

1-RAZANOELINA Vero

**Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)**

2-RAHAJAMANANA Jasmin

**Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)**

3- Fidihery Toky Tantely

**Maitre de Conférences**

**Université de Toliara**

4- RAKOTOSON Tolontsoa

**Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)**

5- Pr RANDRIANJA Roger

**Ecole Doctorale Ingénierie et Géosciences (INGE)**

## **RESUME :**

L'industrie minière implantée à Madagascar est sans cesse confrontée à des problèmes de choix de sites et gisements prometteurs dus au manque de fiabilité des données et les carences relatives à l'expertise permettant d'identifier et d'évaluer convenablement tous les sites aurifères. Le choix du site aurifère avant l'exploitation doit être évalué par le biais d'un processus analytique. Ce processus est généralement un outil d'aide de prise de décisions. Le Processus d'Analyse Hiérarchique (AHP) est l'une des techniques appropriées permettant de résoudre et de faire des analyses multicritères dans tous les domaines.. Une multitude de critères doit être pris en compte dans la résolution de ces derniers. Face à ces situations, les outils d'aide à la décision prennent tout leur sens. Dans cette étude, nous avons conçu un logiciel (application-web) pour le choix des différents critères de façon systématique, pour le classement de sites miniers pouvant apporter des impacts économiques sociaux et environnementaux positifs. Ce logiciel est basé sur l'algorithme et la méthode Analytic Hierarchy Process (AHP) dans le domaine de l'exploitation aurifère. Le paramétrage initial de ce logiciel et les choix des critères appliqués à cette méthode fait appel à l'évaluation d'un expert en mine. Bien que ce dernier ait les connaissances nécessaires pour faire un paramétrage convenable, il n'en reste pas moins humain et introduira, même involontairement, une partie subjective dans ses décisions.

**Mots-clés:** industrie minière, Madagascar, gisement prometteurs, sites aurifères, AHP, logiciel, critères appliqués

**ABSTRACT:** the mining industry established in Madagascar is constantly confronted with problems of choice of site and promising deposit due to the lack of reliability of data and the deficiencies relating to the expertise allowing identifying and properly evaluating all the gold sites. Pre-mining gold site selection should be evaluated through an analytical process. This process is usually a multi-attribute decision-making problem. The Hierarchical Analysis Process (AHP), a method of which is one of the techniques, has been more or less addressed in the literature for the Suitability Analysis of Mining Domains. A multitude of criteria must be taken into account in the resolution of these. Faced with these situations, decision support tools take on their full meaning. In this thesis, we propose an software (web-application) for the choice of different criteria in a systematic way, for the classification of mining sites that can bring positive economic, social and environmental impacts. This software is based on the algorithm and method Analytic Hierarchy Process (AHP) in the field of gold mining. The initial configuration of this software and the choice of criteria applied to this method calls for the evaluation of a mining expert. Although the latter has the knowledge necessary to make a suitable configuration, he is nonetheless human and will introduce, even unintentionally, a subjective part into his decisions.

**Keywords:** mining industry, Madagascar, promising deposits, gold sites, AHP, software, applied criteria

## **INTRODUCTION**

L'exploitation de site minière à Madagascar contribue de manière significative au développement socioéconomique du pays à travers l'exportation des ressources minières, la création d'emploi, les développements économiques, etc. Malgré cette contribution, la réputation du secteur minier Malgache a été altérée par plusieurs facteurs. Cette situation a déclenché la mobilisation de plusieurs acteurs en vue d'assurer une transition de cette exploitation rentable.

Les méthodes d'ordonnancement sont nombreuses et pour en sélectionner une, il faut s'attacher à bien comprendre le fonctionnement de la ligne de fabrication à étudier. La famille des méthodes d'ordonnancement par optimisation de critères a tendance à simplifier les prises de décision en ramenant le problème à un seul critère, bien que ce ne soit pas le reflet de la réalité. C'est pour cela que nous nous sommes intéressés aux méthodes d'aide à la décision multicritère AHP.

Différentes parties prenantes ayant des intérêts et des valeurs différents qui interagissent les unes avec les autres rendent le processus de prise de décision concernant un terrain miné beaucoup plus compliqué. Si quelqu'un doit chercher une solution à un tel problème, il doit envisager une approche multidimensionnelle robuste. Par conséquent, les techniques de prise de décision multi-attributs sont utiles pour l'application des principes de développement durable au processus d'analyse de l'adéquation des terres minières. Les approches par la méthodes d'aide à la décision multi-attribut peuvent assurer la pérennité du système total et l'objectivité de la solution car elles sont basées sur des méthodes mathématiques.

