

« IMPLEMENTATION DE L'ALGORITHME D'OPTIMISATION DESCENDANTE VIA AHP
CAS D'APPLICATION : DE RECHERCHE DE SITE PROMOTEUR DE CALCAIRE DE
MADAGASCAR »

1-RAHAJAMANANA Jasmin

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

2- Fidihery Toky Tantely

Maitre de Conférences

Université de Toliara

3- RAKOTOSON Tolontsoa

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

4- Pr RANDRIANJA Roger

Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)

RESUME

L'optimisation multicritère consiste à choisir, en présence de critères multiples, une (des) alternative(s) parmi un nombre infini d'alternatives qui varient généralement dans un domaine continu. Les problèmes décisionnels introduisent le plus souvent plusieurs critères de nature complexe. La résolution de tels problèmes relève du domaine de l'optimisation combinatoire. Plusieurs méthodes existent et peuvent être classées dans deux grandes familles qui sont les méthodes exactes et les méthodes approchées. On s'intéresse, dans ce travail à l'implémentation d'un algorithme à un problème d'optimisation multicritère basé sur la méthode AHP qui est traité en utilisant de nouveaux algorithmes pour la prise de décision au choix de gîte calcaire promoteur de Madagascar. Les spécificités et les performances des méthodes multicritères, ainsi que leur association à l'algorithme optimal, sont présentées dans le but de justifier leur emploi pour diverses problématiques. Depuis une trentaine d'années, le domaine de l'optimisation multicritère connaît une évolution importante qui s'est traduite par le développement d'un grand nombre de méthodes. La multitude des méthodes d'optimisation multicritère est perçue comme une richesse incontestable de ce domaine. D'ailleurs, certains la justifient par la diversité des problèmes ainsi que par l'existence de différentes approches de résolutions possibles et légitimes de ces problèmes. Cependant, ce phénomène révèle aussi des faiblesses certaines. En effet, la plupart de ces méthodes manquent de fondements axiomatisés, et il est difficile de choisir la méthode à appliquer face à une situation donnée.

Mots-clefs : Optimisation, algorithme, implémentation, calcaire, AHP, multicritère, Madagascar

ABSTRACT

Multi-criteria optimization consists of choosing, in the presence of multiple criteria, one or more alternative(s) among an infinite number of options which generally vary in a continuous domain. Decision-making problems most often introduce several criteria of a complex nature. Solving such problems falls within the domain of combinatorial optimization. Several methods exist and can be classified in two large families which are the exact methods and the approximate. For this research, we are interested in the implementation of an algorithm for a multi-criteria optimization problem based on the AHP method.

This problem is treated by using new algorithms for the decision making in the choice of the promoter limestone deposit of Madagascar. The specificities and performance of multi-criteria methods include the optimal algorithm, and are presented in order to justify their use for various problems. Over the past thirty years, the field of multi-criteria optimization has undergone significant development. This evolution has resulted in the development of a large number of methods. The multitude of multi-criteria optimization methods is perceived as an undeniable richness of this field. Moreover, some justify it by the diversity of the problems as well as by the existence of different possible and legitimate approaches to solve these problems. However, this fact also reveals several weaknesses. Indeed, most of these methods lack axiomatized foundations, and it is difficult to choose the method to apply in a given situation.

Keywords: Optimization, algorithm, implementation, limestone, AHP, multicriteria, Madagascar.

INTRODUCTION

La performance du secteur minier est ainsi considérée comme un préalable au développement d'un pays et détermine sa position économique dans le commerce mondial. Ainsi le choix de site promoteur occupe une place prépondérante. Or les opérateurs miniers de Madagascar sont sans cesse confrontés à des problèmes de choix. Ainsi ils ont besoin d'aide pour trouver une décision, que ce soit une assistance conformément aux méthodes de la façon d'expérimenter des modèles et des procédures antérieures ou d'autres, ou en développement en fonction de plusieurs critères pour aider à la prise de décision qui sont utilisés dans de nombreux domaines, les problèmes de prise de décision sont souvent conçus pour chercher les exemples qui se fondent sur des méthodes mathématiques et dans de multiples problèmes.

Quand on confronte un problème à un ou plusieurs objectifs à optimiser, la prise de décision sera un processus difficile. On parle alors de problèmes d'optimisation. La définition de 'Th. Paschos' d'un problème d'optimisation est la suivante : "L'optimisation c'est l'art de comprendre un problème réel, de pouvoir le transformer en un modèle mathématique que l'on peut étudier afin d'en extraire les propriétés structurelles et de caractériser les solutions du problème" [1]. Un problème d'optimisation est une espace d'état, une ou plusieurs fonctions objectifs et un ensemble de contraintes et qui représente les domaines de définition des variables du problème [2].

Dans les problèmes d'optimisation multicritère, la démarche courante consiste à définir une combinaison, linéaire ou non, de tous les critères dans le but d'optimiser cette fonction. Cependant, pour des critères hétérogènes tels que coût, caractéristiques physiques et performances suivant diverses épreuves, il est très difficile de donner une combinaison de ces critères d'autant qu'une faible variation des poids accordés à ces différents critères, entraîne généralement des solutions assez différentes [3].

