

---

# Systemes de transport intelligents

## 1.Introduction

**D**e nos jours, se déplacer est devenu un aspect essentiel de la vie quotidienne .De cette raison le transport routier devient un élément fondamental dans le fonctionnement des sociétés modernes. En effet, des millions de véhicules transportent des personnes et des marchandises sur les réseaux routiers chaque jour. La gestion d'un tel réseau est devenue un élément du base . Dans ce chapitre nous présentons des généralités sur la congestion urbaine, les systèmes de transport intelligents, et leurs applications pour gérer la circulation routière.

## 2.Congestion du trafic

La congestion urbaine apparaît lorsque la demande de déplacements excède la capacité de l'infrastructure .Cette dernière est citée comme un mal majeur et grandissant dans les milieux urbains. De nombreux conducteurs se retrouvent chaque jour dans la congestion et les embouteillages, bien que son importance et sa fréquence varient d'un endroit à l'autre.

Les autorités urbaines, régionales et provinciales de transport s'appliquent à gérer cette problématique au moyen d'une vaste gamme de mesures. Individuellement, les conducteurs n'interprètent pas tous de la même façon le sens de la congestion et n'ont pas la même perception. Pour certains, il s'agit d'un véritable embouteillage avec des arrêts complets et de longs retards. Pour d'autres, il s'agit plutôt d'une situation où l'on avance lentement, ou plus généralement, où on se déplace à une vitesse inférieure à la limite permise.

### 2.1 Définition de la congestion

La congestion est un phénomène physique concernant la façon dont des véhicules empêchent la progression des uns et des autres au fur et à mesure que la demande d'un espace routier s'approche de la capacité maximale de celui-ci de même qu'un phénomène relatif ayant trait aux attentes des usagers vis-à-vis des performances d'un réseau routier. Donc La congestion est une situation dans laquelle la demande d'espace routier dépasse l'offre.[3].

## 2.2 Types de congestion

Selon les causes, la congestion peut être classée en deux catégories : congestion récurrente ou congestion non-récurrente [4].

### 2.2.1 Congestion récurrente

La congestion récurrente est due à l'insuffisance de l'offre par rapport à la demande dans des conditions normales. Comme le cycle de vie d'une infrastructure est assez long, la capacité nominale d'une section routière, qui est calculée en fonction d'une projection lors de la conception, pourrait être inférieure à la demande réelle à un moment ultérieur. Même si la capacité conçue satisfait un niveau moyen de la demande, ce qui est le cas typique, la congestion récurrente paraît pendant les périodes de pointe : les périodes de pointe peuvent être les heures de pointe pour un réseau routier/autoroutier urbain/périurbain, les périodes de vacances pour les grands axes de liaison ou d'autres occasions plus spécifiques.

### 2.2.2 Congestion non- récurrente

La congestion non-récurrente est due aux perturbations sur le réseau qui réduisent éventuellement les capacités comme les incidents, les accidents, les travaux sur la route ou réduisent les vitesses pratiquées par les usagers comme de mauvaises conditions météorologiques, et probablement d'autres événements spéciaux. Certaines perturbations sont prévisibles, par exemple les travaux programmés, d'autres sont moins prévisibles comme de mauvaises conditions météorologiques, voire complètement imprévisibles comme les incidents, les accidents. La part de la congestion non-récurrente dans l'ensemble de la congestion varie en fonction de l'endroit mais elle est toujours dans un ordre de grandeur considérable, en particulier pour les grandes agglomérations.

## 2.3 Impacts négatifs

La congestion du trafic a plusieurs effets négatifs [5]:

- Les embouteillages obligent un automobiliste à perdre son temps sur la route dans un manière productive.
- En raison de la congestion du trafic, une énorme quantité de produits pétroliers est gaspillée rien.

- La congestion du trafic augmente également la pollution atmosphérique et sonore dans une zone affecte finalement la santé des automobilistes.
- La congestion de la circulation augmente également l'effet de serre dans une zone, de sorte que l'électricité la consommation augmente dans les maisons le long d'une route pour les garder au frais.
- Usure des véhicules due au ralenti dans la circulation et aux accélérations fréquentes et le freinage, ce qui entraîne des réparations et des remplacements plus fréquents.
- La congestion de la circulation peut également entraver la trajectoire des véhicules d'urgence.
- Cela augmente également le stress et la frustration d'un automobiliste et donc les cas de rage au volant augmente.

### **3.Systèmes de transports intelligents (STI)**

Les systèmes de transports intelligents (STI) fait référence aux efforts visant à ajouter des technologies de l'information et des communications aux infrastructures de transport ou aux véhicules. Les premiers systèmes ITS, mis en œuvre bien avant l'introduction du terme ITS, se présentaient sous la forme de contrôleurs de trafic (également appelés feux de signalisation ou robots). L'objectif principal de ces contrôleurs était d'améliorer les flux de trafic et, en général, on peut conclure que les premiers systèmes STI ont été explorés lorsque les ingénieurs du trafic se sont rendu compte qu'ils ne pouvaient pas se sortir de la congestion. On espère que l'utilisation des technologies de la communication améliorera l'utilisation de la capacité routière existante [6].

#### **3.1 Application des STI à l'exploitation des réseaux routiers**

Les principales fonctions d'exploitation du réseau liées aux STI sont les suivantes :

- Surveillance du réseau, maintien de la viabilité et de la sécurité routières, contrôle du trafic, information d'aide aux déplacements et aux usagers et gestion de la demande. La surveillance du réseau, est une des fonctions clés de la collecte d'information courante sur le réseau routier et du soutien des autres activités d'exploitation du réseau. Par conséquent, même si la surveillance fait partie intégrante de tous les services de STI, elle ne constitue habituellement pas un service en soi. Afin d'améliorer la viabilité et la sécurité routières, des mesures proactives

et réactives peuvent être déployées. Les mesures proactives mettent la priorité sur la prévention des incidents et de la congestion, et les mesures réactives mettent la priorité sur la détection et la vérification des incidents et des conditions routières dangereuses, les interventions et le dégagement, et sur le rétablissement des conditions normales.

- L'information aux voyageurs est une mesure de prévention secondaire. La diffusion d'avertissements en temps opportun, quant aux conditions de circulation dangereuses et à la congestion, réduit le nombre d'accidents.

- La sécurité routière ne peut être assurée uniquement qu'au moyen de mesures préventives. Il est important de surveiller constamment l'état de la route même et de la circulation, et de réagir aux situations.

### **3.2 Contexte et applications au milieu urbain**

Les STI sont appliqués aussi dans le milieu urbain dans :

- **Les intersections**

Le champ d'application des STI en milieu urbain est très large : en premier lieu, ces derniers agissent sur les intersections, en se chargeant d'appliquer une stratégie de changement des feux de circulation. Cette gestion des feux va représenter un aspect essentiel de la fluidité du trafic routier dans une ville [7].

- **Le stationnement**

La gestion du stationnement est également primordiale et a une incidence directe sur la fluidité du trafic : il paraît logique de dire que l'utilisation de la voiture en milieu urbain repose en partie sur le fait de savoir s'il y a une place disponible ou non sur le lieu d'arrivée. Il faut savoir qu'en moyenne, en France par exemple, 10% des véhicules en circulation à un instant donné cherchent une place où se garer. Les STI vont aider à prendre des décisions, mais également informer les utilisateurs ou encore contrôler les véhicules [7].

Par Exemple, des détecteurs peuvent être utilisés afin de détecter la présence d'un véhicule sur une place, et calculer sa durée de stationnement. Ceci a été constaté dans la ville d'Amiens via des stationnements "minute" : une borne est associée à une place, et dès lors qu'un véhicule s'y gare, un compte à rebours se déclenche pour une durée déterminée. Si cette durée est dépassée, les agents de la voie publique sont automatiquement prévenus. Nous pouvons également citer l'utilisation de panneaux à messages variables (PMV) pour les parkings, systèmes très répandus

dans les grandes métropoles qui indiquent le nombre de places disponibles (ceci n'utilisant pas nécessairement des détecteurs, mais étant généralement calculé en fonction des entrées / sorties dans le parking en lui-même).

- **La sécurité routière**

Les STI Visent à réduire le risque d'accidents de voiture et à minimiser les dommages résultant d'accidents inévitables. Ces applications imposent des exigences, nécessitant un matériel fiable dédié ainsi que des communications fiables et opportunes. Ces applications comprennent la sensibilisation des coopératives, par exemple les applications de gestion des progrès, l'avertisseur de sortie de voie et à la gestion de la vitesse, ainsi que les applications de détresse, par exemple la détection des dangers et les mauvaises conditions météorologiques[8].

