charnes A. and W. W. Cooper (1967). *Management Models and Industrial Applications of Linear Programming*, John Wiley & Sons, New York.
- [CHARNES 1980] Charnes A. and J. Storbeck (1980). "A Goal Programming Model for the Siting of Multilevel EMS Systems," *Socio-Economic Planning Science*, Vol. 14, pp. 155-161.
- [CHOVI 1993] Chovi J. (1993). "Concept généraux de la qualité et normes internationales ISO9000," *Enjeux-Afnor*, Point sur, N° 131.
- [CHURCH 1973] Church R. and C. ReVelle (1973). "The Maximal Covering Location Problem," *Paper of the Regional Science Association*, Vol. 32, pp. 101-118.
- [COCA 1998] Coca E. (1998). *Hôpital silence! Les inégalités entre hôpitaux*, éd. Berger-Levrault, ISBN 2-7013-1255-8.

- [COOPER 1964] Cooper L. (1964). "Heuristic Methods for Location-Allocation Problems," *SIAM Review*, Vol. 6, N° 1, pp. 37-53.
- [COOPER 1967] Cooper L. (1967). "Solutions of Generalized Locational Equilibrium Models," *Journal of Regional Science*, N° 7, pp. 1-18.
- [COUTY 1993] Couty E. (1993). "La Loi du 31 juillet 1991, Réforme Hospitalière et Renouveau du Service Public," *Gestions Hospitalières*, N° 326, pp. 336-339.
- [COUTY 1993] Couty E. (1993). "La loi du 31 juillet 1991- Réforme hospitalière et renouveau du service public-," *Gestion hospitalière*, N°. 326, pp. 336-339.
- [CULYER 1990] Culyer A. (1990). "La Maîtrise des Dépenses de Santé en Europe," *Les Systèmes de Santé, à la Recherche de l'Efficacité*, OCDE.
- [CULYER 1993] Culyer A. J. and Wagstaff A. (1993). "Equity and Equality in Health and Health Care," *Journal of Health Economics*, N°. 12, pp. 431-457.
- [DANIELS 1970] Daniels R. S., J. W. Wagner and M. Creditor (1970). "An Exemple of Sub-Regional Health Planning," *Inquiry*, Vol. 7, N° 4, pp. 25-33.
- [DE KEYSER 1994] De Keyser W. and P. Peeters (1996). "A Note on the Use of PROMETHEE Multicriteria Method," *European Journal of Operational Research*, Vol. 89, pp. 457-461.
- [DENSHAM 1987] Densham P. and G. Rushton (1987). "Decision Support Systems for Locational Planning," *In Behavioral Modelling in Geography and Planning*, edited by R. G. Golledge and H. Timmermans.
- [DESCHAMPS 1982] Deschamps J.P., V. Merckx et R. Senault (1982). "Service de Santé et Détermination des Besoins de Santé," *La Revue du Praticien - Santé Publique*, Tome XXXII, N° 33, pp. 2245-2250
- [DESFRAY 1996] Desfray P. (1996). "Modélisation par objets, la fin de la programmation," éd. Masson, coll. Méthodes Informatiques et Pratique des Systèmes, ISBN 2-225-85166-2.
- [DESVIGNES 1998] Desvignes S. (1998). *Mise en œuvre d'un système d'information géographique dans le cadre de la planification*, projet de fin d'études, ENSIMAG.
- [DÖKMECI 1972] Döckmeci V. F. (1972). *An Analytical Planning Approach to Regional Health Facility Systems*, Ph. D. dissertation, Columbia University.
- [DÖKMECI 1973] Döckmeci V.F. (1973). "An Optimization Model for a Hierarchical Spatial System," *Journal of Regional Science*, Vol. 13, N° 3, pp. 439-451.
- [DÖKMECI 1977] Döckmeci V.F. (1977). "A quantitative Model to Plan Regional Health Facility System," *Management Science*, Vol. 24, N°. 4, pp. 411-419.
- [DURIEZ 1996] Duriez M., J.P. Lancry, D. Lequet-Slama et S. Sandier (1996). *Le Système de Santé en France*, Que sais-je, N° 3066, PUF.
- [DYER 1990] Dyer J. S. (1990). "Remarks on the Analytic Hierarchy Process," *Management Science*, Vol. 36, N°. 3, pp. 249-258.
- [FISCHER 1979] Fischer H. B. and G. Rushton (1979). "Spatial Efficiency of Services Location and Regional Development Process," *Papers of Regional Sci. Assoc.*, Vol. 42, pp. 83-97.
- [FOTHERINGHAM 1989] Fotheringham A.S. and M.E. O'Kelly (1989). *Spatial Interaction Models: Formulations and Applications*, Studies in Operational Regional Research, ed. Kluwer Academic Publisher, ISBN 0-7923-0021-1.



