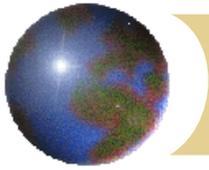


Université Badji Mokhtar Annaba
Faculté de science de l'ingénierat
Département de l'informatique
Master 2 spécialité I.A.T.I

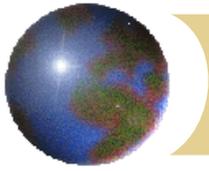
Algorithmes intelligents pour l'optimisation

***Chargé de module :
Dr Mohamed Amine YAKOUBI***

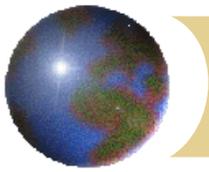


Objectifs

- ❖ *Optimisation & métaheuristiques?*
- ❖ *Algorithmes Evolutionnaire (Algorithmes Genetiques) ?*



COMPLEXITE & OPTIMISATION



COMPLEXITE

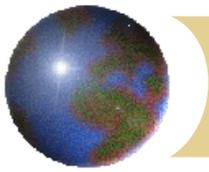
- ✦ La théorie de la complexité s'intéresse à l'étude formelle de la difficulté des problèmes informatiques
- ✦ la complexité algorithmique du programme est un facteur indépendant des caractéristiques de la machine et du langage utilisé. Il permet d'estimer le nombre d'instructions à exécuter pour résoudre les instances du problème. Il s'agit d'une estimation dans le pire des cas où la complexité d'un problème est définie en considérant son instance la plus difficile. Il y a différentes classes de problèmes en fonction de la complexité de leur résolution :

La classe P contient l'ensemble des problèmes qui peuvent être résolus en temps polynômial en fonction de la taille des entrées.

La classe NP (Non déterministe Polynomial) contient l'ensemble des problèmes pouvant être résolus par un algorithme de complexité polynomiale sur une machine non déterministe

La classe NP-complet contient l'ensemble des problèmes dont la résolution implique l'examen d'un nombre exponentiel de cas.

La classe NP-difficile s'il est plus difficile qu'un problème NP-complet.



OPTIMISATION COMBINATOIRE

- ✚ **Définition** : L'optimisation combinatoire occupe une place considérable en recherche opérationnelle et en Informatique. Elle permet de trouver un meilleur choix parmi un grand ensemble de possibilités (l'optimum d'une fonction)
- ✚ **L'optimum** : La solution optimale est celle dont la valeur de la fonction objective est la plus grande (resp. petite) parmi l'ensemble de solutions, dans le cas de maximisation (resp. minimisation) (Figure 1)

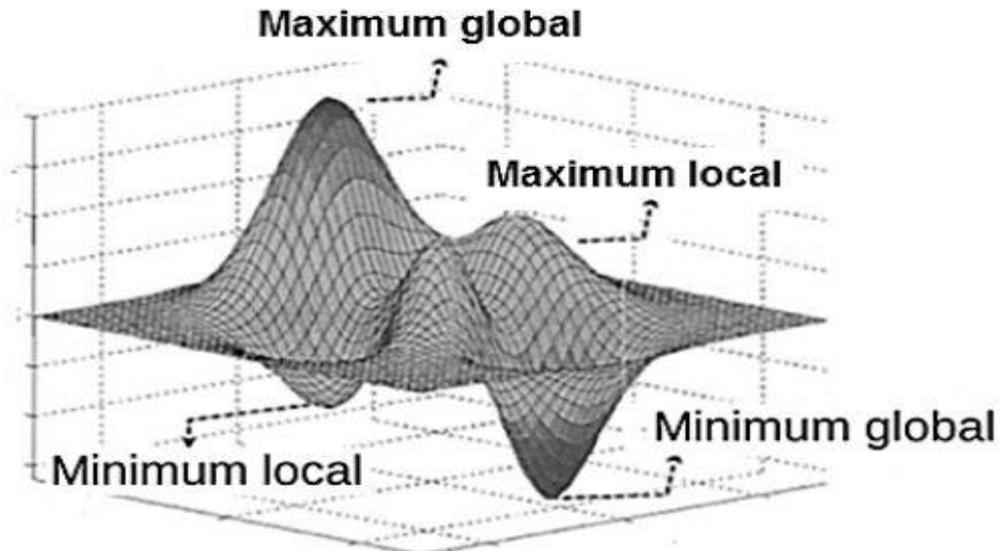
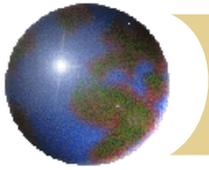


