

OPTIMISATION PAR DEPOLLUTION DES POLLUANTS ISSUS DES MOTEURS DIESEL PAR LA METHODE DES ALGORITHMES GENETIQUES : CAS DES SOURCES MOBILES

Mémoire présenté en vue de l'obtention du DIPES II en Physique

Par :

MAFFO Julie Guivelle

Licenciée ès sciences

Matricule : **13K2286**

Sous la direction du

Professeur **BEGUIDE BONOMA**

(Maître de conférences)

Université de Yaoundé I

École Normale Supérieure de Yaoundé

Année Académique : 2018/2019

Dédicaces

Je dédie ce mémoire à :

Mes parents

Mon fiancé et mon fils

Remerciements

- Nous rendons d'abord grâce à Dieu pour la sagesse et l'intelligence qu'il nous a accordé dans l'établissement de ce travail. Je tiens vivement à remercier :

- Le directeur de l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé : le Pr. MBALA ZE Barnabé et tous les enseignants du Département de Physique, qui n'ont ménagé aucun effort pour nous dispenser des enseignements de qualité malgré leurs multiples occupations.

-Le Pr BEGUIDE BONOMA, mon encadreur et enseignant à l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé, pour sa disponibilité et ses conseils mis en faveur de la rédaction de ce mémoire. Pour sa patience et son amour pour la recherche.

-Le Doctorant SEUTCHE NDIZE J. C pour ses conseils, son ardeur et son sens de partage dans la réalisation de ce travail. Vos conseils m'ont beaucoup appris.

- Les président et Honorables membres du jury, qui m'ont fait l'honneur d'examiner ce travail et pour leurs remarques qui feront murir davantage ce travail.

-Le personnel de la mairie de Yaoundé 3 pour leur accueil chaleureux et qui m'ont beaucoup aidée dans la collecte des données.

-Mon bien aimé Steve KAMGANG pour son aide et son soutien sans relâche tout au long de cette investigation et durant mes études. Tu m'as tellement encouragé.

Merci

-Mes parents Mr et Mme AWAWO pour leurs soutiens multiforme. Retrouvez ici le fruit de votre soutient.

-Toute ma belle famille : la famille TADJUIDJE pour le soutien, les conseils et les encouragements qu'ils m'ont apporté. Je vous remercie infiniment.

-Mes sœurs Goldis, Annelle, Sorelle, Minette, Natacha et frères Noel, Miguel, pour leurs encouragements.

-Tous mes amis Husserl, Dorval, Jodelle, Juscar, Linda, Rony. Merci pour nos bonnes relations.

-Mes camarades de promotion pour l'ambiance familiale au laboratoire et en salle de cours.

-Tous ceux qui de près ou de loin ont contribué à la réalisation de ce travail.

Table des matières

Dédicaces	i
Remerciements	ii
Table de matières	vii
Résumé	viii
Abstract	ix
Liste des abréviations	x
Liste de figures	xiii
Liste de tableaux	xiv
INTRODUCTION GÉNÉRALE	1
1 Généralités sur le moteur Diesel, la pollution atmosphérique et les méthodes d'optimisation génétique	3
1.1 Les moteurs thermiques : sources mobiles	3
1.2 Le moteur Diesel	4

1.2.1	Historique	4
1.2.2	Principe de fonctionnement	4
1.2.3	Aspect thermodynamique du moteur diesel	6
1.2.4	Avantages et inconvénients du moteur Diesel	10
1.3	La pollution atmosphérique : les fumées provenant des tuyaux d'échappement	11
1.3.1	Les principaux polluants	11
1.3.2	Mécanisme de dispersion des polluants	12
1.3.3	Effets de la pollution sur l'environnement	14
1.4	Quelques généralités sur les méthodes d'optimisation	17
1.4.1	Optimisation multi-objectifs	17
1.4.2	Principe de dominance	18
1.4.3	Optimalité de pareto	18
1.4.4	Les algorithmes évolutionnaires	18
1.4.5	Les méthodes d'optimisation génétique	23
1.5	conclusion	27

2 MATÉRIEL ET MÉTHODE D'OPTIMISATION PAR DEPOLLUTION **29**

2.1	Introduction	29
2.2	Matériel	29
2.2.1	Les sources mobiles : cas des taxis de ville de Y3	29
2.2.2	MatLab (MATrix LABoratory)	30
2.2.3	Le logiciel Microsoft Excel	31
2.2.4	Collecte des données	32

2.2.5	Méthode de traitement des données	33
2.3	Méthode d'optimisation : Algorithme Génétique	34
2.3.1	Historique et définition	34
2.3.2	Structure de l'AG	35
2.3.3	Paramètres basic et operateurs génétiques d'algorithme . . .	35
2.3.4	Éléments d'un algorithme génétique	36
2.4	Application de l'Algorithme Génétique à notre cas d'étude	37
2.5	conclusion	38
3	RÉSULTATS ET DISCUSSIONS	39
3.1	Introduction	39
3.2	Résultats de la collecte des données dans la zone de Y3	39
3.3	Présentation des informations propres à chaque taxi	42
3.4	Application de l'Algorithme Génétique	45
3.5	conclusion	49
4	IMPLICATION SUR LE SYSTEME EDUCATIF	50
4.1	Introduction	50
4.2	Intérêt didactique	50
4.2.1	Définition des concepts	51
4.2.2	Objectif de l'étude	51
4.3	Fiche pédagogique	52
4.4	conclusion	52
	CONCLUSION GÉNÉRALE	53

Bibliographie

57

Annexe

60

RÉSUMÉ

La modernisation des moyens de transport au Cameroun fait appel à plusieurs types de véhicules fonctionnant au gasoil ou à l'essence qui sont nocifs pour l'environnement.

Cette étude vise d'abord à faire prendre conscience de la pollution due au rejet des polluants par une automobile sur la population environnante, puis à procéder à une optimisation du taux de pollution dans la zone de Yaoundé 3 (notre zone d'étude). Pour y parvenir, une première enquête a été menée à la mairie de Y3 pour connaître le nombre de taxis dans la zone de Y3, puis une autre auprès des conducteurs de taxis pour connaître l'âge du véhicule, l'âge du moteur, le temps de travail journalier, l'état du moteur, la consommation journalière de carburant et le nombre de vidanges mensuel de chacun d'eux. Nous avons défini une fonction objective dépendante de tous les paramètres liés à chaque taxi et traduisant la fonction caractéristique de la pollution que nous allons minimiser. A partir des résultats de l'enquête, nous avons obtenu l'évolution de l'âge du véhicule en fonction de celui du moteur et du temps de travail journalier. A l'aide d'un schéma de résolution numérique appliqué à la fonction objective, une simulation a été faite pour montrer le comportement de la fonction fitness dans la population de taxis. Après analyse, ce travail a révélé le résultat suivant : pour une pollution minimale, il faut une population de taxis de **119**, qui représente le nombre minimal qu'il faut dans la zone de Y3 et un maximum de **121** taxis pour une fonction qualité de dépollution.

Mots clés : Optimisation, Dépollution, Algorithme Génétique, Moteur Diesel.

ABSTRACT

The modernization of transport's means in Cameroon uses several types of vehicles running on diesel or gasoline which are harmful for the health. This study aims first to raise awareness of the pollution caused by the various pollutants discharged by a car on the surrounding population, then to proceed with an optimization of the pollution rate in zone.

To achieve this, an initial survey was conducted at Yaoundé 3 town hall for number of taxis in the area of Yaoundé 3, then another with taxis to know the age of the vehicle, the engine, the total daily working time, the state of the engine, the daily consumption of fuel and number of oil changes monthly. We have defined our objective function dependent on all the parameters related to each taxis and translating the characteristic function of the pollution that we will minimize. From the results of the survey, we have obtained the evolution of the age of the vehicle in that of the engine and the daily working time. Using a numerical resolution scheme applied to the objective function, a simulation was made to show the behavior of the fitness function in the taxi population.

After analyze, this work revealed the following result : for minimal pollution, it requires a population of taxis of 119 which represents the minimum number that is necessary in the zone of Yaoundé 3 and a maximum of 121 taxis for a pollution control quality function.

Keywords : Optimization, Genetic Algorithm, Diesel engine.