- [FRIES 1981] Fries B. E. (1981). *Application of Operations Research to Health care delivery systems : A complete Review of periodical literature*, Springer Verlag, Berlin.
- [FRON 1994] Fron A. (1994). *Programmation par contraintes*, éd. Addison-Westley France, ISBN 2-87908-062-2.
- [FROSSARD 1997] Frossard M. et A. Jourdain, (1997). "De l'Observation à la Décision," *Actualité et Dossier en Santé Publique*, Dossier N°. 19, pp. XXI-XXIII.
- [GABBANI 1986] Gabbani D. and M. Magazine (1986) "An Interactive Heuristic Approach for Multi-Objective Integer Programming Problems," *Journal of Operational Research Society*, Vol. 37, N°. 3, pp. 285-291.
- [GAUTHIER 1993] Gauthier P. (1993). "Heurs et Malheurs de la Planification Hospitalière," *Gestions Hospitalières*, N°. 326, pp. 350-354.
- [HAUT COMITE 1998] Haut Comité de la Santé Publique (1998). "Allocation Régionale des ressources et réduction des inégalité de santé," *Rapport à la Conférence Nationale de la Santé 1998*, pp. 3-143..
- [HENRARD 1995] Henrard J.L. (1995). "Planification et Programmation des Equipements," *Les Nouveaux Outils de Planification Sanitaire*, Actualité & Dossier en Santé Publique, Vol. 11, pp. VI-VII.
- [HEUS 1996] Heus K. (1996). *Gestion des Plannings Infirmiers, Application des Techniques de Programmation par Contraintes*, thèse de doctorat, université Grenoble1.
- [HILLIER 1972] Hillier F. and G. Lieberman (1972) "*Introduction to Operations Research*," ed. holden-day (9<sup>ième</sup> édition), pp. 714-741.
- [HIPEL 1993] Hipel K. W., K. J. Radford and L. Fang (1993). "Multiple Participant – Multiple Criteria Decision Making," *IEEE Transaction on System, Man, and Cybernetics*, Vol. 23, N°. 4, pp. 1184-1189.
- [HIRSCHFIELD 1995] Hirschfield A., P.J.B. Brown and P. Bundred (1995). "The Spatial Analysis of Community Health Services on Wirral Using Geographic Information Systems," *Journal of Operational Research Society*, Vol. 46, pp. 147-159.
- [HYMAN 1971] Hyman J. (1971). "Empirical Research on the Demand for Health Care," *Inquiry*, Vol. 8, N°1, pp. 61-71.
- [JARMAN 1983] Jarman B. (1983) "Identification of Underprivileged Areas," *British Medical Journal*, Vol. 286, pp. 1705-1708.
- [JOURDAIN 1995] Jourdain A. et M. Frossard, (1995) "Les nouveaux outils de planification sanitaire," *Actualité et Dossier en Santé Publique*, Dossier N°. 11, pp. II-III.
- [JUNGERS 1988] Jungers P., J. Zingraff, N.K. Man, T. Drüeke et B. Tardieu (1988). *L'essentiel sur l'hémodialyse*, éd. Masson, Coll. Tardieu, 3<sup>o</sup> édition, ISBN 2-225-81541-0.
- [JURGENS 1998] Jungers P., N. K. Man, C. Legendre (1998). *L'insuffisance rénale chronique: prévention et traitement*, éd. Flammarion, Coll. Médecine-Sciences, ISBN 2-257-15556-4.
- [KEENAN 1995] Keenan P. (1995). *Using a GIS as a DSS Generator*, Department of Management Information Systems Michael Smurfit Graduate School of Business, University College Dublin, Working Paper MIS 95-9
- [KEENEY 1976] Keeney R. L. and Raiffa H. (1976). "*Decisions with Multiple Objectives: Preference and Value Tradeoffs*," New York: Wiley.

