



Yahya BOUZOUBAA

Né : 21.12.1985

Adresse : Laboratoire LCOMS - UFR MIM –

3 rue Augustin Fresnel

57073 METZ – France

Portable : (+33) 6 28 83 88 88

Email : yahya.bouzoubaa@univ-lorraine.fr

FORMATION UNIVERSITAIRE

2013 - 2017 Université de Lorraine, Laboratoire LCOMS — **Doctorat en Informatique**

2012 - 2013 Université de Lorraine – **Master 2 Informatique** spécialité
Modélisation par le Logiciel. Mention Bien

ACTIVITÉ DE RECHERCHE

✓ **DOCTORANT EN INFORMATIQUE, LCOMS (LABORATOIRE DE CONCEPTION, OPTIMISATION ET MODÉLISATION DES SYSTÈMES); METZ – OCTOBRE 2013 - NOVEMBRE 2017**

Sujet : Méthodes exactes et heuristiques pour l'optimisation de l'agencement d'un logement – application aux situations de handicap –

Encadré par **Anass NAGIH** Professeur des universités à l'Université de Lorraine (spécialiste en optimisation), **Alain PRUSKI** Professeur des universités à l'Université de Lorraine (spécialiste dans le domaine des assistances aux personnes handicapées), **Christian MINICH** Maître de conférences à l'université de Lorraine (spécialiste en modélisation géométrique).

✓ **STAGE DE FIN D'ETUDE, LCOMS (LABORATOIRE DE CONCEPTION, OPTIMISATION ET MODÉLISATION DES SYSTÈMES); METZ – MARS - SEPTEMBRE 2013**

Sujet : Optimisation de la gestion des ressources pour un développement durable :
– Système informatique d'aide à l'aménagement du territoire –

Encadré par le Pr **Anass NAGIH** Professeur des universités à l'Université de Lorraine.

Élaboration des indicateurs de décisions et des mesures des impacts ;

- Élaboration d'une méthode pour l'évaluation des impacts des politiques sous-jacente ;
 - Élaboration d'un schéma de modélisation et de résolution.

PUBLICATIONS

✓ **CONFERENCES INTERNATIONALES**

- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski: **Evaluating the adaptation of a dwelling to a disabled person: a graph-based approach**, CIE45, Int. Conf. Computers & Industrial Engineering, Metz, France, Octobre 28-30, 2015, vol 2, pp. 728 -735.
- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski: **Synthesis of a dwelling layout as a packing problem using objects of varying sizes**, CODIT, Int. Conf. CONtrol, Decision and Information Technologies, Saint Juilian's, Malte, Avril 6-8, 2016, pp. 758-762.

✓ **CONFERENCES NATIONALES**

- Y.Bouzoubaa, C.Minich, A.Nagih, A.Pruski: **Système informatique d'évaluation de l'adéquation d'un logement à un futur occupant handicapé**, JCJC'15, Colloque Jeunes Chercheuses Jeunes Chercheurs Handicap, Vieillesse, Indépendance, Insertion, Technologies, IFRATH, Paris, France, Juin 2015

✓ **RAPPORT MINISTERIEL**

- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski: **Adaptation automatisée d'un logement aux besoins d'un futur occupant handicapé**, Recherche & Accessibilité, Tome1, Ministère du logement, de légalité des territoires et de la ruralité, Ministère de l'écologie, du développement durable et de l'énergie, Paris, septembre 2015

PARTICIPATIONS AUX MANIFESTATIONS

✓ **RENCONTRES**

- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski : **Optimisation de l'accessibilité dans un environnement intérieur**. Poster, 2e Rencontres de l'Habitat Innovant et Solidaire (HIS), Le conseil départemental de la Moselle, Metz, 3 Novembre 2015

✓ **ÉCOLE DOCTORALE**

- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski: **Decision support tool for the adaptation of a dwelling to a disabled person**. Poster, Journée de l'école doctorale IAEM, Nancy, 15 Octobre 2015

✓ **LABORATOIRE LCOMS**

- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski: **Évaluation de l'aménagement d'un logement**. Présentation de l'avancement des travaux, Journée du LCOMS, Metz, 16 Décembre 2014
- Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski: **Evaluating the adaptation of a dwelling to a disabled person : a graph-based approach**. Présentation de l'avancement des travaux, Journée du LCOMS, Metz, 15 Décembre 2015

ACTIVITIÉS D'ENSEIGNEMENT

✓ **ATER À PLEIN TEMPS, UNIVERSITÉ DE LORRAINE, DEPARTEMENT MI (MATHÉMATIQUE INFORMATIQUE), METZ – ANNÉES UNIVERSITAIRES 2017-2018**

- Programmation objet avancée, Master 1, cours magistral (5h) et Travaux dirigés (16h) ;
- Réseau, Master 1, Travaux dirigés (32h) ;

- *Modélisation et interrogation de la base de données, Licence 3, Cours magistral (13,5h) et Travaux dirigés (40h) ;*
- *Logique du premier ordre, Licence 2, Cours magistral (10h) et Travaux dirigés (18h) ;*
- *Algorithmique et programmation, Licence 1, Travaux dirigés (14h) ;*
- *C2i, Licence 1, Travaux pratiques (36h).*

✓ **ATER À MI-TEMPS, UNIVERSITÉ DE LORRAINE, DEPARTEMENT SPI-EEA (SCIENCES POUR L'INGENIEUR, ELECTRONIQUE, ENERGIE ELECTRIQUE, AUTOMATIQUE), METZ – ANNÉES UNIVERSITAIRES 2016-2017**

- *Algorithmique avancée, Licence 3, Travaux Dirigés : 16h ;*
- *Introduction à la programmation événementielle, Licence 3, Travaux pratiques : 32h ;*
- *Capteurs intelligents (Développement mobile), Licence 3, Travaux pratiques : 32h ;*
- *Programmation orientée objet, Master 1, Travaux pratiques : 16h ;*

✓ **MONITEUR EN INFORMATIQUE, UNIVERSITÉ DE LORRAINE, DEPARTEMENT INFORMATIQUE, METZ – ANNÉES UNIVERSITAIRES 2013-2016**

- *Introduction à la Recherche Opérationnelle - Modélisation par les graphes et problèmes de cheminements dans les graphes, Licence 3, Travaux Dirigés : 2*15h ;*
- *Réseau, Licence 3, Travaux pratiques : 4*12h ;*
- *Méthodologie de conception et de programmation, Licence 1, Travaux pratiques : 3* 24 h ;*
- *Algorithmique & Programmation 2, Licence 1, Travaux pratiques : 16h ;*
- *C2i, Licence 1, Travaux pratiques : 3*14h.*

Titre de la thèse :

Méthodes exactes et heuristiques pour l'optimisation de l'agencement d'un logement – application aux situations de handicap –

Résumé

Le volet applicatif de cette thèse porte sur **l'agencement d'un logement** destiné à une personne en situation de handicap. L'agencement désigne le choix de la position, de la forme et des dimensions des pièces, des portes et des couloirs. L'agencement est généralement élaboré par un architecte, dans le respect d'un nombre si élevé de contraintes qu'il lui est difficile de parvenir qu'il parvienne à toutes les satisfaire : il y a d'abord des contraintes architecturales évidentes : non recouvrement des pièces, largeur suffisante des couloirs, accessibilité à tout point du lieu à partir de tout autre point, nécessité de placer certaines pièces sur des arrivées ou évacuations ... Il y a ensuite les contraintes imposées par le handicap : largeur accrue des couloirs (déplacement en fauteuil), nécessité d'assurer un effort quotidien minimum (lutte contre le vieillissement), limitation des escaliers (asthme sévère), éloignement d'une pièce des murs mitoyens (surdité) Et il y a finalement les souhaits exprimés par le futur occupant, par exemple minimiser certains trajets, maximiser l'éloignement entre deux pièces ou imposer l'orientation d'une pièce.

D'un point de vue formel, notre travail a consisté à développer d'une part des modèles mathématiques et des méthodes algorithmiques capables de gérer ces contraintes et d'autre part des prototypes logiciels opérationnels. Les méthodes élaborées relèvent de deux approches : **l'optimisation** d'un agencement conçu par l'architecte et **la synthèse** d'un agencement sans suggestion initiale de l'architecte.

La **synthèse** d'un plan a été abordée comme un problème de type « bin-packing » (réputé NP-difficile) avec des contraintes additionnelles : les objets à placer - les pièces - ont des tailles variables et ils sont soumis à des contraintes fonctionnelles. La méthode de résolution s'appuie sur un premier modèle mathématique, qui prend la forme d'un programme quadratique (linéarisé par la suite) en variables mixtes. Elle a été appliquée avec succès pour placer les pièces d'un logement, pour les dimensionner, pour déterminer les couloirs assurant une complète **accessibilité** au logement et pour prendre en compte certaines **contraintes imposées par le handicap** du futur occupant. Un deuxième modèle mathématique a été élaboré pour le placement des portes et une heuristique a enfin été développée pour affecter l'espace occupé par les couloirs non indispensables aux pièces avoisinantes. La totalité de cette démarche a été programmée dans un prototype logiciel pleinement opérationnel.

Le deuxième ensemble de contributions concerne **l'optimisation d'un agencement existant**. Cette optimisation a été conçue comme un processus itératif enchaînant évaluation et modification (amélioration) d'un agencement. Il est décliné de quatre manières : une métaheuristique de type « recuit simulé » et trois méthodes de type « recherche locale », qui explorent l'espace des solutions en utilisant des voisinages spécialement définis. Cette approche a d'une part permis d'appréhender le caractère multicritère de cette problématique

et a d'autre part exigé la mise en œuvre de nombreux algorithmes géométriques. Ces travaux sont implantés dans un deuxième prototype logiciel.

Ce projet a nécessité la participation à de nombreuses manifestations au-delà du domaine de l'informatique, nationales et régionales, scientifiques et non-scientifiques, organisées par différents organismes politiques et associatifs travaillant sur la problématique du handicap et de l'accessibilité, afin de bien appréhender les attentes du monde scientifique et socioprofessionnel. Cette phase prospective a été concrétisée par la rédaction de nombreux rapports qui ont alimentés la bibliographie du mémoire de thèse.

Metz, le 1 février 2018

Pr. Alain Pruski
Laboratoire de Conception, Optimisation et Modélisation des Systèmes
Université de Lorraine
Alain.pruski@univ-lorraine.fr

Lettre de Recommandation

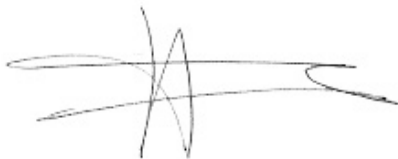
Je travaille avec Monsieur **Yahya Bouzoubaa** depuis septembre 2013 en tant que co-directeur de thèse. Son travail porte sur l'évaluation et la construction ou plutôt la reconstruction du lieu de vie pour personnes ayant des déficiences motrices.

D'un point de vue de la recherche, j'ai pu apprécier ses compétences scientifiques. Il a su tirer profit de ses connaissances en matière de traitements informatiques pour proposer une démarche originale afin de créer un logiciel permettant d'évaluer l'adaptation d'un environnement bâti aux capacités de son occupant.

Il convient d'ajouter que sa démarche a été complétée par une volonté constante d'applications, ce qui rend le travail de thèse encore plus important. Ainsi, les différentes approches proposées ont été testées sur des environnements réalistes. Ces travaux ont intéressé des personnes telles que des ergonomes impliqués directement dans les modifications des appartements pour personnes ayant eu des accidents de la vie et des personnes âgées.

Ces importants travaux de recherche ont été reconnus au point de vue national et international par de nombreuses publications scientifiques.

Metz, le 1/02/18



Alain PRUSKI
Université de LORRAINE
METZ

DOCTORAT DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Thèse soutenue le jeudi 30 novembre 2017 par

Yahya BOUZOUBAA

RAPPORT APRÈS SOUTENANCE

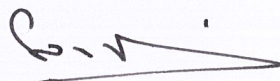
SIGNATURES DES MEMBRES DU JURY :

(merci d'indiquer le Président du Jury)

Madame Feng CHU



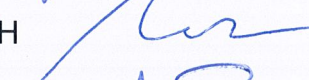
Madame Sourour ELLOUMI



Monsieur Mhand HIFI



Monsieur Christian MINICH



Monsieur Anass NAGIH



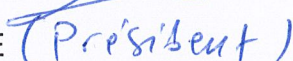
Monsieur Alain PRUSKI



Madame Nathalie SAUER



Monsieur Mohamed SLIMANE (Président)



Titre de la thèse :

Méthodes exactes et heuristiques pour l'optimisation de l'agencement d'un logement
- application aux situations de handicap -

RAPPORT APRÈS SOUTENANCE

Yahya BOUZOUBAA

Yahya Bouzoubaa a présenté son travail de thèse avec grande clarté et beaucoup de pédagogie. Sa présentation synthétique a mis en valeur ses contributions sur la modélisation et la résolution du problème d'agencement d'un logement.