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AE : Algorithme Evolutionnaire

AGC : Canonical Genetic Algorithm

AG : Algorithme Génétique

Conso : Consommation

Nbr : Nombre

Y3 : Yaoundé trois

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

PMB : Point Mort Bas

PMH : Point Mort Haut

SPEA :Strength Pareto Evolutionary Algorithm

NSGA :Non-dominated Sorting Genetic Algorithm

RWS :Roulette Wheel Selection

IBEA :Indicator Based Evolutionary Algorithm

AEMO : Algorithme Evolutionnaire Multi-Objectifs

tr/min : tours par minute

ch : chevaux

L :Litre

conso/an : consommation par an

A véhicule : Age du véhicule

A moteur : Age du moteur

D travail/jr : Durée de travail journalier

Nbr vidanges/mois : nombre de vidange mensuel

Table des figures

1.1	schéma d'un moteur Diesel (Terre-net media, 2014)	4
1.2	Admission (Desbazeille, Mathieu., 2010)	5
1.3	Compression (Desbazeille, Mathieu., 2010)	5
1.4	Explosion détente (Desbazeille, Mathieu., 2010)	5
1.5	Échappement (Desbazeille, Mathieu., 2010)	6
1.6	Diagramme (P,V) du cycle complet d'un moteur Diesel (Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE, 2003)	6
1.7	rendement thermodynamique du moteur diesel(Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE, 2003)	10
1.8	fumées provenant des tuyaux d'échappement (Pasteau Etienne, Perez Benoît, Teulière Elsa, 2015)	11
1.9	mécanisme de dispersion atmosphérique (Généralités sur la modélisation de dispersion atmosphérique des fumées d'incendie, 2012)	13
1.10	: Principe d'inhalation des polluants sur l'environnement et la santé humaine (Généralités sur la modélisation de dispersion atmosphérique des fumées d'incendie, 2012)	14
1.11	illustration de l'effet des polluants sur un poumon sein (C.Habert et R.Garnier, 2014)	15
1.12	Figure : effet des polluants sur une feuille d'arbre	15
1.13	fonctionnement d'un AE (JD, 2008)	20
1.14	opération de création d'un individu (JD, 2008)	22
2.1	Aperçu des taxis de ville	29

2.2	Première interface MatLab	30
2.3	fenêtre de commande MatLab pour l'optimisation	31
2.4	interface du logiciel Microsoft Excel	32
2.5	schéma de l'algorithme génétique (C. Bertelle,2010)	35
2.6	Principe de génération (JD, 2008)	37
3.1	Evolution du nombre de taxis de Y3 en fonction des années	41
3.2	Evolution de la consommation annuelle des taxis hors de Y3 en fonction des années	41
3.3	évolution de l'âge du véhicule et celui du moteur en fonction des taxis	44
3.4	évolution de l'âge du véhicule en fonction du temps de travail journalier	44
3.5	: évolution de l'âge du moteur en fonction du temps de travail journalier	45
3.6	: fonction fitness (qualité) pour la dépollution des taxis en zone urbaine (Y3) .	47
3.7	: fonction fitness (qualité) pour la dépollution des taxis en zone urbaine (Y3) .	48

Liste des tableaux

3.1	nombres de taxis par an et consommations annuelles des taxis de Y3 et hors de Y3 en fonction des années	40
3.2	informations propres à chaque taxi	43

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'ère des nouvelles technologies est matérialisée par la modernisation des moyens de transport. Au Cameroun, la majorité des populations se déplace à l'aide des véhicules de tourisme (taxis de ville). La population marquée par son accroissement exponentiel nécessite un grand nombre d'automobiles pour ses éventuels déplacements. Bien qu'étant un facteur qui facilite la dynamique des citoyens, ces véhicules de tourisme fonctionnent à l'aide de carburants que sont essence et gasoil et qui ont un effet nocif sur les populations. Pour répondre à la demande accrue, les taxis de ville sont ceux qui fonctionnent le plus dans la ville de Yaoundé. Ces taxis de ville, plus précisément ceux de Y3 font l'objet de notre étude. La dispersion atmosphérique des polluants dans l'air comporte trois événements importants : Emission (rejet artificiel, libération (artificielle), mise en suspension par l'écoulement), Transport par le vent dans l'atmosphère, Dépôt au sol et dans l'hydrosphère (sec ou humide).

Dans notre cas d'étude, nous nous intéressons à la pollution causée par le trafic routier et plus précisément les taxis de ville de la zone de Yaoundé 3. Pour pallier à ce problème, nous nous sommes proposés d'optimiser par la méthode des Algorithmes Génétiques les principaux paramètres intrinsèques susceptibles d'augmenter cette pollution. Nous avons réparti ce travail en quatre parties :

Au premier chapitre, nous présenterons de manière générale le cycle de fonctionnement des moteurs Diesel, ensuite le mode de dispersion des polluants issus des tuyaux d'échappement et leurs impacts sur l'environnement et enfin les différentes méthodes d'optimisation.

Le deuxième chapitre porte sur la méthode d'enquête et la collecte des données statistiques et sur la présentation de la méthode d'optimisation qui sera utilisée.

Le chapitre trois porte sur l'analyse des données statistiques et sur la présentation des différents résultats.

Le quatrième chapitre quant à lui présentera l'implication de ce travail sur le système éducatif.

GÉNÉRALITÉS SUR LE MOTEUR DIESEL, LA POLLUTION
ATMOSPHÉRIQUE ET LES MÉTHODES D'OPTIMISATION GÉNÉTIQUE

Introduction

Dans cette première partie, nous présenterons de manière générale les moteurs thermiques et particulièrement le moteur diesel partant de son mode de fonctionnement à son aspect thermodynamique. Ensuite nous parlerons de la pollution plus précisément de son mode de dispersion dans l'atmosphère et de son impact sur l'environnement et enfin nous allons présenter les différentes méthodes d'optimisation génétique.

1.1 Les moteurs thermiques : sources mobiles

Les moteurs thermiques ont pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique. Ils transforment de la chaleur en travail mécanique destiné à équilibrer le travail résistant d'un véhicule qui se déplace. Ils sont encore appelés les moteurs à combustion qui sont généralement distingués en deux types :

- Les moteurs à combustion interne où le système est renouvelé à chaque cycle. Le système est en contact avec une seule source de chaleur (L'atmosphère).
- Les moteurs à combustion externe où le système (air) est recyclé, sans renouvellement, ce qui nécessite alors 2 sources de chaleur, entrent par exemple dans cette dernière catégorie : les machines à vapeur, le moteur Stirling... (PAN Sovanna, 2005)

1.2 Le moteur Diesel

1.2.1 Historique



FIGURE 1.1 – schéma d'un moteur Diesel (Terre-net media, 2014)

Le moteur diesel est inventé en 1897 par Rudolf Diesel, un ingénieur allemand. Son objectif : trouver un moteur ayant un rendement satisfaisant car, à la fin du 19ème siècle les moteurs à pétrole et à vapeur ont des rendements faibles (entre 10 et 15 pourcents). L'ingénieur veut que son moteur suive la courbe de Carnot (courbe représentant le 100 pourcents théorique du rendement). En 1897, après quatre années de travail, il fait tourner un premier moteur aux dimensions impressionnantes, plus de 20 litres de cylindrée pour un poids de plus de 5 tonnes. Ce premier moteur tourne à 170 tr /min et développe une puissance de 20 ch. C'est un moteur à combustion interne, qui peut atteindre des températures de 700 à 900 C : l'allumage est commandé par un système d'auto inflammation, c'est-à-dire sans bougies, grâce au fort taux de compression. Un français Lucien Eugène inchaupé, continue de développer ce moteur à combustion et invente en 1924 la pompe à injection. L'allemand Robert Bosch, lui, crée entre 1922 et 1925 une pompe à injection mécanique avec piston en entailles. Il industrialise son projet en 1927 dans les usines de la marque . (terre-net media, 2014)

1.2.2 Principe de fonctionnement

Le fonctionnement du moteur Diesel se déroule en quatre étapes ci-dessous :



FIGURE 1.2 – Admission (Desbazeille, Mathieu., 2010)

- Le carburant pulvérisé très finement et mélangé à l'air forme un mélange combustible qui est introduit dans le cylindre. Cette introduction correspond à l'opération d'admission (voir figure 1.2)



FIGURE 1.3 – Compression (Desbazeille, Mathieu., 2010)

- A ce stade de l'introduction dans le cylindre, le mélange gazeux est à faible pression. Si on l'enflammait à ce moment, il ne pourrait fournir qu'un travail insuffisant, il faut au préalable le comprimer : c'est l'opération : de compression. (voir figure 1.3)



FIGURE 1.4 – Explosion détente (Desbazeille, Mathieu., 2010)

- Puis, le mélange enflammé se détend en fournissant l'effort moteur transformé en mouvement de rotation sur l'arbre moteur grâce au mécanisme bielle-manivelle : c'est l'explosion détente (figure 1.4).