La multitude des méthodes d'optimisation multicritère est perçue comme une richesse incontestable de ce domaine. D'ailleurs, certains la justifient par la diversité des problèmes ainsi que par l'existence de différentes approches de résolution possibles et légitimes de ces problèmes. Cependant, ce phénomène révèle aussi des faiblesses certaines. En effet, la plupart de ces méthodes manquent de fondements axiomatiques, et il est difficile de choisir la méthode à appliquer face à une situation donnée [4].

La recherche de performance, de rentabilité et de fiabilité est au cœur des processus de conception et de production des systèmes. Face à la complexité toujours croissante des dispositifs et à la nécessité d'être toujours innovant « en des temps records » pour rester compétitif, les ingénieurs se

trouvent en présence de problèmes comportant de nombreux impératifs de conception. Les systèmes modernes voient interagir de plus en plus de disciplines différentes au sein d'une même application, entraînant du même coup des difficultés liées à la prise en compte des couplages pouvant exister entre ces domaines. Quand s'ajoute à ces considérations la recherche de performances particulières, tout en assurant la mission confiée au système, la conception devient quasiment impossible sans outil adapté. Les méthodes d'optimisation évolutionnaires multi objectif sont considérées comme des outils appropriés pour la résolution de ces problèmes difficiles [3,4 ,5].

En effet, de nombreux moyens sont souvent mis en œuvre afin de trouver une méthode permettant d'atteindre les objectifs fixés. Tout ceci passe alors par l'optimisation de l'algorithme de choix à partir des différents critères sur le site d'exploitation.

Pour cela, il est donc inévitable de concevoir un algorithme d'optimisation pour la prise de décision finale en se basant sur la méthode AHP. Dans la plupart des applications de l'AMC, le choix de la méthode à utiliser se fait de manière assez arbitraire : on opte pour celle maîtrisée par l'analyste, celle développée de manière ad hoc ou encore tout simplement celle disponible sous forme d'un logiciel. Malgré l'existence de plusieurs travaux concernant le problème du choix de la méthode à utiliser pour un problème particulier [1,3,4].

MATERIELS ET METHODES

MATERIELS

LES PLATEFORMES DE DEVELOPPEMENTS :

Pour une conception d'une application Web comme la nôtre, elle nous exige d'utiliser les meilleures plateformes de développement [7, 8, 9,12].

PowerAMC :

Un logiciel célèbre pour la modélisation et conception d'un projet. Elle nous permet de faire tous les diagrammes exigés par la modélisation UML. Elle facilite les tâches des concepteurs.

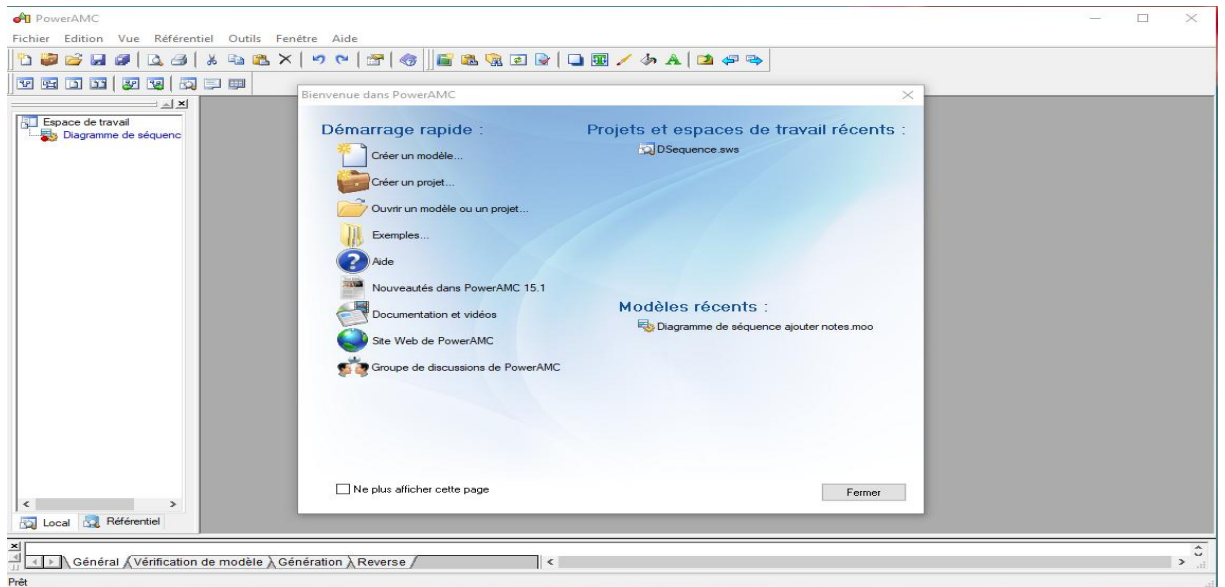


Figure 1-PowerAMC

Utilité de PowerAMC

L'application d'acquisition envoie, toutes les minutes, une requête http afin d'obtenir des données. L'application va traiter la réponse puis ranger les données dans la base de données. Lorsqu'un utilisateur consulte des données, l'application web envoie une requête à la base de données afin de récupérer les valeurs demandées. Une fois reçue, l'application web affiche ces valeurs. Périodiquement, l'application d'affichage de l'écran demande automatiquement des données à la base de données puis les affiche sur l'écran [12,13].