- [KEENEY 1988] Keeney R. L. (1988). "Structuring Objectives for Problems of Public Interest," *Operations Research*, Vol. 36, N° 3, pp. 396-504.
- [KERLEAU 1998] Kerleau M. (1998). "L'hétérogénéité des pratiques médicales, enjeu des politiques de maîtrise des dépenses de santé," *Sciences sociales et santé*, Vol. 16, N°4, pp. 5-32.
- [KERSTEN 1990] Kersten G. E. and G. R. Mallory (1990). "Supporting Problem Representation in Decisions with Strategic Interactions," *European Journal of Operational Research*, Vol 46, pp. 200-215.
- [KERSTEN 1997] Kersten G. and D. Cray (1997). *Perspective on Representation and Analysis of Negotiation*, Working Paper.
- [KERVASBOUE 1993] Kervasboue (de) J. (1993). *L'Hôpital face aux Besoins de Santé – Structure, Culture et Besoins de Santé*, Intervention à l'ENSP, 22 et 23 septembre.
- [KIZILTAN 1983] Kiziltan G. and E. Yucaoglu (1983). "An Algorithm for Multiobjective Zero-One Linear Programming," *Management Science*, Vol. 29, pp. 1444-1453.
- [KLEIN 1982] Klein D. and E. Hannan (1982). "An Algorithm for the multiple Objective Integer Linear Programming Problem," *European Journal in Operational Research*, Vol. 9, pp. 378-385.
- [LE GRAND 1984] Le Grand J. (1984). "Equity as an Economic Objective," *Journal of Applied Philosophy*, Vol. 1, N° 1, pp. 39-51.
- [LESUR 1997] Lesur P. (1997). *L'insuffisance rénale chronique en Alsace*, rapport, service médical de la région Alsace-Moselle, Assurance Maladie, sécurité sociale.
- [LEVINE 1989] Levine P. et J.C. Pomerol (1989). *Système Interactif d'Aide à la Décision et Système Expert*, éd. Hermès, Coll. Traité des nouvelles technologies, ISBN 2-866-01188-0.
- [LINSOLAS 1995a] Linsolas R. (1995) "Limites et ambitions des SROS," *Management Hospitalier, restructurations régionales du Système de Soins: Quelle Dynamique d'Acteurs?*, Journées de la SO.F.S.TEC., Montpellier, France, 1 et 2 juin.
- [LINSOLAS 1995b] Linsolas R. (1995). "L'Elaboration des SROS – une Méthodologie Variée," *Les Nouveaux Outils de Planification Sanitaire*, Actualité & Dossier en Santé Publique, Vol. 11, pp. XX-XXII.
- [LOMBRAIL 1994] Lombrail P., E. Minvielle, L. Commar and S. Gottot (1994). "Programme de Médicalisation des systèmes d'Information et épidémiologie : une liaison qui ne va pas de soi," *Revue d'Epidémiologie et Santé Publique*, Vol. 42, pp. 334-343.
- [LOTH 1995] Loth A. (1995). "Contraintes et objectifs d'une politique de santé," annexe 12, *Livre blanc sur le système de santé et d'assurance maladie*, éd. La documentation Française, Coll. Rapports officiels, pp. 359-371.
- [LUCAS 1997] Lucas V. et F. Tonnelier (1997). "Les Indicateurs de Santé en Milieu Urbains et Zones Rurales Aujourd'hui," *Géographie de la Santé, Actualité et Dossier en Santé Publique*, N° 19, pp. XVI-XX.
- [MALCZEWSKI 1990] Malkzewski J. and W. Ogryczak (1990). "An Interactive Approach to the Central Facility Location Problem : Locating Pediatric Hospitals in Warsaw," *Geographical Analysis*, Vol 22, N° 3, pp. 244-258.