## **MATERIELS ET METHODES**

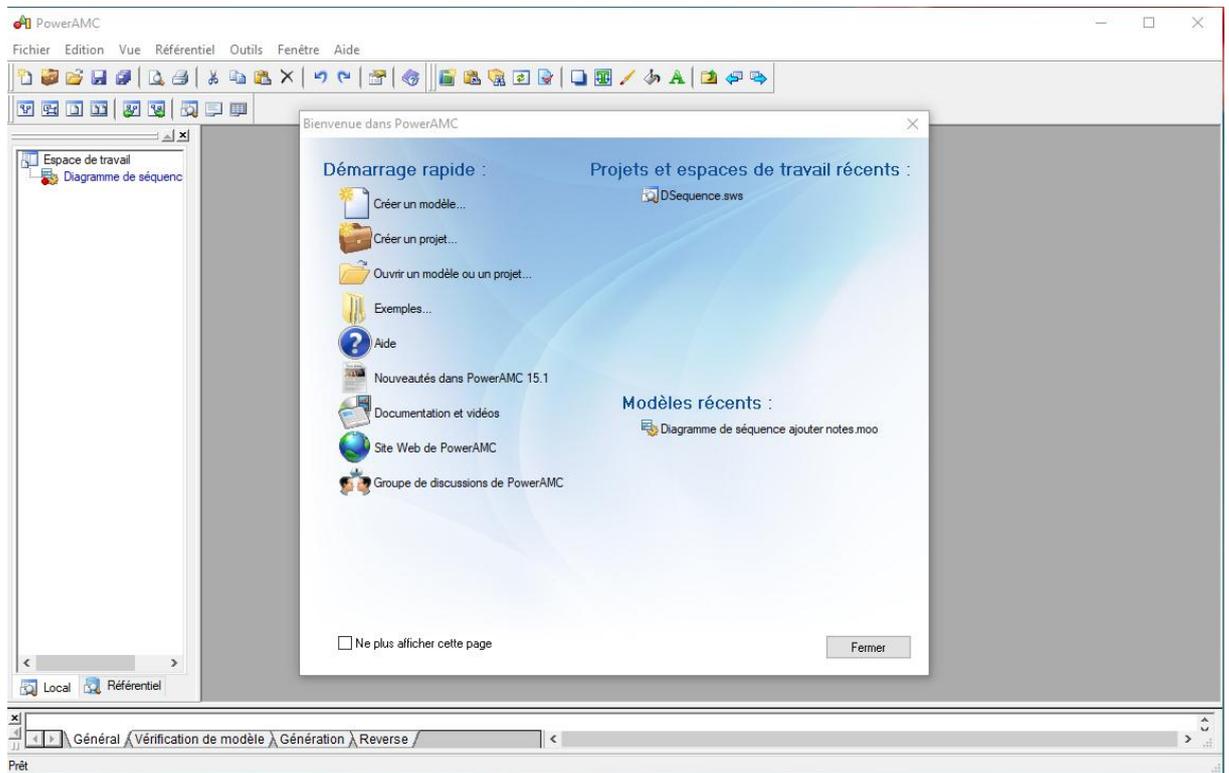
### **MATERIELS**

#### **LES PLATEFORMES DE DEVELOPPEMENTS :**

Pour une conception d'une application Web comme la nôtre, elle nous exige d'utiliser les meilleures plateformes de développement.

#### ***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 taches des concepteurs.



*Figure 1-PowerAMC*

### ***Navigateur :***

Nous avons besoin d'un navigateur pour interpréter les codes (HTML, CSS, JS, PHP). L'application nous exige un navigateur de dernière version pour que les interfaces graphiques soient attirantes. Dans notre cas, on utilise le navigateur Firefox 91, Google Chrome et Safari.

### **XAMPP :**

Il s'agit d'une distribution de logiciels libre (X(CROSS) Apache MariaDB Perl PHP) offrant une bonne souplesse d'utilisation, réputé pour son installation simple et facile. Ce logiciel permettant 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 en ligne.

### ***Visual Studio Code :***

C'est l'un des éditeurs les plus connus, un éditeur de code source qui peut être utilisé avec une variété de langages. Elle 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**

### **Méthode de modélisation UML**

Le langage UML (Unified Modeling Language) résume et visualise les systèmes de programmation orientés objet. Le langage de modélisation est donc un outil pratique pour les développeurs. D'une part, il permet de créer des plans clairs pour les projets logiciels. D'autre part, il permet aussi de présenter des systèmes logiciels complexes de manière simple et compréhensible même pour des personnes extérieures au domaine.

Un modèle exprimé doit décrire complètement le contenu fonctionnel d'un programme informatique. Le langage UML, bien adapté à la technologie objet, définit sur ce modèle des vues graphiques, ou diagrammes, qui doivent être complétées par une documentation en langage naturel.

### **Méthode multicritère AHP**

Méthode multicritère d'aide à la décision intégrant plusieurs critères et arrivant à un choix justifié de technologie, la décision est alors dite rationnelle, systématique et correctement prise.

#### ***Avantage de la méthode AHP :***

- sa capacité de structurer un problème complexe, multicritère, multi personne et multi période de façon hiérarchique,
- la comparaison binaire des éléments (alternatives, critères et sous critères),
- et la facilité de son support informatique, le logiciel Expert Choice.