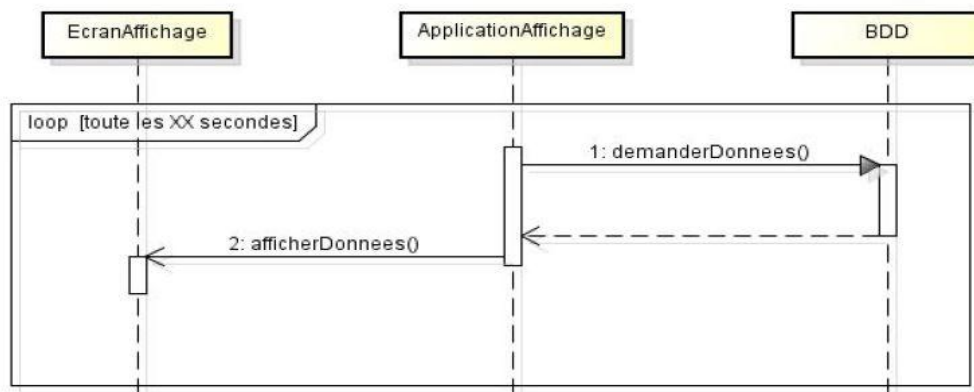


Figure 2-Diagramme de séquence

Web Service: architecture orientée service

Pendant l'implémentation de l'algorithme, on a utilisé la technologie Web Service afin d'établir un type d'architecture qui se repose sur les standards de l'internet. De ce fait, il s'agit d'une architecture orientée service permettant à des applications de communiquer directement entre elles sans se préoccuper des technologies sur lesquelles elles sont implémentées. Les Web Service se présentent comme étant la solution pour répondre à l'interopérabilité des systèmes. Dans notre cas on a utilisé SOAP (Simple Object Access Protocol) [12, 14,15]

Echanges d'informations avec XML :

Le XML ou Extensible Markup Language, désigne un langage informatique (ou métalangage pour être plus précis) utilisé, entre autres, dans la conception des sites Web et pour faciliter les échanges d'informations sur Internet. Ce langage de description a pour mission de formaliser des données textuelles. Il s'agit, en quelque sorte, d'une version améliorée avec la création illimitée de nouvelles balises [12].

XAMPP :

Il s'agit d'une distribution de logiciel libre(X(CROSS) Apache MariaDB Perl PHP) offrant une bonne souplesse d'utilisation, réputé pour son installation simple et facile. Ce logiciel permet de mettre en place un serveur web local, un serveur FTP et un serveur de messagerie électronique

On utilise XAMPP pour concevoir et tester un site ou application web avant de le mettre enligne. [13]

Visual Studio Code :

C'est l'un des éditeurs le plus connu, un éditeur de code source qui peut être utilisé avec une variété de langage qui permet aux développeurs de bien organiser et colorer leurs codes. Il facilite les tâches des développeurs.

Framework CodeIgniter 3.1:

C'est un Framework libre écrit en PHP. Il suit le motif de conception MVC et sa version CodeIgniter 3.1 nécessite au minimum PHP 5.3.7. Il est aussi équipé d'une guide d'utilisateur dans le dossier appelé « user guide ».

METHODE

a) Implémentation de l'algorithme

Pendant l'implémentation de l'algorithme, on a utilisé la technologie Web Service afin d'établir un type d'architecture qui se repose sur les standards de l'internet. De ce fait, il s'agit d'une architecture orientée service permettant à des applications de communiquer directement entre elles sans se préoccuper des technologies sur lesquelles elles sont implémentées. Les Web Service se présentent comme étant la solution pour répondre à l'interopérabilité des systèmes [7, 8, 9,12].

b) Construction une application avec REST

Méthode REST (Representational State Transfer) permet de construire une application pour les systèmes distribués comme le Web. Ce n'est pas un protocole ou un format mais une architecture (celle de http). On identifie alors [13, 18,19] :

- Une URI (Uniform Resource Locator) qui permet d'identifier la ressource à laquelle on souhaite accéder ;
- Une méthode http (POST ou GET) pour définir quel opération on souhaite effectuer sur la ressource ;
- Des entêtes http pour gérer les métadonnées et les informations sur le transport ;
- Consommer un service Web REST revient à appeler une simple URL en http, le serveur renvoie sa réponse, la plupart du temps en XML.

c) Méthode de résolution du problème MADM

Ici, plusieurs modèles d'optimisation objectifs sont appliqués pour générer des pondérations d'attributs pour la comparaison de ces méthodes par rapport à la méthode proposée [19, 20, 21, 22, 23].