- [MARCOTTE 1986] Marcotte O. and R. M. Soland. (1986) "An Interactive Branch-and-Bound Algorithm for Multiple Criteria Optimization," *Management Science*, Vol. 32, N° 1, pp. 61-75.
- [MAYHEW 1980a] Mayhew L.D. and A. Taket (1980). *RAMOS: A Model of Health Care Resource Allocation in Space*, Working Paper WP-80-125, IIASA.
- [MAYHEW 1980b] Mayhew L.D. (1980). *The Regional Planning of Health Care Services: RAMOS and RAMOS<sup>1</sup>*, Working Paper WP-80-166, IIASA.
- [MAYHEW 1982] Mayhew L. D. and G. Leonardi (1982). "Equity, Efficiency, and Accessibility in Urban and Regional Health-Care Systems," *Environment and Planning A*, Vol. 14, pp. 1479-1507.
- [MAYS 1995] Mays N. (1995). "Geographical Resource Allocation in the English National Health Service, 1971-1994: The tension between Normative and Empirical Approaches," *International Journal of Epidemiology*, Vol. 24, N° 3(Suppl. 1), pp. S96-S102.
- [MAYSTRE 1994] Maystre L. Y., J. Pictet et J. Simos (1998). *Méthodes multicritères ELECTRE*, Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, ISBN 2-88074-267-6.
- [MIZRAHI 1963] Mizrahi A., A. Mizrahi et G. Rösch (1963). "Les champs d'action des équipements hospitaliers," *Consommation*, Annales du CREDOC, N°3, pp. 61-106.
- [MIZRAHI 1982] Mizrahi A. and A. Mizrahi (1982). *La Consommation Médicale, Micro-économie*, PUF, Coll. l'économiste, ISBN 2-1303-6997-9.
- [NARULA 1984] Narula S. C. (1984). "Hierarchical Location-Allocation Problems: A Classification Scheme," *European Journal of Operation Research*, Vol. 15, pp. 93-99.
- [NARULA 1994] Narula S. C. and V. Vassilev (1994). "An Interactive Algorithm for Solving Multiple Objective Integer Linear Programming Problems," *European Journal of Operational Research*, Vol. 79, pp. 443-450.
- [NIJKAMP 1988] Nijkamp P. and A. Reggiani (1988). "Entropy, Spatial Interaction Models and Discrete Choice Analysis: Static and Dynamic Analogies," *European Journal of Operational Research*, Vol. 36, pp. 186-196.
- [OTHMANI 1998] Othmani I. (1998). *Optimisation Multicritère: Fondements et Concepts*, thèse de doctorat, Université Grenoble 1.
- [PAMPALON 1995] Pampalon R., A. Saucier, N. Berthiaume, P. Ferland, R. Couture, P. Caris, L. Fortin, D. Lacroix et R. Kirouac (1995). "Le choix d'indicateur de besoins pour l'allocation régionale des ressources au Québec," *Solidarité Santé*, N°3, pp. 93-114.
- [PAMPALON 1997] Pampalon R., M. Rochon, J. Piché, C. Barriault, N. Berthiaume, P. Ferland, M. Levasseur et A. Saucier (1997). *Indicateur global de besoins pour l'allocation interrégionale des ressources publiques en santé et services sociaux*, Québec.
- [PASQUIER 1995] Pasquier C. (1995). "Analyse et Conception Orientées Objet," in: Synthèses Informatiques CNAM, *L'Approche Objet* (HERMES), pp. 15-55.
- [PINEAULT 1995] Pineault R. and C. Davaluy (1995). *Planification de la Santé: Concepts, Méthodes, Stratégie*, Montréal: Agence d'Arc Inc.

- [POLTON 1995] Polton D. (1995). "Le PMSI: où en est-on?," Annexe 6, *Livre blanc sur le système de santé et d'assurance maladie*, éd. La documentation Française, Coll. Rapports officiels, pp. 281-288.
- [POMEROL 1992a] Pomerol J.C. (1992). "Autour du concept de décision assistée par ordinateur," *Revue des Systèmes de Décision*, Vol.1, N°. 1, pp.11-13.
- [POMEROL 1992b] Pomerol J.C. (1992). "Aide à la décision et IA," *l'Intelligence Artificielle une Discipline et un Carrefour Inter-disciplinaire*, AFIA-92, pp. 147-149.
- [POMEROL 1995] Pomerol J.C. (1995). "The Role of the Decision Maker in DSSs and Representation Levels," *Proceedings of the 28<sup>th</sup> Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 42-51.
- [POMEROL 1997] Pomerol J.C. (1997). "Artificial Intelligence and Human Decision Making," *European Journal of Operational Research*, Vol. 99, pp. 3-25.
- [PORTOS 1995] Portos J. L. (1995). "Les Variations Géographiques de la Pratique Médicale," Annexe 3, *Livre blanc sur le système de santé et d'assurance maladie*, éd. La documentation Française, Coll. Rapports officiels, pp. 265-273.
- [RAFTERY 1993] Raftery J. (1993). "Capitation Funding: Population, Age, and Mortality Adjustments for for Regional and District Health Authorities in England," *British Medical Journal*, Vol. 307, N°. 6912, pp. 1121-1124.
- [REVELLE 1977] ReVelle C., D. Bigman, D. Schilling, J. Cohon and R. Church (1977). "Facility Location: A Review of Context-free and EMS Models," *Health Services Research*, Summer, pp. 129-146.
- [RIFAI 1990] Rifai A. K., J. O. Pcenta (1990) "An Application of Goal Programming in Healthcare Planning," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 10, N°.3, pp. 28-37.
- [SAATY 1986] Saaty T. L. (1986). "Axiomatic Foundation of the Analytic Hierarchy Process," *Management Science*, Vol. 32, N°.7, pp.841-855.
- [SAKAROVITCH 1984] Sakarovitch M. (1984) "*Programmation Discrète - Optimisation combinatoire, méthodes mathématiques et algorithmes -*," éd. Hermann, éditeurs des Sciences et des Arts, chapitre 6, pp. 129-143.
- [SCHENCKERMAN 1994] Schenckerman S. (1994). "Avoiding rank reversal in AHP decision-Support Models," *European Journal of Operational Research*, Vol. 74, pp.407-419.
- [SCHOLL 1996] Scholl M., A. Voisard, J.P. Peloux, L. Raynal et P. Rigaux (1996). "*SGBD Géographiques - Spécificité -*," International Thomson Publishing France, ISBN 2-84180-051-2.
- [SCHULTZ 1970] Schultz G. P. (1970). "The Logic of Health Care Facility Planning," *Socio-Economic Planning Science*, Vol. 4, pp. 383-393.
- [SEGALL 1989] Segall R. S. (1989). "Some Nonlinear Optimization Modelling for Planning Objectives of Large Market-oriented Systems: with an Application to Real Health Data," *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 13, pp. 203-214.
- [SEGALL 1992] Segall R. S. (1992). "Deterministic Mathematical Modelling for the Spatial Allocation of Multi-categorical Resources: with an Application to Real Health Data," *Journal of Operational Research Society*, Vol. 43, N°. 6, pp. 579-589.
- [SEN 1996] Sen A. and T. E. Smith (1996). "*Gravity Models of Spatial Interaction Behavior*," éd. Springer, Coll. Advances in Spatial and Network Economics, ISBN 3-540-60026-4.