FIGURE 1.5 – Échappement (Desbazeille, Mathieu., 2010)

- Enfin, il faut que les gaz brûlés soient évacués avant qu'un nouveau mélange frais soit admis dans le cylindre : c'est l'opération d'échappement.(Figure 1.5)

Puis, ces opérations se répètent dans le même ordre pour constituer le cycle moteur (Desbazeille, Mathieu., 2010)

1.2.3 Aspect thermodynamique du moteur diesel

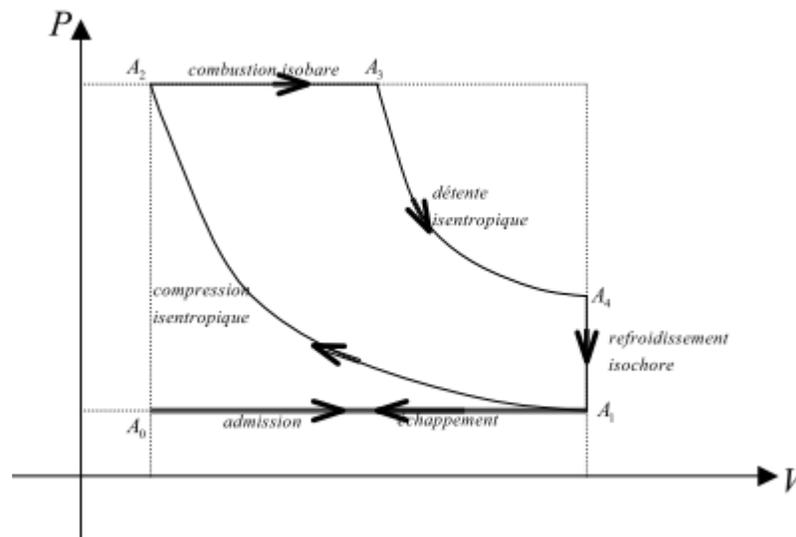


FIGURE 1.6 – Diagramme (P,V) du cycle complet d'un moteur Diesel (Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE, 2003)

Les moteurs à allumage spontané (moteur diesel) utilisent le cycle de diesel qui se déroule en quatre étapes représentées ci-dessus :

- Compression isentropique de A1 à A2 (phase de montée du piston du PMB vers le PMH).
- Echauffement isobare de A2 à A3 dû au dégagement de chaleur de la combustion (piston amorçant sa descente vers le PMB avec injection progressive de carburant).
- Détente isentropique de A3 à A4 (phase de descente du piston jusqu'au PMB après la fin de l'injection du carburant).
- Refroidissement isochore de A4 à A1 sous l'action de la source froide (atmosphère) qui refroidit le piston et le cylindre, et dont les gaz brûlés. (Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE, 2003)

NB : PMB : point mort bas (volume maximal de la chambre de combustion)

PMH : point mort haut (volume minimal de la chambre de combustion)

On notera (P_i, V_i, T_i) l'état thermodynamique du gaz contenu dans le cylindre au point A_i .

Le cycle est décrit dans le sens des aiguilles d'une montre, il est donc moteur (travail $W < 0$).

La quantité de chaleur apportée au moteur est $Q_{23} > 0$. Nous définirons donc le rendement thermodynamique, grandeur positive par :

$$[\eta = \frac{\text{travail mécanique fourni}}{\text{chaleur apportée}} = \frac{-W}{Q_{23}} \quad (1.1)$$

Le fluide subit un cycle : l'application du premier principe de la thermodynamique donne donc

$$[W + Q_{23} + Q_{41} = 0 \quad (1.2)$$

(il n'y a pas d'échanges thermiques sur les isentropiques qui sont des transformations adiabatiques et réversibles. On a donc

$$\eta = \frac{\text{travail mécanique fourni}}{\text{chaleur apportée}} = \frac{-W}{Q_{23}}$$

On a sur l'isobare A2A3, en désignant par C_P la capacité thermique du fluide à pression constante, supposée indépendante de la température :

$$[Q_{23} = C_P(T_3 - T_2) \quad (1.4)$$

Et sur l'isochore A4A1, en désignant par C_V la capacité thermique du fluide à volume constant, supposée indépendante de la température :

$$[Q_{41} = C_V(T_1 - T_4) \quad (1.5)$$

Ainsi,

$$[\eta = 1 + \frac{Q_{41}}{Q_{23}} = 1 + \frac{C_V(T_1 - T_4)}{C_P(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} \quad (1.6)$$

On écrit les lois de Laplace sur les deux isentropiques :

$$[T_4 V_4^\gamma = T_3 V_3^\gamma \rightarrow T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4} \right)^{\gamma-1} \quad (1.7)$$

Et

$$[T_1 = T_2 \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} \quad (1.8)$$

on pose de plus

$$[\alpha = \frac{V_1}{V_2} \quad (1.9)$$

Et

$$[\beta = \frac{V_1}{V_3} \quad (1.10)$$

$$[\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{T_3 \beta^{\gamma-1} - T_2 \alpha^{1-\gamma}}{\frac{T_3}{T_2} - 1} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\frac{T_3}{T_2} \beta^{1-\gamma} - \alpha^{1-\gamma}}{\frac{T_3}{T_2} - 1} \quad (1.11)$$

Il faut maintenant appliquer la loi du gaz parfait sur la combustion isobare 23, par conservation de la matière :

$$[\eta = \frac{P_2 V_2}{RT_2} = \frac{P_3 V_3}{RT_3} \rightarrow \frac{T_3}{T_2} = \frac{V_3}{V_2} = \frac{\alpha}{\beta} \quad (1.12)$$

$$[\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\frac{T_3}{T_2} \beta^{1-\gamma} - \alpha^{1-\gamma}}{\frac{T_3}{T_2} - 1} = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\frac{\alpha}{\beta} \beta^{1-\gamma} - \alpha^{1-\gamma}}{\frac{\alpha}{\beta} - 1} \quad (1.13)$$

Et finalement,

$$[\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{\beta^{-\gamma} - \alpha^{-\gamma}}{\beta^{-1} - \alpha^{-1}} \quad (1.14)$$

NB :

α

est le rapport volumétrique du moteur diesel (ou taux de compression) et nécessairement,

$$\alpha \succ \beta$$

(Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE, 2003)

Le rendement thermodynamique d'un moteur Diesel en fonction du taux de compression est représenté dans le diagramme ci-dessous :

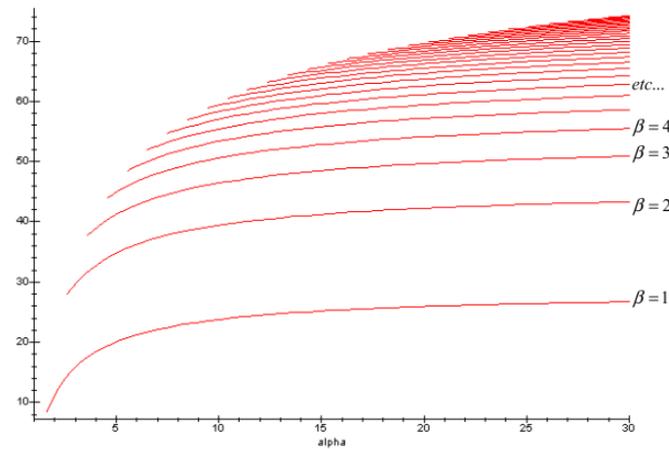


FIGURE 1.7 – rendement thermodynamique du moteur diesel (Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE, 2003)

1.2.4 Avantages et inconvénients du moteur Diesel

Avantages du Diesel

- Le rendement est élevé
- Le combustible employé pour les moteurs Diesel est relativement bon marché
- Les dangers d'incendie sont réduits. En effet, le gasoil ne produit des vapeurs inflammables que chauffé aux environs de 80 degrés celsius, soit à une température nettement supérieure à celle de l'été.

Inconvénients du Diesel

- Les gaz d'échappement sont toxiques
- l'étanchéité entre piston et cylindre est difficile à réaliser, d'où obligation de disposer sur les pistons d'un nombre suffisant de segments.
- De fortes contraintes thermiques et mécaniques sont exercées sur les organes du moteur.
- Le moteur est plus bruyant. (François BOIS, 2013)

1.3 La pollution atmosphérique : les fumées provenant des tuyaux d'échappement

Visible ou insidieuse, la pollution atmosphérique apparaît de plus en plus présente en ville. Inlassablement, elle resurgit lors des périodes de granges chaleurs. Peut-elle aggraver certaines maladies ou favoriser leur apparition ? Des effets sur la mortalité sont-ils observés ? De nombreuses études permettent aujourd'hui d'affirmer que même à des niveaux faibles, la pollution a des effets néfastes sur notre santé. Selon l'Organisation Mondiale de la Santé, "trois millions de personnes meurent chaque année sous l'effet de la pollution atmosphérique, soit cinq pourcents des 55 millions de décès annuels dans le monde. Vu la marge d'incertitude des estimations, le nombre réel des décès annuels pourrait se situer entre 1,4 et 6 millions". Les polluants peuvent être de différentes natures. Il peut s'agir de gaz ou de particules ayant des propriétés irritantes pour l'appareil respiratoire. Les conséquences vont d'une baisse de la capacité respiratoire à une incidence sur la mortalité à plus ou moins long terme. (Pasteau Etienne, Perez Benoît, Teulière Elsa, 2015)