Supposons que la matrice dans l'équation ci-dessous

$$[S(e_i(a_l))]_{S \times L} = \begin{matrix} S(\bar{e}(a_1)) \\ \dots \\ S(\bar{e}(a_l)) \\ \dots \\ S(\bar{e}(a_S)) \end{matrix} \begin{bmatrix} S(e_1(\bar{a})) & \dots & S(e_i(\bar{a})) & \dots & S(e_L(\bar{a})) \\ S(e_1(a_1)) & \dots & S(e_i(a_1)) & \dots & S(e_L(a_1)) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S(e_1(a_l)) & \dots & S(e_i(a_l)) & \dots & S(e_L(a_l)) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ S(e_1(a_S)) & \dots & S(e_i(a_S)) & \dots & S(e_L(a_S)) \end{bmatrix}_{S \times L} \quad (1)$$

ait été transformée en matrice d'utilité notée $[u_{li}]_{S \times L}$, où u_{li} signifie l'utilité de $S(e_i(a_l))$. Soit \tilde{u}_{li} l'utilité normalisée de e_i à évaluer sur a_l . \tilde{u}_{li} peut être égale à u_{li} ou à l'utilité transformée par la transformation standard 0-1. Alors l'écart type que l'utilité de e_i sur toutes les alternatives L peut être calculé par

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{S} \sum_{l=1}^S \left(\tilde{u}_{li} - \frac{\sum_{k=1}^S \tilde{u}_{ki}}{S} \right)^2}, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (2)$$

Dans cette équation si u_{li}^{Ave} est utilisé en tant que \tilde{u}_{li} pour déterminer σ_i nous l'appelons l'Ave σ method. Ensuite nous avons

$$w_i = \frac{\sigma_i}{\sum_{t=1}^L \sigma_t}, \quad i = 1, 2, \dots, L \quad (3)$$

Afin de faire face à l'ignorance contenue dans l'équation ci-dessus peut être étendue à une paire de modèles d'optimisation comme suit :

$$\langle Model \rangle \quad Min/Max w_i = \frac{\sigma_i}{\sum_{t=1}^L \sigma_t} \quad (i = 1, 2, \dots, L)$$

s.t. Eqs.(1),(2)

$$u_{li}^{Min} \leq \tilde{u}_{li} \leq u_{li}^{Max}$$

$$i = 1, 2, \dots, L; l = 1, 2, \dots, S$$

IV-4-5-2-Méthode CRITIC

La méthode CRITIC, connue sous le nom de CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation, considère à la fois l'intensité du contraste et le caractère conflictuel des critères d'évaluation [30, 31, 32, 33]. Il utilise l'écart type pour mesurer l'intensité du contraste entre différentes alternatives par rapport à un attribut spécifique, tandis que le coefficient de corrélation de Spearman est utilisé pour quantifier le conflit entre chaque paire d'attributs. Le coefficient de corrélation entre e_i et e_j est calculé par

$$r_{ij} = \frac{\sum_{l=1}^S \left(\tilde{u}_{li} - \frac{\sum_{k=1}^S \tilde{u}_{ki}}{S} \right) \left(\tilde{u}_{lj} - \frac{\sum_{k=1}^S \tilde{u}_{kj}}{S} \right)}{\sqrt{\sum_{l=1}^S \left(\tilde{u}_{li} - \frac{\sum_{k=1}^S \tilde{u}_{ki}}{S} \right)^2 \left(\tilde{u}_{lj} - \frac{\sum_{k=1}^S \tilde{u}_{kj}}{S} \right)^2}} \quad (4)$$

Puis les poids des attributs sont générés par

$$w_i = \frac{\sigma_i \cdot \sum_{j=1}^L (1 - r_{ij})}{\sum_{k=1}^L \sigma_k \cdot \sum_{j=1}^L (1 - r_{kj})} \quad (i = 1, 2, \dots, L) \quad (5)$$

Si l'utilité moyenne est utilisée comme \tilde{u}_{li} dans les équations ci-dessus, elle est appelée méthode Ave-CRITIC [34,35]. Compte tenu de l'ignorance, la méthode Ave-CRITIC est étendue à la paire de modèles d'optimisation suivante :

$$\langle Model \rangle \text{ Min/Max } w_i = \frac{\sigma_i \cdot \sum_{j=1}^L (1 - r_{ij})}{\sum_{k=1}^L \sigma_k \cdot \sum_{j=1}^L (1 - r_{kj})} \quad (i = 1, 2, \dots, L)$$

$$u_{li}^{Min} \leq \tilde{u}_{li} \leq u_{li}^{Max}$$

$$i = 1, 2, \dots, L; l = 1, 2, \dots, S$$

IV-4-5-3-Méthodes de prise de décision multicritères nettes

Soit x_{li} la valeur de $S(e_i(a_l))$ à condition que e_i soit un attribut quantitatif avec des valeurs nettes [48,50,81] comprend les trois étapes suivantes :