- [SHROFF 1998] Shroff H. F. E., T. R. Gullede, K. E. Haynes and M. K. O'Neill (1998). "Siting Efficiency of Long-term Health Care Facilities," *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 32, N°. 1, pp. 25-43.
- [SINUANY-STERN 1993] Sinuany-Stern Z. (1993). "A Network Optimization Model for Budget Planning in Multi-Objective Hierarchical Systems," *Journal of Operational Research Society*, Vol. 44, N°. 3, pp. 297-308.
- [SOLAND 1979] Soland R. M. (1979) "Multicriteria Optimization : A General Characterization of Efficient Solutions," *Decision Science*, N°. 10, pp. 26-38.
- [SOUBIE 1995] Soubie R., J.L. Portos et C. Prieur (1995) *Livre Blanc sur le Système de Santé et d'Assurance Maladie – Rapport au Premier ministre* -, éd. La documentation Française, Coll. rapports officiels, Paris, Deuxième tirage, ISBN 2-11-003300-2.
- [SPECHT 1993] Specht P. H. (1993). "Multicriteria Planning Model for Mental Health Services Delivery," *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 13, N°. 9, pp.62-71.
- [TANSEL 1983] Tansel B. C., R. L. Francis and T. J. Lowe (1983). "State of the Art – Location on Network: A Survey - Part I: The p-center and p-median problems," *Management Science*, Vol. 29, N°. 4, pp. 482-497.
- [TEGHEM 1985] Teghem J. and P. L. Kunsch (1985)." Interactive Methods for Multi-Objectives Integer Linear Programming," in: G. Fandel, M. Grauer, A. Kurzhanski and A. P. Wierzbiecki (eds.), *Large-Scale Modelling and Interactive Decision Analysis*, Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, Vol. 273, Springer-Verlag,, Berlin, pp. 75-87.
- [TEGHEM 1986] Teghem J. and P. L. Kunsch (1986) "A Survey of Techniques for Finding Efficient Solutions to Multi-objective Integer Linear Programming," *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, Vol. 3, N°.2, pp. 95-108.
- [THIENEL 1995] Thienel S. (1995) "*ABACUS - A Branch-and-Cut System*," PhD, université de Cologne, Chapitre 1.
- [TIEN 1983] Tien J. M., K. El-Tell and G. R. Simons (1983). "Improved Formulations to the Hierarchical Health Facility Location - Allocation Problem," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC-13, N°. 6, pp. 1128-1132.
- [TIEN 1984] Tien J. M. and K. El-Tell (1984). "A Quasi-hierarchical Location- Allocation Model for Primary Health Care Planning," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-14, N°. 3, pp. 373-380.
- [TOMASSONE 1992] Tomassone R. et al. (1992). "*La Régression: Nouveaux Regards sur une Ancienne Méthode Statistique*," éd. Masson, Coll. Actualité Scientifiques et Agronomiques de l'INRA, 13, ISBN: 222582696X.
- [TRUCHET 1995] Truchet D. (1995). "La Loi de Juillet 1991," *Les Nouveaux Outils de Planification Sanitaire*, Actualité & Dossier en Santé Publique, Vol. 11, pp. VII-VIII.
- [TURENNE 1995] Turenne I. (de) (1995). "Les Outils de la Planification," *Les Nouveaux Outils de Planification Sanitaire*, Actualité & Dossier en Santé Publique, Vol. 11, pp. IX-XIX.