Il a su faire partager à l'auditoire ses idées au croisement de plusieurs thèmes de recherche opérationnelle et d'informatique géométrique.


Durant la séance de questions, Yahya a répondu avec pertinence aux nombreuses questions du jury et a su dégager des perspectives à son travail.

Le jury a pu apprécier la quantité de travail réalisée par le candidat, notamment les développements informatiques pour démontrer la validité des modèles et méthodes pour le problème traité.

Compte tenu de tous ces éléments, le jury unanime félicite Yahya Bouzoubaa et lui décerne le titre de docteur de l'Université de Lorraine, spécialité Informatique.

Nom et signature du Président :

M. SLIMANE


Le 30/11/2017



Rapport sur le mémoire de thèse de Yahya BOUZOUBAA

Intitulé

Méthodes exactes et heuristiques pour l'optimisation de l'agencement d'un logement – application aux situations de handicap –

présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur de
l'Université de Lorraine

La thèse de Monsieur Yahya BOUZOUBAA, dirigée par le Professeur Anass NAGIH, le Professeur Alain PRUSKI et le docteur Christian MINICH, porte sur l'optimisation de l'agencement d'un logement appliquée aux situations de handicap. L'objectif de cette thèse est de développer de nouveaux modèles et méthodes pour concevoir et reconfigurer l'agencement d'un logement, spécialement pour les personnes à mobilité réduite. Ce type de problème présente un grand intérêt aussi bien scientifique que social. L'intérêt scientifique est grand, puisque ce type de problèmes est peu étudié dans la littérature. Et il a comme sous-problèmes les problèmes de « bin packing » et de « lay-out » qui sont déjà NP-difficiles. L'intérêt social est incontestable. Cette étude répond au grand enjeu politique de l'égalité des chances pour tous dont l'accessibilité pour tous est un aspect incontournable. Les résultats de cette étude fourniront une base pour l'automatisation de la conception et de la reconfiguration de l'agencement de logement et serviront sans doute à améliorer la vie de personnes en situation de handicap.

Présentation du document de thèse

Le manuscrit de thèse fait 219 pages. Il est composé d'une introduction, d'un état de l'art, d'un chapitre rappelant des modèles et des algorithmes géométriques, de deux chapitres consacrés à la synthèse et à l'amélioration d'un aménagement, et d'un chapitre de conclusions et de perspectives.

L'introduction expose brièvement les motivations de la thèse, ses principales contributions et l'organisation du manuscrit.

Le chapitre 1 présente un état de l'art. La définition du handicap, sa classification internationale et les réglementations sur l'accessibilité pour tous sont d'abord rappelées. Les notions d'aménagements d'un espace (du territoire et de l'intérieur) et

deux projets régionaux pour l'accessibilité aux personnes handicapées, ont été présentés. Ensuite, le lien entre le problème étudié et les problèmes de « bin-packing » et de « layout » classique a également identifié. Enfin, plusieurs travaux de l'agencement d'un logement pour personnes à mobilité réduite, en particulier le projet HM2PH (Habitat Modulaire et Mobile pour Personnes Handicapées) ont été analysés afin de positionner le problème étudié dans cette thèse.

Le chapitre 2 détaille de nombreuses notions, techniques et méthodes géométriques spécifiques à l'agencement d'un logement. Il permet d'appréhender le problème traité et de mieux comprendre des modèles et algorithmes développés dans les deux chapitres suivants. Néanmoins, cette partie d'état de l'art aurait pu être fusionnée avec le chapitre 1.

Le chapitre 3 est consacré à la synthèse (conception) d'un aménagement qui est décomposé en 3 sous-problèmes, à savoir 1) le placement et le dimensionnement des pièces ; 2) le placement des portes ; 3) la suppression des couloirs inutiles. Pour le premier sous-problème, deux modèles de programmation en nombres mixtes ont été établis. Pour les deux autres sous-problèmes, un programme en nombres entiers et une heuristique sont respectivement développés. Des expériences numériques ont été effectuées pour valider les deux programmes en nombres mixtes résolus par le logiciel commercial CPLEX. Il nous semble que le problème de placement et de dimensionnement ait déjà été étudié dans la littérature. Une indication précise sur les différences et les points communs entre les modèles proposés et ceux dans la littérature permettrait aux lecteurs de mieux appréhender les nouvelles contributions de ces modèles. Bien que des illustrations englobant la résolution des trois sous-problèmes permettent de mieux suivre la démarche scientifique du travail, il est dommage que les expérimentations soient effectuées seulement sur le problème de placement et de dimensionnement des pièces, mais non sur le problème global de synthèse d'un aménagement. Il est donc difficile d'évaluer la performance globale des modèles proposés.

Le chapitre 4 traite l'optimisation (reconfiguration) d'un agencement existant. Trois heuristiques de type « recherche locale » et une méta-heuristique de type « recuit simulé » ont été proposées. Les quatre heuristiques sont clairement présentées. Par contre, les expérimentations numériques n'ont pas été présentées dans le manuscrit pour évaluer et comparer les performances des méthodes proposées. Nous pouvons nous poser les questions suivantes : 1) est-ce que les modèles et l'heuristique proposés dans le chapitre 3 peuvent être utilisés pour l'optimisation d'un agencement existant ? 2) les heuristiques dans le chapitre 4 peuvent-elles être adaptées au problème de synthèse d'un aménagement dans le chapitre précédent ?

Dans **la conclusion générale**, le candidat rappelle les motivations de cette thèse, synthétise ses contributions et présente des perspectives intéressantes du travail.

Conclusion

Sur la forme, le manuscrit est globalement bien écrit et est riche en informations dans les domaines de l'informatique, de la géométrie et de la réglementation pour handicap. Mais il pourrait être plus synthétique et compact pour mieux présenter les nouvelles contributions de ce travail. Sur le fond, Monsieur Yahya BOUZOUBAA a su montrer ses compétences et connaissances dans les domaines de l'optimisation combinatoire, de la géométrie et des réglementations pour les personnes à mobilité réduite. Il faut aussi souligner que la problématique traitée dans cette thèse est très complexe, mais originale et importante du point de vue scientifique et social. Pour toutes ces raisons, je suis favorable à ce que Monsieur Yahya BOUZOUBAA soutienne sa thèse de Doctorat de l'Université de Lorraine.

Fait à Chengdu, le 30 octobre 2017



Feng CHU
Professeur des Universités
Université d'Evry Val d'Essonne



Pr. Mhand HIFI
Unité de Recherche EPROAD — EA4669
7 rue du Moulin Neuf – 80000 Amiens
Mail : hifi@u-picardie.fr



Rapport de Mhand HIFI, Professeur en Informatique à l'Université de Picardie Jules Verne sur le mémoire présenté par Monsieur Yahya BOUZOUBAA en vue de l'obtention du grade de docteur de l'Université de Lorraine, spécialité : *Informatique*.

Son document de thèse s'intitule : « **Méthodes exactes et heuristiques pour l'optimisation de l'agencement d'un logement — application aux situations de handicap** ».

Contexte

La thèse de Mr. BOUZOUBAA, co-dirigée par MM. Anass NAGIH (Pr.), Alain PRUSKI (Pr.) et Christian MINICH (MC), porte sur la résolution du problème d'agencement d'un logement à l'aide de méthodes exactes et heuristiques. Plus particulièrement, Mr. BOUZOUBAA étudie le problème d'agencement d'un logement en tenant compte de certaines spécificités liées à de futurs occupants. La problématique étudiée peut être considérée comme une variante plus complexe du problème de placement en deux-dimensions, où certaines contraintes se greffent à la problématique.

Comme beaucoup de variantes du problème de placement, l'agencement d'un logement est un modèle utile pour formaliser de nombreuses applications pratiques et peut apparaître comme sous-problème de certaines problématiques plus complexes. Cependant, la problématique étudiée dans cette thèse est NP-difficile et sa résolution représente un réel défi. Dans ce contexte, Mr. BOUZOUBAA propose des méthodes de décomposition, des modèles mathématiques mixtes et des méthodes algorithmiques exactes et heuristiques afin de déterminer des solutions de « bonne qualité » en un temps d'exécution raisonnable.

Analyse du mémoire

Le mémoire de thèse de 204 pages est organisé en 3 parties :

- La première partie (chapitres 1 et 2, 64 pages) est composée d'une description générale du contexte, d'un état de l'art sur le problème d'agencement étudié avec ses variantes et d'une introduction à la modélisation et aux algorithmes géométriques.
- La deuxième partie (chapitre 3, 47 pages) présente la première contribution principale du candidat, à savoir deux modèles mathématiques à variables mixtes pour le placement, une modélisation mathématique pour l'ajustement des portes et une méthode constructive permettant une première amélioration de la solution induite par les deux phases précédentes.
- La troisième partie (chapitre 4, 74 pages) est consacrée à la deuxième contribution (une heuristique) qui consiste à proposer une amélioration itérative d'un agencement à partir d'un plan donné tout en tenant compte de certains besoins et spécificités du futur occupant.

Finalement à ces chapitres, s'ajoutent une introduction générale, une conclusion ainsi qu'une bibliographie.

Le chapitre 1 est une présentation générale sur l'étude de l'aménagement d'un environnement intérieur adaptable à toute personne. On y souligne l'importance du caractère « handicap » sur les différentes variantes de la problématique et rappelle également quelques problématiques liées au placement et à la découpe. Le problème d'agencement étudié dans cette thèse est ensuite introduit et complété par une discussion sur des méthodes heuristiques existantes pour sa résolution, ou du moins une partie de la problématique. Notons que ce chapitre est dense et utile pour définir le contexte et le positionnement du problème étudié.

Le chapitre 2 présente des notions sur la modélisation et des algorithmes géométriques. Dans ce chapitre, le candidat expose le nécessaire, puisque certains de ces algorithmes seront utilisés dans les méthodes de résolution proposées dans les chapitres suivants de la thèse. Les différentes approches sont extraites du livre de Gardan, avec des exemples permettant de fluidifier la lecture.

Le chapitre 3 expose la première contribution du candidat en proposant de décomposer le problème d'agencement en trois phases. Une première phase pour le placement des éléments dans une surface bien définie incluant un ensemble de contraintes à respecter. Une deuxième phase d'affectation des portes au placement résultant de la première phase. Une troisième phase pour tenter une première amélioration du plan courant. Deux modèles mathématiques à variables mixtes ont été proposés pour répondre au sous-problème de placement représentant la première phase. Un autre modèle mathématique a été proposé pour l'affectation des portes (trouver un meilleur chemin à partir d'un graphe satisfaisant aux maximum les contraintes imposées). Finalement, une méthode approchée a été mise en place (troisième phase) afin de tenter la suppression de certains couloirs inutiles et d'améliorer le confort des éléments. Des résultats expérimentaux sont exposés sur différents jeux de test pour évaluer le comportement de la méthode à trois phases et ses limites (en utilisant le solveur Cplex avec une limite de temps imposée). Dans cette partie, deux versions de la méthode ont été affrontées : une version utilisant le modèle 1 de la phase I et une deuxième version utilisant le modèle 2 dans la phase de placement. Cette partie montre une légère supériorité de la première version sur le premier groupe d'instances testées (dites les instances de petite taille) et la supériorité de la deuxième version sur l'autre groupe d'instances (dites de grande taille).

Le chapitre 4 décrit la deuxième contribution du candidat : proposition d'une solution d'aide à la décision en partant d'un aménagement existant (plan), puis de proposer des améliorations itératives satisfaisant des besoins et des souhaits. Le candidat propose une première version en prenant en compte certaines contraintes, mais la solution reste adaptative puisqu'à tout moment de nouvelles contraintes peuvent être intégrées au logiciel. Dans ce chapitre, le candidat commence à rappeler la modélisation d'un aménagement en spécifiant les structures de données à utiliser par son (ou ses) approche(s). L'étape d'évaluation d'un aménagement prend place afin de produire le meilleur choix respectant les besoins, les souhaits de l'occupant et certaines considérations légales. Après un bref rappel sur la recherche locale et la présentation d'une série de définitions et d'opérateurs, quatre variantes à base de recherche locale sont proposées pour la résolution du problème d'aménagement : i) recherche locale avec modification aléatoire d'un aménagement courant, ii) une méthode de descente par sélection de la première solution améliorante (First Improvement Hill-Climbing : FIHC), iii) une méthode de descente par sélection de la meilleure solution améliorante (Best Improvement Hill-Climbing : BIHC) et, iv) une recherche stochastique basée sur le recuit simulé. Pour valider la solution améliorante, des résultats expérimentaux et comparatifs sont présentés et l'impact de certains opérateurs utilisés est analysé.