1) Normalisation des valeurs numériques originales de performance :

La transformation proportionnelle linéaire ou la transformation standard 0-1 peuvent être appliquées dans la normalisation. Pour un attribut de bénéfice, nous avons

$$y_{li} = \frac{x_{li}}{\max_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\}} \quad (6)$$

Où

$$y_{li} = \frac{x_{li} - \min_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\}}{\max_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\} - \min_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\}} \quad (7)$$

Alors que pour un attribut de coût, nous avons

$$y_{li} = \frac{\min_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\}}{x_{li}} \quad (8)$$

Où

$$y_{li} = \frac{\max_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\} - x_{li}}{\max_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\} - \min_{1 \leq k \leq S} \{x_{ki}\}} \quad (9)$$

$$(l = 1, 2, \dots, S; i = 1, 2, \dots, L)$$

2) Normalisation de la valeur normalisée à partir de $S(e_i(a_l))$:

$$p_{li} = \frac{y_{li}}{\sum_{k=1}^S y_{ki}} \quad (l = 1, 2, \dots, S; i = 1, 2, \dots, L) \quad (10)$$

Où

$$\sum_{l=1}^S p_{li} = 1. \quad (11)$$

3) Génération des poids des attributs L'entropie de e_i dérivée de $S(e_i(\bar{a}))$ est calculée par

$$E_i = -\frac{1}{\ln(S)} \sum_{l=1}^S p_{li} \cdot \ln(p_{li}) \quad (i = 1, 2, \dots, L) \quad (12)$$

où le dénominateur $\frac{1}{\ln(S)}$ est de limiter E_i dans $[0,1]$. Comme cela est connu de tous, plus l'entropie attribuée à un attribut est élevée, plus il est difficile de discriminer différentes alternatives sur l'attribut, donc le poids de e_i est calculé par

$$w_i = \frac{1-E_i}{L-\sum_{k=1}^L E_k} \quad (i = 1, 2, \dots, L) \quad (13)$$

Où

$$\sum_{i=1}^L w_i = 1. \quad (14)$$

La méthode de prise de décision multicritères nette original suppose que les évaluations de tous les attributs L sont données par des valeurs numériques précises. Lorsque la situation est incertaine et que certains attributs quantitatifs sont fournis sous la forme de valeurs d'intervalle.

d) Modèle d'optimisation

Modèle d'optimisation basé AHP avec l'attribution de poids aux attributs pour considérer l'ignorance contenue dans l'utilité de e_i sur a_l représenté par u_{li} est supposé être dans la gamme de $[u_{li}^{Min}, u_{li}^{Max}]$. Ainsi, la paire suivante de modèles d'optimisation est construite pour générer la valeur minimale et maximale de w_i

$$\langle Model \rangle \text{ Min/Max } w_i = \frac{1 - E_i}{L - \sum_{k=1}^L E_k} \quad (i = 1, 2, \dots, L)$$

$$\text{s. t. } E_i = -\frac{1}{\ln(S)} \sum_{l=1}^S \tilde{u}_{li} \cdot \ln(\tilde{u}_{li})$$

$$\tilde{u}_{li} = \frac{u_{li} - \min_{1 \leq k \leq S} \{u_{ki}\}}{\sum_{k=1}^S u_{ki} - S \cdot \min_{1 \leq k \leq S} \{u_{ki}\}}$$

$$u_{li}^{Min} \leq u_{li} \leq u_{li}^{Max} \quad i = 1, 2, \dots, L; l = 1, 2, \dots, S$$

Les variables $S \times L$ sont contenues dans le <Modèle > qui peut être résolu par Matlab ou Excel, et $2 \times L$ temps de calcul doivent être effectués pour générer les valeurs minimales et maximales des poids sur tous les Lattributs. Le <Modèle > est basé sur Ave-Entropy. Si la méthode Ave-Entropy est utilisée dans <Model >, $\tilde{u}_{li} = \frac{u_{li} - \min_{1 \leq k \leq S} \{u_{ki}\}}{\sum_{k=1}^S u_{ki} - S \cdot \min_{1 \leq k \leq S} \{u_{ki}\}}$ est à remplacer par $\tilde{u}_{li} = \frac{u_{li}}{\sum_{k=1}^S u_{ki}}$ dans le modèle d'optimisation. Un cas particulier est que $u_{li}^{Min} = u_{li}^{Max}$

e) Problème de décision multicritère

Un problème de décision multicritère pourrait avoir la suivante définition : un domaine K d'actions réalisables et un ensemble de p critères étant donnés. Trouver une action réalisable qui détermine les valeurs les plus favorables pour tous les critères.

