



réparation, maintenance

OPTIMISATION PAR ESSAIM PARTICULAIRE DE LA PLANIFICATION DES ACTIONS DE MAINTENANCE D'UN PARC IMMOBILIER

Franck TAILLANDIER¹, Amadou NDIAYE², Christophe FERNANDEZ²

¹ Univ. Bordeaux, I2M, UMR 5295, F-33400 Talence

franck.taillandier@u-bordeaux1.fr

² INRA, UMR5295 I2M, Université de Bordeaux/INRA/CNRS, F-33405 Talence

1. INTRODUCTION

La maintenance est une activité clef dans la gestion de parc patrimonial immobilier. Elle permet de maintenir la fonction des bâtiments et ouvrages du parc. On distingue la maintenance courante et la maintenance programmée [BON 06]. La maintenance courante concerne les petites opérations, elle est généralement réglée par des procédures prédéfinies (appel à la société de gestion des ascenseurs en cas de panne par exemple). La maintenance programmée concerne les opérations plus lourdes (ravalement de façade, changement du système de chauffage...). Celle-ci fait généralement l'objet d'un plan d'actions pluriannuel spécifique dont l'élaboration peut s'avérer être complexe [TAI 09a]. En effet, il existe pour chaque bâtiment de nombreuses interventions possibles qui peuvent entraîner de graves conséquences en cas de non réalisation (arrêt d'activité, accident...) et un coût élevé. Les gestionnaires de patrimoine, faute de pouvoir réaliser toutes les actions de maintenance tout en respectant les coûts alloués, doivent nécessairement faire des choix qui vont se traduire par des compromis. Les compromis ont lieu tout à la fois entre les

éléments du parc à maintenir (les différents bâtiments, les éléments de voirie...) et entre les objectifs du gestionnaire (limiter les coûts, assurer un bon niveau de confort, respecter la réglementation...).

La résolution de ce problème passe alors par une modélisation adaptée du parc immobilier et par une méthode d'aide à la décision pertinente. Il existe différentes méthodes d'analyses de parc immobilier (par exemple MERIP [GEN 92], SIMS [JOU 95] ou TbMaestro [FOU 03]), mais elles s'arrêtent à l'évaluation des bâtiments sans proposer de solution pour construire un plan d'actions. La partie décisionnelle est souvent lacunaire. Ainsi la méthode proposée par [TAI 09a], basée sur une démarche interactive et celle proposée par [KAR 06] basée sur l'utilité se révèlent très intéressantes. Cependant, elles ne permettent pas de répondre à tous les types de problèmes décisionnels liés à la maintenance de parc immobilier. La première exige une forte disponibilité du décideur alors que la deuxième ne permet de considérer qu'un nombre limité d'alternatives et ne sera pas adaptée à l'élaboration de plans d'actions complet mais plutôt à des priorisation de rénovation. Ainsi cet article propose une méthode dont le

rôle est double : la modélisation (description formalisée) du parc immobilier afin d'en avoir une vision cohérente dans une perspective de maintenance, et l'aide à la construction de plans d'actions pertinents de maintenance programmée. Il s'appuie sur un exemple traitant de la maintenance du patrimoine d'une grande entreprise française. Cet exemple faisant figure d'expérimentation permettra de mettre en lumière l'intérêt de la méthode retenue.

2. MODÉLISATION DU PARC IMMOBILIER

La première étape consiste à modéliser le parc immobilier, c'est-à-dire à en tirer une description formalisée et structurée à même de répondre à l'objectif d'aide à la maintenance. La modélisation retenue utilise une description arborescente du parc immobilier telle que proposée par [TAI 09b]. En effet, il est possible de décomposer chaque bâtiment en systèmes et en sous-systèmes. Cette vision permet de positionner les éléments techniques des bâtiments (composants), qui sont les mieux maîtrisés par les différents intervenants techniques.

Lors de l'expérimentation six niveaux de décomposition ont été proposés par les acteurs (Figure 1). Des réunions ont été organisées entre les différents acteurs, qu'ils soient techniciens, administratifs ou décideurs afin de discuter de ce paramètre. Il a été validé par un consensus des différents acteurs. Le choix des niveaux de décomposition dépend de la taille du service de gestion de patrimoine et de la façon dont le service est organisé. Il est évident que plus le nombre de niveau est élevé, plus cela va apporter de la complexité au problème, mais cela peut aussi permettre d'obtenir une vision plus fine du problème. Il y a donc un compromis à trouver qui ne peut que naître de la discussion entre les différents acteurs du service patrimonial.