- [URLI 1995a] Urli B. and D. Beaudry (1995). "Une Approche Multicritère d'Allocation des Ressources Financières dans le Domaine de la Santé," *RAIRO Recherche Opérationnelle*, Vol. 29, N° 4, pp. 373-389.
- [URLI 1995b] Urli D. (1995). papiers de travail.
- [VALETTE 1996] Valette D. (1996). "Formation des trajectoires d'offre de soins: Les interactions Hôpital - Environnement," Thèse de troisième cycle, Paris Dauphine.
- [VASSILEV 1993] Vassilev V. and S. C. Narula (1993). "A Reference Direction Algorithm for Solving Multiple Objective Integer Linear Programming Problems," *Operations Research Society*, Vol. 44, N°. 12 pp. 1201-1209.
- [VATIMBELLA 1993] Vatimbella A. (1993) "Santé et économie," éd. Syros, Coll. Alternatives économiques, ISBN 2-86738-883-X.
- [VIGNERON 1997] Vigneron E. (1997). "Santé, société, inégalités géographiques en France," *Géographie de la Santé, Actualité et Dossier en Santé Publique*, N°. 19, pp. XII-XVI.
- [VILLAREAL 1981] Villareal B. and M. H. Karwan (1981) "Multi-criteria Integer Programming: A (Hybrid) Dynamic Programming Recursive Approach," *Mathematical Programming*, Vol.21, pp. 204-223.
- [VINCKE 1989] Vincke P. (1989). *L'aide Multicritère à la décision*, éd. Marketing, éditions de l'Université de Bruxelles, Ellipses, ISBN 2-8004-0970-3.
- [WENNBERG 1987] Wennberg J.E. (1987) "Population illness rates do not explain population hospitalization rates. A comment on Mark Blumberg's thesis that morbidity adjusters are needed to interpret small area variations" *Medical Care*, Vol. 25, pp. 354-359.
- [WIERZBICKI 1982] Wierzbicki A. P. (1982). "A Mathematical Basis for Satisficing Decision Making," *Mathematical Modelling*, Vol. 3, pp. 391-405.
- [WIERZBICKI 1992] Wierzbicki A. P., M. Makowski (1992). "Multi-Objective Optimization in Negotiation Support," Working Paper, WP-92-007, IIASA.
- [WILSON 1990] Wilson G. (1990). "Combining Multiple Criteria for Regional esources Allocation in Health Care Systems," *Mathematical and Computer Modelling*, Vol. 13, N° 8, pp. 15-27.
- [WILSON 1990] Wilson R. M. and Gibberd R. W. (1990). "Combining Multiple Criteria for Regional Resource Allocation in Health Care Systems," *Mathematical Computation Modelling*, Vol. 13, N°. 8, pp.15-27.
- [WILSON 1990] Wilson R. M. and Gibberd R. W. (1990). "Combining Multiple Criteria for Regional Resource Allocation in Health Care Systems," *Mathematical Computation Modelling*, Vol. 13, N°. 8, pp.15-27.
- [WONG 1973] Wong A. K. C. and T. Au (1973). "Regional Planning of Health Care Facilities," *IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. SMC-3, N°. 5, pp. 485-496.







## Table des figures

Figure 1: Organisation liée à l'élaboration de la politique régionale d'hospitalisation.....	9
Figure 2: Représentation d'une région sous forme d'un graphe .....	21
Figure 3 : Système de soins hospitaliers. ....	25
Figure 4 : Modélisation du système de santé Andalous. ....	28
Figure 5: Arborescence associée à une organisation à m niveaux. ....	32
Figure 6 : Principe des SIAD suivant Sprague.....	55
Figure 7: Architecture générale de HERO .....	56
Figure 8:Hiérarchie des objectifs .....	71
Figure 9: Architecture générale de HERO .....	81
Figure 10: Architecture d'un SIG .....	84
Figure 11: Liste de patients par canton et représentation géographique .....	85
Figure 12: Résultat d'une analyse thématique: le nombre d'accouchements.....	86
Figure 13: Résultat de l'analyse thématique: nombre d'accouchement / nombre de lits en obstétrique.	86
Figure 14: Résultat de l'analyse thématique: nombre de césariennes / nombre d'accouchements .....	87
Figure 15: Fonctionnement du module de résolution .....	89
Figure 16: Algorithme général de la recherche de solution .....	90
Figure 17: Exemple de solutions efficaces entières .....	92
Figure 18:Exemple de l'application de l'algorithme.....	99
Figure 19: Algorithme détaillé de recherche de solution .....	102
Figure 20: Exemple d'objet "Etablissement sanitaire" .....	104
Figure 21: Exemple d'objet "Population" .....	105
Figure 22: Répartition des patients de l'AURAL toute technique confondue (1998) .....	113
Figure 23: Répartition des patients traités par auto-dialyse .....	114
Figure 24: Répartition des patients traités par auto-dialyse médicalisée .....	114
Figure 25: Situation géographique des différentes unités et répartition calculée de la demande.....	116
Figure 26: Visualisation du scénario et données relatives à l'unité de Haguenau.....	121
Figure 27: Première solution proposée par HERO .....	122
Figure 28: Valeurs des attributs de l'unité située à Illkirch.....	123
Figure 29: Seconde solution proposée par HERO .....	123