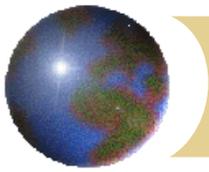
Figure 1



METAHEURISTIQUES

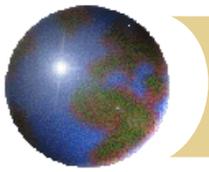
✦ **Définition :**

- ✦ Les métaheuristiques forment un ensemble de méthodes stochastiques utilisées en recherche opérationnelle et en intelligence artificielle pour résoudre des problèmes d'optimisation difficiles approximativement. Elles sont généralement utilisées comme des méthodes génériques pouvant traiter une large gamme de problèmes différents, sans nécessiter de changements profonds dans l'algorithme employé.



PRINCIPE DES METAHEURISTIQUES

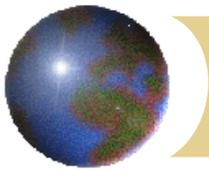
- ✦ Elles tentent toutes d'améliorer itérativement une solution (des solutions) existante (s)
- ✦ Un ensemble de solutions initiales peuvent être choisie de façon aléatoire ou bien construites par un autre algorithme, ces méthodes explorent le voisinage. Le choix des prochaines solutions s'effectue dans l'ensemble de voisinage de manière à avoir des solutions plus intéressantes. Le processus de recherche s'arrête généralement quand un certain nombre d'itérations est atteint ou lorsqu'une solution optimale est obtenue.
- ✦ Soit S l'ensemble de solutions et f une fonction objective ; un voisinage V est une fonction qui associe un sous ensemble $V(s) \subset S$ à toute solution $s \in S$. La solution $s' \in V(s)$ est appelée solution voisine. Ainsi, une stratégie de mouvement est une procédure qui précise comment le passage d'une solution $s \in S$ à une solution $s' \in V(s)$ est effectué.



PRINCIPE DES METAHEURISTIQUES

✦ **INTENSIFICATION ET DIVERSIFICATION**

- ✦ L'efficacité des métaheuristiques dépend essentiellement de la qualité du voisinage. Afin d'obtenir un bon voisinage, il faut trouver un compromis entre la diversification et l'intensification.
- ✦ La diversification permet de bien couvrir tout l'espace des solutions en réorientant périodiquement la recherche vers des régions non encore visitées afin de découvrir de nouvelles zones contenant les meilleures combinaisons. Elle est réalisée généralement en introduisant l'aspect stochastique.
- ✦ L'intensification permet l'exploration locale approfondie de certaines régions de l'espace des solutions. Elle favorise ainsi l'exploration des meilleurs voisins d'une solution.
- ✦ L'équilibre entre intensification et diversification dépend du temps de calcul qu'on dispose et de l'instance du problème à résoudre. Différents travaux ont été proposés pour adapter les paramètres des métaheuristiques. Cependant, il est difficile de trouver les valeurs adéquates permettant d'intensifier et de diversifier la recherche à la fois



CLASSIFICATION METAHEURISTIQUES

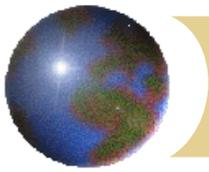
- ✦ **Les métaheuristiques** : sont souvent classées selon deux ensembles

**Méta heuristiques
solution unique**

- ✦ la métaheuristique manipule **un point**, et décide à chaque itération quel sera le point suivant. Exemple :
- ✦ La Recherche Tabou
- ✦ Le Recuit Simulé