Pour le cas du patrimoine de cette expérimentation, le nombre d'éléments (parc, zone, bâtiment, domaine, sys-

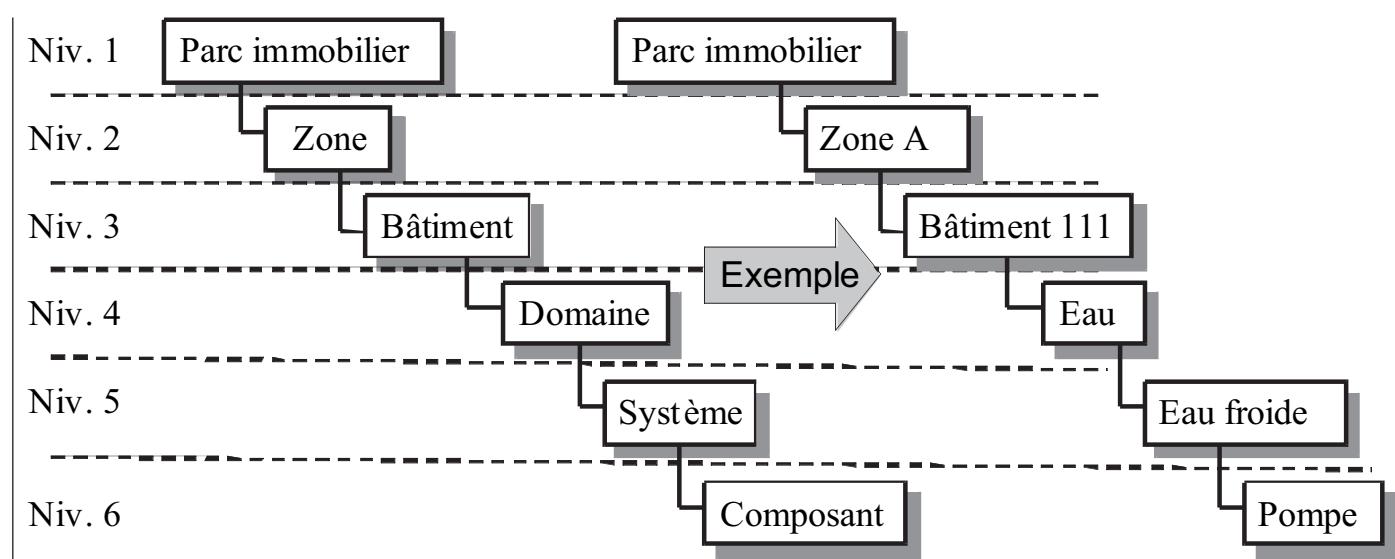
Niveau	Nombre d'éléments
Parc	1
Zone	5
Bâtiment	92
Domaine	920
Système	2396
Composant	5539

Tableau 1. Nombre d'éléments dans l'expérimentation

tème et composant) est relativement important : 92 bâtiments conduisant à un peu moins de 10000 éléments (Tableau 1). Cependant, la même démarche pourrait être appliquée à des patrimoines plus restreints (une vingtaine d'ouvrages) ou au contraire plus importants (plusieurs centaines) en augmentant ou diminuant le nombre de niveaux considérés. Encore une fois, ce choix va impacter l'effort de représentation en aval et la finesse de la représentation. Il faudra donc le faire en fonction des moyens disponibles et de la richesse souhaitée du résultat. La description complète du parc immobilier à un grand niveau de finesse peut être chronophage, mais elle peut servir de support à de nombreuses activités patrimoniales dépassant le cadre même de la maintenance. Elle est souvent intéressante donc pour la gestion de patrimoine immobilier.

3. ÉVALUATION DES ÉLÉMENTS DU PARC ET PROPOSITION D'ACTIONS

Une fois que le parc a été décrit avec ses différents éléments, il est possible de les évaluer. L'évaluation du parc immobilier a pour objectif de définir l'état dans lequel se trouvent les différents éléments du parc. L'évaluation se fera à partir des éléments du niveau le plus fin (les composants dans l'expérimentation). Elle se fera selon une



approche qualitative multicritère. Dans notre exemple, trois critères (domaines d'enjeux) ont été utilisés : le domaine réglementaire (adéquation aux normes et lois en vigueur), le domaine technique (état technique du composant) et le domaine commercial (adéquation du fonctionnement du composant avec l'attente du client). Pour évaluer chaque élément, une échelle discrète ordinaire allant de 1 à 4 (de la plus mauvaise situation à la plus favorable) a été retenue ; à chaque note correspond une signification différente pour chaque critère. Par exemple la note de 4 sur le domaine réglementaire indique que l'élément est parfaitement aux normes et respecte la réglementation, la même note sur le domaine commercial signifie que l'élément répond en tout point aux attentes de l'utilisateur. Le principe de l'évaluation est d'avoir un sens partagé pour chaque note entre les différents acteurs. Il faut qu'une note de 3 sur le domaine commercial renvoie bien à une même situation pour l'électricien, le plombier ou le décideur. Cette homogénéité de la notation va directement impacter la qualité de la représentation finale. C'est donc un point important qui doit être discuté et compris par les différents acteurs.