1.3.1 Les principaux polluants



FIGURE 1.8 – fumées provenant des tuyaux d'échappement (Pasteau Etienne, Perez Benoît, Teulière Elsa, 2015)

Le moteur diesel rejette d'importantes quantités de particules fines et d'hydrocarbures poly-

cycliques, souvent dues à des conditions de fonctionnement et d'entretien défectueux ainsi qu'à la conduite. Chacun aura sans doute aussi remarqué la suie noire qui sort des pots d'échappement des camions et des autocars (comme illustré à la figure 1.8). Il s'agit d'un assemblage de particules composées pour moitié environ d'hydrocarbures imbrûlés et pour autre moitié de charbon, de sulfates... et comprenant des substances très dangereuses pour la santé, à l'exemple du Benzo(a)pyrène. Les émissions des moteurs Diesel sont constituées d'un mélange complexe de plusieurs centaines de substances gazeuses et particulaires qui ont un impact tant sur la faune, la flore que sur l'homme (C.Habert et R.Garnier, 2014). La nature chimique et la concentration des différents constituants des émissions diesel dépendent de nombreux paramètres, notamment de la composition du carburant, du type et de l'âge du moteur ainsi que son régime et son entretien, du traitement des gaz et des particules à l'échappement. Les principaux composants de la phase gazeuse sont l'oxyde de carbone (CO), le dioxyde de carbone (CO₂), le monoxyde et le dioxyde d'azote (NO_x et NO₂), les hydrocarbures imbrûlés (aliphatiques et aromatiques), les aldéhydes. Les particules diesel sont constituées par un noyau de carbone élémentaire (fraction insoluble du carbone), sur lequel sont absorbés divers composés organiques (fraction du carbone en majorité soluble, encore appelée carbone organique, qui est constituée notamment par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et leurs dérivés nitrés et oxygénés, dont certains sont cancérogènes pour l'homme), ainsi que des composés inorganiques (sulfates, métaux...). (C.Habert et R.Garnier, 2014)

1.3.2 Mécanisme de dispersion des polluants

Des erreurs fondamentales sont très souvent commises lorsque sont envisagés les problèmes de pollution, la première consiste à considérer que les effluents nocifs exercent essentiellement leurs méfaits dans le voisinage immédiat du point de rejet. La seconde présuppose que les substances toxiques se dilueront rapidement dans l'air, les sols ou les eaux, de sorte que leurs concentrations tomberont spontanément au dessus des seuils de nocivité fixés par les réglementations nationales ou multilatérales. Ces deux propositions toujours associées sont considérées comme complémentaires, et elles postulent que les dilutions engendrées par les phénomènes biogéochimiques naturels diminueront les concentrations des polluants à un niveau assez faible pour que ne se manifeste aucun effet éco toxicologique nocif sur les communautés vivantes ex-

posées. Les rejets des polluants dans l'environnement est un phénomène complexe, il ne saurait être à l'aspect fallacieusement ponctuel du panache de fumée d'une cheminée d'usine ou à l'émissaire d'égout déversant ses effluents dans la mer. Dans la quasi-totalité des cas, les substances libérées dans l'écosphère vont être entraînées fort loin du point de rejet. La circulation atmosphérique et hydrologique les dispersera de façon progressive dans l'ensemble de l'écosphère. (François RAMADE, 2012). Les mouvements atmosphériques jouent un rôle fondamental dans la dispersion des polluants et leur répartition dans les divers biotopes. Les polluants primaires, comme les NOX, le SO₂, le CO, les poussières et les Composés Organiques Volatils (COV), sont directement émis dans l'atmosphère. L'existence de ces polluants dans l'atmosphère est rythmée par cinq étapes :

- son émission dans l'atmosphère ;
- sa dispersion et son transport par le vent ;
- ses interactions avec d'autres substances et éventuelles transformations ;
- Production d'une pollution secondaire ;
- son interaction avec d'autres milieux, par dépôt ou imitions ;
- ses effets sur les milieux récepteurs .

Le phénomène de dispersion, c'est-à-dire le déplacement des polluants depuis la source, est primordial puisqu'il détermine l'accumulation d'un polluant ou sa dilution dans l'atmosphère. La dispersion dépend de plusieurs paramètres dont les conditions météorologiques et la topographie locale (altitude, relief, cours d'eau. . .). (N. Diaf, M Bouchaour, L. Merad et B. Benyoucef, 2003). La figure ci-dessous nous présente le mécanisme de dispersion des polluants dans l'atmosphère.

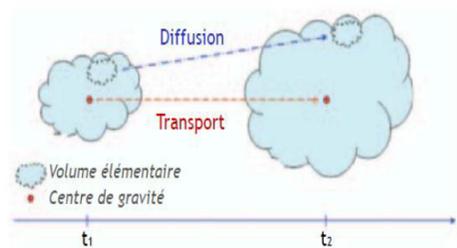


FIGURE 1.9 – mécanisme de dispersion atmosphérique (Généralités sur la modélisation de dispersion atmosphérique des fumées d'incendie, 2012)

1.3.3 Effets de la pollution sur l'environnement

1.3.3.1. Effet de la pollution sur l'homme

L'exposition aux émissions diesel concerne de très nombreux secteurs industriels comme le transport routier, le transport ferroviaire, les garages, les mines, la construction des tunnels, les travaux publics . . .), ainsi que la population générale qui est exposée à la pollution atmosphérique, surtout dans les zones urbaines ou de trafic routier. Le NOx contenu dans ces fumées n'est pas toxique pour l'homme au contraire du NO2 qui peut entraîner une altération de la fonction respiratoire et une hyper activité bronchite. Chez les enfants et les asthmatiques, il peut augmenter la sensibilité des bronches aux infections microbiennes. Le CO2 qui s'y trouve n'a aucun effet connu sur la santé Le SO2 quant à lui est un gaz irritant. Les explosions courtes à des valeurs élevées ($250/m^3$) peuvent provoquer des affections respiratoires (bronchites, . . .) surtout chez les personnes sensibles. Les HAP en fortes concentrations ont des effets carcinogènes reconnus sur la santé. Perturbateurs endocriniens, ils interviennent dans les processus hormonaux et les perturbent : malformations congénitales, capacité reproductive limitée, développement physique et intellectuel affecté, système immunitaire détérioré. (C.Habert et R.Garnier, 2014). Observons donc le principe d'inhalation de ces différentes concentrations des polluants sur notre environnement et sur la santé humaine (figure 10), et à la figure 11, l'effet de certains polluants nocifs après des années.

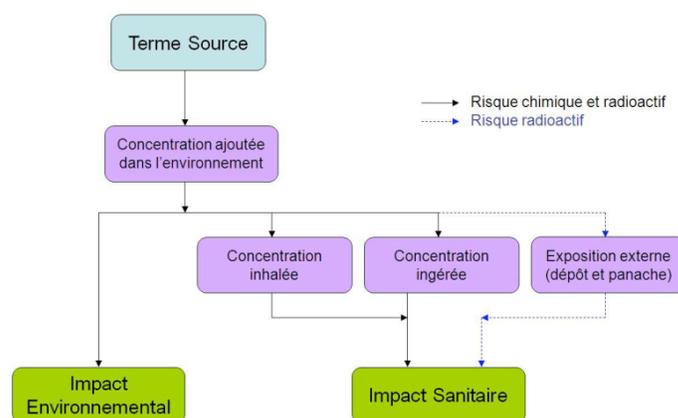


FIGURE 1.10 – : Principe d'inhalation des polluants sur l'environnement et la santé humaine (Généralités sur la modélisation de dispersion atmosphérique des fumées d'incendie, 2012)



FIGURE 1.11 – illustration de l'effet des polluants sur un poumon sein (C.Habert et R.Garnier, 2014)

1.3.3.2. Effet de la pollution sur la flore

Les dommages causés par la pollution atmosphérique peuvent se manifester de plusieurs façons. Ils peuvent apparaître rapidement sur le feuillage, sous la forme de lésions nécrotiques (tissus morts). Ils peuvent aussi être lents à se manifester et entraîner le jaunissement ou la chlorose de la feuille. On peut aussi remarquer un ralentissement de croissance au niveau de différentes parties de la plante. Il arrive que les plants meurent tout de suite, mais la mort se produit habituellement après des attaques répétées. Le SO_2 présent dans ces polluants peut entrer par les stomates des feuilles des plantes, puis se dissoudre dans l'eau qui s'y trouve et former un acide pouvant perturber les processus biologiques et nuire à la plante. Les symptômes des dommages causés par de fortes concentrations de dioxyde de soufre sont le jaunissement, ou la chlorose, du tissu qui se trouve entre les veines des grandes feuilles, ou le brunissement de l'extrémité des aiguilles conifères (Erick Labrousse et Route de Guitres, 2017).