- **Les ronds-points**

Certains travaux abordent la gestion des ronds-points, en se basant sur les priorités existantes. Dans de nombreux pays, il est, par exemple, commun de donner la priorité aux usagers étant déjà à l'intérieur d'un rond-point.

Ce qui en ressort apparaît comme une évidence : soit deux flots, chacun étant sur une voie respectivement au cœur du rond-point et sur les côtés, la priorité doit être donnée au flot de la plus grande importance afin d'obtenir une gestion optimale du trafic.

Les feux quant à eux améliorent grandement la fluidité du trafic, mais uniquement en cas de débit suffisamment élevé [7].

#### **4. Systèmes de gestion de trafic routier**

Les avancées ont été permises grâce à l'introduction de plusieurs solutions novatrices en termes de gestion du trafic routier : au total, ce sont plus d'une vingtaine de projets qui sont nés durant ces trente dernières années [2].

Dans cette partie, nous allons essentiellement parler de deux systèmes ne sont pas nécessairement les plus performants, mais représentent les deux principaux systèmes de gestion du trafic routier utilisés dans le monde [9]:

- **SCOOT** [10]

SCOOT (Split Cycle Offset Optimisation Technique) un système de contrôle à la fois réactif et adaptatif et entièrement centralisé, développé par le TRL (Trafic research laboratory, un centre de recherche anglais sur les transports). Dans ce système, l'ensemble des informations recueillies sur le terrain vont à un centre de gestion, qui s'occupe de traiter les informations et renvoyer des indications directement aux intersections. Les véhicules sont détectés par des dispositifs pouvant être placés à divers endroits sur les voies : au niveau des feux ou à une certaine distance afin de pouvoir mesurer le débit du trafic.

SCOOT mesure en permanence le volume de véhicules de chaque côté de l'intersection et change la durée des phases en fonction d'un indice de performance, calculé par rapport au délai d'attente

moyen, de la longueur des files d'attente et des arrêts sur le réseau. Ainsi, de la même manière que TRANSYT [11], système sur lequel il est basé, SCOOT génère des plans de feux en fonction de la demande des utilisateurs (côté adaptatif). En plus de cela, le système utilise des informations en ligne issues de bases de données (historique ou autres, côté réactif).

- **SCATS** [12]

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System) qui a été à l'origine développé pour Sydney et d'autres villes Australiennes. Il est pour sa part entièrement adaptatif et utilise une notion d'hierarchie (ce qui forme une certaine distribution sur le réseau). Entre le recueil des données sur le terrain et le centre de contrôle, des contrôleurs intermédiaires sont insérés, permettant d'alléger la charge globale du système et d'avoir un contrôle découpé en plusieurs zones, l'ensemble des acteurs utilisant des communications synchronisées. De manière similaire à SCOOT, ce système ajuste le temps des cycles et autres paramètres en fonction des données recueillies afin de diminuer le délai et les arrêts, mais n'utilise pas la même stratégie. Les valeurs recueillies permettent la sélection de plans de feux parmi une large librairie, sur lesquels le système va se baser pour proposer des plans adaptés. De plus, contrairement à SCOOT, les détecteurs sont uniquement placés au niveau des feux de circulation.

Selon [13], l'installation de l'une de ces solutions prendrait en moyenne 365 heures (630h pour SCOOT), coûterait au total en moyenne 55.000\$ par intersection, et nécessiterait un temps d'entraînement moyen de 41 heures (dont 60h pour SCATS).

Tandis que SCATS et SCOOT sont conçus afin de ne prendre qu'une décision par cycle, d'autres systèmes plus modernes tels que OPAC [14], RHODES [15] ou encore InSync[10]

analysent le trafic en temps réel et prennent des décisions seconde après seconde afin d'adapter dynamiquement un cycle. Nous pouvons également citer CRONOS [16] et Prodyn [17], les deux principaux systèmes agissant sur les carrefours Français [18]. Le premier a été mis au point au début des années 1990 par l'INRETS et permet de dynamiser un carrefour en se basant notamment sur des images en temps réel en provenance de caméras, qui fournissent des informations telles que l'occupation de la chaussée. Le deuxième a été développé par le CERT et a la particularité de se baser sur des mécanismes classiques de cycles et phases.

De nombreux autres systèmes de ce type existent, nous n'avons cité que les principaux. Ces solutions "classiques" régissent à elles seules une bonne partie de ce qu'il peut exister en termes de gestion du trafic routier de manière complète et dynamique. Hélas, leur coût et leur durée d'installation constituent un frein à leur développement.

## 5. Outils théoriques

Il est courant pour des modèles dynamiques de la littérature se servir d'outils théoriques, parfois en faisant un rapprochement à la réalité, parfois sans aucune notion physique (technologie utilisée, disposition). Dans les systèmes de gestion de trafic, plusieurs outils théorique sont étudiés, répandus dans la littérature et servant de base à certains modèles étudiés.

### 5.1 Contrôle par logique floue

La logique floue permet de mettre en place des degrés dans la vérification d'une condition, et non plus se borner à un choix strictement binaire. Ce principe est utilisé par quelques auteurs pour traiter le problème de la gestion des feux de circulation et permet de simplifier le problème, ce qui change des méthodes d'optimisation mathématique habituelles souvent lourdes.

Un exemple de travail peut être trouvé dans [19]. Nous pouvons également citer [20] qui utilise la logique floue afin de déterminer le temps d'un feu en fonction du nombre de véhicules présents sur les voies : à un nombre de véhicules correspond un intervalle définissant une durée de feu (exemple : moins de 5 véhicules par minute donne le feu vert pendant 10 secondes). Ce principe apparaît comme idéal à utiliser :

- Théorie simple s'appliquant à des problèmes complexes.
- Aucun modèle mathématique requis.
- Robustesse de la commande floue par rapport aux incertitudes.

Les inconvénients sont tout de mêmes importants [21] : les techniques de mise en place et les réglages sont empiriques et aucune théorie ne permet de démontrer la stabilité et la robustesse d'une telle méthode.

## 5.2 Réseaux de neurones

Les réseaux de neurones sont composés d'éléments simples (ou neurones) fonctionnant en parallèle. Ces éléments ont été fortement inspirés du système nerveux biologique. Comme dans la nature, le fonctionnement du réseau (de neurone) est fortement influencé par la connections des éléments entre eux. On peut entraîner un réseau de neurone pour une tâche spécifique (reconnaissance de caractères par exemple).

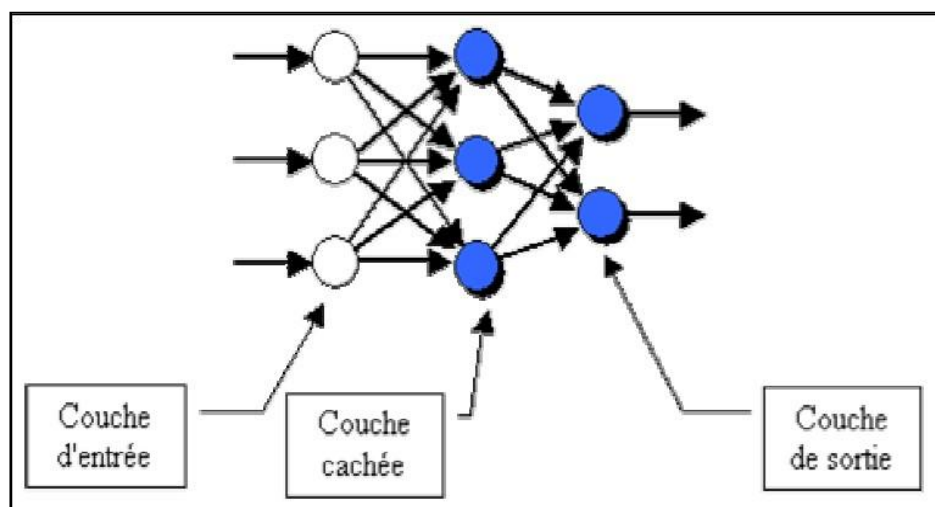
en ajustant les valeurs des connections (ou poids) entre les éléments (neurone). En général, l'apprentissage des réseaux de neurones est effectué de sorte que pour une entrée particulière présentée au réseau corresponde une cible spécifique. L'ajustement des poids se fait par comparaison entre la réponse du réseau (ou sortie) et la cible, jusqu'à ce que la sortie corresponde. L'apprentissage " par paquet " du réseau consiste à ajuster les poids et biais en présentant les vecteurs d'entrée/sortie de tout le jeu de données.