**Méta heuristiques
à population**

- ✦ la métaheuristique manipule une **population de points**, un nouveau jeu de points est choisi à chaque itération. On retrouve ainsi:
- ✦ Les Algorithmes Evolutionnaires
- ✦ Les Algorithmes de Colonies de Fourmis



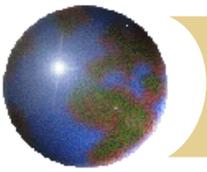
OPTIMUM / OPTIMISATION A POULATION

- ✦ Les métaheuristiques à population partagent un certain nombre de points communs. Elles manipulent toutes un échantillonnage de la fonction objectif, via des processus communs.
- ✦ Une quantité très importantes des problèmes posés en intelligence artificielle et en recherche opérationnelle s'expriment en effet naturellement sous la forme d'une fonction dont on cherche un ou des optimums.
- ✦ Ensemble de solutions / Espace de recherche)
- ✦ Critère de qualité / Fonction objectif ou performance fitness

BUT

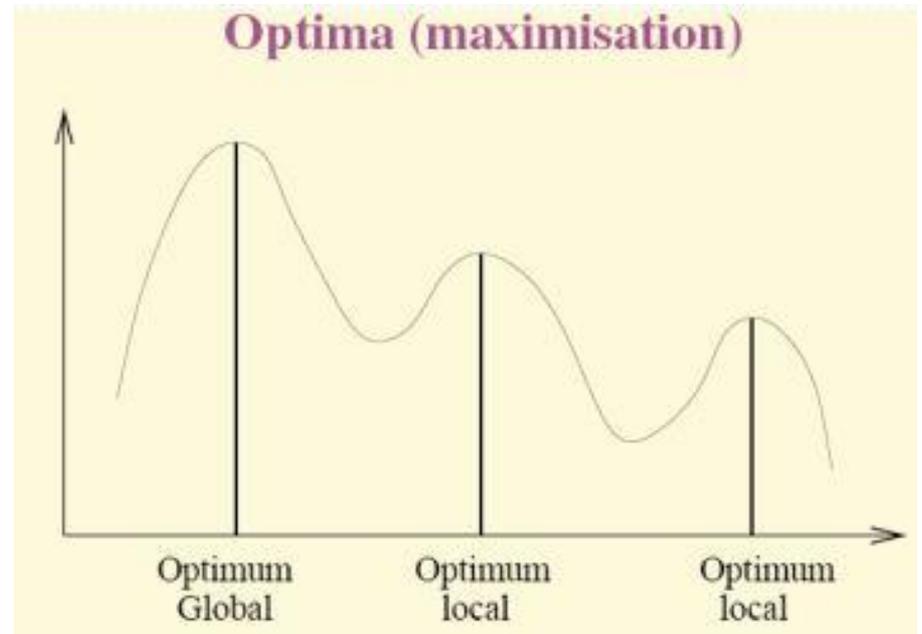
- ✦ Trouver la meilleur solution pour le critère donné

FORMELLEMENT



OPTIMUM / OPTIMISATION A POULATION

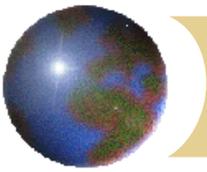
Soit $\mathcal{F} : \Omega \mapsto \mathbb{R}$
Trouver $x^* \in \Omega$ tq $x^* = \text{ArgMax}(\mathcal{F})$



Optimum global : x^* t.q. $(\forall x \in \Omega) \mathcal{F}(x^*) \geq \mathcal{F}(x)$

Optimum local : x^* t.q. $(\exists \varepsilon > 0)$

$B(x, \varepsilon) \neq \{x\}$ et $(\forall x \in B(x^*, \varepsilon)) \neq \{x\}) \mathcal{F}(x^*) \geq \mathcal{F}(x)$



OPTIMISATION GLOBALE

- ✦ **La descente de gradient** constitue certainement la méthode la plus courante. Mais, à moins que la fonction soit strictement convexe, le minimum trouvé à l'aide de cette méthode ne sera généralement qu'un extremum local : il existe le plus souvent d'autres minima plus petits (Figure 2).