Trois principes de la méthode AHP :

- la structuration hiérarchique
- la structuration des priorités, comparaison binaire
- la cohérence logique

## Principes de la méthode AHP

La méthode AHP (Analytic Hierarchy Process) a été introduite par Saaty en 1980 [Saa80]. Cette méthode tient son avantage de sa similitude au mécanisme de décision de l'être humain, à savoir décomposition, jugement et synthèse. Elle se distingue notamment par sa capacité à gérer différentes classes de critères, à savoir les critères qualitatifs et quantitatifs. De nos jours, elle est très utilisée dans des domaines variés, incluant l'économie, l'écologie, l'industrie, etc. La méthode AHP opère en cinq phases principales :

1. Décomposition hiérarchique du problème de décision initiale : le premier niveau étant l'objectif global du problème, le dernier niveau est formé par les différentes alternatives (actions) offertes au décideur et les niveaux intermédiaires sont occupés par des sous-critères dérivés des critères des niveaux supérieurs.

2. Construction des matrices de comparaison deux à deux : dans cette phase, les sous-critères de chaque niveau, ou alors les alternatives du dernier niveau, sont comparés deux à deux en fonction de leur importance vis-à-vis de l'objectif englobant situé dans le niveau supérieur. Pour ce faire, la méthode AHP utilise un système de comparaison comportant une échelle allant de 1 (importance égale de deux critères) à 9 (un critère est absolument plus important qu'un autre), selon l'importance des sous critères vis-à-vis du critère englobant. Bien évidemment, c'est le décideur qui se charge de cette phase.

3. Établissement des priorités : les priorités de chaque niveau intermédiaire sont représentées par des poids. Elles sont obtenues à partir des principaux vecteurs propres des matrices formées dans la phase 2. Pour ce faire, les valeurs des composantes des principaux vecteurs propres de chaque matrice de comparaison deux à deux sont normalisées à 1. Une valeur proche de 1 signifie que l'élément correspondant est plus prioritaire vis-à-vis du critère englobant.

4. Synthèse des priorités : les priorités finales sont calculées de proche en proche en agrégeant par une somme pondérée les priorités du niveau courant, pondérées par les priorités du niveau supérieur.

5. Cohérence des jugements : la méthode AHP introduit un paramètre spécial, appelé "ratio de cohérence", qui est utilisé pour mesurer la cohérence des jugements du décideur (notamment dans la phase de comparaison mutuelle des éléments). En résumé, le ratio de cohérence peut être défini comme la probabilité qu'une matrice de comparaison deux à deux soit complétée aléatoirement.