L'apprentissage " pas à pas ou séquentiel " consiste à ajuster les poids et biais en présentant les composantes du vecteur d'entrée/sortie les unes après les autres. Ce type d'apprentissage est souvent qualifié d'apprentissage " en ligne " ou " adaptatif ".

L'apprentissage permet aux réseaux de neurones de réaliser des tâches complexes dans différents types d'application (classification, identification, reconnaissance de caractères, de la voix, vision, système de contrôle).

Ces réseaux de neurones peuvent souvent apporter une solution simple à des problèmes encore trop complexes ne pouvant être résolus rapidement par les ordinateurs actuels (puissance de calcul insuffisante) ou par notre manque de connaissances. La méthode d'apprentissage dite superviser est souvent utilisée mais des techniques d'apprentissage non supervisé existent pour des réseaux de neurones spécifiques. Ces réseaux peuvent, par exemple, identifier des groupes de données (réseaux de Hopfield).





**FIGURE 1.1** – Réseau " ordonné " sans connexion arrière (réseau feed-forward)

Dans le cas du trafic routier, plusieurs auteurs se sont penchés sur ce schéma . Ici, il est question d'effectuer rapidement des classifications, et d'apprendre à les améliorer, plutôt que de passer par un schéma traditionnel de modélisation. La logique floue et les algorithmes génétiques peuvent être vus comme des compléments aux réseaux de neurones [13].

### 5.3 Théorie des files d'attente

Les origines de la théorie de files d'attente remontent à 1909, lorsque A.K.Erlang en a posé les bases dans ses recherches sur le trafic téléphonique. Elle fait actuellement l'objet de nombreuses publications scientifiques. Plusieurs auteurs ont utilisé la théorie de files d'attente dans différents domaines, par exemple dans [14] ont utilisé cette théorie pour analyser les performances des réseaux en général.

La théorie des files d'attente est particulièrement adaptée au cas de la gestion du trafic routier [22]. Dans le cas des intersections, une file d'attente est automatiquement créée lorsque les véhicules (clients) souhaitent obtenir un feu au vert (serveur). Particulièrement, il est facile avec cette théorie de calculer des valeurs telles que le nombre moyen de véhicules en attente, en service, le temps moyen d'attente ou encore de séjour dans le système. Une file d'attente est un système stochastique composé d'un certain nombre (fini ou non) de place d'attente d'un ou plusieurs serveurs et bien sûr de clients qui arrivent, attendent, se font servir selon des règles de priorité données et quittent le système .

### 5.4 Algorithmes génétiques

Beaucoup de problèmes sont difficilement solubles exactement. La difficulté ne vient pas de la complexité du problème mais de la taille excessive de l'espace des solutions. Il est alors évident de pouvoir les tester toutes pour trouver la meilleure. C'est pourquoi, des heuristiques approchées ont été essayées pour la résolution de tout un tas de problèmes où la recherche systématique n'est pas possible. Ces heuristiques doivent être peu coûteuses en temps machine et doivent permettre de trouver une solution pas trop mauvaise qui justifie leur utilisation à la place d'une recherche par Monte-Carlo (hasard quadrillé) ou par toute autre méthode. Ainsi sont nés beaucoup d'algorithmes comme les algorithmes génétiques.

L'algorithme génétique ne fait que transposer ce que fait la nature à des systèmes artificiels. Il simule les processus évolutifs Darwiniens et génétiques s'appliquant aux chromosomes. Il transforme un ensemble d'objets mathématiques, une population d'individus souvent représentés par des chaînes de caractères pour imiter les chaînes d'ADN, chacun ayant une valeur d'adaptation, en une nouvelle population. L'algorithme fait donc appel à quatre opérateurs de base :

- L'évaluation du niveau d'adaptation d'un individu.
- La sélection : c'est le choix des individus en fonction du niveau d'adaptation.
- Le croisement : c'est le mélange des bagages génétiques.
- La mutation : le bagage génétique est modifié abruptement.

Les auteurs de [23] ou encore [24] ont proposé d'optimiser le temps à une ou plusieurs intersections en se basant sur un algorithme génétique. Le principe est le suivant : obtenir une solution approchée d'un problème d'optimisation lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte afin de le résoudre en un temps raisonnable. Dans ce type d'algorithme, la solution est approchée par bonds successifs (mutations). Ainsi, en ayant connaissance du nombre de véhicules et du temps moyen d'attente à une intersection, l'algorithme va pouvoir appliquer des méthodes d'optimisation et les améliorer au fil de sa vie. Si l'idée paraît intéressante, les contraintes sont évidentes pour le cas du trafic routier :

- De nombreux calculs sont nécessaires.
- Paramètres difficiles à déterminer, et il peut y avoir un certain délai avant l'obtention d'un résultat réellement efficace.

## **6.Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté les Systèmes de transports intelligents qui sont conçus pour la régulation de la congestion routière et la gestion du trafic routier en général, ainsi que les outils théoriques qui sont utilisés pour la modélisation du trafic routier en général, et en particulier de gestion de feux de circulation. Le prochain chapitre présente la méthode d'optimisation par algorithmes génétiques que nous allons exploiter par la suite pour proposer notre système de gestion de feu de circulation.

## CHAPITRE 2

# ALGORITHMES GENETIQUES

### 1. Introduction

**L**es algorithmes génétiques (AG) sont des méthodes d'optimisation stochastique s'appuyant sur les techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature: croisement, mutation, sélection[25].

Les AG empruntent l'essentiel de leur terminologie au modèle évolutionniste : une population évolue de génération en génération pour devenir plus adaptée aux contraintes environnementales. Ses individus, caractérisés par leurs chromosomes, s'accouplent et se reproduisent, selon le principe générale du « struggle for life » (survivance du plus adapté), et l'on observe parfois des mutations [26]. Bien que très réducteurs des points de vue de la biologie, les AG fournissent des mécanismes de recherche Adaptative robustes et puissants[27].

### 2. Historique

C'est en 1860 que Charles Darwin publie son livre intitulé L'origine des espèces au moyen de la sélection naturelle ou la lutte pour l'existence dans la nature. Dans ce livre, Darwin rejette l'existence«de systèmes naturels figés», déjà adaptés pour toujours à toutes les conditions extérieures, et expose sa théorie de l'évolution des espèces: « sous l'influence des contraintes extérieurs, les êtres vivants se sont graduellement adaptés à leur milieu naturel au travers de processus de reproductions ».

Presque simultanément, en 1866, Mendel (« le moine des pois ») publie l'article retraçant dix années d'expériences d'hybridation chez les végétaux (recombinaison des gènes) et l'adresse aux sociétés scientifiques des quatre coins du monde. Les réactions sont mitigées, voire inexistantes. Le monde scientifique n'est pas prêt à reconnaître la qualité de ses résultats.

Ce n'est seulement en 1900, que la publication de trois nouveaux articles signés Hugo de Vries, Carl Correns et Erich von Tschermak.

C'est alors à partir du 20<sup>ème</sup> siècle que la mutation génétique a été mise en évidence par des chercheurs en informatique qui essayent de développer des méthodes permettant aux systèmes d'évoluer de manière normale et efficace face à de nouvelles conditions d'environnement inconnues, variables ou évolutives. Ainsi, les problèmes de traitement de l'information ne seront plus résolus de manière figées, car il ne sera plus indispensable lors de la phase de conception d'un système, d'énumérer toutes les caractéristiques nécessaires pour les conditions d'exploitations connues au moment de la conception [28].

Dans les années 1960, John Holland, ses collègues et ses étudiantes ont mené des recherches, à l'université de Michigan, poussés par deux objectifs principaux [29]:

Premièrement, mettre en évidence et expliquer rigoureusement les processus d'adaptation des systèmes naturels, et deuxièmement, concevoir des systèmes artificiels qui possèdent les propriétés naturels. Toutefois, c'était Bagley qui a mentionné, en premier lieu, l'expression « algorithme génétique » c'était en 1967. Et en 1975 Holland a formulé des algorithmes génétiques : « the canonical genetic algorithm CGA ». Ce modèle a servi de base aux recherches ultérieures et a été, plus particulièrement, repris par David Goldberg qui a publié, en 1989, un ouvrage de vulgarisation des algorithmes génétiques, tout en ajoutant à la théorie des algorithmes génétiques les idées suivantes: un individu est lié à un environnement par son code d'ADN, une solution est liée à un problème par son indice de qualité [26].

L'originalité des travaux de Holland repose en particulier sur le fait qu'il n'a pas considéré seulement les mutations comme mécanisme d'évolution, mais il exploite surtout les mécanismes de croisement, car c'est en croisant les solutions potentielles existant au sein du pool génétique que l'on peut se rapprocher de l'optimum [27].