Un autre aspect porte sur l'évolution de ces évaluations dans le temps. Généralement, les gestionnaires de patrimoine prévoient des plans d'actions portant sur plusieurs années (de 3 à 10 ans) ; cela permet d'avoir une vision à moyen terme nécessaire à l'établissement d'une stratégie patrimoniale. Pour l'expérimentation, une durée de 5 ans a été retenue pour le plan d'actions. Mais sur cette durée, les bâtiments et leurs composants vont sensiblement se dégrader (vieillissement naturel) en fonction de leur durée de vie et de leur usage. Il faut donc pouvoir intégrer cette évolution dans le modèle (Figure 2). Pour cela, une loi d'évolution par domaine d'enjeux est proposée pour chaque élément en se basant sur leur durée de vie théorique. Cette loi d'évolution peut être basée sur des informations du fabricant, des bases de données ou des lois par défaut.

Dans une première approche, nous utiliserons une loi linéaire discrétisée pour représenter l'évolution des notes sur les aspects techniques et commerciaux. Ainsi par exemple, un élément ayant une durée de vie de 15 ans, passe d'une note de 4 à 1 pour les aspects techniques en

15 ans, soit une diminution d'un niveau tous les 5 ans. Le domaine réglementaire suit une évolution plus complexe. Il peut dépendre pour certains éléments, de sa date de mise en service, mais aussi de l'évolution réglementaire (quoique celle-là soit rarement rétroactive). Ainsi, dans un premier temps, on supposera l'évaluation de cette note constante sur la durée du plan d'actions. Nous reviendrons sur ce choix dans la discussion (partie 5).

Les actions de maintenance vont permettre de garder les bâtiments dans de bonnes conditions, c'est-à-dire de maintenir le niveau des notes. Chaque action sera ainsi caractérisée par son coût (coût financier) et son gain (augmentation de notes sur un ou plusieurs critères). En plaçant les actions temporellement il sera ainsi possible d'en déterminer l'impact sur les notes (Figure 3). Cela s'inscrit dans une logique de simulation puisque l'on peut ainsi mesurer les conséquences sur les trois domaines d'enjeux du placement d'une ou d'un groupe d'actions à différentes années.

Pour chacun des bâtiments, une liste d'actions possibles est proposée. Les actions seront liées aux composants. Une action peut agir sur plusieurs composants (par exemple le changement d'une chaudière impacte à la fois la partie Eau Chaude Sanitaire et la partie chauffage), et il peut y avoir pour un même composant plusieurs actions possibles (par exemple une réfection légère ou lourde d'un local). Dans notre expérimentation, nous avons considéré une liste d'actions identique pour chaque bâtiment composé de 138 actions, ce qui revient à 12696 actions possibles. Cette hypothèse a été rendue possible par l'homogénéité du parc immobilier. En cas de bâtiments très différents, il peut être nécessaire de différencier davantage les listes d'actions par bâtiment.

4. PLANIFICATION DES ACTIONS

4.1. Principe

Il n'est pas possible de réaliser ces 12696 actions. En effet, le service de gestion de patrimoine dispose en général d'un budget limité pour assurer la maintenance du parc immo-