## **Table des tableaux**

Tableau 1 : Récapitulatif des attributs proposés .....	75
Tableau 2: Identification des unités et données sur leur activité en 1997.....	115
Tableau 3 : Nombre des postes affectés aux unités dans chacune des solutions.....	124



## **Annexes**

<b>ANNEXE A: Description du PMSI</b>	<b>i</b>
<b>ANNEXE B: Description du SAE</b>	<b>v</b>

## *DESCRIPTION DU PMSI<sup>57</sup>*

Le PMSI (Programme Médicalisé du Système d'Information) est une base de données créée pour fournir des informations pertinentes à l'évaluation de l'activité du système hospitalier ; l'évaluation de la production et de l'activité des établissements devant servir à optimiser la répartition des ressources et notamment financières entre les différents établissements. Le PMSI regroupe de manière exhaustive des informations sur l'ensemble des hospitalisations enregistrées en médecine, chirurgie ou obstétrique, soit en court séjour, dans le système hospitalier public et assimilé (...). Les informations qu'il recueille sont médicales et non médicales, en nombre limité et faciles à collecter en routine.

Pour chaque hospitalisation, le PMSI enregistre les données contenues dans le Résumé de Sortie Standardisé (RSS) et des données non médicales.

Le formulaire RSS doit être rempli à la fin de chaque hospitalisation. Il comporte en plus de renseignements relatifs au patient (l'âge, le sexe, l'origine géographique) :

- ✓ le diagnostic principal, à l'origine de l'hospitalisation et les diagnostics secondaires Ces informations sont codées selon la classification internationale des maladies ;
- ✓ les actes principaux pratiqués durant l'hospitalisation. Le codage des actes utilise le Catalogue Des Actes Médicaux (CDAM). Ce catalogue est une nomenclature spécialement élaborée pour le PMSI ;
- ✓ le mode d'entrée et le mode de sortie du patient.

Ces formulaires de sortie sont rassemblés dans le Département d'Information Médicale (DIM) de l'établissement d'accueil. Le rôle de ce service, en plus de collecter l'ensemble des RSS, est de les rendre anonyme, et d'affecter chaque patient à un Groupe Homogène de Malades (GHM). Ces groupes sont conçus pour être « iso-ressources », c'est à dire qu'ils rassemblent des pathologies dont le traitement nécessite le recours (l'utilisations) aux mêmes ressources. Le classement des RSS s'effectue grossièrement de la manière suivante :