Trois types d'algorithmes évolutionnaires ont été développés isolément et à peu près simultanément, par différents scientifiques : la programmation évolutionniste de L.Fogel (Californie, USA, 1966), les stratégies d'évolution inventées en 1973 par deux étudiants ingénieurs à l'université de Berlin, I.Rechenberger et H.P.Schwefel et les algorithmes Génétiques de J.Holland en 1975. En 1985 et grâce à Cramer, une autre classe d'algorithmes évolutionnaires a vu le jour. C'est la programmation génétique (PG), considérée en premiers temps comme sous groupe des AG. Mais cette façon de programmer, qui consiste à faire évoluer le code d'un logiciel afin

qu'il remplisse au mieux certaines tâche, a pris son indépendance, en 1992, grâce à J.Kaza (Californie, USA).

Ces différentes classes d'algorithmes évolutionnaires dont les origines différent et qui possèdent chacune leur spécialité, ne diffèrent que sur les détails d'implémentation des opérateurs et sur les procédures de sélection et remplacement de la population. de plus, et malgré que leurs buts soient différents à l'origine, ils ont commencé à sortir de leur isolement et sont maintenant surtout utilisés pour résoudre des problèmes d'optimisation en convergeant vers le modèle unique des algorithmes évolutionnistes qui intègre les particularités de chacun des modèles [28].

### 3. Présentation

Les techniques de recherche et d'optimisation sont, généralement, classées en trois catégories [28]. Énumératives, déterministes et stochastiques. Les AG font partie de la troisième catégorie et quatre caractéristiques les distinguent des autres techniques d'optimisation [29]:

- Ils utilisent un codage des paramètres et non les paramètres eux-mêmes.
- Ils travaillent sur une population d'individus(ou de solutions).
- Ils n'utilisent que les valeurs de la fonction à optimiser, pas sa dérivée, ou une autre connaissance auxiliaire.
- Ils utilisent des règles de transition probabilistes et non déterministes.

En effet, les AG sont des techniques de recherche et d'optimisation stochastique dérivées de la génétique et des mécanismes de la sélection naturelle et de l'évolution. Leurs champs d'application sont très vastes : économie, finance, optimisation de fonctions, planification, et bien d'autres domaines [31].

Les algorithmes génétiques étant basée sur des phénomènes biologiques, il convient de rappeler au préalable quelques termes de génétique et leur définition dans le domaine informatique [32] (tableau 2.1).

Nature	Définition
Individu	Solution à un problème
Population	Ensemble fini d'individus (de solutions).
Adéquation au milieu	Qualité de la solution
Gène	partie élémentaire (caractère) non divisible d'un chromosome.
Chromosome	Solution potentielle du problème sous une forme codée (forme de chaîne de caractères).
Locus	Position dans la chaîne
Allèle	Valeur de caractéristique
Génotype	Structure
Phénotype	Ensemble de paramètres ou une structure décodé
Croissance	Décodage d'une solution depuis sa représentation
Croisement (Cross-over)	Opérateur d'exploration de l'espace de recherche
Mutation	Modification d'une solution
Sélection naturelle	Réutilisation d'une bonne (sous) solution
Fonction de fitness	Qui désigne la fonction d'évaluation d'un individu. Cette fonction est liée à la fonction à optimiser et permet de définir le degré de performance d'un individu (donc d'une solution)

**Tableau2. 1:**Résumé de la terminologie en AG [31], [32].

Les AG sont des méthodes utilisées dans les problèmes d'optimisation qui tirent leur nom de l'évolution biologique des êtres vivants dans le monde réel. Ces algorithmes cherchent à simuler le processus de la sélection naturelle dans un environnement défavorable en s'inspirant de la théorie de l'évolution proposée par C. Darwin. Dans un environnement, « les individus » les mieux adaptés tendent à vivre assez longtemps pour se reproduire alors que les plus faibles ont tendance à disparaître (the survival of the fittest) [33] [34].

Dans un problème d'optimisation à ' $n$ ' variables, nous faisons correspondre un gène à chaque variable cherchée. Chaque gène est représenté par une chaîne de caractères choisis dans un alphabet fini (souvent binaire). Les gènes s'enchaînent ensemble "bout à bout" pour construire un chromosome représentant une solution potentielle sous une forme codée. Ces chromosomes constituent les briques de base contenant les caractéristiques héréditaires des individus. Un chromosome (ou plusieurs) forme un individu qui représente à son tour une solution potentielle dans l'espace de recherche correspondant au problème. Etant donné que les AGs travaillent sur un ensemble de points de l'espace de recherche, nous appelons l'ensemble des points choisis (à savoir les individus) une population. Au fur et à mesure des générations (itérations), une population des individus les mieux adaptés va être créée.

#### 4. Paramètres d'un AG

Pour appliquer un AG à un problème réel, on doit posséder les éléments suivants :

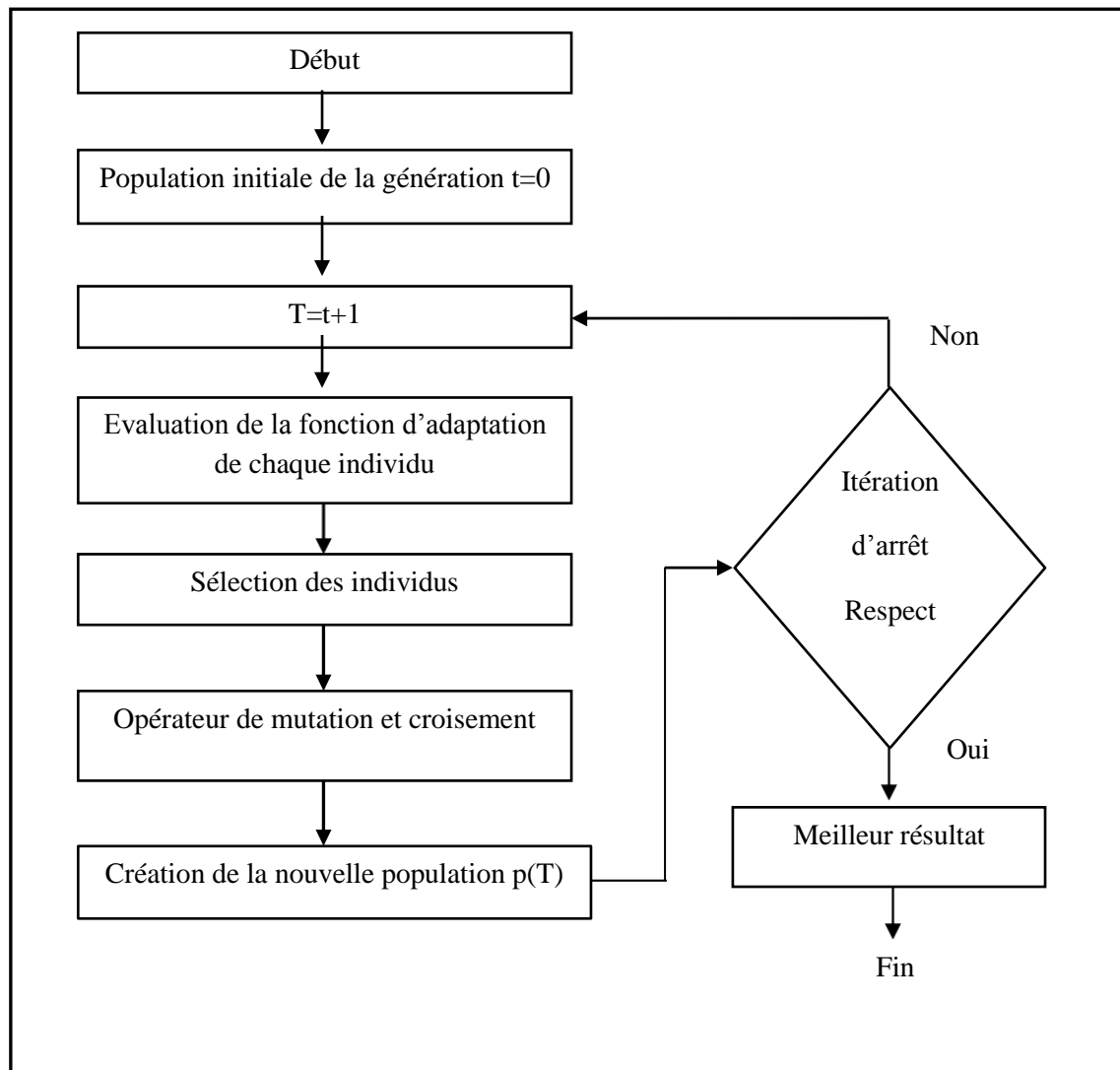
- **Un codage des éléments** appartenant à la population, le codage des solutions du problème à résoudre doit être choisi avec soin ;
- **Une fonction d'évaluation ou d'adéquation ou d'adaptation** de l'individu qui mesure la qualité des individus ;
- **Un processus d'évaluation des générations ;**
- **Des opérateurs** pour modifier les individus d'une population de la génération ( $t$ ) à la génération ( $t+1$ ), comme le croisement et la mutation ;
- **Des paramètres de l'AG** les opérateurs précédents dépendent de plusieurs paramètres qui sont fixés à l'avance et dont dépend fortement la convergence de l'algorithme :
- ❖ **Taille de la population** : c'est le nombre d'individus dans la population. Si la taille est trop petite, l'AG peut ne pas converger, par contre si elle est trop grande, l'évaluation des individus peut être très longue ;
- ❖ **Probabilité de croisement et de mutation** : Les valeurs de ces probabilités peuvent varier d'une application à l'autre. Par exemple, dans l'étude des AG pour l'optimisation de cinq fonctions mathématiques, De Jong (1975) a suggéré de choisir une probabilité de croisement élevée, une probabilité de mutation faible (inversement proportionnelle à la taille de la population), et une population de taille modérée. La probabilité de mutation est en général très faible, inférieure à 0,1, une probabilité trop grande, peut modifier les meilleurs individus. [34].
- ❖ **Critère d'arrêt** : c'est le nombre maximal de génération à effectuer.