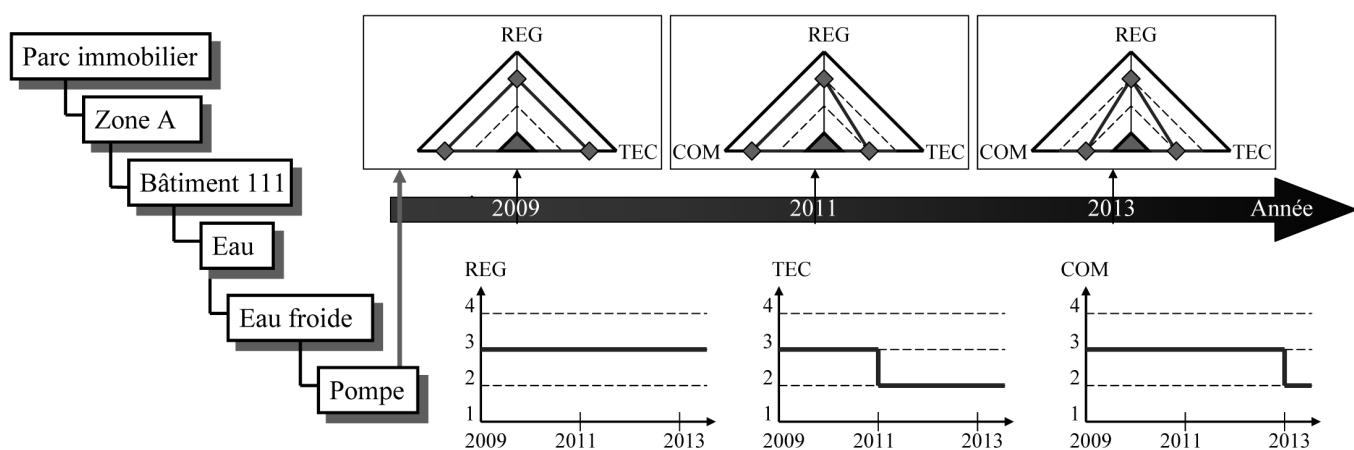


Figure 2. Evaluation des éléments du patrimoine

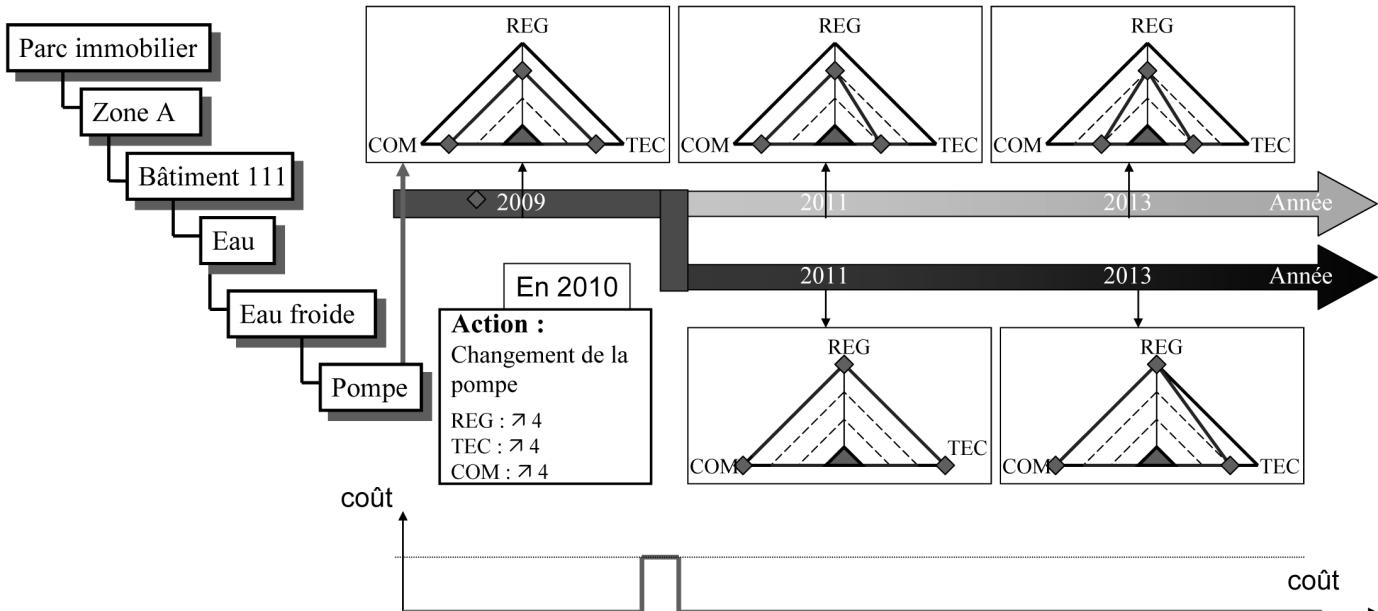


Figure 3. Impact d'une action

bilier. Il est alors nécessaire de déterminer une procédure de choix des actions de maintenance parmi toutes les actions réalisables afin de respecter la contrainte budgétaire. En raison de l'explosion combinatoire, construire l'ensemble des scénarios n'est pas chose faisable dans un temps acceptable dans la plupart des cas. En effet, le nombre total de plans d'actions possibles peut rapidement devenir extrêmement important (plusieurs dizaines de milliards). A défaut de pouvoir analyser l'ensemble des solutions, il est possible d'essayer de trouver une solution pertinente en ayant recours à une métaheuristique. Une métaheuristique est une stratégie d'exploration de l'espace des solutions d'un problème permettant de guider la recherche vers une solution optimale. Ainsi, l'optimisation par Essaim Particulaire [KEN 95] peut permettre de trouver parmi l'ensemble de solutions, une solution optimale. Cette métaheuristique qui a fait ses preuves dans différents domaines [POL 08] est aujourd'hui utilisée en génie civil [FON 11 ; MIC 09].