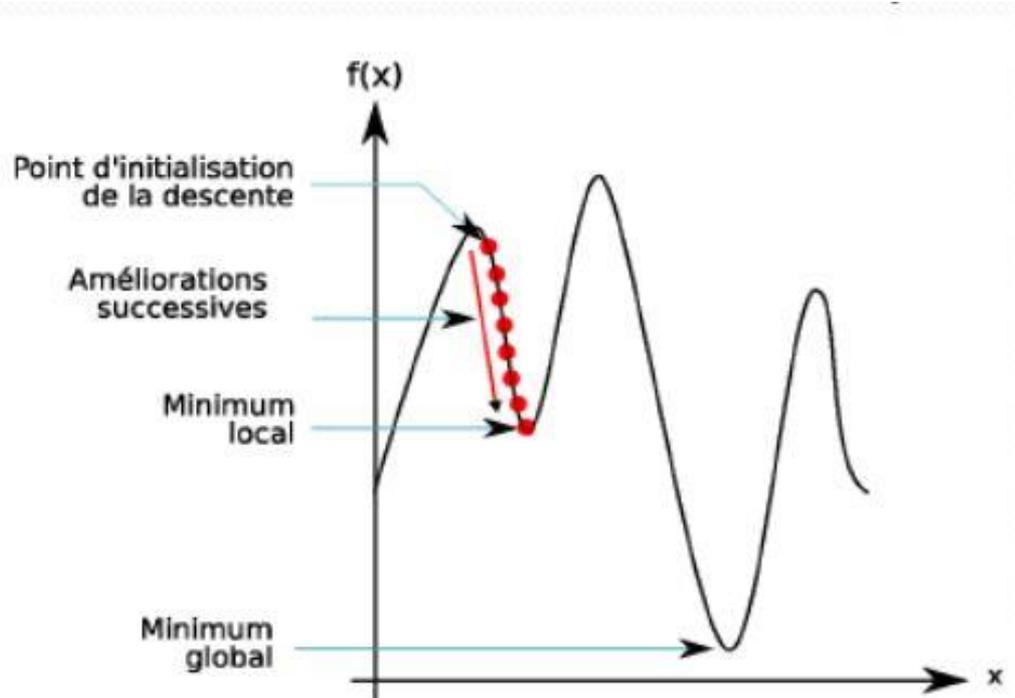
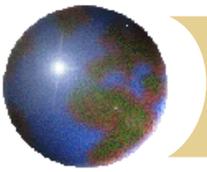


Figure 2



OPTIMISATION GLOBALE

- ✦ **Les algorithmes évolutionnaires** cherchent à maximiser (ce qui revient à minimiser l'opposé) la fonction de fitness. Travailler avec un ensemble de solutions en parallèle permet d'éviter le piège des minimum locaux (Figure 3).