## 5. Principe de base d'un AG standard

Un AG standard nécessite en premier le codage de l'ensemble des paramètres du problème d'optimisation en une chaîne de longueur finie. Le principe d'un AG est simple, il s'agit de simuler l'évolution d'une population d'individus jusqu'à un critère d'arrêt.

On commence par générer une population initiale d'individus (solutions). Puis, à chaque génération, des individus sont sélectionnés, cette sélection est effectuée à partir d'une fonction objectif appelée fonction d'adaptation. Puis, les opérateurs de croisement et de mutation sont appliqués et une nouvelle population est créée. Ce processus est itéré jusqu'à un critère d'arrêt. Le critère le plus couramment utilisé est le nombre maximal de générations que l'on désire effectuer. La Figure 2.1 présente le principe de l'AG standard. L'AG débute par la génération d'une population initiale et l'évaluation de la fonction d'adaptation de tous les individus qui composent cette première population. Puis, des individus sont sélectionnés aléatoirement pour la reproduction selon le principe de la survie du plus adapté. Ensuite, des individus « enfants » (ou des descendants) sont générés en appliquant les deux opérateurs génétiques suivants : le croisement et la mutation. Ces enfants sont placés dans une nouvelle population  $P(t)$  et vont se substituer, en tout ou en partie, à la population de la génération précédente. De nouvelles populations d'individus vont ensuite se succéder, d'une génération  $(t)$  à la génération  $(t+1)$ , jusqu'à l'atteinte du critère d'arrêt.



**Figure2.1:**L'organigramme d'un AG standard [33].

L'ensemble des étapes suivantes [26] présente une lecture du contenu de l'organigramme de la figure 2.1.

Etape0 : Définir un codage du problème

Etape1 : Créer une population initiale  $p_0$  de  $q$  individus  $\{x_1, x_2, \dots, x_q\}$

$I := 0$  ;

Etape2 : Evaluation des individus.

Soit  $F$  la fonction d'évaluation. Calculer  $F(x_i)$  pour chaque individu  $x_i$  de  $p_i$

Etape3 : Sélection

Sélectionner les meilleurs individus (au sens de  $F$ ) et les grouper par paire.

Etape4 : Application des opérateurs génétiques

1- croisement : appliquer l'opération de croisement aux paires sélectionnées

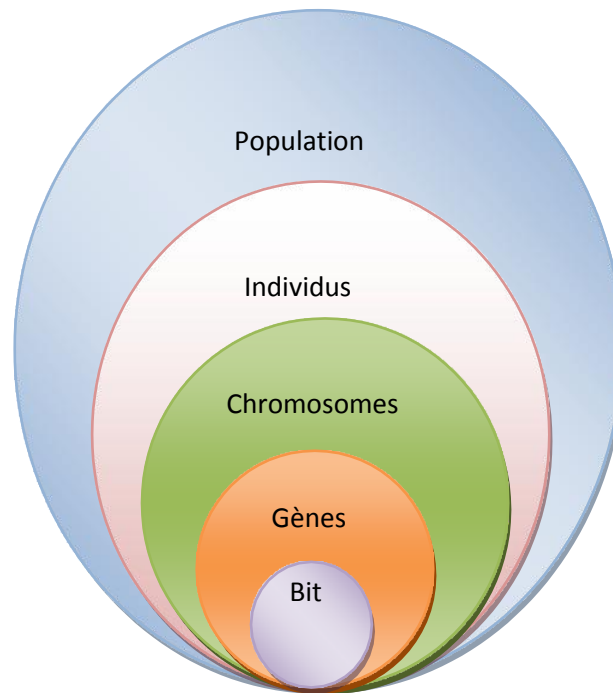
2- mutation : appliquer la mutation aux individus issus du croisement

Ranger les nouveaux individus obtenus (de 1 et 2) dans une nouvelle génération  $p_{i+1}$ ,

Répéter les étapes 2, 3 et 4 jusqu'à l'obtention du niveau de performance souhaité

### 5.1 Le codage

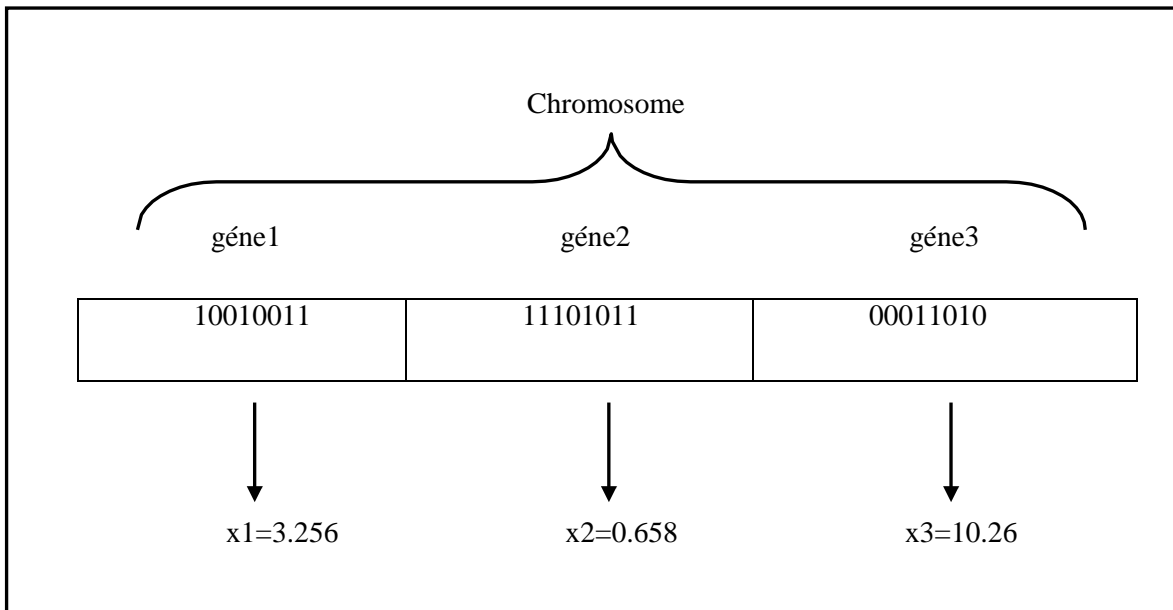
Chaque paramètre d'une solution est assimilé à un gène, toutes les valeurs qu'il peut prendre sont les allèles de ce gène, on doit trouver une manière de coder chaque allèle différent de façon unique (établir une bijection entre l'allèle "réel" et sa représentation codée). Un chromosome est une suite de gène, on peut par exemple choisir de regrouper les paramètres similaires dans un même chromosome (chromosome à un seul brin) et chaque gène sera repérable par sa position : son locus sur le chromosome en question. Chaque individu est représenté par un ensemble de chromosomes, et une population est un ensemble d'individus. [25].