Dans une conclusion générale, l'auteur présente le bilan des contributions et décrit quelques perspectives qui en découlent. Enfin, une bibliographie complète le document.

Conclusion

Le problème étudié dans cette thèse, i.e., l'agencement d'un logement, est un sujet très intéressant et important à la fois sur le plan théorique (NP-difficile) et pratique (nombreuses applications réelles). Les contributions de Mr. BOUZOUBAA s'articulent autour de la proposition de modèles mathématiques à variables mixtes et d'une heuristique adaptative pour le problème étudié. Les idées sur lesquelles s'appuient ces contributions sont claires et bien argumentées. Les expérimentations menées par le candidat ont permis de montrer l'intérêt de la décomposition utilisée en plusieurs phases pour la résolution du problème d'agencement ainsi que la flexibilité de

la méthode heuristique mis en place pour l'amélioration de l'aménagement d'un plan existant. A travers cette thèse, le candidat démontre qu'il maîtrise son sujet.

On note que le contenu de la thèse a fait l'objet de deux articles publiés dans des actes de congrès internationaux avec comité de sélection (CIE45, CODIT16). Sur la forme, mis à part quelques petites coquilles, le mémoire est bien rédigé et agréable à lire. Il aurait été utile de préciser les liens entre les composantes des quatre heuristiques proposées pour l'amélioration d'un aménagement existant. La partie expérimentale aurait pu être plus dense avec une étude comparative plus riche combinant les quatre variantes de l'heuristique.

En conclusion, je recommande la soutenance de ce document pour permettre à M. Yahya BOUZOUBAA d'obtenir le grade de Docteur de l'Université de Lorraine, spécialité : *Informatique*.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mhand HIFI', is displayed within a light gray rectangular box.

Mhand HIFI, Pr.

Système informatique d'évaluation de l'adéquation d'un logement à un futur occupant handicapé

Yahya Bouzoubaa, Christian Minich, Anass Nagih, Alain Pruski

Laboratoire LCOMS

Université Lorraine, Metz, France.

{yahya.bouzoubaa, christian.minich, anass.nagih, alain.pruski}@
univ-lorraine.fr

Résumé

Cette étude a pour objectif la conception d'un logiciel de réaménagement d'un logement ou d'un bâtiment dont les futurs usagers seront parfois handicapés. Le nombre des réaménagements est si élevé que ce logiciel est conçu comme un outil d'aide à la décision, capable de traiter un très grand nombre de solutions, de les évaluer et d'en extraire la meilleure, au sens d'un objectif à optimiser. L'approche développée exige de mener à bien deux tâches : l'évaluation et la modification. Dans cette présentation, on s'intéresse à la méthode d'évaluation, qui consiste à vérifier avec quel niveau de satisfaction une solution - pour nous un aménagement du logement - satisfait aux exigences du cahier de charges.

1 Introduction

Ces travaux visent à concevoir un logiciel pour accompagner intelligemment les experts dans le réaménagement d'un lieu de vie, en tenant compte de l'architecture du lieu, des besoins et souhaits de ses occupants, en particulier quand ces derniers ont un handicap (lié à un accident, à la maladie ou à l'âge). Dans ce qui suit, nous ne parlerons que de logements et d'occupant mais l'étude concerne aussi les bâtiments, comme les hôpitaux, et leurs usagers.

Dans les objectifs actuels, cette évaluation concerne l'adéquation de la disposition et le dimensionnement des pièces aux possibilités physiques du futur occupant ainsi qu'à ses souhaits ; il ne concerne pas la disposition ou l'adaptation du mobilier.

Pourquoi un outil d'aide à la décision ? Les architectes, ergothérapeutes, thérapeutes et ergonomes sont capables de mener à bien ce genre de tâche. Cependant, il est probable qu'étant limités dans le nombre d'agencements qu'ils ont le temps d'envisager, ils n'atteignent pas l'agencement optimal. Nous avons l'espoir qu'un outil d'aide à la décision, capable d'explorer de manière pertinente un très grand espace de solutions (une solution est un arrangement du logement) parviendra à trouver des solutions meilleures que celles imaginées initialement par les concepteurs humains (Medjdoub et Yannou 1996). A titre d'exemple, on peut citer le domaine de la conception de pièces mécaniques, dans lequel les pièces sont désormais, de manière systématique, soumises à des logiciels d'optimisation semblables à celui que nous souhaitons développer. Les pièces ainsi optimisées, bien que conservant les mêmes propriétés mécaniques, sont parfois de 20 % plus légères.

À l'instar du projet HM2PH (Leloup 2004) (Puret 2007) nos travaux s'appuient sur deux modules (Figure 1) : 1) l'acquisition du plan du logement, des besoins et des souhaits de l'occupant ; et 2) l'optimisation, qui consiste à boucler sur l'évaluation et la modification du logement jusqu'à satisfaction ou échec.

Dans ce qui suit, nous allons présenter l'état d'avancement de ces modules en nous focalisant sur l'acquisition du logement et l'évaluation du degré d'adaptation d'un plan.

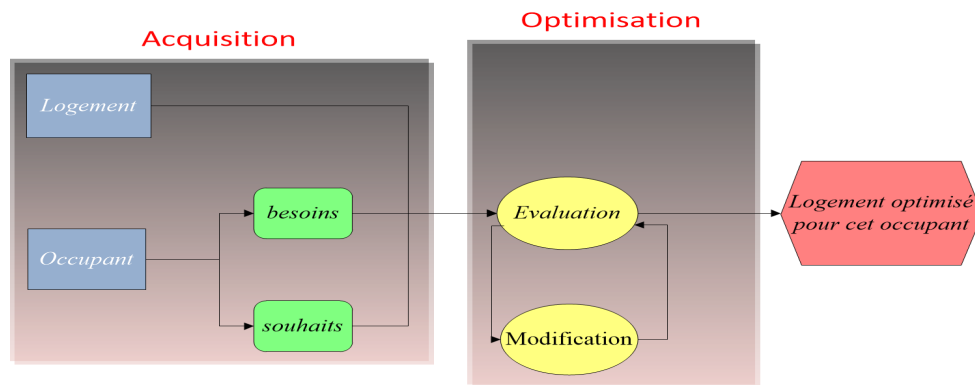


Figure 1: Schéma général de l'étude

2 Acquisition

Le module d'acquisition procure au logiciel les données dont il a besoin. Ces données sont de trois types :

- le logement à évaluer : on indique au logiciel, pour chaque plateau qui constitue le logement, les positions et épaisseurs des murs, le fait qu'ils sont déplaçables ou pas, les positions des ouvertures, les noms des pièces et les dispositifs de changement de plateau (escalier, ascenseur, plan incliné ...). Toutes ces informations sont indispensables ; par exemple, la position des portes – et celle des pièces – ont un impact sur la longueur des itinéraires dans le logement ; le fait qu'un mur soit porteur ou pas a une incidence différente sur le coût de son déplacement;
- les besoins de l'occupant : la situation physique du futur occupant a un impact fort sur la manière dont le logement doit être aménagé. Par exemple, si la personne se déplace très difficilement, il est souhaitable de raccourcir certains itinéraires récurrents. Le but de cette étape est donc de se procurer une description aussi précise que possible des contraintes imposées par l'état de santé de la personne;
- les souhaits de l'occupant : nous souhaitons offrir à l'occupant la possibilité d'exprimer des demandes comme : « je veux que ma chambre soit à côté des toilettes », « je souhaite que ma chambre soit aussi éloignée que possible du salon », « le salon doit être orienté à l'ouest », « le salon doit faire au moins 16 m² ». Ces souhaits présentent un caractère moins impératif que les contraintes imposées par le handicap : à supposer qu'un souhait et un besoin mènent à des aménagements contradictoires, c'est le besoin qui l'emportera.

Les *données du logement* sont tirées d'un fichier dont la syntaxe est proche d'une syntaxe XML. Nous ne travaillons pas sur la construction automatisée de ce fichier, qui constitue un domaine de

recherche à lui tout seul (scan 3D, lecture automatisée de plans papier ...). Globalement, un logement y est décrit comme un ensemble de plateaux (pour le cas où il serait sur plusieurs niveaux). Un plateau (contour extérieur) a une altitude, c'est un polygone et il est composé d'un ensemble de pièces qui sont à leur tour des polygones. Un polygone peut donc être un contour extérieur ou une pièce de la maison et il est composé d'un ensemble de murs. Un mur peut contenir une ou plusieurs ouvertures, il est partagé par deux pièces, il a une position et une épaisseur. Nous verrons plus bas que cette description du logement, quoique nécessaire pour certains traitements, est aussi traduite sous une autre forme, un graphe, pour faciliter la réalisation d'autres traitements.

L'*acquisition des besoins* se fera grâce à un outil interactif constitué de cases à cocher, de listes déroulantes et de zones de saisie. Les cases à cocher permettront par exemple de sélectionner les outils utilisés pour le déplacement (fauteuil, fauteuil électrique, déambulateur, canne, rien ...); les listes déroulantes auront un usage semblable mais seront plutôt utilisées quand une seule sélection sera autorisée, par exemple le nombre maximum de marches toléré sur un déplacement; les zones de saisie serviront à fournir des valeurs comme la longueur maximale d'un déplacement à pied. Nous avons accordé un soin particulier à cette phase de l'acquisition car la manière d'adapter un habitat varie considérablement avec l'âge, le sexe, l'état de santé et la possibilité ou non de bénéficier d'une assistance humaine... Une personne atteinte d'un handicap peut développer d'autres handicaps (évolution de la maladie par exemple), ce qui réduit conséquemment les compensations qu'il peut y avoir et entraîne donc une perte d'autonomie plus importante. L'objectif donc est de proposer un outil de diagnostic capable de dresser d'une manière claire et la plus précise possible le profil de l'habitant et donc ses besoins actuels et futurs. Dans ce sens, quelques bases de données existent (Leloup 2004) (Hacavie s.d.) (Handicap s.d.) permettant d'analyser les déficiences et les capacités de l'habitant et aident les professionnels à choisir au mieux les équipements nécessaires pour une meilleure autonomie; des guides d'accessibilité (DGALN/DHUP s.d.) (FNATH 2011) rassemblant la législation existent aussi, servant de support incontournable pour les architectes lors de la conception d'un lieu de vie ou d'un ERP*. Néanmoins, il n'existe pas de base de connaissances recensant les contraintes amenées par tous les types de handicap et capable de les traduire en des combinaisons d'opérations qu'un logiciel serait en mesure d'exploiter lors de l'évaluation ou du réaménagement du logement (nous revenons sur ce point plus bas).

Les *souhaits du futur occupant* seront obtenus comme les besoins, en sélectionnant dans des listes la nature du souhait (orientation d'une pièce, éloignement/rapprochement de deux pièces ...) puis en fournissant les informations annexes (pièce(s) concernée(s), valeur de l'aire ...).

3 Transformation des données

Les informations qui décrivent le logement sont directement utilisables par un programme informatique. Ce n'est pas le cas des besoins et des souhaits du futur occupant, qui sont exprimés dans un langage de trop haut niveau sémantique pour être compris du module d'évaluation du logement. Il faut donc les convertir.

Exemple : « Je souhaite éloigner la chambre du salon autant que possible »

Ceci équivaut à faire tendre le ratio DCS / D_{max} vers 1 où DCS est la distance Chambre / Salon et D_{max} est le diamètre du logement (la distance la plus grande entre deux pièces). Exprimé ainsi, le souhait du futur occupant peut être pris en compte par un logiciel.