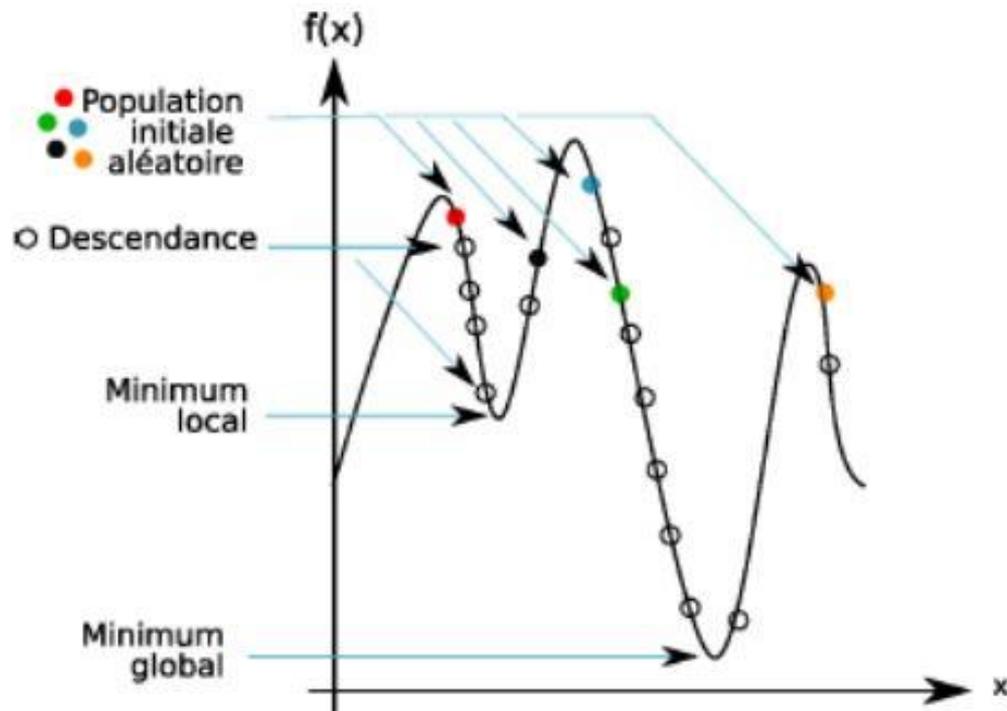
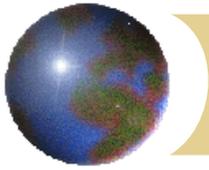
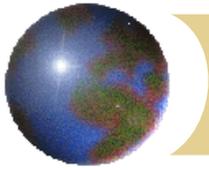


Figure 3

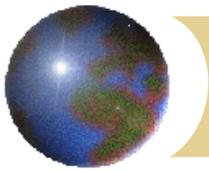


LES ALGORITHMES GENETIQUES



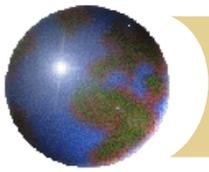
METHODES BIO-INSPIREES

- ✦ La plupart des méthodes bio-inspirées se basent presque sur les mêmes principes et ont les mêmes motivations. Elles nécessitent généralement la modélisation de l'espace des solutions dans lequel s'effectue la recherche de l'optimum, la définition d'une fonction objective qui doit être minimisée ou maximisée selon le problème à traiter et la détermination des règles de déplacement pour créer de nouvelles solutions.



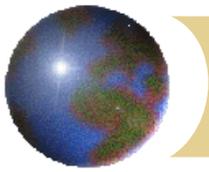
ALGORITHMES GENETIQUES

- ✦ L'algorithme génétique (genetic algorithm) est une méthode stochastique fondée sur des mécanismes de la sélection naturelle et de la génétique. Il a été initialement développé par John Holland en 1975 et popularisé par Goldberg en 1989. Cette méthode s'inspire de l'évolution des êtres vivants, élaborée par Charles Darwin. Elle est transposée à la recherche de solutions adaptées à un problème donné. L'algorithme génétique fait partie des méthodes évolutionnaires permettant de résoudre, dans un temps raisonnable, des problèmes d'optimisation pour lesquels il n'existe pas de méthodes traditionnelles plus efficaces. C'est une technique robuste d'exploration d'espaces de recherche complexes et de taille importante. Elle fait évoluer une population de solutions candidates à un problème donné dans le but de trouver une solution optimale. Ainsi, elle nécessite seulement une fonction de codage et une fonction d'évaluation de la pertinence de chaque solution.



CODAGE DES SOLUTIONS

- ✦ Les solutions potentielles sont représentées par une structure génétique sous forme de chaînes d'éléments, appelées chromosome ou individu.
- ✦ Le chromosome permet de représenter les paramètres du problème, c'est un vecteur de longueur l constitué d'un ensemble de gènes choisi dans un alphabet fini.
- ✦ Par conséquent, pour construire l'espace des solutions, il faut trouver un compromis entre la taille de l'alphabet et la complexité du codage.