## *Processus global de résolution et organigramme de l'AHP*

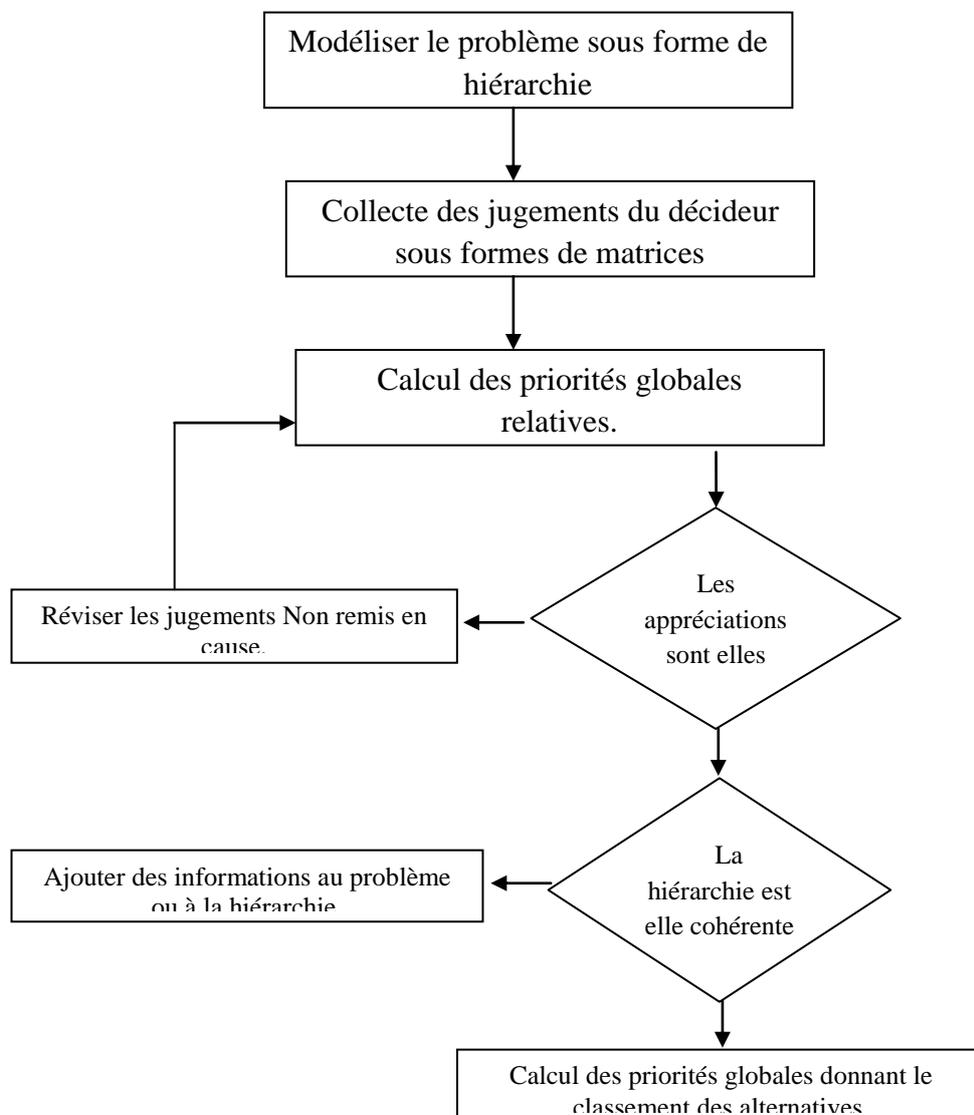
### *Processus global de résolution*

Les étapes de résolution du problème multicritère sont :

- Calcul des mesures de proximité.
- Calcul des poids des critères éventuellement.
- Résolution du problème d'agencement par une heuristique efficace.
- Discussion des résultats avec le manager.

Le processus global de résolution est retracé par la figure ci-dessous.

### *Organigramme de l'AHP*



*Figure 2-processus global de résolution du problème multicritère*

## ***Relation de proximité et l'AHP***

L'application de l'AHP sur le problème de mesure de proximité se distingue par l'avantage d'analyser le problème en profondeur d'une manière simple et rigoureuse pour donner en sortie les mesures d'adjacence des ressources.

Etant données  $m$  machines partageant entre elles des relations techniques et de production, exprimées par les mesures de proximité  $r_{ij}$ ,  $i=1\dots m$ ,  $j=1\dots m$ , il s'agit de calculer ces mesures au moyen de l'AHP.

### ***Modélisation du problème***

La construction de la hiérarchie est faite de haut vers le bas

. Elle contient trois niveaux :

- Le premier niveau de la hiérarchie est l'objectif global, à savoir le calcul des mesures de proximité entre les machines.
- Le deuxième niveau de la hiérarchie est constitué des critères qualitatifs intervenant dans l'adjacence de chaque paire de ressources. La liste de ces critères n'est pas exhaustive, elle peut en contenir d'autres, selon le cas. Et l'avantage de l'AHP est qu'elle permet une flexibilité dans la construction de la hiérarchie. C'est à dire la possibilité d'ajouter et/ou de supprimer des éléments. Les critères proposés sont: la sécurité, l'impact du bruit, le rapprochement technique, le rapprochement de production, la flexibilité de l'agencement et l'esthétique.
- Le troisième niveau est constitué des alternatives représentées par les paires de ressources

$\{\{M_1, M_2\}, \{M_1, M_3\}, \dots, \{M_{m-1}, M_m\}\}$ . Le nombre d'alternatives est  $\frac{m(m-1)}{2}$   $m$  étant le nombre de ressources.

Après avoir décomposé le problème en hiérarchie, les jugements du décideur sont collectés sur chaque niveau  $k$  sous forme de matrices  $M_k$  positives et réciproques où: pour  $(i,j) \in m^2$ ,  $m_{i,j} =$

$$\frac{1}{m_{j,i}}$$

Ces matrices de jugements sont soumises à des tests de cohérence. Si une incohérence importante est constatée, les jugements remis en cause sont corrigés.

### *Synthèse des priorités*

La synthèse des priorités se fait en deux étapes:

- Calcul des priorités globales relatives des critères par rapport à l'objectif global et des alternatives par rapport à chaque critère.
- Calcul des priorités globales des alternatives qui sont les mesures de proximité entre les ressources.

Pour cela, nous avons utilisé la méthode du vecteur propre.

#### *Détermination de priorités globales relatives :*

Etant donné :

- un niveau  $k$  de la hiérarchie, constitué d'un ensemble d'éléments  $E_k$  tel que  $E_k = \{e_1, \dots, e_r\}$ , pour  $k = 2, 3$  et  $r \in \mathbb{N}$ . Les éléments peuvent être des critères ou des alternatives.
- un critère  $j$  du niveau  $(k-1)$  auquel sont reliés les éléments de  $E_k$ ,  $j=1, 2, \dots$
- et la matrice des jugements  $M_j$  par rapport au critère  $j$ .

Il s'agit de calculer, pour chaque matrice  $M_j$ , le vecteur des priorités globales relatives  $P_j$

Il s'agit de calculer, pour chaque matrice  $M_j$  le vecteur des priorités globales relatives  $P_j (P_1^j, P_2^j, P_3^j \dots P_r^j)$  est la priorité globale relative de l'élément  $e_i$  sur le critère  $j$ .