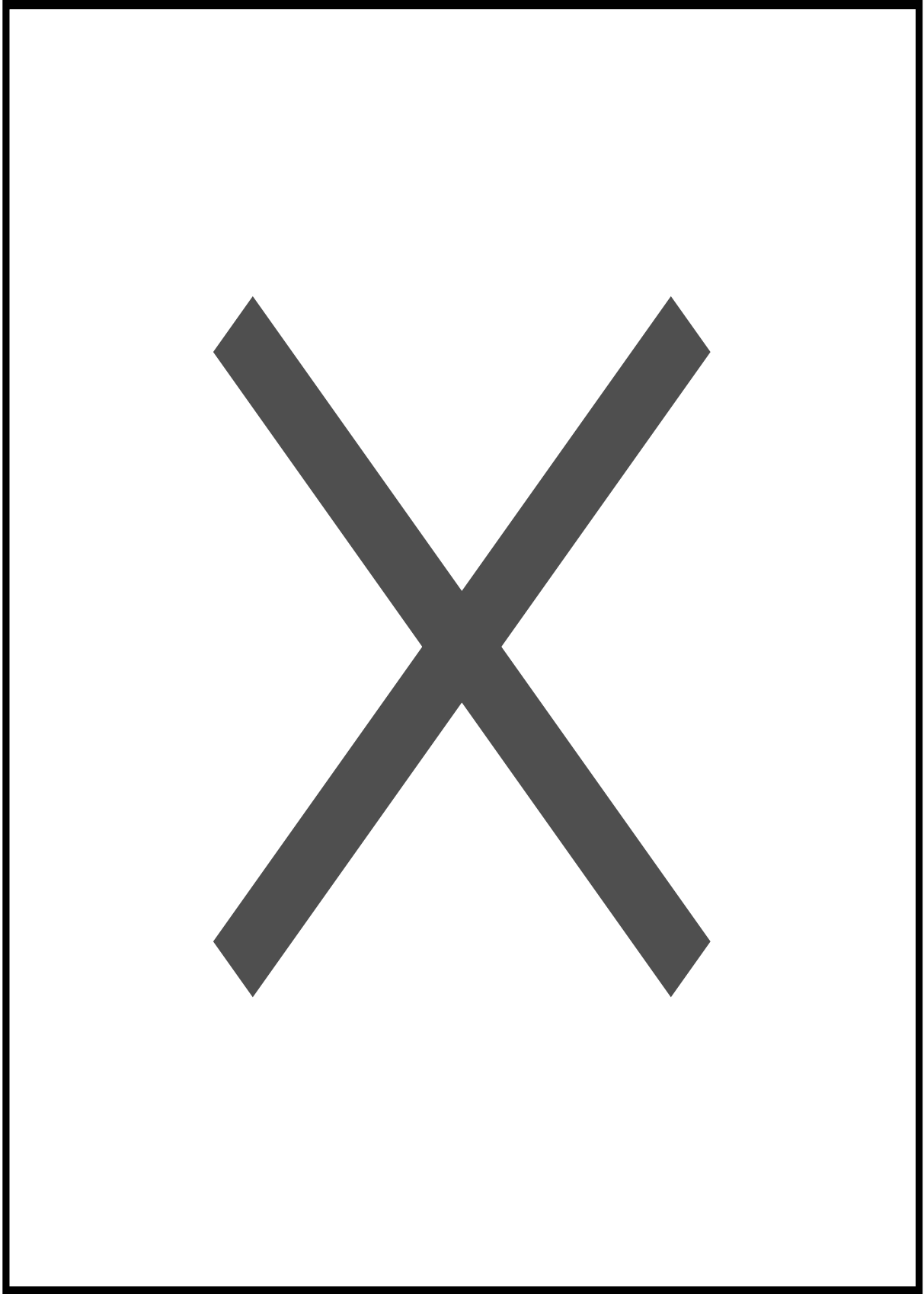
- ✓ affectation du patient à une Catégorie Majeure de Diagnostic (CMD) en fonction du diagnostic principal. Chaque CMD correspond à un organe ou à un système fonctionnel ;
- ✓ s'il existe un acte chirurgical, il est affecté à un GHM chirurgical, en fonction de cet acte et pour certains actes de l'âge du patient et/ou de la présence de complications correspondant à des diagnostics associés ;
- ✓ s'il n'existe pas d'acte chirurgical, il est affecté à un GHM médical, en fonction du diagnostic principal, et pour certain diagnostic de l'âge du patients et/ou de la présence de complications correspondant à des diagnostics associés.

Ces données médicales sont complétées par des informations non médicales, collectées dans les services de gestion. Ces informations concernent le séjour du patient, soit :

- ✓ la durée du séjour ;
- ✓ le nombre d'actes effectués par les différents services de l'établissement ;
- ✓ le nombre de services dans lesquels le patient a séjourné ;
- ✓ la date de sortie (en mois et année).

Les fichiers de chaque établissement sont ensuite rassemblés au niveau régional puis national pour former les PMSI régionaux et national.

<sup>57</sup> Cette description s'est largement inspirée de [JOURDAN 1996] et [POLTON 1995].



## ***DESCRIPTION DU SAE*** <sup>58</sup>

Le SAE est une enquête nationale exhaustive qui se déroule tous les ans. Elle permet de collecter, au niveau régional, des informations sur l'équipement et l'activité, les personnels médicaux et non médicaux et des données financières pour les établissements de santé, publics et privés, et structures gestionnaires d'équipements soumis à autorisation.

Ces informations, à l'exception des données financières, sont disponibles sous la forme d'une fiche de synthèse éditée par établissement ou entité juridique, et au niveau du secteur sanitaire, du département, de la région. Ci contre, une fiche de synthèse vierge.

---

<sup>58</sup> *Statistique Annuelle des Etablissements de santé*