FIGURE 1.12 – Figure : effet des polluants sur une feuille d'arbre

1.3.3.3. Effet de la pollution sur la faune

Les animaux ou la faune ne sont pas immunisés contre l'effet de la pollution atmosphérique. Pour mieux comprendre cet effet, il est important de se rappeler que les animaux comprennent une grande variété d'espèces, comme les insectes, les vers, les mollusques, les poissons, les oiseaux et les mammifères, dont chacune interagit différemment avec son milieu. Par conséquent, l'exposition et la vulnérabilité de chaque animal aux effets de la pollution atmosphérique peuvent aussi être différentes. La pollution atmosphérique peut être préjudiciable à la faune de deux principales façons : Elle détériore la qualité de l'environnement ou de l'habitat où les animaux vivent : Les animaux vivent sur et dans le sol aussi bien que dans l'eau. Ils doivent aussi respirer de l'air en utilisant des poumons, des ouïes ou une autre forme d'échange gazeux, comme la diffusion passive à travers de la peau. Toutes ces conditions influent sur la vulnérabilité d'un animal aux effets de la pollution atmosphérique(Erick Labrousse et Route de Guitres, 2017). Elle diminue la disponibilité et la qualité de l'approvisionnement alimentaire : les polluants atmosphériques sont nocifs pour la faune en entrant dans la chaîne trophique et en influant sur l'approvisionnement et la qualité alimentaires(Erick Labrousse et Route de Guitres, 2017).

Une fois consommés, bon nombre de ces polluants s'accumulent et s'emmagasinent dans les tissus des animaux. Lorsque les animaux sont mangés par d'autres animaux de la chaîne trophique, ces polluants continuent de s'accumuler et d'accroître leur concentration. Ce processus est appelé bioaccumulation. Les prédateurs du haut de la chaîne, comme les ours et les aigles entre autres, sont particulièrement vulnérables à la bioaccumulation de ces types de polluants atmosphériques. Ces polluants peuvent être toxiques pour les animaux en perturbant leur fonction endocrinienne, en endommageant leurs organes, en accroissant leur vulnérabilité au stress et à la maladie, en diminuant leur succès à la reproduction et en causant possiblement leur mort (Erick Labrousse et Route de Guitres, 2017).

1.4 Quelques généralités sur les méthodes d'optimisation

1.4.1 Optimisation multi-objectifs

Un problème d'optimisation multi-objectif est un problème qui possède plusieurs fonctions objectif qui sont à minimiser ou à maximiser et un certain nombre de contraintes à satisfaire (laurent MOALIC, 2013). La forme générale d'un problème d'optimisation multi-objectif est donnée par le système d'équations suivant :

$$\begin{cases} \min imiser / \max imiser f_m(X) \quad m = 1, 2, \dots, M \\ g_j(x) \geq 0; \quad j = 1, 2, \dots, J \\ h_k(x) = 0; \quad k = 1, 2, \dots, K \end{cases}$$

$$x_i^{(L)} \leq x_i \leq x_i^{(U)} \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad (1.16)$$

(laurent MOALIC, 2013)

Le vecteur x est un vecteur de n variables de décision

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.17)$$

$x_i^{(L)}$ et $x_i^{(U)}$ sont les bornes inférieure et supérieure de la variable x_i respectivement. Ces variables définissent l'espace de décision ou l'espace de recherche D . Généralement, un élément de l'espace de recherche est appelé solution possible ou potentielle. Les termes $g_j(x)$ et $g_k(x)$ sont les fonctions contraintes. Les contraintes d'inégalité sont traitées en tant que contraintes de type "supérieur ou égal" étant donné que les contraintes de type "inférieur ou égal" peuvent être traitées par dualité. Une solution x qui ne satisfait pas la totalité des $(J + K)$ contraintes est dite solution infaisable. L'ensemble des solutions faisables constitue la région faisable S . Le vecteur $f(x) = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_M(x))T$ est le vecteur objectif. Chacune des M fonctions objectif est soit à maximiser ou à minimiser selon le problème traité. En utilisant le principe de dualité [Deb 1995], un problème de maximisation peut être ramené à un problème de minimisation en multipliant la fonction objective par -1 . (laurent MOALIC, 2013)

1.4.2 Principe de dominance

Ce principe est utilisé par la plus part des algorithmes d'optimisation multi-objectifs pour comparer deux solutions. Notons qu'une solution $x^{(i)}$ domine une autre solution $x^{(j)}$ si les deux conditions suivantes sont vérifiées :

1. $f_m(x^{(i)}) \leq f_m(x^{(j)}) \quad \forall m \in \{1, \dots, M\}$
2. $\exists m \in \{1, \dots, M\}$ tel que $f_m(x^{(i)}) < f_m(x^{(j)})$ (1.18) (Mouadh Yagoubi, 2012)

1.4.3 Optimalité de pareto

Pour un ensemble de solutions fini, toutes les solutions peuvent être comparées deux à deux selon le principe de dominance, et nous pouvons déduire quelle solution domine l'autre. A la fin, nous obtenons un ensemble où aucune des solutions ne domine l'autre, cet ensemble est appelé ensemble des solutions non dominées.

Définition (-Ensemble des solutions non dominées) : Soit P un ensemble de solutions, l'ensemble des solutions non dominées P est l'ensemble des solutions non-dominées par aucun autre membre de l'ensemble P. Si l'ensemble P représente la totalité de l'espace de recherche, S l'ensemble des solutions non-dominées, P est appelé ensemble Pareto-Optimal dans l'espace de décision ou front de Pareto dans l'espace des objectifs. Il s'agit de l'ensemble des solutions que l'utilisateur cherche à obtenir à travers l'optimisation.

Définition (Ensemble Pareto-Optimal) : L'ensemble Pareto-optimal est l'ensemble des solutions non-dominées de l'espace de recherche faisable S. (Mouadh Yagoubi, 2012)

1.4.4 Les algorithmes évolutionnaires

Les algorithmes évolutionnaires (AE) sont des algorithmes stochastiques d'optimisation inspirés du paradigme darwinien de l'évolution naturelle. Selon la théorie darwinienne, les individus les plus aptes survivent à la sélection naturelle et se reproduisent d'une génération à l'autre. En termes d'optimisation, l'évolution se traduit par un processus itératif de recherche de l'optimum dans l'espace de recherche. Il existe plusieurs familles historiques d'algorithmes évolutionnaires

qui se sont développées de façon indépendante : La Programmation Evolutionnaire (EP) introduite par L.J. Fogel [Fogel 1966] dans les années 60, les algorithmes génétiques (GA) proposés par J.Holland [Holland 1975] aux USA, et popularisés un peu plus de dix ans plus tard par son élève D.E. Goldberg [Goldberg 1989], les stratégies d'évolution (ES) inventées par I.Rechenberg [I.Rechenberg 1973] dans les années 70 à Berlin, et enfin la programmation génétique (GP pour Genetic Programming) proposée par J.Koza [Koza 1992] [Koza 1994]. (Mouadh Yagoubi, 2012)

1.4.4.1. Principe de fonctionnement

Le processus d'optimisation évolutionnaire commence par l'étape de l'initialisation : un nombre fini d'individus P choisis généralement par tirage aléatoire uniforme dans D forment la population initiale P_0 . Après évaluation de la population initiale (calcul de la performance), certains individus (les plus performants) sont choisis lors de l'étape de la sélection. L'application des opérateurs de variation (croisement et mutation) permet de créer un nouvel ensemble d'individus, appelé "population d'enfants" (à noter que cette étape est toujours stochastique). Ces enfants vont être évalués à leurs tour et combinés avec leurs parents afin de décider lesquels d'entre eux vont remplacer certains parents pour faire partie de la génération suivante, il s'agit de l'étape de remplacement. la figure 1.9 illustre le principe général de fonctionnement d'un algorithme évolutionnaire. A noter que dans la plupart des applications réelles, le coût de calcul des algorithmes évolutionnaires provient essentiellement de l'étape d'évaluation. A titre d'exemple, si l'on souhaite faire évoluer une population de quelques dizaines d'individus pendant quelques dizaine de générations, quelques milliers de calculs de la fonction performance (ou fitness) doivent être réalisés souvent à travers des évaluations coûteuses. Nous représenterons sur la figure ci-dessous le principe de fonctionnement d'un algorithme évolutionnaire :