### Algorithme priorités globales relatives

L'algorithme de calcul de  $P^j$  est le suivant:

*Pour chaque niveau k faire*

*début*

*Pour chaque matrice  $M_j$  faire :*

*Début*

*Si  $M_j$  est consistante (i.e  $M_{il}^j M_{lh}^j = M_{ih}^j$  pour tout  $i, l$  et  $h$ ) alors  $P_j$  est donné par n'importe quelle colonne normalisée de  $M_j$  (en divisant chaque élément de la colonne choisie par la somme de ces éléments).*

*Sinon,*

*1. Fixer le paramètre  $t$  à une grande valeur ( $t \rightarrow \infty$ )*

*2. Calculer  $(M^{(j)})^{(t)}$*

*3. Normaliser la matrice  $(M_j)^{(t)}$  en divisant chaque élément par la somme des éléments de sa colonne.*

*Soit  $N_j$*

*la matrice obtenue.*

*4. La priorité globale relative d'un élément  $e_i$  est donnée par:  $P_i^j = \frac{N_{ih}^j}{\sum_{i=1}^r N_{ih}^j}$*

*fin ;*

*fin*

### Les priorités globales :

Les priorités globales sont les mesures de l'impact de chaque élément sur le problème de décision.

Etant donnés :

- L'ensemble des alternatives  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$
- L'ensemble des critères  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_p\}$ .
- Les vecteurs des priorités relatives  $P_j$  des alternatives sur chaque critère  $j$ .
- Le vecteur des priorités relatives  $R$  des critères  $C$  par rapport à l'objectif global.

Il s'agit de calculer, pour les alternatives de  $A$ , le vecteur  $G (G_1, G_2, G_3, \dots, G_i)$  par la formule suivante:

$$G_i = \sum_{j=1}^p p_i^j \cdot R_j$$

Les priorités globales fournissent un préordre total des alternatives dans le problème de décision (i.e : un classement des alternatives).

### *Poids des critères d'agencement*

Dans le cas où le manager décide d'une pondération des critères d'agencement de la famille F, nous proposons dans cette partie d'utiliser l'AHP pour calculer ces poids en prenant en compte d'autres critères qualitatifs importants lors de l'agencement.

### *Modélisation du problème en hiérarchie*

La hiérarchisation du problème se fait comme suit:

- a) Le niveau 1 est l'objectif global à savoir le choix d'un vecteur de poids pour les critères de F.
- b) Le niveau 2 comporte les critères auxquels sont comparés les alternatives  $C1, C2$  et  $C3.....Cn$ . Ces critères sont:  $C1, C2$  et  $C3.....Cn$ .
- c) Le niveau 3 est constitué des alternatives à pondérer

### *Synthèse des priorités*

La synthèse des priorités se fait de la même manière que les poids des critères de la famille F sont les priorités globales des alternatives obtenues en fin de processus.

### *Résolution du problème d'agencement multicritère*

Après avoir modélisé le problème d'agencement multicritère et résolu les problèmes des mesures de proximité et de pondération des critères, nous entamons dans cette partie sa résolution. Le problème d'agencement est un problème complexe par le nombre d'agencements à explorer. A ce jour, il n'existe aucune méthode exacte qui résout n'importe quelle instance, dans le cas monocritère, en temps polynomial. Ce qui a motivé l'utilisation des méthodes approchées. Pour le cas multicritère, la complexité existe toujours avec la difficulté en plus du choix de la forme d'évaluation des agencements. L'idée d'utiliser les heuristiques pour sa résolution s'impose.

### *Algorithme du problème en hiérarchie*

Etapas de résolution

- 1) .Utiliser l'AHP pour calculer les  $r_{ij}$  et éventuellement les poids des critères

$\alpha_i, i=1,2,3.$

- 2) . Générer un agencement initial  $X$  de Critère  $C(X)$ .
- 3) . Choisir la fonction de réduction de d'autre critère
- 4) . Initialiser les paramètres : la critere initiale et finale noté  $T$  et  $T_f$ , le nombre
- 5) d'agencements à traiter par palier  $L_p$  et un compteur d'agencements  $N$ .
- 6) . Initialiser le meilleur agencement  $X^*$  à  $X$  de de critère  $C(X^*)=C(X)$ .

*Tant que ( $T > T_f$ ) faire*

*début*

*Tant que ( $N \leq L_p$ ) faire*

*Début*

*Générer un agencement  $X_1$  voisin de  $X$  de coût  $C(X_1)$ ;*

*Evaluer selon le cas  $\Delta_1$  ou  $\Delta_2$*

*Si agrégation des critères alors  $\Delta_1 = C(X_1) - C(X)$*

*Sinon,*

*$\Delta_2 = d(X_1, X)$ ,  $d$  étant le degré de préférence de  $X_1$  sur  $X$  Si ( $(\Delta_1 < 0)$  ou  $(\Delta_2 > 0)$ ) alors début  $X := X_1$ ;  $C(X) := C(X_1)$ ; fin*

*Si  $C(X_1) < C(X^*)$  ou  $(d(X_1, X') > 0)$  alors début*

*$X^* := X_1$ ;  $C(X^*) := C(X_1)$ ; fin*

*Sinon début*

*Générer un nombre aléatoire  $p \in [0, 1]$ ;*

*Si agrégation des critères alors  $\Delta = -\Delta_1$*

*Sinon,  $\Delta = \Delta_2$*

*Si ( $p < \exp(\Delta/T)$ ) alors début  $X := X_1$ ;*

*$C(X) := C(X_1)$ ; fin*

*Fin*

*Finsi;*

*$N := N + 1$ ;*

*Fin tant que;*

*$T$  diminue;*

*Fin tant que*

### *Critères pondérés*

Le Critères agrégé  $C(A_k)$  d'un agencement  $A_k$ , exprimé par la formule, est :

$$C(A_k) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[ \left( a_1 \times \frac{c_{ij}}{S_1} + a_2 \times \frac{t_{ij}}{S_2} - a_3 \times r_{ij} \right) \times f_{ij} \times d_{ij} \right]$$