**Figure2.2:**Les cinq niveaux d'organisation d'un AG.

Il y a deux principaux types de codage utilisables, et on peut passer de l'un à l'autre, plus ou moins, facilement :

- ❖ **Le codage binaire** : c'est le plus utilisé des types de codage. Chaque gène dispose du même alphabet binaire  $\{0, 1\}$ . Un gène est alors représenté par un entier long (32 bits), les chromosomes qui sont des suites de gènes sont représentés par des tableaux de gènes et les individus de notre espace de recherche sont représentés par des tableaux de chromosomes. Ce cas peut être généralisé à tout alphabet allélique *n-aire* permettant un codage plus intuitif. Par exemple, pour le problème du voyageur de commerce on peut préférer utiliser l'alphabet allélique  $\{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\}$  où  $c_i$  représente la ville de numéro  $i$  ;
- ❖ **Le codage réel** : cela peut-être utile notamment dans le cas où l'on recherche le maximum ou le minimum d'une fonction réelle.



**Figure2. 3:** Illustration schématique du codage des variables réelles.

## 5.2 La sélection

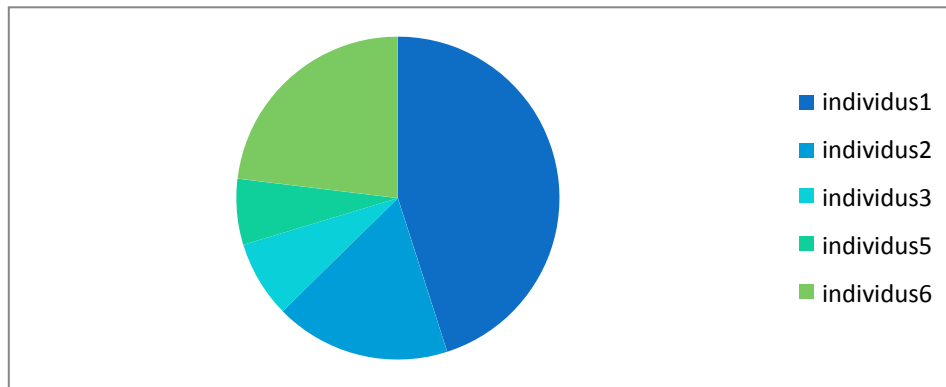
Cet opérateur est chargé de définir quels seront les individus de la population  $P$  qui vont être dupliqués dans la nouvelle population  $P'$  et vont servir de parents (application de l'opérateur de croisement). Soit  $n$  le nombre d'individus de  $P$ , on doit en sélectionner  $n/2$  (l'opérateur de croisement nous permet de repasser à  $n$  individus). Cet opérateur est peut-être le plus important puisqu'il permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement reliée à son efficacité relative au sein de la population. On trouve essentiellement des méthodes de Sélection différentes :

- La méthode de la "loterie biaisée" (roulette Wheel) de Goldberg.
- La méthode "élitiste".
- La sélection par tournois.
- La sélection universelle stochastique.

### 5.2.1 La loterie biaisée

Elle est encore dite roulette Wheel. Elle s'applique comme suit :

A chaque individu est associé un secteur de la roulette dont la largeur est proportionnelle à l'adéquation de cet individu. On sélectionne les « survivants » en tirant au hasard  $N$  individus à l'aide de cette roulette ( $N$  : taille de la population).



**Figure2. 4:**La méthode de sélection de la loterie biaisée.

### 5.2.2 La méthode élitiste

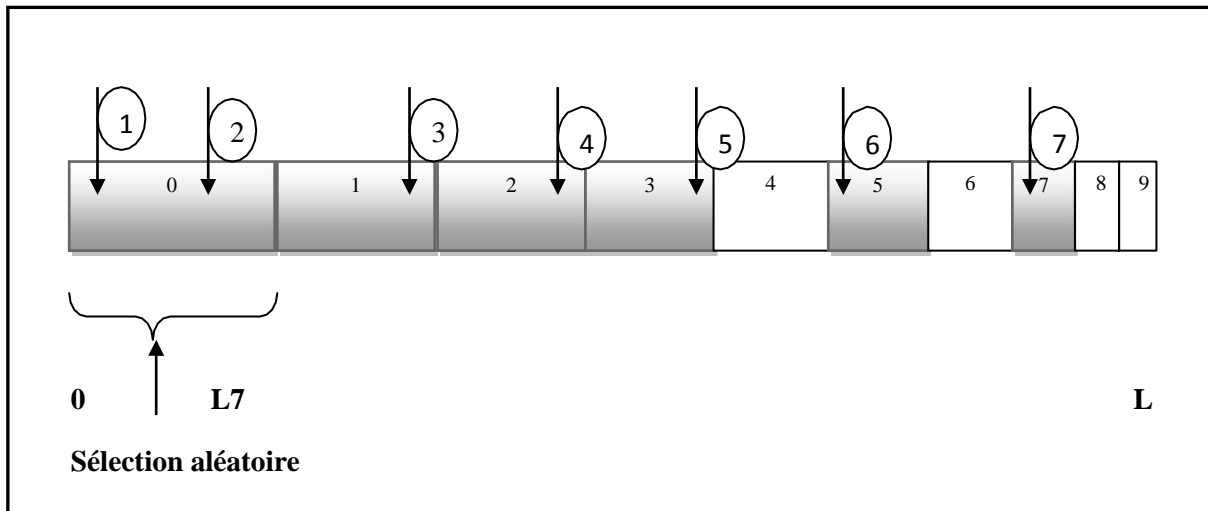
Cette méthode consiste à sélectionner les  $n$  individus dont on a besoin pour la nouvelle génération  $P'$  en prenant les  $n$  meilleurs individus de la population  $P$  après l'avoir triée de manière décroissante selon la fitness de ses individus. Il est inutile de préciser que cette méthode est encore pire que celle de la loterie biaisée dans le sens où elle amènera à une convergence prématurée encore plus rapidement et surtout de manière encore plus sûre que la méthode de sélection de la loterie biaisée. En effet, la pression de la sélection est trop forte, la variance nulle et la diversité inexistante, du moins le peu de diversité qu'il pourrait y avoir ne résultera pas de la sélection mais plutôt du croisement et des mutations.

### 5.2.3 La sélection par tournois

Le principe de cette méthode est le suivant : on effectue un tirage avec remise de deux individus d'une population  $P$ , et on les fait "combattre". Celui qui a la fitness la plus élevée l'emporte avec une probabilité  $p$  comprise entre 0.5 et 1. On répète ce processus  $n$  fois de manière à obtenir les  $n$  individus de la nouvelle population  $P'$  qui serviront de parents. La variance de cette méthode est élevée et le fait d'augmenter ou de diminuer la valeur de  $p$  permet respectivement de diminuer ou d'augmenter la pression de la sélection [25].

### 5.2.4 La sélection universelle stochastique (SUS)

Pour comprendre cette méthode de sélection, imaginons une bande de longueur  $L$  sur laquelle les individus de la population occupent un espace proportionnel à leur performance et sont classés en ordre de performances décroissantes. Un exemple est représenté à la figure 2.5 pour une population de dix individus dans laquelle sept d'entre eux doivent être sélectionnés.



**Figure 2.5:** Sélection universelle stochastique.

Les individus sont sélectionnés par des curseurs : lorsque le curseur se retrouve dans la case d'un individu, ce dernier est sélectionné. Au départ, le premier curseur est positionné aléatoirement dans l'intervalle  $[0, L/N_{sel}]$ , où  $N_{sel}$  est le nombre d'individus que l'on veut sélectionner pour la reproduction ( $N_{sel} = 7$  dans l'exemple). Par la suite, les autres pointeurs sont également espacés de  $L/N_{sel}$ . Dans l'exemple, les individus 0, 1, 2, 3, 5 et 7 sont sélectionnés (en gris à la figure 2.5). Comme on peut le voir, il est possible qu'un même individu soit sélectionné plus d'une fois. Cependant, la SUS réduit ce phénomène comparativement à d'autres méthodes de sélection, comme la roulette par exemple. En effet, avec la méthode de la roulette, le même individu aurait pu être sélectionné jusqu'à sept fois dans l'exemple. Avec la SUS, les individus les plus performants ont une plus grande probabilité d'être sélectionnés, mais des designs peu performants peuvent aussi l'être. Cependant, de la même façon que la sélection naturelle sur Terre, les mauvais designs sélectionnés par hasard finiront forcément par s'éteindre dans les générations futures. [38]

### 5.3 Le croisement

Dans cette étape, la population qualifiée passera par le croisement ou de nouveaux individus ou enfants seront obtenus des parents. Dans ce là les individus seront choisis au hasard pour former des couples. Les parents de chaque couple doivent échanger des parties de leurs chromosomes pour former de nouveaux individus (enfants). Cette étape est contrôlée par le type de croisement choisie et la probabilité de croisement.