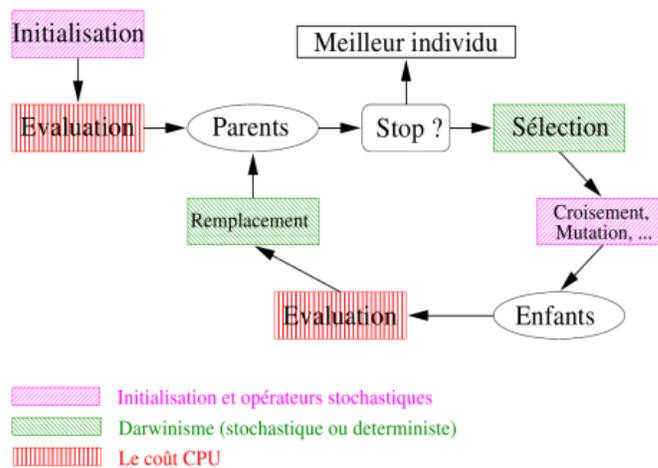


FIGURE 1.13 – fonctionnement d'un AE (JD, 2008)

1.4.4.2. Le dilemme exploration/exploitation

A chaque étape de l'algorithme évolutionnaire, un compromis entre l'exploration de l'espace de recherche et l'exploitation des meilleurs individus obtenus doit être réalisé. L'exploitation des meilleurs individus obtenus revient à chercher dans leurs voisinages des individus qu'on espère encore meilleurs. Cependant, cette technique ne permet pas de préserver la diversité génétique dans la population, et guide l'algorithme vers une convergence qui peut être prématurée vers un optimum local. L'exploration quant à elle cherche à préserver la diversité de la population, et à explorer de nouvelles régions qui peuvent s'avérer prometteuses pour l'algorithme. Toutefois, une utilisation excessive de cette technique entraîne la non-convergence de l'algorithme. Il est donc important de maintenir un certain équilibre entre l'exploration et l'exploitation afin de garantir une bonne efficacité de l'algorithme évolutionnaire. Malheureusement, il n'existe pas de règles universelles pour ce type de réglage et le dosage "exploitation/exploitation" est souvent défini empiriquement à travers l'expérience et dépend du problème en question. (Eckart Zitzler et Simon Künzli, 2004)

1.4.4.3. Les procédures de sélection

Elles sont notamment caractérisées par la probabilité $P(a_i)$ qu'un individu a_i de la population soit retenu pour participer à la recombinaison génétique. (Bruno SARENI, 1999)

1. **La sélection proportionnelle RWS** : La sélection proportionnelle (Proportional Selection ou Roulette Wheel Selection) consiste à dupliquer chaque individu proportionnellement à son adaptation dans son milieu. Ceci peut être effectué aisément en procédant à des tirages aléatoires consécutifs où chaque individu a une probabilité d'être sélectionné égale à :

$$p(a_i) = \frac{f(a_i)}{\sum_{j=1}^N f(a_j)} \quad (1.19)$$

Où $f(a_i)$ est la fonction d'évaluation de l'individu a_i et N le nombre d'individus. (Bruno SARENI, 1999)

2. **La sélection par tournoi** : Lors de la sélection par tournoi (Tournament Selection), k individus de la population sont choisis aléatoirement et celui, dont la performance est la plus élevée, est retenu pour participer à la reproduction. L'opération répétée autant de fois qu'il y a d'individus à sélectionner.

La probabilité qu'un individu de rang i soit sélectionné après compétition est donnée ci-après :

$$p(a_i) = \frac{C_{N-i}^k}{C_N^k} \quad \text{si } 1 \leq i \leq N - k + 1 \quad p(a_i) = 0 \quad \text{si } N - k + 2 \leq i \leq N \quad (1.20)$$

Dans le cas particulier du tournoi de deux individus ($k = 2$), qualifié de tournoi binaire probabiliste (Binary Tournament Selection), la probabilité se réduit à :

$$P(a_i) = \frac{2}{N} \frac{N - i}{N - 1} \quad (1.21)$$

(Bruno SARENI, 1999)

1.4.4.4. Les moteurs d'évolution

Un moteur d'évolution représente une réunion des procédures de sélection et de remplacement, deux étapes qui ne peuvent pas être dissociées lors de l'analyse des algorithmes évolutionnaires. Plusieurs types de moteurs d'évolution peuvent être obtenus selon la taille de la population, le nombre d'enfants et les procédures de sélection et de remplacement. Selon le nombre d'enfants impliqués dans l'optimisation évolutionnaire multi-objectif de sélection et de

remplacement, deux variantes principales de l'état de l'art peuvent être distinguées : les algorithmes générationnels et les algorithmes stationnaires. (E. Zitzler, L. Thiele, M. Laumanns, C. M. Fonseca et V. Grunert daFonseca, 2003)

1. **Les algorithmes générationnels** : Dans les schémas d'évolutions générationnels, à chaque génération N parents sont sélectionnés par l'algorithme en utilisant une méthode de sélection stochastique (certains parents peuvent donc être sélectionnés plusieurs fois) pour donner naissance à exactement N enfants en appliquant les opérateurs de variations. Ces N enfants remplacent par la suite les N parents lors de la procédure de remplacement (déterministe).
2. **Les algorithmes stationnaires ("steady-state")** Dans les algorithmes à schéma d'évolution stationnaire un seul enfant est généré à chaque génération en utilisant un ou deux parents sélectionnés généralement par tournoi. Après évaluation de l'enfant, ce dernier est intégré dans la population, afin de remplacer un parent en utilisant un tournoi inversé [Syswerda 1991]. Dans ce type de tournoi, l'individu le moins performant est sélectionné pour disparaître (éventuellement le plus vieux). (Mouadh Yagoubi, 2012) L'opération de création d'un individu enfant est la combinaison d'une opération de croisement afin d'obtenir un résultat provenant des parents et d'une opération de mutation afin d'obtenir une diversification possible selon une certaine probabilité de mutation.



FIGURE 1.14 – opération de création d'un individu (JD, 2008)

1.4.5 Les méthodes d'optimisation génétique

1.4.5.1. NSGA-II

NSGA-II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm) a longtemps été l'algorithme phare dans le domaine de l'optimisation évolutionnaire multiobjectif. Il tient son appellation de l'algorithme NSGA qui a été proposé auparavant par les mêmes auteurs (Srinivas, 1994). L'algorithme NSGA reprend l'idée proposée par Goldberg sur l'utilisation du concept de classement par dominance dans les algorithmes génétiques. Dans la plus part des aspects NSGA-II est très différent de NSGA, cependant le nom a été gardé pour indiquer les origines de cette approche. Nous nous contenterons dans ce qui suit de présenter les différentes étapes de l'algorithme NSGA-II (Kalyanmoy Deb, Manikanth Mohan et Shikhar Mishra. , 2008).

Dans NSGA-II, la population des enfants Q_t est d'abord créée en utilisant la population des parents P_t . Les deux populations sont ensuite réunies pour former la population mixte R_t de taille $2N$. Cette population est triée selon le critère du rang de pareto décrit ci-dessus pour former les fronts successifs : le premier front F_1 correspond à l'ensemble des solutions non dominées de R_t . En considérant le reste des individus dans R_t après avoir enlevé ceux de F_1 , et après avoir réalisé un nouveau tri de dominance, nous obtenons le deuxième front F_2 constitué des individus non dominés de l'ensemble (F_1/R_t) . Cette procédure est répétée jusqu'à ce que les individus de R_t soient attribués à un front. Par la suite, la nouvelle population $P_{(t+1)}$ est créée et est remplie au fur et à mesure avec les différents fronts successifs. Comme la taille de la population est $2N$, les fronts successifs ne peuvent intégrer en totalité la nouvelle population qui doit être de taille N . Ces fronts seront tout simplement éliminés. Cependant, la taille du dernier front considéré peut être supérieure au nombre de cases vides à remplir dans la nouvelle population. Dans ce cas, le critère de surpeuplement décrit dans la section précédente sera utilisé pour choisir les solutions du dernier front, celle qui vont intégrer la nouvelle population afin de favoriser les solutions dans les régions les moins peuplées du front considéré dans le but d'améliorer la diversité des solutions. (Kalyanmoy Deb, Manikanth Mohan et Shikhar Mishra. , 2008)

La procédure de NSGA-II est résumée dans l'algorithme 1 :

Algorithm 1 : NSGA II

1 : $t \leftarrow 0, P_0 \leftarrow \text{random}(), P_0 = N$

1 : *repeat*

3 : $Q_t \leftarrow \text{variation}(\text{select}(P_t))$ // *sélection parentale : Tournoi de taille; variation, croisement, mutation.*

4 : $R_t \leftarrow P_t \cup Q_t$

5 : $F \leftarrow \text{Tri} - \text{do min ance}(R_t)$ // $F = (F_1, F_2, F_3, \dots)$