Avec :

$$S_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m c_{ij} \quad \text{et} \quad S_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m t_{ij}$$

Ce critère est soumis aux contraintes de non chevauchement et de non débordement sur les limites de la cellule. Leur violation engendre une pénalisation de l'agencement. Pour exprimer cela, nous avons rajouté au critère  $C(A_k)$  un terme dont l'objectif est de faire augmenter la valeur du coût à chaque fois que l'agencement obtenu est non réalisable.

Ce terme est le produit des violations et d'un facteur de pénalisation très grand fixé par l'utilisateur. Le critère de la solution devient :

$$C(A_k) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[ \left( a_1 \times \frac{c_{ij}}{S_1} + a_2 \times \frac{t_{ij}}{S_2} - a_3 \times r_{ij} \right) \times f_{ij} \times d_{ij} + (\Delta_{ij} + \mu_i) \times \gamma \right]$$

Où :

$$\Delta_{ij} = \begin{cases} D_s - d_j, & \text{si } d_j \leq D_s \\ 0, & \text{sinon} \end{cases}$$

$$\mu_i = \begin{cases} L_i + x_1 - a & \text{si } L_i + x_1 \geq a \\ l_i + y_1 - b & \text{si } l_i + y_1 \geq b \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases}$$

$\gamma$ : un paramètre de très grande valeur .

### *Critères non pondérés et non agrégé d'un agencement*

#### ***Critères non pondérés***

Les violations sont ajoutées au critère  $C(A_k)$ , donné par la formule suivante , comme suit :

$$C(A_k) = \sqrt{C_1(A_k)^2 + C_2(A_k)^2 + C_3(A_k)^2 + \gamma \times \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m (\Delta_{ij} + \mu_i)}$$

### ***Critère non agrégé d'un agencement***

Dans ce cas, nous ajoutons à chaque critère les violations engendrées par l'agencement. Ces violations sont multipliées par un facteur de pénalisation de très grande valeur, fixé par l'utilisateur. Les composantes du vecteur critère

$C(\Delta_k) = (C_1(A_k), C_2(A_k), C_3(A_k))$  deviennent :

$$C_1 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[ \frac{C_j}{S_1} \times f_j \times d_{ij} + \gamma \times \Delta_{ij} \right] + \gamma \times \sum_{i=1}^m \mu_i$$

$$C_2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \left[ \frac{t_{ij}}{S_2} \times f_{ij} \times d_{ij} + \gamma \times \Delta_{ij} \right] + \gamma \times \sum_{i=1}^m \mu_i$$

et  $C_3 = - \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m [r_{ij} + f_{ij} \times d_{ij} + \gamma \times \Delta_{ij}] + \gamma \times \sum_{i=1}^m \mu_i$

### *algorithmes de l'agencement initial*

Pour la génération de l'agencement initial, On propose ici deux algorithmes qui se basent sur deux constructions:

#### ***Algorithme aléatoire***

1. Générer aléatoirement un numéro de site d'exploitation  $M_i$ ;
2. Affecter la site d'exploitation  $M_i$  au premier site se trouvant à gauche de la ligne 1;
3. Tant que ( Toutes les machines ne sont pas affectées ) faire

*Début*

- Générer aléatoirement une site d'exploitation  $M_{i+1}$  ;
- S'il y a une position libre à droite du site récemment occupé par la
- site d'exploitation  $M_i$  sur la ligne courante, alors y affecter la site d'exploitation  $M_{i+1}$  en respectant la distance de sécurité  $D_s$ ;

- *Sinon, affecter la site d'exploitation  $M_{i+1}$  au site d'abscisse  $D_s$  se trouvant sur la ligne suivante ;*  
*Fin;*

*Fait.*

**Construction gloutonne** : En plaçant les machines de celle qui possède la plus grande intensité à celle qui en la plus faible, selon une configuration flottante.

### Algorithme glouton

*Début*

1. *Calculer, pour chaque site d'exploitation  $M_i$ , l'intensité  $e_i$  par:*

$$e_i = \sum_{j=1}^n \left[ \frac{(f_{ij} + f_{ji}) \times r_{ji}}{t_{ij} + c_{ij}} \right], \quad i=1 \dots m$$

2. *Trier les intensités  $e_i$  dans l'ordre décroissant. Et ré indiquer le site d'exploitation selon cet*  
*Ordre.*
3. *Placer la ressource  $M_1$  (de plus grande intensité) au premier site se trouvant à gauche de la ligne 1;*
4. *Tant que (les sites d'exploitations ne sont pas toutes affectés) faire*  
*Début*