Pour commencer l'optimisation, il faut tout d'abord modéliser le problème. Ainsi, pour chaque action, on affecte une variable d'optimisation discrète $y = \{0, \dots, \text{durée du plan d'action}\}$ correspondant à l'année d'exécution de l'action. La valeur $y = 0$ est attribuée pour les actions non retenues dans le plan d'actions. Il faut aussi déterminer une fonction à optimiser, dite fonction objectif, permettant de définir ce qui peut être considéré comme une solution optimale. La fonction objectif s'appuie sur les notions de note objectif et note minimale. La note objectif reflète ce que le décideur souhaiterait idéalement obtenir : pour lui, il n'est pas nécessaire que, pour ce critère, la note soit supérieure à cette valeur. La note minimale représente la note minimale qu'il souhaite obtenir pour ce critère. Une situation pour laquelle il y aurait une note inférieure à cette valeur pour ce critère serait considérée comme mauvaise. A partir de ces deux notions, il est possible de définir la fonction objectif (1).

$$Ip = \frac{\sum_{i=1}^{Nb_{Elt-Bld}} \sum_{j=1}^{Nb_{Crit}} \sum_{k=1}^{Nb_{Year}} \frac{\max(0; N_{objij} - N_{ijk}) + \max(0; N_{minij} - N_{ijk})}{(N_{objij} - 1) + (N_{minij} - 1)}}{Nb_{Elt-Bld} \cdot Nb_{Crit} \cdot Nb_{Year}} \quad (1)$$

avec Ip l'indice de performance du plan d'action, $Nb_{Elt.Bld}$, Nb_{Crit} et Nb_{Year} respectivement les nombres de composants, de critères et d'années considérées, N_{objij} et N_{minij} , les notes objectif et minimale pour le bâtiment i sur le critère j et enfin N_{ijk} la note du bâtiment i sur le critère j pour l'année k . Plus Ip sera faible (tendra vers 0) plus le plan d'actions sera considéré comme adapté ; Ip sera égal à 0 pour un scénario respectant en tout point les objectifs du décideur. L'optimisation par essaim particulaire va chercher à déterminer les y pour chaque action, qui permettent de respecter le budget (les jeux de valeurs amenant à dépasser le budget ne sont pas éligibles) et de minimiser la fonction objectif (1).

4.2. Optimisation par essaim particulaire

La méthode d'optimisation par essaim particulaire consiste à déterminer des solutions optimales à l'aide d'un ensemble de particules explorant l'espace des solutions et pouvant communiquer entre elles. Ainsi, chaque particule se déplacera dans l'espace des solutions de la fonction objectif à une vitesse et dans une direction calculée selon des règles de voisinage. Le déplacement d'une particule sera fonction de trois pôles d'attraction : sa meilleure position explorée, la meilleure position de ses voisines, et sa force d'inertie. Pour une fonction objectif de dimension n , la position et la vitesse d'une particule sont représentées sous forme de vecteurs à n composants. Les vecteurs vitesse (v_q) et position (x_q) sont respectivement de la forme $v_q = (v_{q,1}, \dots, v_{q,n})$ et $x_q = (x_{q,1}, \dots, x_{q,n})$. Le processus d'optimisation étant initialisé par un positionnement aléatoire des particules, la vitesse et la position d'une particule i à



chaque itération (le passage du temps t au temps $t+1$) sont actualisées avec les équations 2 [KEN 95] et 3 [MIC 09 ; KEN 97] suivantes :

$$v_{q,i}(t+1) = \omega v_{q,i}(t) + c_1 r_1(p_{q,i}(t) - x_{q,i}(t)) + c_2 r_2(g_{q,i}(t) - x_{q,i}(t)) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} x_{q,i}(t+1) &= a_k \quad \text{si } \varphi_{k-1} < S(v_{q,i}(t+1)) \\ &= a_j \quad \text{si } \varphi_{j-1} < S(v_{q,i}(t+1)) \leq \varphi_i \quad \text{avec } 1 < j \leq k-1 \\ &= a_l \quad \text{si } \varphi_i \geq S(v_{q,i}(t+1)) \end{aligned} \quad (3)$$

$$\text{avec } S(v_{q,i}(t+1)) = \frac{1}{1 + e^{-v_{q,i}(t+1)}}$$

$x_{q,i}(t)$ et $v_{q,i}(t)$ sont respectivement les i èmes composants des vecteurs position et vitesse de la particule i au temps t ; $p_{q,i}(t)$ et $g_{q,i}(t)$ sont respectivement les meilleures positions jamais visitées par la particule i et par ses particules voisines au temps t ; ω représente la force d'inertie d'une particule ; c_1 et c_2 sont des constantes positives d'accélération ; r_1 et r_2 sont des nombres aléatoires compris entre 0 et 1 ; les φ_i sont des nombres aléatoires uniformément distribués entre 0 et 1 et strictement ordonnés ; les a_i sont les valeurs du domaine de valeur d'une variable discrète.