* ERP : est l'abréviation d'Établissement Recevant du Public

Dans l'état actuel de la spécification du logiciel, cette conversion est préprogrammée : pour chaque besoin / souhait exprimé par le futur occupant, une formulation exploitable informatiquement est prévue. Ce n'est cependant pas une organisation satisfaisante car elle n'est pas extensible : l'ajout d'un type de souhait / besoin exige de nouveaux développements informatiques. Dans une deuxième phase, nous améliorerons cette conversion en utilisant des bases de connaissances qui pourront être étendues par des non-informaticiens. Ces bases feront le lien entre des besoins / souhaits et les contraintes qui les traduisent mais, quand un nouveau type de besoin ou de souhait devra être intégré, un langage intermédiaire, non spécialisé, permettra de l'exprimer comme une combinaison d'expressions de bas niveau (pour peu que les expressions de bas niveau prédéfinies soient en nombre suffisant).

On constate que nombre de besoins et de souhaits impliquent de calculer des itinéraires dans le logement, voire des plus courts itinéraires. Par exemple, vérifier que toute pièce peut être atteinte depuis toute autre pièce (ce qui semble a priori inutile mais se révèle indispensable une fois que les modifications du logement ont commencé) consiste à vérifier qu'il existe un itinéraire entre toute paire de pièces ; garantir qu'il y a moins de 10 mètres de la chambre aux toilettes exige de calculer le plus court chemin entre ces deux pièces. La description du logement présentée plus haut ne se prête pas bien à ces recherches, à l'inverse d'une structure de données très utilisée en informatique, le graphe, qui s'y prête très bien. C'est pourquoi deux autres modèles du logement sont construits à partir du premier : un graphe de visibilité et un graphe d'adjacence.

Un graphe de visibilité : ce graphe, ainsi nommé car initialement utilisé en robotique mobile, permet de recenser les déplacements possibles dans le logement pour un cercle de rayon R donné, ce cercle approchant par exemple un être humain ou un fauteuil. Chaque sommet du graphe correspond à un changement de direction dans un itinéraire potentiel et chaque arête correspond à un déplacement rectiligne valide entre deux sommets. Valide signifie d'abord que le segment considéré n'est jamais à une distance inférieure à R d'un mur ; par exemple, dans la figure 2 (droite) on ne peut pas entrer dans la pièce centrale par les deux portes du haut car le rayon ($0,48\text{ m}$) est supérieur à la moitié de la taille de la porte ; à gauche le rayon est de $0,3\text{ m}$ donc toutes les portes peuvent être franchies.

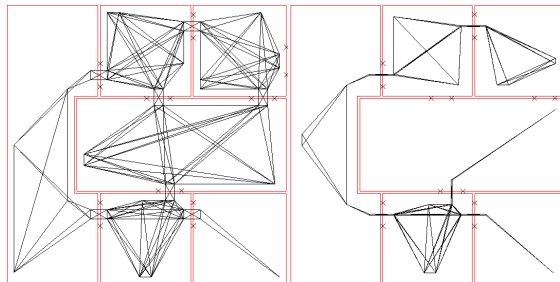


Figure 2: Exemple de graphes de visibilité d'un même logement pour deux personnes différentes

Mais la validité intègre aussi d'autres contraintes ; par exemple, si le déplacement implique de franchir une ou plusieurs marches et si la personne se déplace en fauteuil, le déplacement ne sera pas possible et donc l'arête n'apparaîtra pas dans le graphe. Ce sont aussi des arêtes qui indiquent comment changer de niveau : à chaque escalier, plan incliné et ascenseur est associé un arc reliant des nœuds appartenant aux deux pièces reliées.

Un graphe d'adjacence : il permet de représenter les ouvertures entre les différentes pièces. Chaque sommet du graphe correspond à une pièce du logement et chaque arête représente une communication entre deux pièces. Une problématique de base utilisant ce graphe consiste à savoir si

tous les points d'un logement sont accessibles depuis n'importe quel autre point. En termes de graphes, cela revient à vérifier s'il existe un chemin entre toutes paires de sommets, autrement dit, le graphe est-il connexe. La réponse à cette question permettra d'éliminer des configurations aberrantes produites par le générateur des plans.

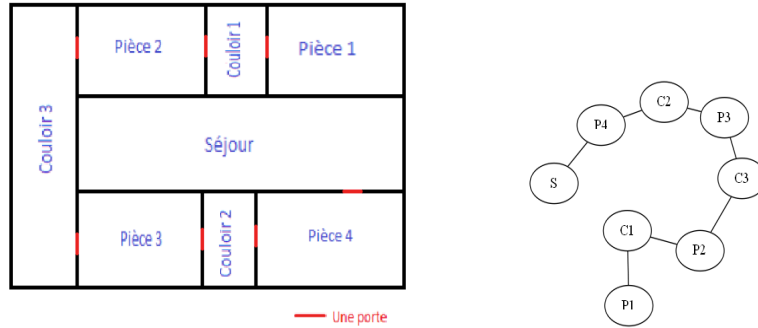


Figure 3: Exemple d'un logement et de son graphe d'adjacence

4 Évaluation d'un logement

Toute optimisation informatique exige de mener à bien deux tâches (figure ci-dessous) : l'évaluation et la modification. Dans cet article, nous nous focalisons sur la partie évaluation du fait que la modification n'a pas été étudiée encore.

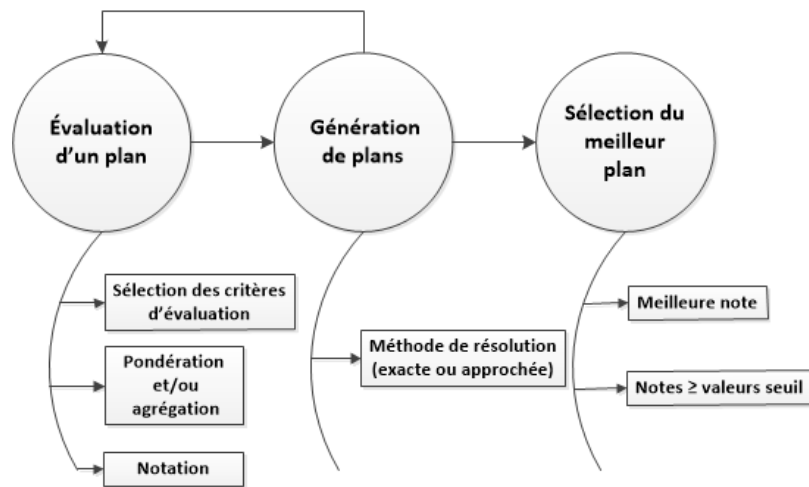


Figure 4: Schéma générale d'optimisation

L'évaluation consiste à vérifier avec quel niveau de satisfaction une solution – pour nous un aménagement du logement – satisfait aux exigences du cahier des charges (la fusion des besoins et des souhaits de l'occupant). Lors de l'acquisition des besoins et souhaits de l'occupant, une liste de critères d'évaluation est dressée. S'agissant de ces critères deux cas de figures se présentent, soit ces

derniers sont à respecter absolument, à défaut, le plan est à rejeter, soit ils sont gradués, dans ce sens il faut les mesurer, pondérer et combiner pour au final donner une note au plan.

Des exemples de critères déduits de l'état de santé du futur occupant et des souhaits qu'il a exprimés quant à l'aménagement du logement ont été donnés plus haut. Nous exposons ici deux autres critères d'évaluation et les algorithmes permettant de les évaluer : 1) la volonté d'éviter les pièces en enfilade et 2) la mesure du diamètre d'un logement.

La détection des enfilades :

- a. *Problématique* : on souhaite savoir s'il est nécessaire de traverser certaines pièces pour en atteindre d'autres. Exprimé de manière plus informatique, cela consiste à vérifier qu'il existe, entre chaque paire de pièces, au moins un itinéraire passant uniquement par les couloirs ou / des pièces dans lesquelles l'occupant tolère le passage. Les enfilades peuvent être soit discriminantes, ce qui implique le rejet du plan quand elles se présentent, soit pénalisantes ;
- b. *Méthode d'évaluation* : 1) transformer le plan en graphe d'adjacence ; 2) appliquer l'algorithme suivant. Cet algorithme part d'une pièce dans laquelle le passage est toléré et se propage dans les pièces voisines. Si certaines des pièces voisines sont des pièces de passage, on répète l'opération. Si l'algorithme s'arrête avant d'avoir atteint toutes les pièces, alors il existe au moins une enfilade. Si l'on envisage une évaluation binaire (ce qui est le cas dans la version actuelle), le résultat est de type tout ou rien. Sinon, on peut envisager de graduer la notation en fonction du nombre de pièces atteintes.

```
// p est le premier sommet tolérant le passage qui va être visité
p = PremierePieceDePassage ;
// On le marque
Marquer(p) ;
// On ajoute P à la liste des pièces tolérant un passage.
EP = {P} ;
// Tant que la liste des pièces qui tolèrent le passage n'est pas vide, on continue à tenter d'explorer
Tant que EP ≠ ∅
    P = SortirUnSommet (EP) ;
    Pour tout voisin V de P faire
        Si V est non marqué alors
            Si v = passage alors EP = EP U {V} ; FinSi
            Marquer (V) ;
        FinSi
    FinPour
FinTantque
// si le nombre des sommets marqués est différent du nombre des sommets du graphe alors
// enfilade existe.
Enfilades = (nbMARque ≠ n)
// La complexité de cette algorithme est linéaire en le nombre de sommets et d'arrêtes.
```

Algorithme 1: Algorithme de détection des enfilades

La mesure du diamètre d'un logement :

- a. *Problématique* : recherche de la distance entre les deux pièces les plus éloignées du logement, du point de vue d'une personne qui se déplace et non pas à vol d'oiseau. Cette évaluation peut, par exemple, renseigner sur l'effort qu'il faut consentir sur une journée ou fournir un

indicateur de la compacité du logement : plus le rapport entre cette quantité et la distance à vol d'oiseau entre les deux mêmes points est proche de un, plus le logement est compact ;

- b. *Méthode d'évaluation* : 1) transformer le plan en graphe de visibilité ; 2) calculer le plus court chemin entre chaque paire de sommets; conserver le plus long chemin trouvé. La complexité de cet algorithme est cubique.

Une fois tous les critères évalués (ils sont bien sûr bien plus nombreux que ne le suggère la brève liste ci-dessus), les notes obtenues sont agrégées en une note globale, qui indique combien la disposition courante du logement est adaptée à la personne dont la description a été fournie.

5 Conclusion et travaux futurs

Cet article présente l'état d'avancement d'un outil d'aide à la décision pour assister les experts dans le processus d'adaptation d'un lieu de vie aux besoins et souhaits de l'habitant. La spécification des modules d'acquisition et d'évaluation est faite et le développement est commencé : nous sommes en train de programmer quelques critères de bases nécessaires à l'évaluation d'un logement. Associés à un module de modification de la disposition du logement, ils formeront un réel outil d'adaptation d'un logement (resp. d'un bâtiment) à son futur occupant (resp. à ses futurs usagers).

Bibliographie

- DGALN / DHUP/MEEDDTL. www.accessibilite-batiment.fr.
DGALN/DHUP. www.accessibilite-batiment.fr.
FNATH. «Le GUIDE du REPRÉSENTANT des personnes HANDICAPÉES dans les COMMISSIONS d'ACCESSIBILITÉ.» FNATH, LE GROUPE LA POSTE, 2011.
Hacavie. www.handicat.com.
Handicap. www.aide-techniques.handicap.fr.
Leloup, Jérôme. «Le projet HM2PH, Habitat Modulaire et Mobile pour Personnes Handicapées, Spécifications d'un espace de vie adapté pour personne en déficit d'autonomie.» Thèse de doctorat, Université François-Rabelais, Tours, 2004.
Medjdoub, B, et Yannou, B. «A Functional Approach in Architectural CAD Softwares ARCHiPLAN.» *ICTCSE'96 : International Conference on Information Technology in Civil and Structural Engineering Design*. Glasgow, 1996. 14-16.
Puret, Arnaud. «Projet HM2PH, Génération automatique de plans et visite virtuelle d'habitats adaptés pour personnes handicapées.» Thèse de doctorat, Université François-Rabelais, Tours, 2007.

Synthesis of a dwelling layout as a packing problem using objects of varying sizes

Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski
Lab for Design, Optimization and Modeling of Systems
(LCOMS), University of Lorraine
Metz, France
yahya.bouzoubaa@univ-lorraine.fr

Abstract

This paper presents a new variation of the packing problem, where the dimensions of the objects belong to intervals instead of being fixed. This problem is solved with linear optimization and applied to the automated computation of a dwelling layout. The proposed layout, besides meeting some elementary building rules, also takes into account wishes expressed by the future occupant.