- *S'il y a une position libre à droite du site récemment occupé par le site d'exploitation  $M_i$  sur la ligne courante, alors y affecter le site d'exploitation  $M_{i+1}$  en respectant la distance de sécurité  $D_s$ ;*
- *Sinon, affecter le site d'exploitation  $M_{i+1}$  au premier site se trouvant à gauche sur la ligne suivante ;*  
*Fin ;*

*Fin ;*

## matrices de comparaison, ratio de consistance et l'indice de consistance

La consistance des matrices de comparaison deux à deux est déterminée au moyen du "ratio de consistance" *CR* (*Consistency Ratio*). Le ratio de consistance est le rapport de l'indice de consistance *CI* (*Consistency Index*) à l'indice de consistance aléatoire *RI* (*Random Index*).

$$CR = \frac{CI}{RI}$$

Tel que

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1}$$

Où  $n$  est le nombre de lignes ou colonnes de la matrice de comparaison deux à deux. Concernant le paramètre *RI*, Saaty a fourni dans son livre [Saa80] des valeurs pour des matrices de comparaison deux à deux de tailles différentes.

## 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)

Tableau 1- Classements des Site d'exploitation (Source : Auteur)

Évaluation	Alternative	marque
Évaluation	Alternative	marque
1	Mananjary	0.12062
2	Maevatanana	0.0955963
3	Dabolava	0.063038
4	Betsiaka	0.059892
5	Itasy	0.0596844
6	Tsaratanana	0.0538558
7	Andriamena	0.0501288
8	Antanimbary	0.048203
9	Ifanadiana	0.0480319
10	Ambatolampy	0.0463655
11	Brickaville	0.0455477

12	Beforona	0.0450573
13	Vohilava-Ampasary	0.0446913
14	Ambositra/Tana	0.0445901

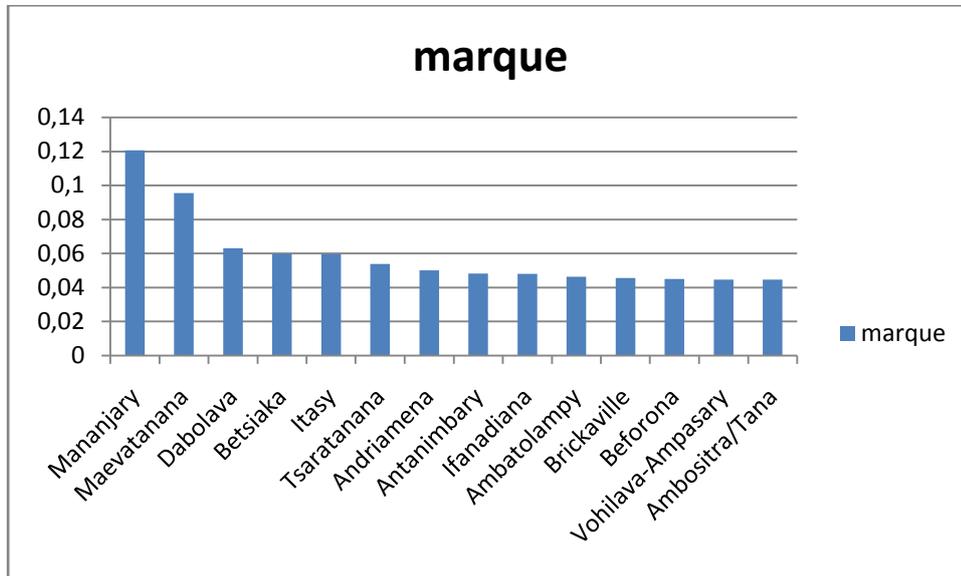


Figure 3-Classements des Site d'exploitation

Un ordre décroissant des alternatives (site aurifère favorable à l'exploitation) classées a également été illustré au tableau et à la figure ci-dessous. D'après ce résultat, Mananjary a une valeur maximale de proximité relative à la solution idéale et est l'alternative la plus préférable pour l'exploitation suivi de Maevatanana et à la troisième Dabolava ceci peut s'expliquer par leur réserves en or, teneur en or, nombre de communes aurifères et les roches porteuses. Les minéralisations aurifères et l'unité stratigraphique de ces trois sites sont presque la même.

## CONCLUSION

La procédure de traitement des critères d'évaluation proposés dans cette étude fournissent aux décideurs des idées recommandations pour l'avenir. La méthode d'analyse multicritère constitue en soi une démarche structurée complémentaire afin de traiter de manière organisée l'ensemble des informations pertinentes à l'évaluation de la problématique.

Les problèmes concernant le choix de site d'exploitation promoteurs pour le secteur or, à Madagascar, sont très divers et complexes. C'est pour cette raison que nous avons décidé de créer et réaliser un logiciel basé sur AHP afin de traiter et résoudre de ces difficultés. L'étude était axée alors sur la conception et réalisation de ce logiciel pour les études et l'exploitation de l'or à Madagascar, suivi par une analyse relativement détaillée en partant des données qualitatives.