### 5.3.1 Croisement multipoints

Pour ce type de croisement,  $p$  positions de croisement, avec  $p \in [1, 2, \dots, l-1]$  où  $l$  représente la taille du chromosome, sont choisies aléatoirement pour chaque couple. Ensuite, les gènes entre deux points de croisement successifs sont échangés entre deux parents produisant deux nouveaux individus appelés enfants. Les valeurs typiques de  $p$  sont : 1 (croisement à 1 point) et 2 (croisement à 2 points) [31].

#### ➤ Croisement à un point

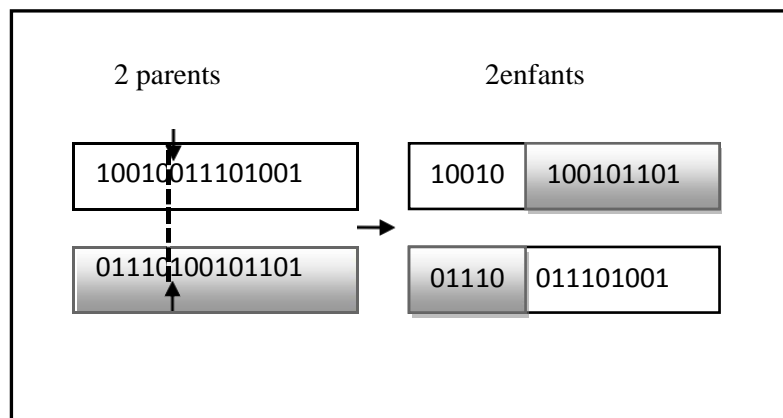
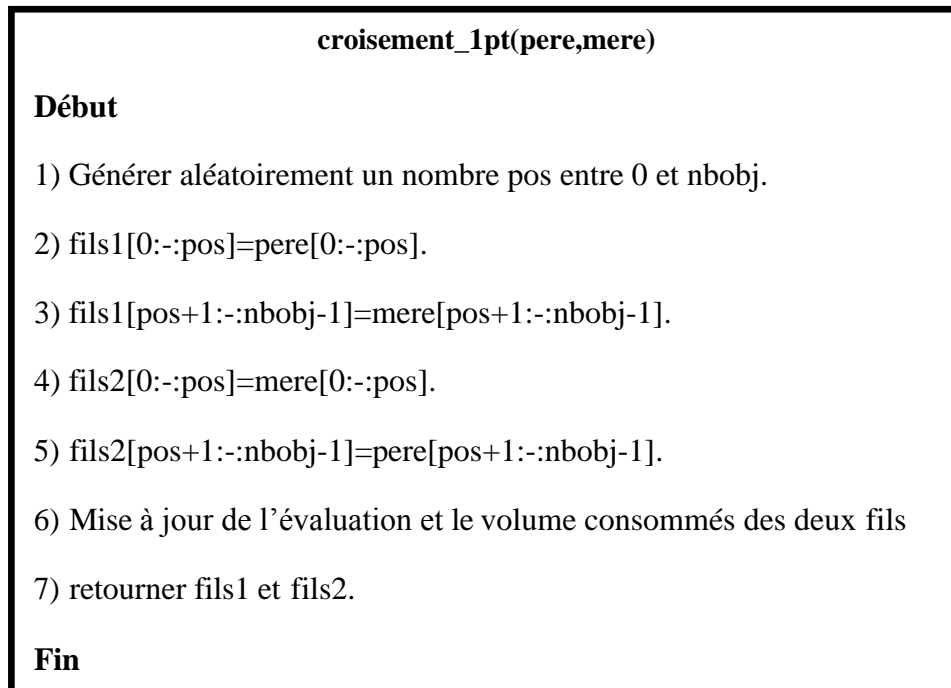


Figure 2.6: Croisement avec un point [31].

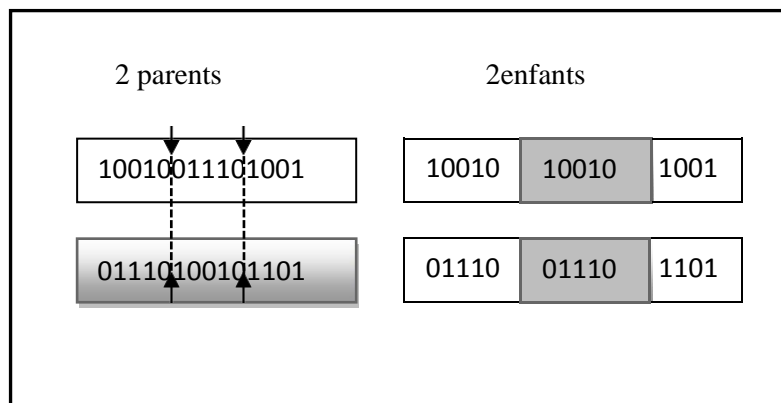
❖ L'algorithme suivant formalise le principe du croisement à un point .



Algorithme 2.1: Croisement à un point [39].

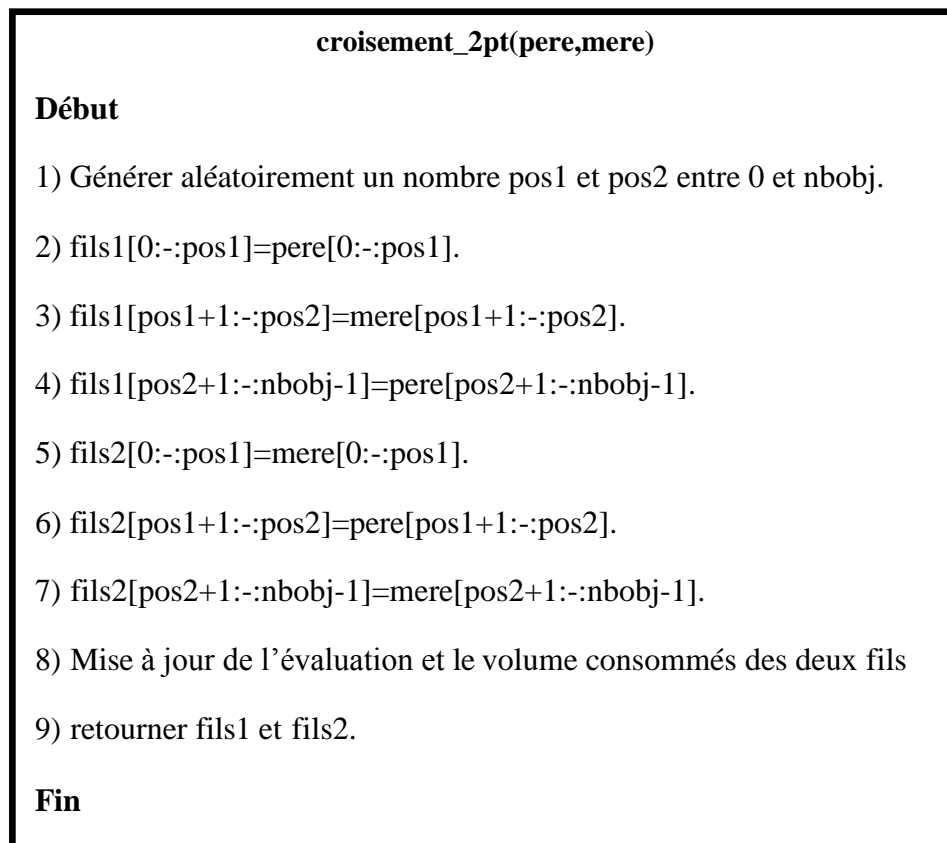


## ➤ Croisement à deux points



**Figure 2.7:** Croisement avec 2 points) [31].

❖ L'algorithme 2.2 formalise le principe du croisement à deux points :

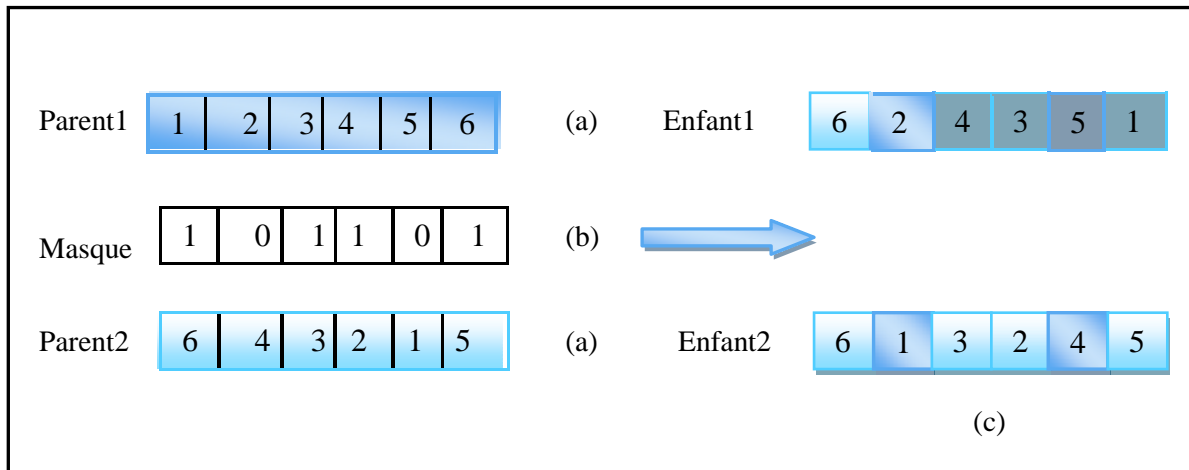


**Algorithme 2.2:** Croisement à deux points [39].

### 5.3.2 Croisement uniforme

Le croisement uniforme de permutations tend à faire hériter un enfant d'une combinaison des ordres existants dans deux parents. Le croisement se déroule en trois étapes :