4.3. Application à l'optimisation de l'indice de performance

Dans la problématique de maintenance développée dans cet article, chaque particule de l'essaim représente un plan d'actions. La position d'une particule dans l'espace des solutions est son indice de performance (équation 1). Le nombre de particules de l'essaim est défini à priori (par essais-erreurs). Un plan d'actions est un ensemble de quadruplets <Bâtiment, Composant, Action, Année>.

L'algorithme d'optimisation basé sur un voisinage total (chaque particule est voisine de toute autre particule) est le suivant :

1. Constituer aléatoirement n plans d'actions ;
2. Calculer l'indice de performance I_p de chaque plan d'actions : calcule de la position de la particule dans l'espace des solutions ;
3. Mémoriser le plus petit indice de performance de chaque plan d'actions, et celui de l'ensemble des plans d'actions ;
4. Déterminer l'évolution de chaque variable du plan d'actions : calculer le déplacement de chaque particule ;
5. Faire évoluer chaque plan d'actions : déplacement de chaque particule suivant sa vitesse calculée ;
6. Retourner à l'étape 2.

L'algorithme s'exécute un nombre donné de fois, défini par l'utilisateur (paramètre de la méthode). Il est possible de déterminer un nombre d'itérations « idéal » (compromis entre qualité des solutions et temps de calcul) par essais-erreurs (on teste différentes possibilités).

4.4. Résultats

L'application à l'expérimentation s'est faite sur l'une des cinq zones du parc qui était particulièrement stratégique. Le choix de ne considérer qu'une zone provient de l'orga-

nisation du service de patrimoine dans lequel chaque zone est considérée séparément (budget et responsable différents). Ainsi, cette zone présentant 22 bâtiments avait un indice de performance initial de 0,120 sur 5 ans (durée du plan d'actions retenue).

L'algorithme d'optimisation par essaim particulaire a exploré jusqu'à 27000 plans et a trouvé plusieurs solutions optimales différentes qui permettent de passer l'indice de performance à 0,117. Ces plans d'actions et leurs détails sont exposés sur la figure 4 et le tableau 2 (5 plans d'actions proposés).

5. DISCUSSION

Plusieurs points peuvent être soumis à discussion ; les premiers portent sur la modélisation alors que les seconds sur l'optimisation.

5.1. Modélisation

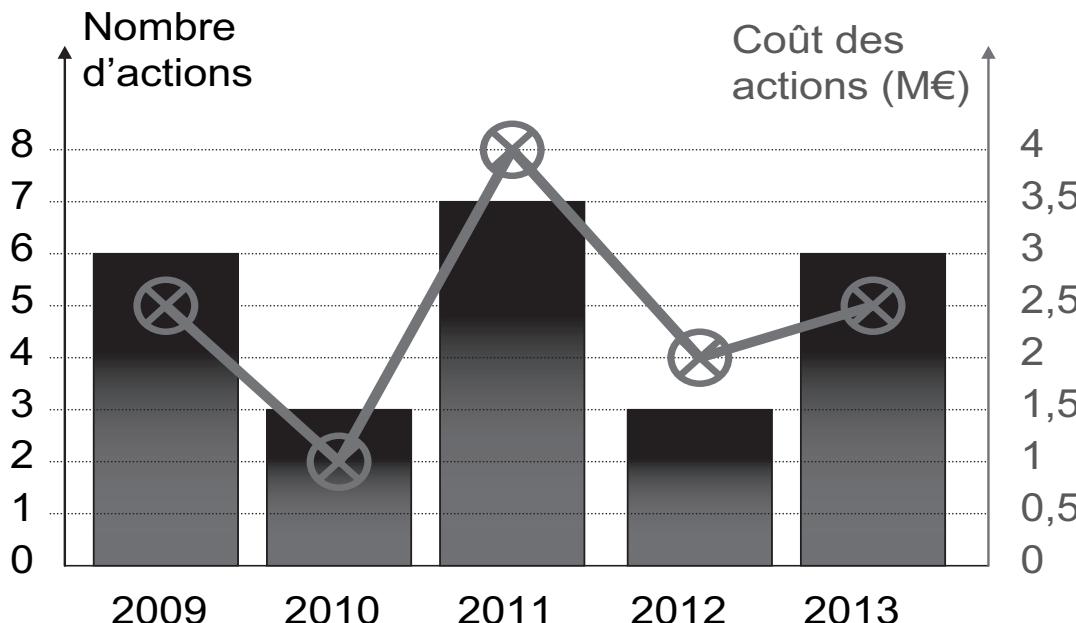
Le mode d'évaluation peut être discuté. Le choix d'un raisonnement qualitatif répond à une réalité. Pour certains éléments (ou certains critères), il n'est souvent pas possible d'apporter une évaluation plus fine. Cependant certains autres éléments pourraient bénéficier d'une modélisation plus poussée ; c'est notamment le cas des champs plus techniques (par exemple en ayant recours à des probabilités de défaillance d'un équipement). Ainsi, il serait intéressant d'intégrer dans le modèle une double échelle d'évaluation qui permet de gérer tout autant les données qualitatives que quantitatives.