Keywords

packing problem - variable size objects - automatized dwelling layout - linear programming - disability

I. Introduction

This paper is about the automatic design of a dwelling layout. Furniture is not considered: given the dimensions of the dwelling, the number and types of rooms, a description of the future occupant and wishes expressed by the occupant, a layout is proposed. The description of the occupant is required in case he is disabled; for example, if he uses a wheelchair, the width of the corridors must be increased. Examples of wishes are: south facing living room, area of bedroom is at least 12 m², the cycle (bedroom1-toilets-kitchen-bedroom1) is at most 12 meters long or the daily walked distance is at least 200 meters. Some of these constraints may be used to make life more comfortable in the dwelling, some others may help in fighting the muscle loss caused by aging; more generally, beyond comfort, the constraints allow to take various disabilities into account, whatever their cause.

This software is designed as a support tool for architects or occupational therapists.

Placing rooms in a bounding box (the limits of the dwelling) is somewhat similar to placing parcels in a truck or components in a chip; in other words, designing the layout has to do with the bin packing problem. The big difference with traditional bin packing is that the container (the dwelling) is of fixed size, whereas the objects to be placed (the rooms) have no fixed dimensions as the user provides intervals for the room dimensions, letting the software choose in these intervals so that the other constraints are fulfilled at best.

Linear optimization has given good results for bin packing problems. The goals of this study are thus to check whether linear optimization can be used to solve our variant of the bin

packing problem (variable size objects) and to adapt this new version of the bin packing problem to the layout design, especially when the design has to take into account various constraints, including the needs and wishes of a (possibly impaired) future occupant.

II. Related work

Dyckhoff [4] and Wäscher [12] both propose a classification of the numerous versions of the bin packing problem. Some appear in chip design [5][6], some in cutting optimization, some in logistics and many others in even more many businesses. However, none of them uses objects the dimensions of which are not fixed but only bounded. For classical versions, resolutions algorithms mostly belong to two categories [9]: heuristics [3] and linear optimization [8].

Concerning the computer aided or automated design of a dwelling in order to adapt it to a disabled person, several studies have been conducted within the HM2PH project; Leloup [10] has explored two tracks: a genetic algorithm and a branch and bound algorithm. In the former, each solution is a layout and the cost function is an evaluation of the way the layout fits the needs and wishes of the disabled person. In the later, a room is added to the blueprint under construction at each level of the decision tree. In case the room cannot be added, the branch is not explored. Puret [11] has pursued this work by studying the contribution of constraint satisfaction methods. In his work, constraints are translations of the requests made by the future inhabitant or by the architect. The layouts are built in two stages: the rooms are roughly placed in the first one and the empty places are distributed on the surrounding rooms in the second one. Both studies have in common that: 1) rooms have fixed orientation. The reason why an orientation should be considered is that the user of the system may have an idea of the two dimensions of a room but may not be willing to impose its orientation; that's why it is desirable that the system studies both orientations for him; 2) Some undesirable layouts, such as rooms splitting the dwelling, are not eliminated at solving (see figure 1); 3) an insufficient or too late management of corridors and doors, which limits the panel of requests that can be taken into account. In particular, it is not possible to deal with requests involving paths computations (shortest path, least effort path, least number of steps path ...). On the other hand, they had in

common no to take only building constraints into account and proposed various and interesting way to involve the future occupant of the dwelling in its design, by translating his requests or needs in a form that could be handled by a software.

The authors are exploring two tracks to achieve the same goal: in [2], the layout production is seen as an iterative process starting with an existing layout and ending with a new layout, optimized for a future disabled occupant; so the goal is no longer to synthesize a layout but to adapt an existing one. The iteration consists in two steps: evaluating the adaptation of the current blueprint to the future occupant and locally modifying the blueprint if its evaluation is bad. Their second approach concerns the blueprint synthesis and is presented in what follows.

III. Overview of the proposed approach

For simplifying the formulation of the problem, the following conventions have been adopted: the dwelling and the rooms are all rectangular; the sides of the rooms and dwelling are either horizontal or vertical; the right edge of the dwelling is east and the top edge is north; the bottom-left corner of the dwelling is the origin; distances are in centimeters and no distance / coordinate is smaller than one centimeter; there is only one front door in the dwelling; the front door is associated with a special room (an entrance) which behaves as a room, except that it does not need to be adjacent to a corridor; the inhabitant is approximated by a circle in the horizontal plane, the diameter of which is a function of his health status (0.3 m for a thin person, 0.7 for a person in a wheelchair, 0.6 for a massive obese person...).

The process to produce the blueprint of the dwelling comprises two steps:

- first, the rooms are placed, taking into account basic constraints such as non overlapping, full inclusion of rooms in the dwelling and higher level constraints such as room direction (which becomes an adjacency with one wall of the dwelling) or minimum width of the corridors. This results in a gross drawing of the dwelling;
- then, doors are added and useless corridors are removed. The locations of the doors are chosen so that the remaining constraints are fulfilled: ensuring a given daily walked distance, reducing the length of a frequent path ...

The rest of this paper focuses on step1.

In case the dwelling has several levels, the method can still be used, provided that the distribution of the rooms in the levels is known: one just has to apply the method once on each level. Otherwise, the distribution of the rooms have to be determined beforehand or a different approach have to be applied (see "related work" section).

IV. Mathematical Model for step 1

A. Inputs

Obvious properties concerning the following data are not explicitly listed. For example, the number of rooms has to be positive, the maximum width of a room must be lower or equal to the dwelling width etc.

n : number of rooms to be placed.

DX, DY : width and height of the dwelling.

r : radius of the circle representing the inhabitant.

$MinDX_i, MaxDX_i$: bounds for the x-dimension of room i . These values may be provided by the inhabitant, set by the environment or by regulations (and must belong to $[0, DX]$).

$MinDY_i, MaxDY_i$: bounds for the height of room i .

$MinX_i, MinY_i$: lower bounds for the bottom left corner of room i : room i has to start beyond these values.

$MaxX_i, MaxY_i$: upper bounds for the top right corner of room i : room i has to end before these values.

$MaxStartX_i, MaxStartY_i$: upper bounds for the bottom left corner of room i : room i has to start before these values.

$MinEndX_i, MinEndY_i$: lower bounds for the top right corner of room i : room i has to end beyond these values.

B. Variables

(X_i, Y_i) : coordinates of the bottom-left corner of room i . Of course, $X_i \in [0, DX]$ and $Y_i \in [0, DY]$.

(DX_i, DY_i) : dimensions of room i along the x and y-axes. $DX_i \in [MinDX_i, MaxDX_i]$ and $DY_i \in [MinDY_i, MaxDY_i]$.

$L_{ij}, L_{ji}, U_{ij}, U_{ji}$: binary variables (0, 1) setting relative positions of rooms i and j in the dwelling. $L_{ij} = 1$ iff room i is on the left of room j ($X_i + DX_i < X_j$) and $U_{ij} = 1$ iff room i is above room j ($Y_i + DY_i < Y_j$) [8][9].

LE_i, RE_i, TE_i, BE_i : binary variables (0, 1). They express the fact that the room is adjacent to the Left, Right, Top, Bottom Edge of the dwelling. For example, $LE_i = 1$ if room i is adjacent to the left edge of the dwelling; if it is not, its value may either be 0 or 1.

NVC_i, NHC_i : binary variables (0, 1): No Vertical Cover and No Horizontal Cover. They express the fact that room i does Not Cover the whole height or the whole width of the dwelling. For example, $NVC_i = 1$ if room i does not connect the two horizontal edges of the dwelling. Otherwise, its value may either be 0 or 1.

C. Model

$$\text{Maximize } f = \sum_{i=1}^n DX_i + DY_i$$

subject to

$$\begin{cases} (1) X_i \geq MinX_i & (*) \\ (2) Y_i \geq MinY_i & (*) \\ (3) X_i + DX_i \leq MaxX_i & (*) \\ (4) Y_i + DY_i \leq MaxY_i & (*) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (5) X_i \leq \text{MaxStart}X_i & (*) \\ (6) Y_i \leq \text{MaxStart}Y_i & (*) \\ (7) X_i + DX_i \geq \text{MinEnd}X_i & (*) \\ (8) Y_i + DY_i \geq \text{MinEnd}Y_i & (*) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (9) L_{ij} + L_{ji} + U_{ij} + U_{ji} \geq 1 & (**) \\ (10) X_i + DX_i + 2r * L_{ij} \leq X_j + DX(1 - L_{ij}) & (**) \\ (11) Y_i + DY_i + 2r * U_{ij} \leq Y_j + DY(1 - U_{ij}) & (**) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (12) X_i \leq (1 - LE_i) * DX & (*) \\ (13) X_i + DX_i \geq RE_i * DX & (*) \\ (14) NVC_i \leq DY - DY_i & (*) \\ (15) LE_i + RE_i + NVC_i \geq 1 & (*) \\ (16) Y_i \leq (1 - BE_i) * DY & (*) \\ (17) Y_i + DY_i \geq TE_i * DY & (*) \\ (18) NHC_i \leq DX - DX_i & (*) \\ (19) BE_i + TE_i + NHC_i \geq 1 & (*) \end{cases}$$

$$\begin{cases} (20) L_{Door.i} + L_{i.Door} + U_{Door.i} + U_{i.Door} \geq 1 & (***) \\ (21) X_{Door} + DX_{Door} \leq X_i + DX(1 - L_{Door.i}) & (***) \\ (22) Y_{Door} + DY_{Door} \leq Y_i + DY(1 - U_{Door.i}) & (***) \\ (23) X_i + DX_i \leq X_{Door} + DX(1 - L_{i.Door}) & (***) \\ (24) Y_i + DY_i \leq Y_{Door} + DY(1 - U_{i.Door}) & (***) \end{cases}$$

(*) for each constrained room

(**) for any two rooms i and j ($i \neq j$)

(***) for any room i

D. Explanations

1) Basic geometric constraints

Constraints (1) to (4) limit the expansion of room i to a subset of the dwelling.

Constraint (9) ensures that rooms i and j do not overlap: as the sum is greater or equal to one, at least one of its operands has to be equal to one. In other words, i has to be on the left of j ($L_{ij} = 1$) or on the right of j ($L_{ji} = 1$) or above j ($U_{ij} = 1$) or below j ($U_{ji} = 1$) [8][9], which is indeed a necessary and sufficient condition for two rectangles not to overlap.

Constraints (10) and (11) express that if i is left of (resp above) j then they must be at least $2r$ away one another so that a radius- r -person can move between these two rooms. This is how corridors are inserted in the blueprint (sometimes they are too many but this is corrected in step 2). Constraint (10) works this way: if $L_{ij} = 0$ (that is there is no "left" constraint between i and j), the formula becomes:

$$X_i + DX_i \leq X_j + DX$$

which is always true. In other words, the constraint is redundant. If $L_{ij} = 1$ (i is on the "left" of j), the formula becomes:

$$X_i + DX_i + 2r \leq X_j$$

which means that room j must not only be on the right of room i but must also be at least $2r$ away from it, which creates a corridor between the rooms.

Constraint (11) is similar for y-coordinates.

2) Geometric constraints resulting from needs or wishes of the inhabitant or imposed by the construction

Constraints (5) to (8) translate needs and wishes of the inhabitant: for example, for a north-facing room, one sets its $\text{MinEnd}Y$ to DY , which obliges the solver to set the upper y-coordinate of the room to DY (as its domain is $[0, DY]$). These constraints also achieve construction constraints, for example to locate the kitchen around the water outlet or to make sure the living-room comprises the area where a chimney flue is available.

Note that the domains of DX_i and DY_i allow to control the X and Y dimensions of the rooms. For example, they make it possible to reject a very long but narrow room (even though its area would be reasonable).

Constraints (20) to (24) ensure that an acceptable entrance will be proposed. They are similar to constraints (9)-(12), except that they do not free some space for a corridor along the entrance.

Constraints (12) to (19) are used to prevent a room from cutting a dwelling into two distinct areas, which would force the inhabitant to cross this room when he would have to walk from one area to the other (see Figure 1). Note that, for a room connecting two opposite sides to be such a "splitting" room, it also has not to be in contact with a third side; so the role of constraints (12) to (19) is to guarantee that either room i doesn't connect two opposite sides, either it does connect two opposite sides but it is then in contact with one of the remaining other two sides.