Nous remarquons l'imprécision du qualificatif "favorable" pour les raisons suivantes :

- 1) Certains critères sont qualitatifs et les valeurs adéquates ne peuvent être exprimées de manière numérique;
- 2) L'impossibilité d'établir une relation d'ordre sur l'ensemble des vecteurs p-dimensionnels;
- 3) Les aspects (1) et (2) mènent à des processus de décision dont le caractère subjectif, voire arbitraire, paraît être inévitable. Dans ces conditions, l'objet de l'analyse multicritère est celui de trouver des structures logiques-mathématiques qui apportent un surcroît de rationalité et d'efficacité du processus décisionnel. La vocation normative [15, 16] est évidente.

La majorité des spécialistes considère que dans le processus de décision multicritère, il existe deux personnages-clés : le décideur et l'homme d'étude. Le premier détient le pouvoir de prendre des décisions définitives, tandis que le second soumet les problèmes à l'analyse et établit les modèles adéquats, proposant au décideur les solutions efficaces. Selon B. Roy, Ph. Vincke et J.-P. Brans [1], il existe quatre types de méthodes pour résoudre les problèmes multicritères: (1) Hiérarchisation des critères ou méthode lexicographique.

Soit le problème multicritère :

$$\text{opt}\{F(x)|x \in K\} \quad (15)$$

Soit $F(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)\}$ l'ensemble des critères. Si la possibilité d'établir un classement de l'importance des critères existe, donc si nous pouvons faire leur hiérarchisation, on peut appliquer le procédé suivant pour résoudre le problème :

- on trouve la solution du problème unicritère :

$$\text{opt}\{f_1(x)|x \in K\} \quad (16)$$

Où $f_1(x)$ est le critère le plus important entre tous, et K_1 , l'ensemble des solutions optimales du problème

On trouve la solution du problème unicritère :

$$\text{opt}\{f_2(x)|x \in K_1\} \quad (17)$$

Où $f_2(x)$ est le deuxième critère dans l'ordre de l'importance et K_2 l'ensemble des solutions optimales du problème.

On continue le procédé pour les autres fonctions-objectif prises dans l'ordre de l'importance, trouvant, comme nous l'avons fait plus haut les ensembles $K_3, \dots, K_h, \dots, K_p$, le dernier représentant l'ensemble des solutions du problème.

En sus de la difficulté de la hiérarchisation non subjective des fonctions-objectifs, cette méthode présente souvent le désavantage de la réduction à un point de l'un des premiers ensembles de la suite K_1, K_2, \dots . De plus elle ne permet aucune compensation entre critères.

RESULTATS

Classements des Site d'exploitation

Le tableau ci-dessous montre les classements du site d'exploitation des alternatives avec le tableau de valeur propre maximale, Indice de cohérence et de rapport de cohérence pour les critères (les classements du site d'exploitation)

Le tableau ci-dessous représente les classements des alternatives (Site d'exploitation) en calcaire dans nos données au laboratoire.

Tableau 1-Classements des alternatives (Site d'exploitation)

Evaluation	Alternative	Marque
1	Mahajanga	0.153823
2	Toliara	0.119041
3	Ibity	0.107046
4	MORONDAVA,	0.0971413
6	Behompy Andranohina	0.0770472
7	Vohimena	0.0657916
8	Iklamavony	0.0623668
9	Malakialina	0.0597616
10	Ankena	0.0587069

(Source : Auteur)

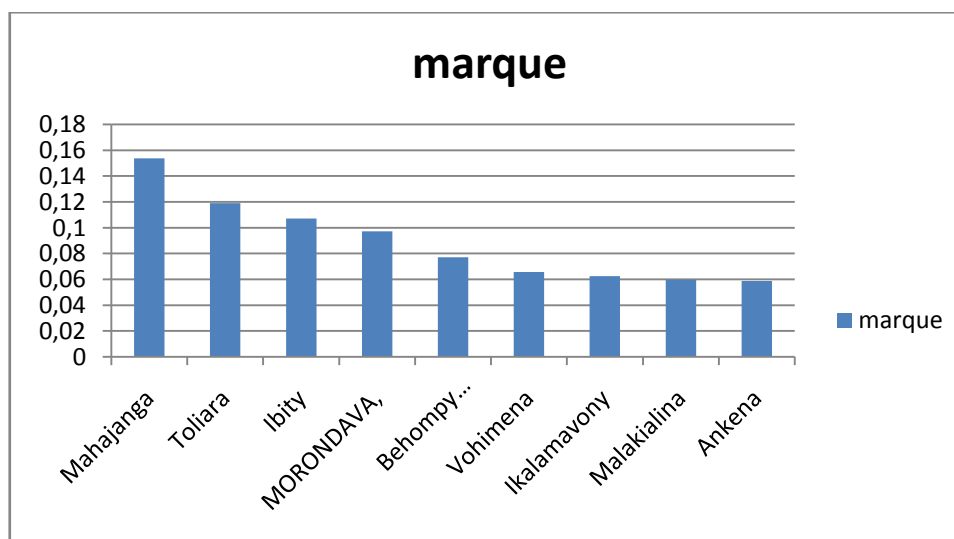


Figure 3-Classements des alternatives (Site d'exploitation) (Source : Auteur)