6 : $P_{t+1} \leftarrow (), i \leftarrow 1$

7 : *while* $P_{t+1} + F_i \prec N$ *do*

8 : $P_{t+1} \leftarrow P_{t+1} \cup F_i; i \leftarrow i + 1$

9 : *end while*

10 : $P_{t+1} \leftarrow \text{Tri} - \text{surpeuplement}(P_{t+1})$

11 : $P_{t+1} \leftarrow P_{t+1}[0 : N]$ // *choisir les N premiers lments*

12 : $t \leftarrow t + 1$

13 : *until critre d'arret rencontr*

1.4.5.2. SPEA2

SPEA2 (Strenght Pareto Evolutionary Algorithm) représente une version corrigée de l'algorithme SPEA proposé auparavant par les mêmes auteurs. SPEA2 repose sur l'utilisation d'une archive représentée par une population externe A_t de taille N_{archive} . Cette archive de taille N_{archive} est destinée à contenir un nombre limité de solutions non-dominées trouvées par l'algorithme au cours de l'optimisation. A chaque itération, les nouveaux individus non-dominés de la population P_t sont comparés aux membres de l'archive A_t en utilisant le critère de dominance. Si le nombre d'individus non-dominés n'est pas suffisant, l'archive est complétée par les meilleurs individus dominés. La comparaison des individus dans SPEA2 se fait comme dans le cas de NSGA-II en utilisant la relation de dominance + un critère de diversité. Le classement des individus en utilisant le principe de dominance se fait via la valeur de strength S_i décrite dans la section précédente :

$$S(i) = \{j : j \in P_t \cup A_t \text{ et } i \prec j\}$$

(1.22)

Sur la base des valeurs de strength calculées, un classement entre les individus est effectué sur la base de la grandeur R_i calculée pour chaque individu i et définie par :

$$R(i) = \sum_{j \in P_t \cup A_t, j \prec i} S(j) \quad (1.23)$$

$R(i)=0$ correspond à un individu non dominé, tandis qu'une valeur élevée de $R(i)$ correspond à un individu dominé par plusieurs individus. Ce critère de comparaison trouve sa limite dans le cas où plusieurs individus ne dominent pas les uns les autres.

Dans ce cas, le critère du k ème voisin décrit précédemment sera utilisé comme critère de diversité, au de départager les individus avec les mêmes valeurs de $R(i)$ (non dominés entre eux). La densité de chaque solution i est définie par :

$$D(i) = \frac{1}{\sigma_i^k + 2} \quad (1.24)$$

ou

σ_i^k est la distance recherche

et k est définie habituellement comme étant la racine carrée de la taille de l'ensemble $PtAt$ c'est à dire

$$k = \sqrt{N + N_{archive}} \quad (1.25)$$

Finalement, la valeur globale du critère de comparaison est donnée par :

$$F(i) = R(i) + D(i) \quad (1.26)$$

(Eckart Zitzler, Marco Laumanns et Lothar Thiele., 2001)

Le schéma général de l'algorithme SPEA2 est résumé dans l'algorithme 2 :

Algorithm2 SPEA2

1 : $t \leftarrow 0, P_0 \leftarrow \text{random}(), P_0 = N, A(t) \leftarrow \Phi A(t) = N$

2 : *repeat*

3 : $A_{t+1} \leftarrow \text{Nondom}(P_t \cup A_t)$

4 : $\text{TriF}(A_t) // \text{Trier en utilisant la formule donnée par l'équation précédente}$

5 : *if* $A_{t+1} \succ N_{\text{archive}}$ *then*

6 : $A_{t+1} \leftarrow A_{t+1}[0 : N_{\text{archive}}] // \text{tronquer l'archive}$

7 : *else*

8 : $A_{t+1} \leftarrow A_{t+1} \cup \text{TriF}(P_t \cup A_t)[0 : N_{\text{archive}} - A_{t+1}] // \text{rajouter les meilleurs individus dominés}$

9 : *endif*

10 : $P_{t+1} \leftarrow \text{variation}(\text{select}(A_{t+1}))$

11 : $t \leftarrow t + 1$

12 : *until critère rencontré*

(Eckart Zitzler, Marco Laumanns et Lothar Thiele., 2001)

1.4.5.3. IBEA

IBEA (Indicator Based Evolutionary Algorithm) est un AEMO qui a été proposé dans. Cet algorithme a pour objectif d'apporter une meilleure solution au dilemme "exploration vs exploitation" auquel sont confrontés les AEMO en proposant une généralisation du concept de dominance. L'idée principale de IBEA est de formaliser les préférences entre individus en utilisant un indicateur de performance binaire de qualité I arbitrairement choisi. Avec cette option, l'algorithme n'aura pas besoin d'utiliser une technique de préservation de la diversité en tant que deuxième critère de comparaison. Cependant, la question qui se pose est de savoir comment I pourrait être intégré dans le calcul de la fitness dans un AEMO. Une possibilité serait d'attribuer à chaque individu une valeur de fitness $F(x)$ correspondant à la mesure de la "perte en qualité" si cet individu avait été retiré de la population.

$$F'(x^1) = \sum_{x^2 \in P/\{x^1\}} I(\{x^2\}, \{x^1\}) \quad (1.27)$$

Les auteurs retiennent finalement une formule modifiée qui amplifie l'influence des solutions non-dominées sur les solutions dominées :

$$F(x^1) = \sum_{x^2 \in P/\{x^1\}} -e^{-I(\{x^2\},\{x^1\})/k} \quad (1.28)$$

Où $k > 0$ est un facteur d'échelle qui dépend de l'indicateur I utilisé et du problème à optimiser. Pour le choix de l'indicateur, les auteurs de l'algorithme comparent deux exemples : l'indicateur de l'hypervolume et l'indicateur epsilon. Les résultats obtenus par les auteurs ont montré que les deux variantes permettent d'obtenir de meilleurs résultats que ceux obtenus avec NSGA-II et SPEA2. (E. Zitzler, K. Deb et L. Thiele., 2000)

L'algorithme 3 résume les principales étapes de IBEA :

Algorithme 3 IBEA

1 : $t \leftarrow 0, P_0 \leftarrow \text{random}(), P_0 = N$

2 : *repeat*

3 : $Q_t \leftarrow \text{variation}(\text{select}(P_t)) // \text{sélection parentale ; variation : croisement, mutation}$

4 : $P_{t+1} \leftarrow P_t \cup Q_t$

5 : $\text{Tri}F(P_{t+1}), // \text{Trier en utilisant la formule donnée par l'équation précédente}$

6 : *while* $P_{t+1} \succ N$ *do*

7 : $P_{t+1} \leftarrow P_{t+1} / \{x^* \leftarrow \arg \max F(x)\}$

8 : $\text{Update}F(P_{t+1}) // \text{actualiser les valeurs de } F$

9 : *end while* $t \leftarrow t + 1$

10 : *until* critère d'arrêt rencontré

(E. Zitzler, K. Deb et L. Thiele., 2000)

1.5 conclusion

Tout au long de ce chapitre dont l'objectif pour nous était de faire un aperçu général sur les moteurs et leurs modes de fonctionnement, la pollution et de son impact sur l'environnement et enfin des méthodes d'optimisation génétique. Nous avons eu à faire plusieurs constats dans cette partie, ce qui nous pousse à un questionnement sur la méthode que nous utiliserons afin de

minimiser les effets de cette pollution dans l'atmosphère. Nous nous proposons à cet effet de se plonger dans une prochaine étude consacrée à la méthode des algorithmes génétiques appliquée à des sources mobiles.

MATÉRIEL ET MÉTHODE D'OPTIMISATION PAR DEPOLLUTION

2.1 Introduction

La réalisation de ce travail demande un matériel approprié et une méthodologie stricte et rigoureusement menée pour le traitement des données. Dans ce chapitre, nous allons présenter le matériel et les méthodes utilisées dans la réalisation de cette étude.

2.2 Matériel

Pour une évaluation des possibilités de dépollution, on dispose d'un certain nombre d'éléments nécessaires :

2.2.1 Les sources mobiles : cas des taxis de ville de Y3



FIGURE 2.1 – Aperçu des taxis de ville

Ce sont des petits véhicules de marques différentes servant au transport et au déplacement des populations d'une zone à une autre. Au Cameroun, nous les identifions par la couleur **jaune**.