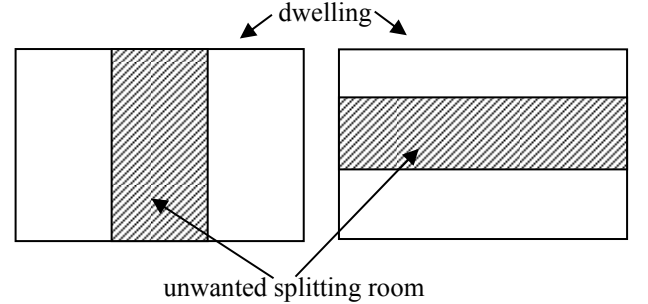


Figure 1: rooms (shaded) splitting the dwelling

Consider inequation (12): if LE_i equals to 1, X_i necessarily equals to 0, which means that the room is in contact with the left edge of the dwelling. Otherwise, X_i just has to be smaller than DX , which is not a constraint. Formula (13) is similar: if RE_i equals to 1, the room is in contact with the right edge of the dwelling. Formula (14) means that, if $NVC_i = 1$, then DY_i is necessarily smaller than DY , i.e. the room does not connect the bottom and top sides. Finally, constraint (15) demands that one of its operands equals to 1, which means that either $NVC_i = 1$ (in this case, the room is not a splitting room as it doesn't join the two horizontal sides), either LE_i or RE_i equals to 1 (in this case, room i is also not a splitting room as it is adjacent to

a vertical side). Constraints (16) to (19) work the same way for forbidding horizontal splitting rooms.

3) Cost function

The cost function is half the sum of the perimeters of all rooms. Maximizing it increases the widths and heights of the rooms as much as it is possible, which ensures to enlarge the rooms as much as the other constraints allow to do it; the wasted space is thus reduced as much as possible.

v. Results

Figure 2 shows three computed blueprints of a 10*8 meters dwelling.

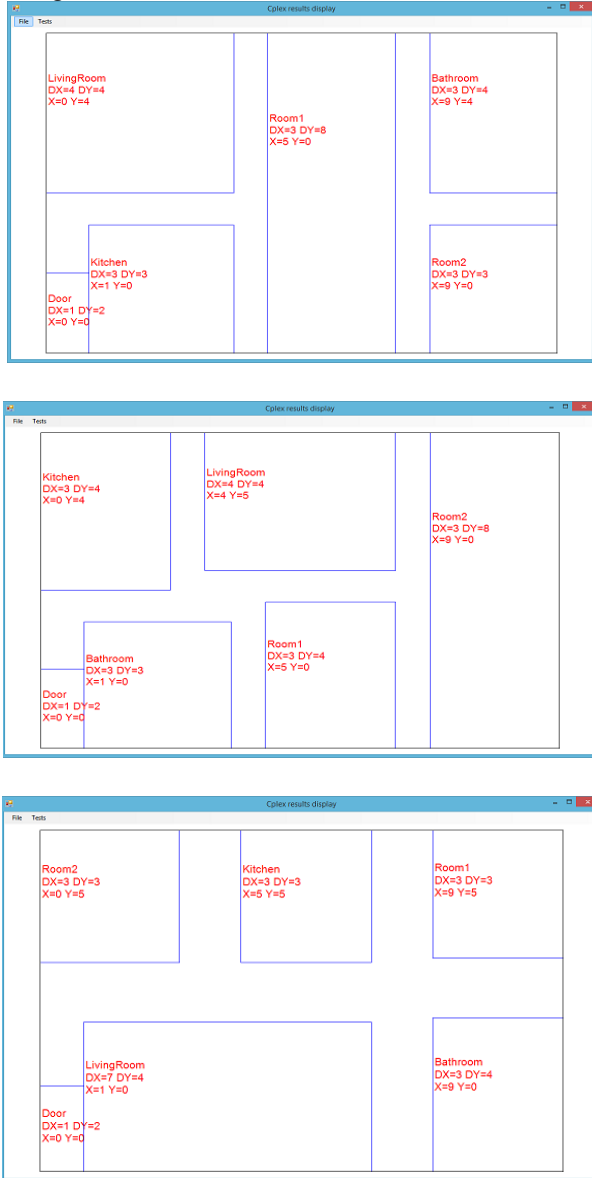


Figure 2: impact of the occupant's dimension on the layout

In the first case, constraints (12) to (19) (protection against splitting rooms) are not included and one can see that Room1

splits the dwelling; in the second case, they are; in the third case, the diameter of the inhabitant increases from 0.8 to 1.4m because he uses a wheelchair. The linear system has been solved by version 12.6 of the Cplex solver (IBM ILOG).

In Figure 3, the inputs were the same as those of figure 2 (middle), except that, the future occupant being hard of hearing and used to turn up the volume, it has been decided not to allow the living-room to stick to the north wall, which is a shared wall.

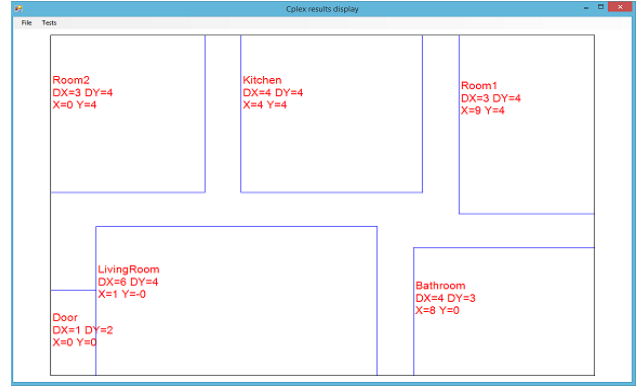


Figure 3: constraint "living room away from the east wall"

vi. Limits and improvements

Some obvious limits stem from the conventions adopted above: rectangular rooms only, lines parallel to the axis and so on. However these are light limits as most dwellings do meet these rules. Also, the number of corridors is unnecessarily high as a corridor is built between rooms i and j if i is to the left of or to the right of or above or below j (except for the entrance). This problem is fixed by step 2; for example, no corridor is required between Room1 and Room2 in Figure 2 (middle) if no door is located in this corridor. However it is true that this decision to introduce possibly useless corridors prevents from discovering a number of combinations that might be better and might make the method under-optimal. Finally, it is known that the packing problem is NP-hard, which prevents from studying large instances.

On the short term, the quality of the results may be improved by authorizing the rooms to rotate by 90°. This extension requires quadratic constraints, which goes against our willingness to restrain to linear optimization. The rest of this paragraphs shows how these constraints can be linearized.

The reason why an orientation is considered is that the user of the system may have an idea of the two dimensions of a room but may not be willing to impose its orientation; that's why it is desirable that the system studies both orientations for him. The orientation of the rooms is managed by adding, for each room, an extra binary variable O_i , where $O_i = 1$ iff the room is rotated by 90 degrees, and two more variables, $Dim1_i$ and $Dim2_i$, corresponding to the two dimensions. The inputs

$MinDX_i$, $MinDY_i$, $MaxDX_i$, $MaxDY_i$ must be renamed in $MinDim1_i$, $MinDim2_i$, $MaxDim1_i$, $MaxDim2_i$.

From now on, the system is free to use $Dim1_i$ or $Dim2_i$ as the x-dimension of room i : the x-dimension (width) of a room is $Dim1_i$ if the room has not been rotated, otherwise it is $Dim2_i$:

$$\begin{aligned} DX_i &= Dim1_i \cdot (1 - O_i) + Dim2_i \cdot O_i \\ &= Dim2_i \cdot O_i - Dim1_i \cdot O_i + Dim1_i \end{aligned} \quad (a)$$

and its y-dimension is:

$$\begin{aligned} DY_i &= Dim1_i \cdot O_i + Dim2_i \cdot (1 - O_i) \\ &= Dim1_i \cdot O_i - Dim2_i \cdot O_i + Dim2_i \end{aligned} \quad (b)$$

The consequence is that constraint (3), for example, which uses DX_i , would become

$$X_i + Dim2_i \cdot O_i - Dim1_i \cdot O_i + Dim1_i \leq MaxX_i$$

and would now be quadratic.

To avoid this, before being used in (3), (a) and (b) are linearized with Glover's compact technique [7][1]: each product (e.g. $Dim1_i \cdot O_i$) is replaced by a new variable and four new constraints are added to the model so that the new variable has the same value as the product it replaces; for example (a) and (b) become:

$$DX_i = Aux2_i - Aux1_i + Dim1_i \quad (a')$$

$$DY_i = Aux1_i - Aux2_i + Dim2_i \quad (b')$$

where $Aux1_i$ is constrained by:

$$(A1) \quad Aux1_i \leq Dim1_i$$

$$(B1) \quad Aux1_i \geq Dim1_i - DX_i \cdot (1 - O_i)$$

$$(C1) \quad Aux1_i \leq DX_i \cdot O_i$$

$$(D1) \quad Aux1_i \geq 0$$

and $Aux2_i$ is constrained by:

$$(A2) \quad Aux2_i \leq Dim2_i$$

$$(B2) \quad Aux2_i \geq Dim2_i - DY_i \cdot (1 - O_i)$$

$$(C2) \quad Aux2_i \leq DY_i \cdot O_i$$

$$(D2) \quad Aux2_i \geq 0$$

When O_i is equal to 0, (A1) and (B1) bring no important constraints, (C1) and (D1) force $Aux1_i$ to be equal to 0, (A2) and (B2) are useless and, finally, (C2) and (D2) force $Aux2_i$ to be equal to 0; (a') and (b') then say that $DX_i = Dim1_i$ and $DY_i = Dim2_i$ which are the expected results.

When O_i is equal to 1, it is easy to see that DX_i and DY_i respectively equal to $Dim2_i$ and $Dim1_i$ which, again, are the expected results. So (a') and (b') do behave the same way as (a) and (b) but they are linear.

VII. Conclusion

Several positive outcomes can be pointed out: firstly, it has been stated that linear programming can be used to solve a variant of the packing problem where the objects have varying sizes and the container is unique and rigid. Secondly, this variant of the bin packing problem can be used to

automatically compute a layout of a dwelling, although some simplifying assumptions (such as having rectangular rooms) have been necessary. Thirdly, the future inhabitant of the dwelling has been successfully involved in the design of his new home, by translating his requests into constraints for the mathematical solver. Finally this project has also shown that, when the future occupant is impaired, it is possible to tune the layout to adapt it to the very particular situation of the person.

This is done only for some aspects in the first step of the design; however, the second step, which was not presented in this paper, goes much further in this domain as many more constraints can be managed once the doors become available.

The next developments will be: to quantify the negative impact of the two-steps process on the optimality of the computed layout; to propose L-shaped and U-shaped rooms; to allow the user to express constraints of the rooms surfaces; to deal with several stories; and to apply the approach on larger scale buildings.

References

- [1] A. Billionnet, *Optimisation discrète, de la modélisation à la résolution par des logiciels de programmation mathématique (chapter 4, pp 189-229)*, Dunod éditions, Paris, 2007
- [2] Y. Bouzoubaa, C. Minich, A. Nagih, A. Pruski.: *Evaluating the adaptation of a dwelling to a disabled person: a graph-based approach*, CIE45, Int. Conf. Computers & Industrial Engineering, Metz, France, oct 28-30, 2015
- [3] Dósa, G., Sgall, J.: *First fit bin packing: a tight analysis*. Proc. of STACS 2013, LIPICS, vol. 20, pp. 538–549 (2013).
- [4] H. Dyckhoff. A typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research, 44(2): 145–159, january 1990.
- [5] J.Egeblad. Placement Techniques for VLSI Layout Using Sequence-Pair Legalization. Mémoire de D.E.A., Department of Computer Science, University of Copenhagen, July 2003.
- [6] P.Fouilhoux. Graphes K-partis et conception de circuits VLSI, Phd thesis, Blaise Pascal – Clermont Ferrand II University, Clermont Ferrand, 2004.
- [7] F.Glover, *Improved linear integer programming formulations of nonlinear integer problems*, Management Science, 22: 455-460, 1975
- [8] M. Hifi, I. Kacem, S. Negre, and L. Wu. A linear programming approach for the three-dimensional bin-packing problem. Electronic Notes in Discrete Mathematics, 36(8), 993–1000, 2010.
- [9] Z.H. Jin, T. Ito, and K. Ohno. The three-dimensional bin packing problem and its practical algorithm. JSME International Journal Series C Mechanical Systems, Machine Elements and Manufacturing, 46(1), 60–66, 2003.
- [10] J. Leloup. Spécification d'un espace de vie mobile et adapté pour des personnes en déficit d'autonomie, Phd thesis, Tours 2004.
- [11] A.Puret. Projet HM2PH, Génération automatique de plans et visite virtuelle d'habitats adaptés pour personnes handicapées, Phd thesis, François-Rebelais University, Tours 2007.
- [12] G. Wäscher, H.Haußner et H.Schumann. An improved typology of cutting and packing problems. European Journal of Operational Research, 183: 1109–1130, december 2007.