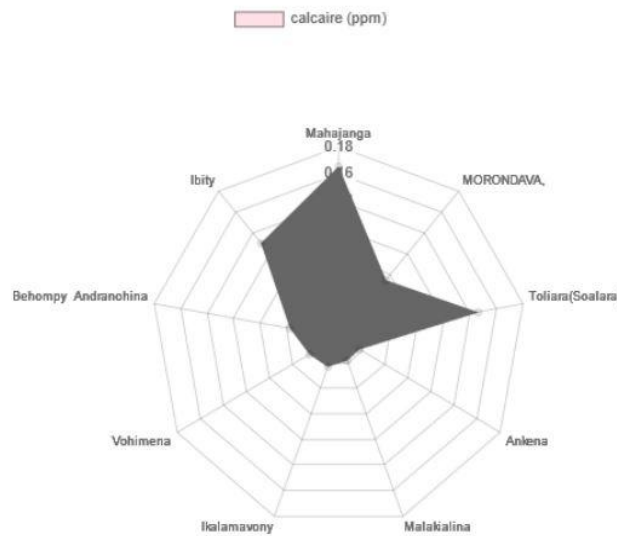


Figure 4-Classements des alternatives (Site d'exploitation) en Radar avec Optimisation et visualisation (radar de site promoteur)

Un ordre décroissant des alternatives (gisement en calcaire favorable à l'exploitation) classées a également été illustré au tableau et à la figure ci-dessus. D'après ce résultat, Mahajanga a une valeur maximale de proximité relative à la solution idéale et est l'alternative la plus préférable pour l'exploitation suivie de Toliara et à la troisième Ibity. Ceci peut s'expliquer par leurs réserves en calcaire, teneur en calcaire.

CONCLUSION

Une optimisation multicritère a été appliquée au logiciel existant pour le meilleur choix du site de calcaire à Madagascar. Les problèmes d'optimisation multicritère sont très variés et correspondent à des situations de décision très différentes. Dans ce travail on s'intéresse à la résolution d'un problème d'optimisation. L'objectif était d'implémenter une méthode approchée à base de l'algorithme d'optimisation combiné à un algorithme pour la résolution de ce problème. On a présenté dans ce travail quelques notions importantes sur les problèmes d'optimisation et les méthodes de résolution dans la première partie, ensuite dans la deuxième partie nous avons présenté les méthodes de résolution pour ce problème. L'expansion de la recherche opérationnelle ne s'est jamais arrêtée. Elle est devenue avec les temps qui courent une science qui traite des problèmes purement de terrain avec des moyens mathématiques faisant appel même à des notions de comportement des décideurs (logique floue). Le décideur a souvent recours à des spécialistes dans le

domaine pour trancher définitivement sur une solution désirée. L'accès à ce monde d'optimisation multi-objectif nous permet de comprendre au mieux les situations où la notion du bon compromis s'impose comme outil très efficace dans notre choix.

L'implémentation de la méthode appliquée a permis d'obtenir des résultats satisfaisants en un temps raisonnable. L'évaluation des résultats obtenus avec les solutions optimales en utilisant cette méthode d'optimisation montre que les algorithmes sont une bonne alternative pour la résolution de problèmes multicritères.

LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] B.ROY, Ph. VINCKE et J. P. BRANS, Aide à la décision multicritère, *Ricercaoperativa*, n° 5, 1978.
- [2] B. Roy. Méthodologie multicritère d'aide à la décision. *Economica*, Paris, 1985.
- [3] B. Roy. Science de la décision ou science de l'aide à la décision cahier du Lamsade 97, Université Paris-Dauphine, 1990.
- [4] SAATY LT. (1990) "How to make a decision : The Analytic Hierarchy Process, *European of Operation Research* ", *European journal of operational research* ISSN 0377-2217 CODEN EJORDT. Vol. 48, pp. 9-26
- [5] A. Roy & J. Wallenius. Non linear multiple objective optimization: An algorithm and some theory. *Mathematical programming*, vol. 55, pages 235-249, 1992. 1992.
- [6] B. Roy & D. Bouyssou. Aide multicritère à la décision: méthodes et cas. *Economica*, Paris, 1993.
- [7] Paschos V, *Optimisation combinatoire : concepts fondamentaux*, Hermès science publication : Lavoisier. 2005
- [8] Alain B . *Optimisation Multi-objectif et Stratégie d'évolution en environnement Dynamique*. 2001
- [9] Labeled Said. *Méthodes bio-inspirées hybrides pour la résolution de problèmes complexes*. 2013 .
- [10] Yezid D & Ramon F. *Multi-Objective Optimization in Computer Networks Using Metaheuristics*. Auerbach Publications Taylor & Francis Group. 2007
- [11] Ali Khanafer ; *Algorithmes pour des problèmes de bin packing mono- et multi-objectif*; 2010 .
- [12] Thomas Erl, "Service-Oriented Architecture: A Field Guide to integrating XML and Web Services", Pearson Education, Publishing as Prentice Hall PTR, 2004.
- [13] M. Parazoglou, P. Traverso, S. Dustdar, and F. Leymann, —Service oriented computing: State of the art and research challenges, *Computer*, vol. 40, no. 11, pp. 38–45, 2007.