Dans cet article aucune loi d'agrégation n'a été proposée pour permettre de faire remonter les notes selon les différents niveaux de décomposition. Or une note agrégée pourrait s'avérer très intéressante pour disposer d'un critère de comparaison des immeubles d'un parc. En effet, il paraît très difficile de bien évaluer le niveau d'un bâtiment (voire son état relativement à un autre) en considérant l'ensemble des notes au niveau composant (près d'une centaine par bâtiment). Il est toutefois possible d'ajouter à notre schéma descriptif un processus d'agrégation (par exemple la formule proposée par [TAI 09b] ou ELECTRE TRI [ALM 10 ; YU 92]).

Enfin, le choix des lois d'évolution est discutable. En effet, la plupart des équipements et des matériaux ne suivent pas une loi linéaire. Sur le plan commercial, certains perdent rapidement de leur valeur (ou de leur attrait) puis, la courbe d'évolution va ensuite se ralentir. À l'inverse certains matériaux ont une évolution lente au départ et rapide à la fin, sitôt que son état atteint une certaine limite de dégradation.

5.2. Optimisation

Une question importante concerne le choix de la fonction objectif. Celle-ci a le mérite de rendre explicite les attentes du décideur au travers des notes objectif et minimale. Cependant, il n'y a pas de choix formalisé explicitement sur l'importance relative des différents critères entre eux

**Figure 4. Répartition annuelle du plan d'actions retenu**

		Année 1		Année 2		Année 3		Année 4		Année 5		Totaux	
Sol.	Ip	Coût (k€)	Nbre act.										
S1	0,1173	570	7	461	11	2115	20	1153	10	333	6	4631	54
S2	0,1173	675	9	787	16	2461	31	545	13	474	8	4941	77
S3	0,1175	395	8	2096	28	1024	20	860	13	563	10	4937	79
S4	0,1172	787	10	1088	28	1440	20	419	13	343	10	4077	81
S5	0,1175	198	7	748	16	1897	24	874	12	1182	13	4898	72

Tableau 2. Plans d'actions obtenus pour un budget de 5 000 k€ sur 5 ans via l'optimisation par essaim particulaire

ou sur celles des différents composants (bien qu'indirectement cela soit présent à travers les notes du décideur). L'une des façons de résoudre ce problème est d'avoir recours à une agrégation des notes au niveau du bâtiment pour chacun des critères tel que proposé dans le paragraphe lié à la modélisation (§5.1.). Une démarche complémentaire serait de ne pas agréger les trois critères entre eux et de faire appel à une méthode d'optimisation multi-objectif. On aurait alors un résultat du type front de Pareto laissant au décideur (potentiellement aidé par une méthode) choisir la solution optimale lui paraissant la plus adaptée à ses besoins.

Un autre point peut être questionné, il s'agit de la considération de la contrainte budgétaire. Dans notre expérimentation, il a été considéré une contrainte globale, sans règles de répartitions sur les différentes années. Or dans beaucoup d'organismes (privés ou publics), des règles budgétaires imposent une répartition équitable sur chacune des années. Il serait ainsi intéressant de travailler avec cette contrainte supplémentaire. Le budget pourrait aussi passer de contrainte à variable d'optimisation. Ainsi dans le cadre d'une optimisation multi-objectif, il pourrait être proposé

au décideur un ensemble de solutions (des plans d'actions) présentant différents compromis entre budget et performance.

Un point clef pour toute méthode de décision concerne la robustesse. La robustesse est l'aptitude d'une méthode à résister à des approximations ou à des zones d'ignorances afin de se protéger d'impacts jugés regrettables, notamment la dégradation de propriétés à préserver [ROY 05]. L'analyse de la robustesse consiste ainsi à explorer l'impact sur les résultats (plans d'actions) d'une modification des paramètres. Pour la mener à bien, il faut définir un jeu acceptable de valeurs de paramètres et mesurer l'impact de leur choix sur le résultat final. La robustesse de la méthode utilisée ici n'a pas été étudiée mais devrait l'être rapidement.