EVALUATING THE ADAPTATION OF A DWELLING TO A DISABLED PERSON: A GRAPH-BASED APPROACH

Y.Bouzoubaa, C.Minich, A.Nagih, A.Pruski
LCOMS (Design, Optimization and Modelling of Systems Lab.)
The University of Lorraine, Metz, France

{ [yahya.bouzoubaa](mailto:yahya.bouzoubaa@univ-lorraine.fr), [christian.minich](mailto:christian.minich@univ-lorraine.fr), [anass.nagih](mailto:anass.nagih@univ-lorraine.fr), [alain.pruski](mailto:alain.pruski@univ-lorraine.fr) }@univ-lorraine.fr

ABSTRACT

This paper presents a methodology and a computer tool to check if a dwelling meets both the needs of a disabled future occupant and the wishes he expressed about the layout of his dwelling. The major steps of the methodology are a translation of the needs and wishes into predefined criteria that can be handled by the software and the modelling of the dwelling by a graph that captures both the layout of the dwelling and the capabilities of its user. Together, these two features allow to take various types of physical disabilities into account and offer the occupant the possibility of formulating a wide range of demands. This evaluation module is one of the two main components of a decision support tool aiming at helping human experts to adapt the layout of a dwelling to its future occupant or the layout of a building to its future users.

Keywords: disabilities, accessibility, adaptation evaluation, graph, 2D model, dwelling, accommodation

1 INTRODUCTION

This work aims to develop a decision support tool to help experts (architects, therapists and ergonomists) to adapt a dwelling to its future inhabitant, especially when the latter suffers from a disability (related to illness, accident, age). In this study, the layout and adaptation of furniture is not considered; the adaptation consists in modifying the rooms to fit at best the needs of the future inhabitant. Changes concern: the size, position, shape of the rooms, thickness of the walls, position and number of doors... Besides this, we also want to offer the future occupant the possibility to express a number of wishes, so that as long as it doesn't contradict the arrangements necessary to his health status, he can personalize his future home.

In what follows, for the sake of clarity, we discuss only of a dwelling and of his future inhabitant but the project also concerns buildings, hospitals and their users.

The number of possible variations of a given dwelling is so huge that there is low probability that an architect, who will only have time to draw and test a small number of sketches, finds the optimal arrangement (Medjdoub[13]). In this type of context, a computer exploration of the solution space has often given very good solutions (especially in mechanical engineering). That's why our approach consists in having the solution space explored by a software. This exploration is an optimization process which is based on two modules: 1) Acquisition of the needs and wishes of the inhabitant and acquisition of the current layout of the dwelling; 2) optimization, which itself relies on two other components: evaluation and modification. This paper presents our acquisition module and our evaluation component.

One of the few projects that dealt with the optimization of a dwelling is the HM2PH project (Leloup[1], Puret[2]). This study, although very innovative and detailed, has some drawbacks: a constraint about the dwelling layout can be managed only if it can be expressed as a combination of adjacencies. Besides this, distances between rooms are approximated by their Manhattan distance - $|DX| + |DY|$ -, rooms are necessarily square, doors are not managed, which prevents from computing



realistic paths. What follows presents our approach based on a unified graph modelling to solve these problems.

2 MODELLING OF THE NEEDS AND WISHES OF THE INHABITANT

To check whether a dwelling fulfils the needs of a disabled future occupant, the software must have a precise description of the person. But we also want to grant the occupant the possibility of acting on the evaluation process by letting him express wishes such as “ the cycle <sleeping room - toilet - kitchen - sleeping room> must be as short as possible or less than 15 meters long for example”.

The description of the person is provided to the software through a graphical interface containing textboxes and checkboxes which list physical problems such as: very limited efforts only, one-legged, blind, deaf, moving in wheelchair only, possibility of short distance walk... From these, pieces of information are extracted and impact the way the dwelling is evaluated. For example, we'll see later that, during the path searches, a person is approximated with a circle; if the person uses a wheelchair, the radius of the circle is bigger than if she walks, which may affect the size of a hallway. If “Limited efforts” is selected, a severity level is asked and a maximal number of steps that can be climbed in a row is determined. Other values are also inferred, such as the maximum distance that can be walked in one go or the maximum number of steps along an entire path.

The wishes of the occupant are provided with a similar interface. Here are some examples:

- Area (Room) > A ; Room and A are obtained with a subsequent dialog box
- Circuit (Room₁, Room₂ ... Room_n) not longer than L
- Door mandatory between Room₁ and Room₂
- No rooms in enfilade
- Room oriented D (e.g. Living room oriented South)
- Cost of works less than P
- Room₁, Room₂ ... Room_n are serviced by the same corridor
- Room₁ and Room₂ are on both sides of the same corridor
- Distance (Room₁, Room₂) < D ; Distance (Room₁, Room₂) > D
- Number of steps between Room₁ and Room₂ < N (or > N)
- Room₁ is [not] coincident to the exterior / to Room₂
- The dwelling is compact
- Room₁, Room₂ ... Room_n are on the same level
- Ensure that there is at least/most N level changes a day
- Ensure that a given amount of efforts is achieved each day
- N rooms required
- N bathrooms required
- N toilets required or 1 toilet at each level or 1 toilet per A m²

3 MODELLING OF THE DWELLING - GRAPH BUILDING

We mostly deal with 2D information: a dwelling is described as showed in figure 1: several plane areas, called levels, divided into several polygons representing rooms, each line segment being a wall. Some attributes are attached to each wall such as its thickness, the location of the doors and windows it carries and the position of the material relatively to the segment (left side, right side, both). The actual contours of the rooms are computed automatically, basically by offsetting the segments when required.

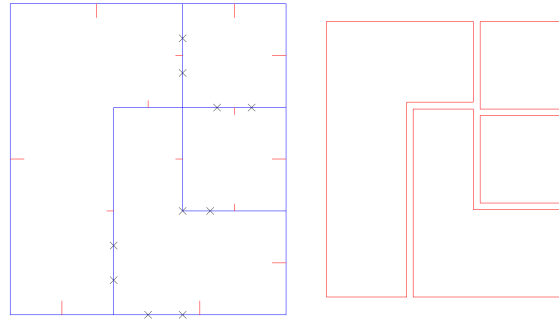


Figure 1: (left) the 2D description of a dwelling (crosses are door ends) and the computed contours of the rooms (right)

Many of the criteria that are used to evaluate a dwelling rely on the computation of constrained paths . The computed paths have to take into account the person who is moving in the dwelling. For example, a door or a corridor may be too narrow for a person in a wheelchair, which requires her to make a detour and increases the path length (if a path does exist). To deal with the fact that the person covers a given, non-null area, we approximate her with a circle, which means that the paths we compute are those of a circle. For example, we represent a person in a wheelchair with a 1,5 m diameter circle, as this is the normalised space required to make a u-turn. For a massive obese or for a standing person of classical stature, the radii would be different. We consider that the errors on the paths caused by the fact that the person is not precisely described (for example by the projection of her silhouette) are too small to be significant, especially if they are compared with the lengths of the paths.

The shortest path for a circle of radius R between two points A and B is shown in figure 2a. It is made of 1) a segment starting in A and tangent to an arc of radius R and centre C ; 2) a part of this arc ; 3) a segment tangent to the arc and ending in B . However, reaching such an accuracy is useless for us as, firstly, the circle is already an approximation and, secondly, we need the computations to be as fast as possible. So, instead of placing arcs on corners, we just place a point in front of each non-convex vertex of the rooms, at a distance $R\sqrt{2}$ (see point D). The shortest path we would get in the previous example is depicted in figure 2.b (B , D , A).

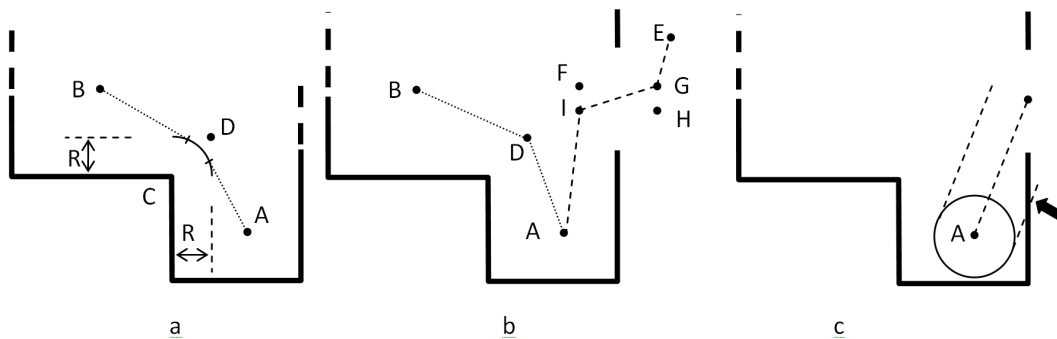


Figure 2: shortest path computation

Non-convex vertices of a given polygon/room Pol are computed in two steps. Firstly, the orientation of Pol is determined: let P_i be the rightmost vertex of Pol (the highest if there are many); then $\vec{n} = \overrightarrow{P_{i-1}P_i} \times \overrightarrow{P_iP_{i+1}}$ is the oriented normal of the polygon (and the polygon turns clockwise iff \vec{n} has the same direction as $+\vec{k}$). Now, a given vertex P_k is non-convex iff $\overrightarrow{P_{k-1}P_k} \times \overrightarrow{P_kP_{k+1}}$ has the opposite direction from \vec{n} .

Figure 2.b also shows the shortest path computed between A and E, which is in another room. Again, instead of using arcs to cross the door, we place two points on each side of the door (F,G,H, I) and, in this case, the path from A to E uses two of them. It would be a mistake to replace these four points by a unique point in the middle of the door as a circle moving along a segment from A to this unique point would hit the wall when getting close to the door (figure 2.c). Note that these “crossing” points can be built only if a number of geometric constraints are fulfilled; for example, if the door width is less than twice the radius then none of them is created.

Often, the paths are computed between two rooms (for example to check that the sleeping room is far enough from the - noisy - living room) so “starting” points have to be chosen in each room. For this, the centre of mass has two drawbacks. Firstly, the distance between the centres of mass of two rooms may be a real underestimation of the actual distance between the rooms (figure 3.a). Second, if the room is not convex, there is no warranty that the centre of mass lies inside the room. Besides this, if a room has several doors, the fact of exiting the room through one door or another may have a significant impact on the path. So, to be sure not to underestimate the path lengths, we associate a starting point with each door of each room. For a given door and room, the starting point is, amongst all the points that are closer to this door than to any other one, the furthest one (figure 3.b).

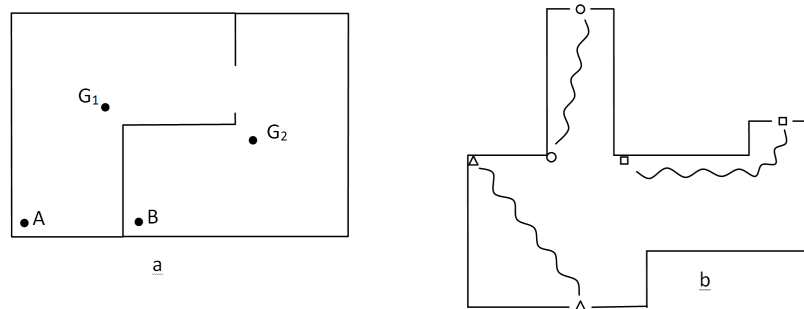


Figure 3: a) the distance between the centres of mass (G_1 and G_2) is about one third of the distance from A to B; b) a 3-door room and the starting point of each door

To summarize, several feature points are computed for each room: one point in front of each non-convex vertex, two “crossing” points and one “starting” point for each door. It sometimes happens that some of these points have to be discarded, for example because they are too close to a wall other than the one from which they were built.

Once all the points in a room are calculated, all the lines connecting two of these points are computed and those whose distance to the polygon surrounding the room is smaller than the radius of the disk, are rejected. The remaining segments represent all the possibly useful rectilinear moves in the room while computing a shortest path from, to or through this room. To connect the rooms, up to four extra segments are created between the “crossing” points on each side of each door ([F, G], [F, H], [I, G], [I, H] in figure 2.b). Figure 4 shows a dwelling and all the possible moves in it for two different persons.