- [14] H. Haas and A. Brown, —Web services glossary, W3C Working Group Note (11 February 2004), 2004..
- [15] J. Garofalakis, Y. Panagis, E. Sakkopoulos, and A. Tsakalidis, —Web service discovery mechanisms: Looking for a needle in a haystack, In International Workshop on Web Engineering, vol. 38, 2004
- [16] YEDLA S, SHERSTHA R.M (October 2003). "Multi-criteria approach for the selection of alternative options for environmentally sustainable transport system in Delhi Transportation Research Part A: Policy and Practice ". Volume 37, Number 8, pp. 717-729.
- [17] HANDFIELD R, WALTON S, SROUFE R, MELNYK S.A. (16 August 2002). "Applying environmental criteria to supplier assessment: A study in the application of the Analytical Hierarchy Process " European Journal of Operational Research, Volume 141, Number 1, pp. 70-87
- [18] Optimisation et analyse des faisabilités : cours MGC-800: Introduction. Format: Analyse de rentabilité. Plan de cours. Objectifs. www.ctn.etsmtl.ca, visité le 15 octobre 2009
- [19] Sam Manoo "Le risque opérationnel ", edalgorfi Dépositaire de système d'information financière, 15p,
- [20] Benjamin Rousval, Denis Bouyssou. (Novembre 2009). "De l'aide multicritère à la décision à l'aide multicritère à l'évaluation : Un cadre et une application aux transports et à l'environnement ".
- [21] Aboulaich R., Habbal A., Moussaid N., Split of an optimization variable in game theory, Math. Model. Nat. Phenom(MMNP), accepted
- [22] Allaire G. Conception optimale de structures, Mathématiques et Applications, Springer Verlag, Heidelberg, 2006
- [23] Aubin J.P., Mathematical methods of game and economic theory. North-Holland Publishing Co. Amsterdam, New York, 1979.
- [24] Désidéri J.A., Split of Territories in Concurrent Optimization. Rapport de recherche, Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique , N° 6108, 8th October 2007.

- [25] Destuynder Philippe, Cours d'Analyse, Traitement et Synthèse d'Images Numériques. CalculScientifique CNAM Paris 292 rue Saint Martin 75003.20 mars 2005
- [26] El Guarmah E., Sellami H., A comparison between a linear approach and a nonlinear diffusion model in image restoration. IJAM vol. 22, no 1, 2009
- [27] A. Habbal, J. Petersson and M. Thellner, Multidisciplinary topology optimization solved as a Nash game. Int. J. Numer. Meth. Engng 2004 ; 61 :949-963
- [28] P. Destuynder, M. Jaoua, and H. Sellami, A dual algorithm for denoising and preserving edges in image processing. J. Inv. Ill-Posed Problems 15 (2007), 19 – 35.
- [29] A. Habbal, H. Lievre, J.A Desideri, Optimisation numérique de profils d'aile par algorithmes génétiques et jeux de Nash. Reserach report number 4275, INRIA, septembr 2001.
- [30] Yucheng Dong, Quanbo Zha, Hengjie Zhang, Gang Kou, Hamido Fujita, Francisco Chiclana, Enrique Herrera-Viedma. Consensus Reaching in Social Network Group Decision Making: Research Paradigms and Challenges. Knowledge-Based Systems, 2018, 162(15): 3-13.
- [31] Capuano, Nicola Chiclana, Francisco Fujita, Hamido Herrera-Viedma, Enrique Loia, Vincenzo. Fuzzy Group Decision Making with Incomplete Information Guided by Social Influence. IEEE Transaction on Fuzzy Systems, 2018, 26(3): 1704-1718.
- [32] Jian Wu, Lifang Dai, Francisco Chiclana, Hamido Fujita, Enrique Herrera-Viedma. A minimum adjustment cost feedback mechanism based consensus model for group decision making under social network with distributed linguistic trust. J. Information Fusion, 2018, 41: 232-242.
- [33] C.L.Hwang, K. Yoon. Multiple attributed decision making: methods and applications. Berlin: Springer-Verlag, 1981.
- [34] J. Ma, Z.P. Fan and L.H. Huang. A subjective and objective integrated approach to determine attribute weights. European Journal of Operational Research, 1999, 112(2):397-404.
- [35] Qiang Xiao, Ruichun He, Changxi Ma, Wei Zhang. Evaluation of urban taxi-carpooling matching schemes based on entropy weight fuzzy matter-element. Applied Soft Computing, 2019, 81, 105493.