TYPES DE CODAGE DES SOLUTIONS

✦ CODAGE BINAIRE

✦ Dans le codage binaire, le chromosome est une simple concaténation de bits qui peuvent prendre les valeurs 0 ou 1 (Figure 4).

✦ CODAGE PAR REPRESENTATION ENTIERE OU REELLE

✦ Ce codage permet de représenter le chromosome par une série de valeurs entières ou réelles (Figure 5).

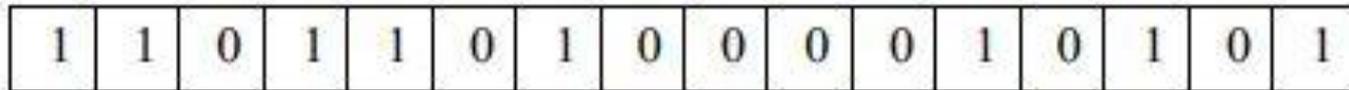


Figure 4

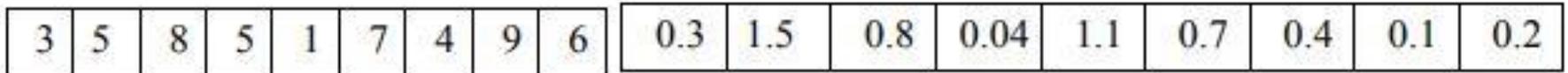
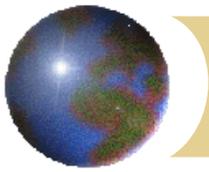
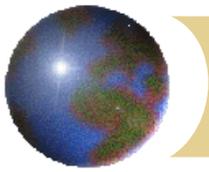


Figure 5



FONCTION D'ADAPTATION

- ✦ L'algorithme génétique combine une stratégie de «survie des mieux adaptés» avec une transformation génétique de la population.
- ✦ Le mécanisme de « survie des plus forts » est concrétisé avec une fonction d'adaptation appelée aussi fitness.
- ✦ Elle représente une mesure d'utilité ou de qualité qui doit être maximisée ou minimisée.
- ✦ Elle mesure la qualité de la solution vis-à-vis du problème à résoudre.
- ✦ Ce qui influence la convergence de l'algorithme vers des solutions optimales.

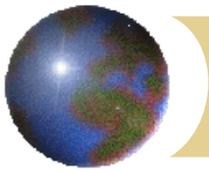


OPERATEURS GENETIQUES

- ✦ À partir d'une population initiale construite généralement de façon aléatoire, de nouvelles populations sont générées itérativement en utilisant les opérateurs génétiques de sélection, croisement et mutation dans le but d'obtenir, au bout d'un temps raisonnable, une solution optimale.

SELECTION

- ✦ Elle permet de filtrer la population de manière à ne conserver que les individus les mieux adaptés.
- ✦ Elle sélectionne les meilleurs chromosomes pour qu'ils se reproduisent et écarte les plus faibles dans le but d'obtenir une population de solutions qui converge vers l'optimum global.



OPERATEURS GENETIQUES

SELECTION

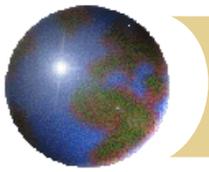
- ✦ On trouve essentiellement quatre types de méthodes de sélection:

Sélection par roulette ou proportionnelle

Sélection par rang

Sélection par Tournois

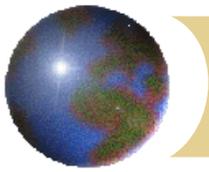
La méthode d'élitisme



OPERATEURS GENETIQUES

CROISEMENT

- ✦ Il s'agit d'un processus essentiel pour explorer l'espace des solutions possibles.
- ✦ Cet opérateur repose sur l'idée que deux parents performants peuvent produire deux enfants performants eux-mêmes.
- ✦ De ce fait, une fois que deux individus sont sélectionnés, ils échangent une ou plusieurs parties de leurs vecteurs pour former deux nouveaux individus.
- ✦ Le croisement est appliqué avec une certaine probabilité.