6. CONCLUSION

Ainsi, il a été proposé dans cet article une nouvelle approche pour concevoir des plans d'actions optimisés de maintenance d'un parc immobilier. Or c'est un domaine



dans lequel peu de méthodes ont été jusqu'alors proposées. Cette méthode est basée sur le couplage d'une logique de simulation avec une méthode d'optimisation reconnue. Certains points restent en discussion, et pourraient se voir offrir des améliorations. Pourtant la démarche présente un véritable intérêt, puisqu'elle permet de fournir des éléments de décision même dans les cas complexes (plusieurs centaines de bâtiment). Sa confrontation à un cas réel et concret, a permis d'en illustrer le fonctionnement et d'en démontrer l'opérationnalité. Toutefois, cette opérationnalité, pour les cas réels ne pourra être avérée qu'avec un support logiciel adapté. Pour l'instant, il n'existe qu'un prototype de recherche permettant d'effectuer les calculs et de dérouler le processus de la méthode, mais dénué d'interface, et donc non exploitable dans le cadre d'une entreprise. Cependant, cet article a déjà posé les briques méthodologiques qui pourraient servir de support à un tel logiciel.

7. BIBLIOGRAPHIE

- [ALM 10] Almeida-Dias J., Figueira J. R., Roy B., « Electre Tri-C: A multiple criteria sorting method based on characteristic reference actions », *European Journal of Operational Research*, vol. 204, 2010, p.565-580.
- [BON 06] Bonetto R., Sauce G. *Gestion du patrimoine immobilier – Les activités de références*, Editions CSTB, 2006.
- [FON 11] Fontan M., Ndiaye A., Breysse D., Bos F., Fernandez C., « Soil–structure interaction: Parameters identification using particle swarm optimization », *Computers & Structures*, vol. 89, 2011, p. 1602-1614.
- [FOU 03] Foucault J.-P., Leclerc G, *Le tableau de bord MAESTRO pour la gestion des installations*, Presses internationales polytechniques, Paris, 2003.
- [GEN 92] Genre J. L., Marietan S., Meier E., Meylan G. A., Kholer N., Rumo N., Rüst B., Rutz M., *Méthode de diagnostic sommaire MERIP*, Office fédéral des questions conjoncturelles, Bern, 1992.
- [JOU 95] Jouvent M., *Évaluer vos performances en maintenance grâce à des indicateurs de maintenance standardisés*. Journée du 27 mars 1995. Association APOGEE, Paris.
- [KAR 06] Karydas D. M., Gifun, J.F., « A method for the efficient prioritization of infrastructure renewal projects », *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 91, 2006, p. 84-99.
- [KEN 95] Kennedy J., Eberhart R.C. « Particle swarm optimization », *Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks*, Perth, WA, 27 Nov - 01 Dec 1995. ICNN '95, 1995, p. 1942-1948.
- [KEN 97] Kennedy J., Eberhart R.C., « A discrete binary version of the particle swarm algorithm », *Proceedings of International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Orlando, FL, USA, 12-15 Oct 1997. ICSMC '97, 1997, p.4104-4108.
- [MIC 09] Michaud F., Castéra P., Fernandez C., Ndiaye A., « Meta-heuristic Methods Applied to the Design of Wood-Plastic Composites, with Some Attention to Environmental Aspects », *Journal of Composite Materials*, vol. 43, 2009, p. 533-548.
- [POL 08] Poli R., « Analysis of the publications on the applications of particle swarm optimisation », *J. Artif. Evol. App.*, 2008, p. 1-10.
- [ROY 05] Roy, B. « A propos de robustesse en recherche opérationnelle et aide à la décision ». Dans J. C. Billaut, A. Moukrim, E. Sanlaville, *Flexibilité et robustesse en ordonnancement*, Lavoisier, Paris, 2005, p. 35-50.
- [TAI 09a] Taillandier, F., Sauce, G., & Bonetto, R. (2009a). « Risk-based investment trade-off related to building facility management ». *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 94, 2009, p.785-795.
- [TAI 09b] Taillandier, F., Sauce, G., & Bonetto, R. « The risk notion to transcend the real estate management complexity ». *The Fifth International Structural Engineering and Construction Conference (ISEC-5)*. Las-Vegas (United-States), 2009.
- [YU 92] Yu, W. Aide multicritère à la décision dans le cadre de la problématique du tri : Concepts, méthodes et applications, Thèse de doctorat, Université Paris-Dauphine, 1992.