- ❖ Un masque binaire est engendré aléatoirement, figure(b) ;
- ❖ Deux parents sont appariés. les (0) du masque binaire définissent les positions préservées dans la séquence du parent 1, et les (1) du masque binaire définissent les positions préservées dans la séquence du parent 2, figure(a) ;
- ❖ Pour obtenir l'enfant 1, les éléments non préservés du parent 1 sont permutés de façon à respecter l'ordre qu'ils ont dans le parent 2, figure(c) [42].



**Figure2. 8:**Illustration du croisement uniforme[42].

## 5.4 Mutation

Le rôle de cet opérateur est de modifier aléatoirement, avec une certaine probabilité, la valeur d'un composant de l'individu. Cette modification de la valeur du chromosome produit un nouvel individu.

Une mutation consiste simplement en l'inversion d'un bit (ou de plusieurs bits, mais vu la probabilité de mutation c'est extrêmement rare) se trouvant en un locus bien particulier et lui aussi déterminé de manière aléatoire. L'opérateur de mutation modifie, donc, de manière complètement aléatoire les caractéristiques d'une solution, ce qui permet d'introduire et de maintenir la diversité au sein de notre population de solutions. Cet opérateur joue le rôle d'un "élément perturbateur", il introduit du "bruit" au sein de la population [25].

Les plus connus des types de mutation sont ceux présentés ci-dessous :

### 5.4.1 Insertion

L'opérateur d'insertion choisit un gène aléatoirement et l'insère dans une autre position du chromosome.

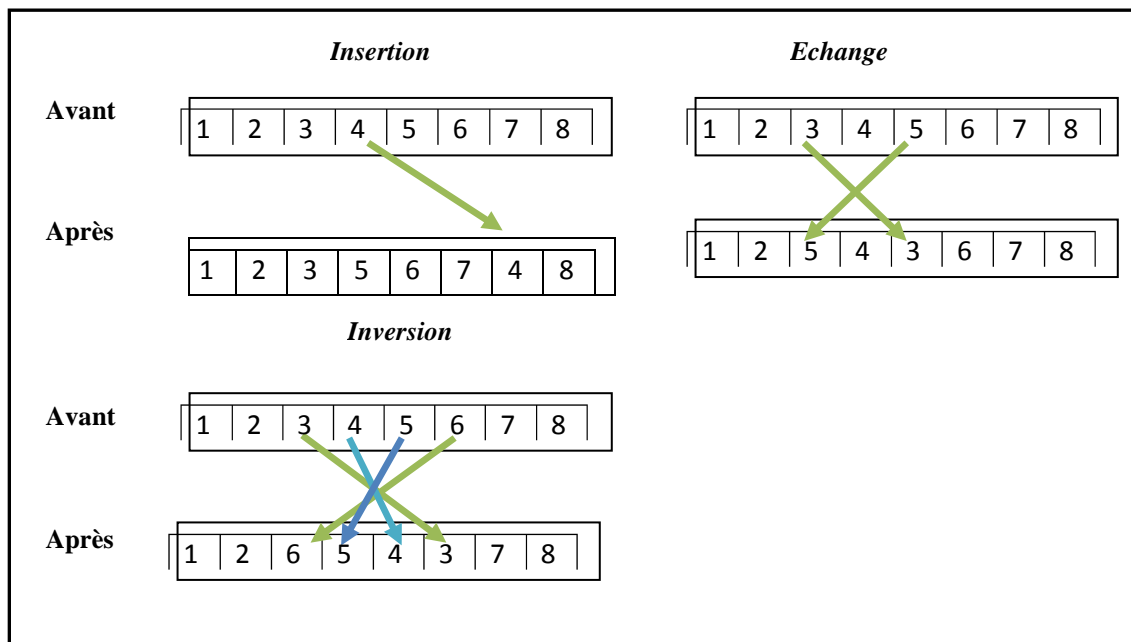
### 5.4.2 Echange (1-Opte ou Swap mutation)

L'opérateur d'échange consiste à prendre, au hasard, deux gènes du chromosome et à les permuter.

### 5.4.3 Inversion

L'opérateur d'inversion inverse l'ordre de gènes entre deux points de coupure choisis aléatoirement.

➤ La figure 2.9, donne des exemples les trois mutations précédentes.



**Figure2.9:**Opérateur d'insertion, échange et inversion.

### 5.4.4 $\lambda$ -Opt

L'opérateur  $\lambda$ -Opt enlève  $\lambda$  arcs (avec  $\lambda = 2, 3, 4, \dots, n$ ) pour remettre les chaînes associées dans la meilleure combinaison possible.

### 5.4.5 Or-Opt

L'opérateur Or-Opt opère de la même manière que la mutation 1-Opt, mais les tailles des suites choisies peuvent varier entre 0 et 3 (figure2.10). Cet opérateur échange deux suites ou il déplace une suite vers une autre position si la taille de l'une des suites est égale à zéro.

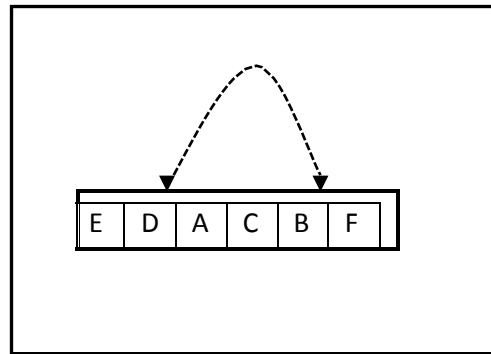


Figure2.10:Or-opt[.

#### 5.4.6 Mélange (Scramble Mutation ou SM)

Cette mutation fut proposée par (Syswerda, 1991). Elle permute aléatoirement les gènes entre deux points de coupure choisis au hasard comme dans la figure (2.11).

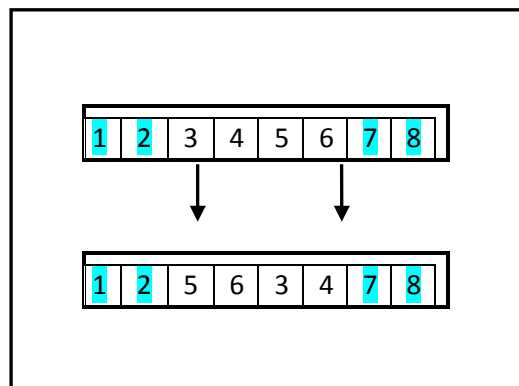


Figure2.11:Exemple de scramble Mutation.

Noter que les mutations (1-Opt,  $\lambda$ -Opt et Or-opt) peuvent être trouvées dans la littérature sous le nom de mutation échange (Exchange Mutation ou EM).

#### 5.5 Critère d'arrêt

Généralement, le cycle de génération et remplacement est répété jusqu'à ce qu'un critère d'arrêt soit satisfait. Ce critère peut être notamment un nombre fixe d'itérations (générations), un temps maximal de calcul, ou/et une solution satisfaisante trouvée. L'algorithme évolutionnaire retourne, alors, la (ou les) meilleure(s) solution(s) qu'il a identifiée(s) de génération en génération [42].

## 6. Avantages des AGs

Les algorithmes génétiques ont plusieurs avantages citons les suivants :

- ❖ Ils sont adaptables à plusieurs types de problèmes.
- ❖ Les AGs présentent une grande robustesse, c'est-à-dire une grande capacité à trouver les optimums globaux des problèmes d'optimisation.
- ❖ Facile à implémenter.
- ❖ Enfin, Les AGs sont aisément parallélisables [45].

## 7. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une vue générale sur les algorithmes génétiques, leurs paramètres leurs principaux opérateurs et leurs types, ainsi que le principe de base d'un AG standard.