OPERATEURS GENETIQUES

CROISEMENT

- ✦ Il existe différentes méthodes pour croiser deux chromosomes :

Croisement à un point

Croisement CX (Cycle Crossover)

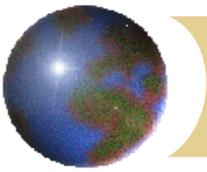
Croisement à n points

Croisement OX (Order Crossover)

Croisement avec masque

Croisement avec trois parents

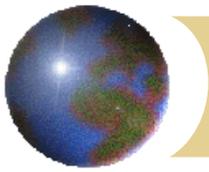
Croisement PMX (Partially Mapped Crossover)



OPERATEURS GENETIQUES

MUTATION

- ✦ il sera nécessaire d'apporter de l'innovation dans la population en modifiant aléatoirement un ou plusieurs gènes de la chaîne codant l'individu.
- ✦ Le rôle de la mutation est secondaire par rapport au croisement.
- ✦ Elle est généralement appliquée avec une faible probabilité pour ne pas risquer de changer complètement la population des solutions.



OPERATEURS GENETIQUES

MUTATION

- ✦ Les types de mutation les plus utilisés sont :

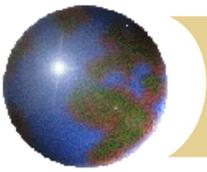
L'insertion

L'échange (1-Opt ou Swap mutation)

L'inversion

Le mélange (Scramble Mutation)

L'opérateur Or-Opt



FONCTIONNEMENT DE L'ALGORITHME GENETIQUE STANDARD

- Le fonctionnement de l'algorithme génétique se base sur les phases représentées par la Figure 6:

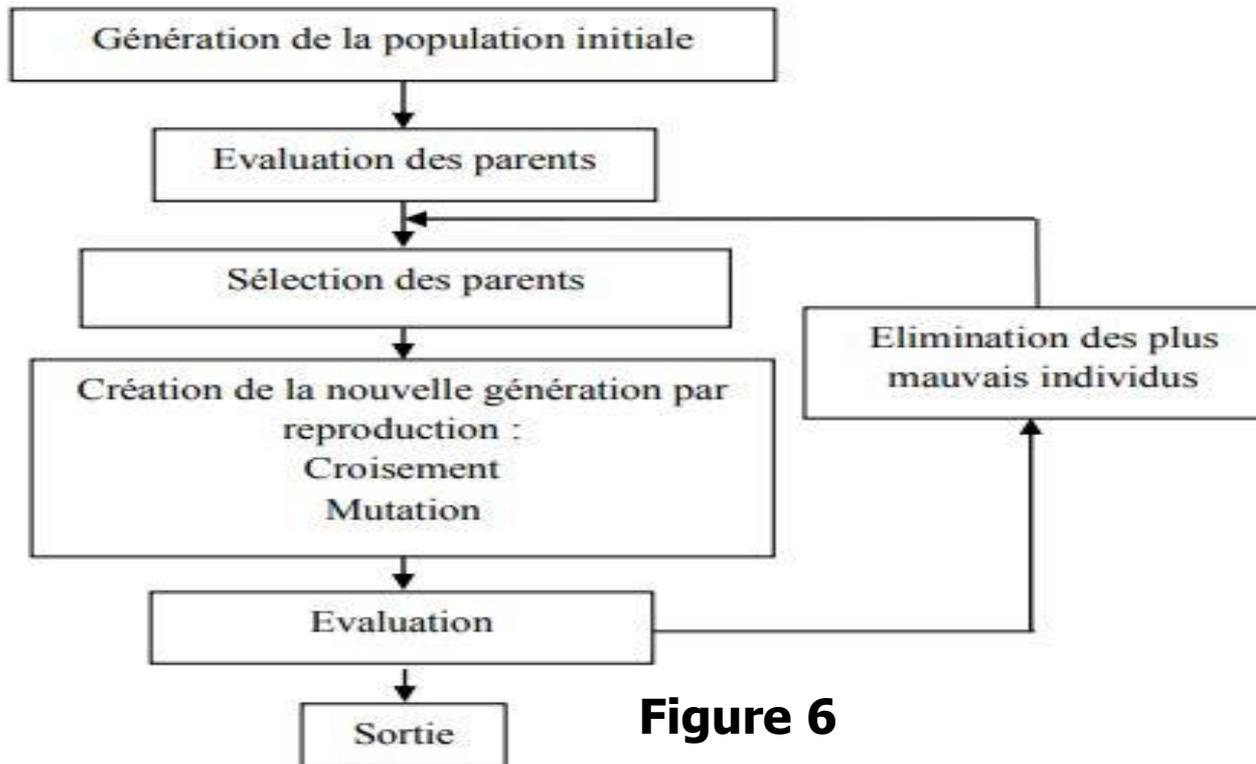
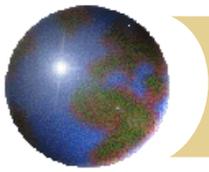