Path computation, especially shortest path computation, is performed much more easily when a graph is available. This graph is easily built by associating a vertex to each feature point and an arc to each segment. It is close to a graph commonly used in robotics, where it is called the “visibility graph” (De Berg [8]). We rather call it the “mobility” graph as it depends on the user of the dwelling. Besides the already mentioned arcs, extra arcs are also added to the graph to describe the level change facilities (stairways, ramps, lifts). Once the graph is available, it is easy and fast to compute a shortest path between two vertices; it is then easy to compute the shortest path between two rooms R1 and R2 (see below). However, the number of paths to be calculated can be high and the size of the graphs and their density can be very large.

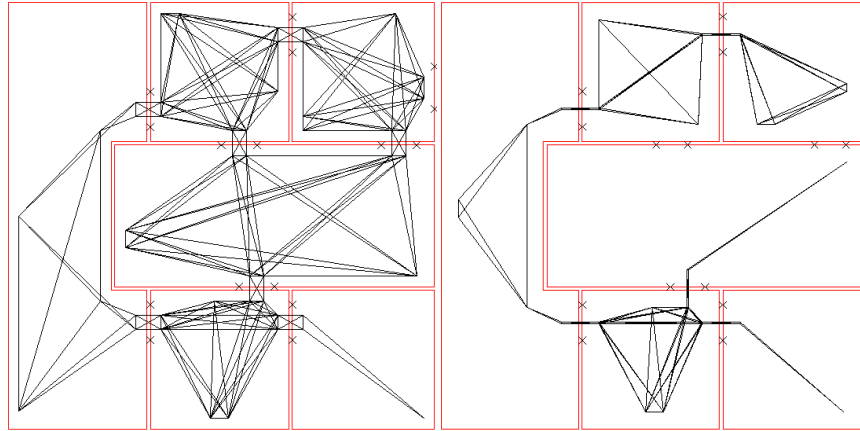


Figure 4: the possible moves in a dwelling for a 0.3 m-radius circle (left) and for a 0.48 m-radius circle (right)

Another representation of the dwelling is used several times during its evaluation: the adjacency graph. This one is a simplification of the former, where there is exactly one node for each room and one arc between two nodes if and only if there is at least one arc between the two rooms in the mobility graph. An arc between two nodes means that there is at least one door between the two rooms and that the future occupant can cross it.

4 EVALUATION OF THE DWELLING

Evaluation of the dwelling consists in checking how a layout of the dwelling fits the needs and wishes of the future occupant. It is a three-layer process: operators, criteria and dwelling.

4.1 Operators

Operators are low-level treatments, which directly use the data structures describing the dwelling (2D data structure+mobility graph+adjacency graph). The most common ones are presented below. Note that the distance between two points A and B can be understood twofold: it may be the length of segment [A, B] or the length of the shortest path from A to B in the dwelling. We name the former Geometric distance and the latter Dwelling distance.

- *Geometric distance between two points A and B:* $g_dist(A, B) = \sqrt{DX_{AB}^2 + DY_{AB}^2}$
- *Dwelling distance between two rooms:* $d_dist(R_1, R_2)$

It is not obvious to define the distance between two rooms. The mathematical definition for two coincident rooms would give 0 but we'd prefer some kind of average distance, such as the distance between "central" points; we call it d_dist . As explained above, we replaced the notion of "central" point of a room by several starting points so, finally, we define the geometric gap as the geometric distance between the two furthest starting points in the two rooms:

Let $S_1(i)_{1 \leq i \leq N_1}$ be the starting points in room R_1 and $S_2(j)_{1 \leq j \leq N_2}$ be the starting points in room R_2 ; then

$$d_dist(R_1, R_2) = \text{Max}(d_dist(S_1(i), S_2(j)), 1 \leq i \leq N_1, 1 \leq j \leq N_2) \quad (1)$$

Besides the distance, this operator also returns the starting point in R_1 and R_2 that were used to compute the distance.

- *Geometric diameter of a level:* $g_diameter$



It is the maximum geometric distance between two rooms for all pairs of rooms.

Again, two extra results are the starting points used to compute this distance.

- *Cost of a layout*

It returns the cost of the works to transform the initial layout of a dwelling into a given new layout. It is a combination of basic costs such as: moving a bearing wall, opening a door in a wall, installing a given length water line...

- *Orientations of a room*

This operator returns as many vectors as walls adjacent to the outside. Each vector is normal to its wall, oriented outwards and normalized.

- *Adjacency of two rooms, communicating rooms*

Adjacency is true *iff* the two rooms share a wall. Two rooms communicate *iff* they share a door.

- *Shortest path between two rooms*

This consists in computing the shortest path from each starting point of the first room to each starting point of the second room and in returning the longest one. One shortest path between two points is computed by identifying the corresponding vertices in the mobility graph and by using a specialized algorithm such as Dijkstra or A*(Cormen [7]).

- *Area of a room*

The contour of each room is computed at the beginning of the process. In our case, this contour is a polygon and the surface of a N-sided polygon is given by the following formula:

$$Area = \frac{1}{2} \left| \sum_{i=1}^N (x_{i+1}y_i - x_iy_{i+1}) \right| \quad (2)$$

- *Connectivity of a graph*

A graph is connected *iff* any vertex is connected to any other vertex through a path. This is simply checked, for example by starting a depth first search at any vertex and in counting the number of vertices reached. The graph is connected *iff* this number is equal to the number of vertices.

We also use a typed connectivity algorithm, which proceeds from one vertex v to its neighbours only if v has a given type.

4.2 Evaluation of a single criterion

A criterion is a request whose satisfaction is measured with a mark. Some criteria come from the needs of the inhabitant (e.g. there must be a path with less than 5 steps between any two rooms) and others translate the wishes he expressed. We show hereafter how to evaluate some criteria and give, when relevant, the costs of these operations. For this, we call R the number of rooms and AM the number of arcs in the mobility graph.

- *Criterion: any point in the dwelling can be accessed*

This may look like a useless criterion but it is not: evaluation of a dwelling will be used in an iterative process that will produce many layouts, including invalid ones. These must be detected.

This criterion is evaluated by simply checking that the mobility graph is connected, for example with a $O(R+AM)$ -time depth first search.

The result is binary (connected or not) but we may gradate it according to the number of connected components of the mobility graph or according to the proportion of vertices reached by the graph traversal.

- *Criterion: compactness*

Let $d_diameter$ be the shortest path between the two points used to compute the $g_diameter$ of a level. A level is said to be compact *iff* $g_diameter / d_diameter$ tends towards one.

- *Criterion: rooms in enfilade*

Rooms in enfilade are sometimes desirable: for example, it is preferable that the bathroom of a hospital room can only be accessed through the room. At home, one generally prefers not to have to cross a room to access another room, unless the former is a corridor or a room where the passage is considered not to be disturbing. To detect the presence of enfilades, we use the typed-connectivity operator: corridors and rooms where passage is tolerated are marked (typed). Then the typed-connectivity is checked, starting from any marked vertex. There is at least one enfilade *iff* some vertices are not reached.

Note that an algorithm consisting in merging the set of all passage vertices and their neighborhoods and in checking whether the resulting set contains all the vertices is not valid as it would conclude that there are no enfilades in the apartment of figure 5.

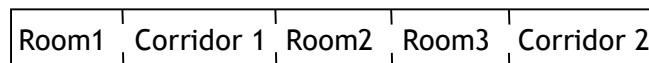


Figure 5: although all rooms are adjacent to a corridor, one must cross Room2 to go from Room1 to Room3.

- *Criterion: room oriented south (or any other direction \vec{D})*

The angle between two normalized vectors \vec{U} and \vec{V} is less than α *iff* $\vec{U} \cdot \vec{V} < \cos(\alpha)$. And an operator returns the so-called orientations of any room as a set of normalized vectors. So for this criterion to be fulfilled, the dot product of \vec{D} , once normalized, and any of these vectors just has to be less than $\cos(\alpha)$, α being an angular tolerance (e.g. 30 degrees).

4.3 Evaluation of the whole dwelling

The evaluation criteria resulting from the disabilities of the future occupant are decisive: if they are not fulfilled, the global mark (dwelling mark) must be the worst mark. Otherwise, the results of the partial evaluations (criteria evaluation) are combined to produce the dwelling mark. To do this, there are two categories of methods: the mono-criterion approaches and the multi-criteria approaches. The former consist in, firstly, normalizing the values of each criterion (Boulanger[15]), secondly, in weighting each criterion according to its importance (Saaty[4], Al Subhi Al Harbi[11], Bana E Costa[12], Roy[9]) and, thirdly, in aggregating them with a weighted arithmetic mean or the Multi-Attribute Utility Theory (Dyer[6])... Multi-criteria approaches outrank some criteria, using for example a Pareto dominance (Pomerol [5]) or other methods such as ELECTRE (Roy[3]) or PROMETHEE (Brans[10]), although these methods require more information from decision makers than just logic comparisons.

5 CONCLUSION AND PERSPECTIVES

This paper presents 1) a methodology to check whether the layout of a dwelling or a building meets both the needs and wishes of the people, possibly disabled, who will use it; 2) a graph building and a computer tools that implement the concept. Two important aspects are that the specifics of the future occupant's disability are taken into account and that the future occupant may impact the

evaluation process by expressing his own preferences. The method and the computer tool can also be used for non-disabled persons.

We plan several extensions. Concerning the evaluation itself, we need to integrate the notion of effort. Taking efforts into account, and specially their accumulation during a journey between two rooms, is not simple; it demands that the shortest path algorithm be adapted, as, for example, a longer path with a plane section, allowing the person to recover, could be preferred to a shorter path demanding more efforts in a row. We would also like to develop an evaluation that would consider the future of the occupant: the dwelling mark would then take into account the capability of the dwelling to slow down the decline in physical capacities of the occupant or an increased easiness to readapt it, in case the occupant's condition would worsen. Coupled with a modification tool, this evaluation module will open the way to a real optimization of a dwelling or a building.

6 REFERENCES

- [1] **Leloup, J. 2004.** Spécification d'un espace de vie mobile et adapté pour des personnes en déficit d'autonomie, Thèse de doctorat, Université François-Rebelais, Tours
- [2] **Puret, A. 2007.** Projet HM2PH, Génération automatique de plans et visite virtuelle d'habitats adaptés pour personnes handicapées, Thèse de doctorat, Université François-Rebelais, Tours
- [3] **Roy, B; Bouyoussou, D. 1993.** Aide multicritère à la décision : Méthodes et Cas, Economica.
- [4] **Saaty, T.L. 1982.** Decision Making For Leaders : The analytic hierarchy process for decisions in a complex world, 3rd Edition, RWS Publications.
- [5] **Pomerol, J.Ch; Barba-Romero, S. 1993.** Choix multicritère dans l'entreprise, Hermes.
- [6] **Dyer, J.S. 2005.** Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Springer New York.
- [7] **Cormen, T ; Leiserson, L ; Rivest, R. 2009.** Introduction to algorithms, MIT Press.
- [8] **De Berg, M; Van Kreveld, M, Overmars, M; Schwarzkopf, Otfried. 2000.** "Chapter 15: Visibility Graphs", Computational Geometry (2nd Edition), Springer-Verlag, pp. 307-317.
- [9] **Roy, B; Figuera, J. 2002.** Determining the weights of criteria in the ELECTRE type methods with revised Simo's procedure, European Journal of Operational Research, 139(2), pp 317-326.
- [10] **Brans, J.P; Vincke, Ph; Mareschal, B. 1986.** How to select and how to rank projects: The PROMETHEE method, European Journal of Operational Research, 24(2), pp 228-238.
- [11] **Al Subhi Al Harbi, K.M. 2001.** Application of the AHP in project management, International Journal of Project Management, 19(1), pp 19-27.
- [12] **Bana E Costa, C.A, Vansnick, J-C. 1997.** Applications of the MACBETH approach in the framework of an additive aggregation model., Journal of multi-criteria decision analysis, 6(2), pp 107-114.
- [13] **Medjdoub, B et Yannou, B. 1996.** A Functional Approach in Architectural CAD Softwares : ARCHiPLAN, Proceeding of ICTCSE'96 : International Conference on Information Technology in Civil and Structural Engineering Design, Glasgow, Ecosse, augus 14-16.
- [14] **Chakrabarty, B.K. 1987.** Affordable dwelling-layout system design- a model for optimization, Socio-Economic Planning Sciences, 21(5), pp 283-289.
- [15] **Boulanger, P-M. 2004.** Les indicateurs de développement durable : un défi scientifique, un enjeu démocratique. Les séminaires de l'Iddri n° 12, Paris.