Pendant ce projet on a présenté la maquette informatique pour la mise en place de notre système d'aide à la décision en partant de l'analyse des divers critères pour l'exploitation de l'or. Nous parviendrons donc à réaliser une application web pour aider les décideurs à s'identifier et à exprimer convenablement leurs préférences tout en mettant à leur usage un protocole de négociation basé sur la médiation, la concession et l'agrégation multicritères d'aide à la décision.

Le principe de la méthode repose sur l'évaluation 2 à 2 des éléments du problème qui est regroupée dans des tableaux de comparaison. Ils sont définis à chaque niveau de la hiérarchisation. Notre logiciel met à votre disposition l'outil pour créer votre plan d'expérience. Vous trouverez une description dans le menu dans notre système. Les tableaux de comparaison doivent être complétés par l'utilisateur en fonction de valeurs choisies dans le tableau de Saaty (plus d'info dans l'Aide de notre système). Saaty a défini une échelle d'évaluation qui mesure l'importance ou la différence d'un élément sur un autre. Les premiers calculs de la méthode AHP vont porter sur le calcul du vecteur des priorités à partir des valeurs du tableau de comparaison, c'est à dire le poids de chaque critère.

## LISTE BIBLIOGRAPHIQUE

- [1] B.ROY, Ph. VINCKE et J. P. BRANS, Aide à la décision multicritère, *Ricerca operativa*, n° 5, 1978.
- [2] Fishburn. *Utility theory for Decision Making*. John Wiley & Sons, 1970.
- [3] Ralph L. Keeney and Howard Raiffa. *Decisions with Multiple Objectives : Preferences and Value Tradeoffs*. Wiley series in probability and mathematical statistics. John Wiley & Sons, Inc, New York, 1976.
- [4] Su, S .. Yu, J o., et Zhang, 1. (2010). Measurements study on sustainability of China's mining cities. *Expert Systems with Applications*. 37(8), 6028-6035.
- [5] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8(3), 338-353 . doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0019-9958(65)90241-X
- [6] K. Miettinen. *Nonlinear multiobjective optimization*, volume 12. Springer,1999.
- [7] Gh. BOLDUR, V. IONESCU et STANCU-MINASIAN, Application de la théorie de Futilité à la résolution des problèmes de programmation linéaire à plusieurs critères d'optimums. Exposé à la Session scientifique actuelle du Centre de calcul économique et de cybernétique économique, Bucarest, février 1969.
- [8]. Gh. BOLDUR, V. IONESCU et STANCU-MINASIAN, Application de la théorie de Futilité à la résolution des problèmes de programmation linéaire à plusieurs critères d'optimums. Exposé à la Session scientifique actuelle du Centre de calcul économique et de cybernétique économique, Bucarest, février 1969.
- [9] Gh. BOLDUR et I. STANCU-MINASIAN, Méthode de résolution de certains problèmes de programmation linéaire multidimensionnelles. *Revue Roumaine de Mathématiques Pures et Appliquées*, t. XVI, «°3, 1971.
- [10]. Gh. BOLDUR, Méthodes pour résoudre les problèmes décisionnels complexes, *Studii si cercetari de calcul economie si cibernetica economica*, n° 6, 1969.
- [11]. Gh. BOLDUR, *Linear Programming with Complex Decision Conditions*. 7th Mathematical Programming Symposium, The Hague, septembre 1970.
- [12]. I. STANCU-MINASIAN, *Programarea stohastica eu mai multe functii obiectiv* {La programmation stochastique multicritère), Éditions de l'Académie Roumaine, Bucarest, 1980.
- [13]. Gh. Boldur, *L'analyse des systèmes complexes*, Output, nos 7, 8 et 9, 1980.
- [14]. Gh. BOLDUR, Aspects descriptifs et normatifs dans l'analyse des systèmes complexes. Communication au IVe Congrès Européen de Recherche opérationnelle, Bureaux et Systèmes (Revue suisse pour les systèmes), nos7-9, 1980.
- [15]. J. ABADIE, The GRG Method for non Linear Programming, in H. H. GREENBERG éd., Sijthoff & Noordhoff, Netherlands, 1978, p. 335-362.
- [16]. T. R. CAMP, *Water and Its Impurities*, Reinhold, N.Y., 1963.

- [17]. A. M. GEÖFFRION, Proper Efficiency and the Theory of Vector Maximization, *J. of Math. Anal, and Appl.*, 22, (3), 1968.
- [18]. Y. Y. HAÏMES, W. A. HALL et H. T. FREEDMAN, *Multiobjective Optimization in Water Resources*, Elsevier Scientific Publishing Co. Amsterdam, 1975, 200 p.
- [19]. D. M. HIMMELBLAU, *Optimization of Water Resource Systems by Nonlinear Programming*, *Engineering Optimization*, vol. 2, 1977, p. 229-238.
- [20]. A. V. KNEESE et B. T. BOWER, *Managing Water Quality; Economic, Technology, Institutions*, J. Hopkins Press, Baltimore, 1968, 320 p.
- [21]. H. W. KUHN et W. TUCKER, *Non Linear Programming*, *Proc, Second Berkeley Symposium on Math., Statistics and Probability*» Univ. of California Press, 1950, p. 481-492.