Figure 6



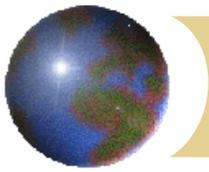
FONCTIONNEMENT DE L'ALGORITHME GENETIQUE STANDARD

- ✦ **Initialisation** : le choix de la population initiale conditionne fortement la rapidité de l'algorithme.
- ✦ **L'évaluation de la qualité** d'une solution permet d'illustrer avec une valeur numérique la qualité des éléments constituant le chromosome.
- ✦ **La sélection** consiste à choisir, à partir de la population courante, les individus qui sont autorisés à se reproduire en fonction d'une valeur d'adaptation.
- ✦ **La reproduction** s'effectue en appliquant sur deux individus choisis, un opérateur de **croisement** avec la probabilité de croisement et un opérateur de **mutation** avec la probabilité de mutation. La reproduction crée de nouveaux individus pour les mettre dans la nouvelle génération.
- ✦ **Retour** : après l'application des opérateurs génétiques, une **nouvelle** population est obtenue sur laquelle les étapes précédentes sont appliquées. Ce processus se répète tant que l'une des conditions d'arrêt ne soit pas vérifiée. Généralement, un algorithme génétique se termine après un certain nombre de générations, lorsque la population n'évolue plus ou si la qualité d'un individu dépasse un certain seuil.



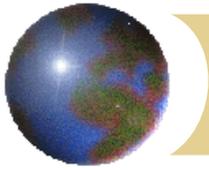
CONCLUSION

- ✦ Les algorithmes génétiques s'inspirent de la théorie de la sélection naturelle. Par analogie avec le monde biologique, cette méthode fait évoluer un échantillon d'individus à l'aide de trois opérateurs principaux : sélection, croisement et mutation.
- ✦ Pour atteindre des performances optimales, il est indispensable d'adapter les paramètres de l'algorithme et d'introduire des méthodes spécifiques au problème traité.



BIBLIOGRAPHIE

- ❖ Sidi Mohamed Douiri, Souad Elbernoussi, Halima Lakhbab, support de cours, "Méthodes de Résolution Exactes, Heuristiques et Métaheuristiques, Université Mohammed V, Rabat, Maroc.
- ❖ LEMOUARI ALI, Support de Cours, "Introduction aux Métaheuristiques Introduction aux Métaheuristiques", université de Jijel, Jijel, Algérie
- ❖ Devarenne I., "Etudes en recherche locale adaptative pour l'optimisation combinatoire", Thèse de doctorat, Université de Technologie de Belfort Montbéliard, France, 2007.
- ❖ Pr MOHAMED BEN ALI. Support de Cours, « Méthodes d'apprentissage basées métaheuristiques » , université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie



EXEMPLES D'APPLICATION

Consulter les séries de TP