2.2.2 MatLab (MATrix LABoratory)

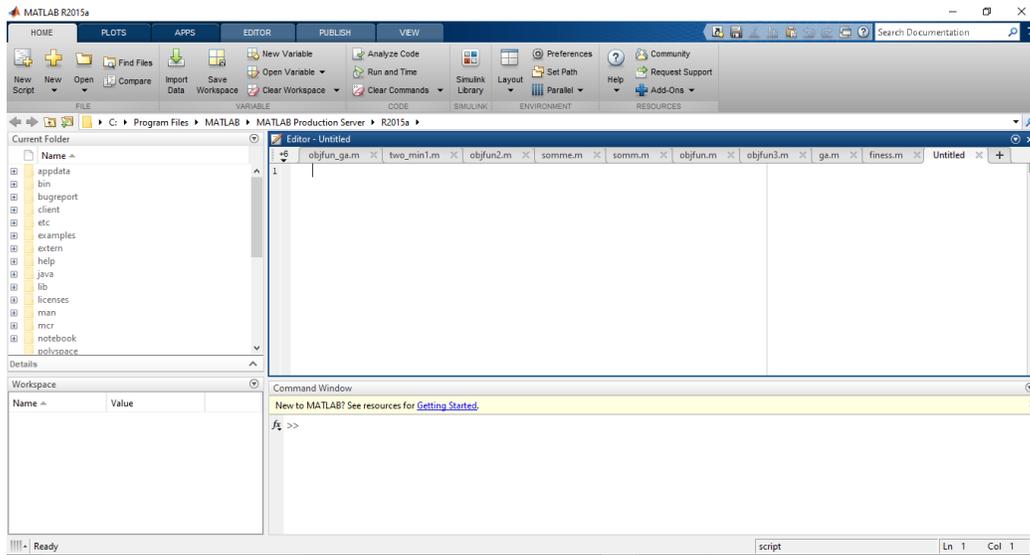


FIGURE 2.2 – Première interface MatLab

C'est un logiciel commercial de calcul itératif dont la base est le calcul matriciel. Il permet de réaliser des simulations numériques basées sur les algorithmes d'analyse numérique. MATLAB (« matrix laboratory ») est un langage de programmation de quatrième génération émulé par un environnement de développement du même nom ; il est utilisé à des fins de calcul numérique. Développé par la société The MathWorks, MATLAB permet de manipuler des matrices, d'afficher des courbes et des données, de mettre en œuvre des algorithmes, de créer des interfaces utilisateurs, et peut s'interfacer avec d'autres langages comme le C, C++, Java, et Fortran. Les utilisateurs de MATLAB (environ un million en 2004) sont de milieux très différents comme l'ingénierie, les sciences et l'économie dans un contexte aussi bien industriel que pour la recherche. Matlab peut s'utiliser seul ou bien avec des toolboxes (« boîte à outils »). Il possède une fenêtre principale ou de commande et un éditeur de programme (M-files). Matlab est doté d'une collection de fonctions (m-files) préprogrammées (notamment dans ses Toolboxes) spécifiques à des domaines aussi variés que les statistiques, le traitement du signal et d'image, la logique floue, les réseaux de neurones, les ondelettes, ... et qui permettent de

résoudre un bon nombre de problèmes relatifs à ces domaines. Pour visualiser ces fonctions, il suffit de taper help suivi du nom de la famille à laquelle appartient la fonction. Pour connaître le nom de ces familles, il suffit juste de taper help. Plus de 1500 fonctions préprogrammées :

-Générale(help general) :help, demo, dir, cd, l, dear, clear, whos, clear, clc...

-Opérateurs(help ops) :+, -, /, ', =, ... – Langage(helplang) : else, for, while, case, ...

-Fonctions mathématiques élémentaires (help elfun) :cos, tan, sin, sinh, asin, asinh, exp, log, log10, round, ...

-Fonctions élémentaires sur les matrices (help elmat) :rand, ones, size, diag, ...

-Fonctions mathématiques spécialisées (help spectrum) :airy, gcd, lcm, factorial, cart2sph, cart2pol, ... (M.Y.BOUROURI-UdeM)

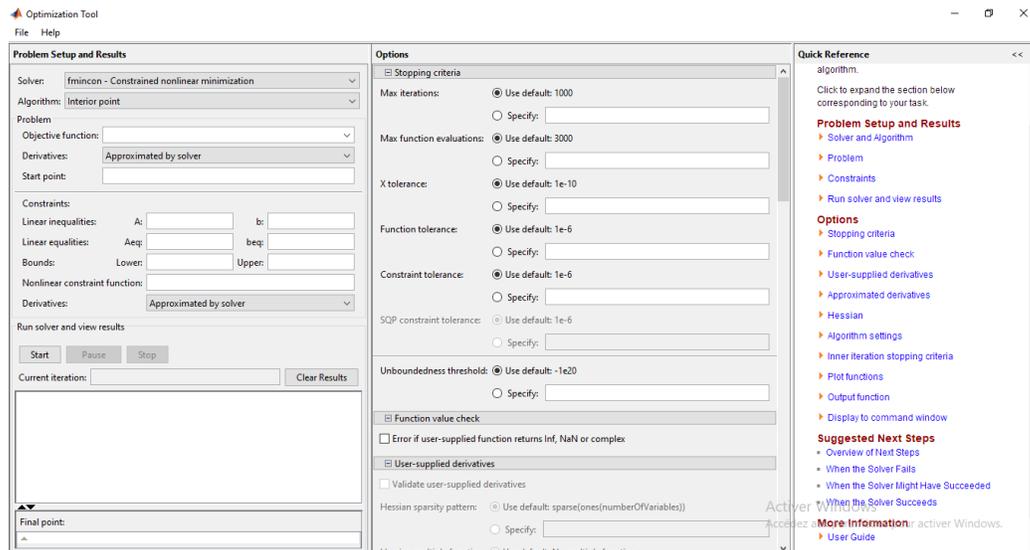


FIGURE 2.3 – fenêtre de commande MatLab pour l'optimisation

2.2.3 Le logiciel Microsoft Excel

Microsoft Excel est un logiciel tableur de la suite bureautique Microsoft Office, développée et distribuée par l'éditeur Microsoft. Le logiciel Excel intègre des fonctions de calcul numérique, de représentation graphique, d'analyse de données (notamment de tableau croisé dynamique) et de programmation, laquelle utilise les macros écrites dans le langage VBA (Visual Basic for Applications) qui est commun aux autres logiciels de Microsoft Office. Dans notre travail il

nous a permis de tracer les différents graphes (variation de l'âge du véhicule en fonction de l'âge du moteur, variation du temps de travail journalier en fonction de l'âge du véhicule, variation du nombre de taxis dans la zone de Y3 au des années). Son interface se présente ainsi :

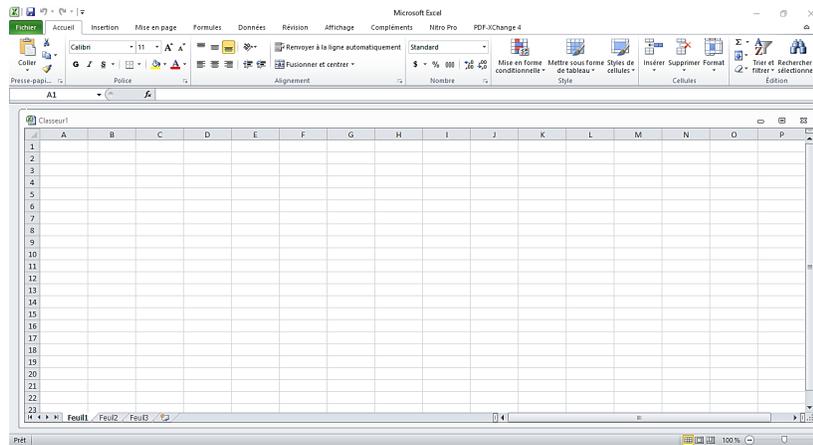


FIGURE 2.4 – interface du logiciel Microsoft Excel

2.2.4 Collecte des données

●Données sur le nombre de taxis dans Y3 et hors de Y3

La collecte des données s'est faite par une descente à la mairie de Yaoundé 3 qui nous a permis de connaître le nombre moyen de taxis dans la zone de Yaoundé 3 et hors de la zone de Yaoundé 3 allant de 2005 à Septembre 2018. Nous avons alors exploité le registre dans lequel étaient enregistrés les noms de tous les chauffeurs de taxis de la zone et hors de la zone et nous avons ainsi compté le nombre de taxis de chaque année allant de 2005 à Septembre 2018.

●Données sur les informations propres à chaque taxi

Réduire le taux de pollution causée par les taxis de villes de Yaoundé 3 par la méthode des AG nécessite un ensemble de variables qui sont obtenues en effectuant une enquête. Nous avons pour la circonstance élaboré un questionnaire qui comportait principalement neuf questions notamment quel est l'âge du véhicule ? Quel est l'âge du moteur ? Quelle est votre consommation journalière de carburant ? Quel est le nombre d'heures de travail journalier ? Votre moteur fume-t-il beaucoup ? Combien de fois faites-vous la vidange par mois ? Êtes-vous régulier aux embouteillages ? Quelle est la consommation journalière (en litre) ? Et quel est l'état du filtre (bon état ou défectueux) ?

Obtenir les réponses à ces questions imposait un échange de vive voix avec les conducteurs de taxi. Nous avons à cet effet interrogé dans un échange direct les conducteurs, et ceci chaque fois que l'occasion de prendre un taxi nous était donné ou alors dans les différentes laveries ou encore chez les mécaniciens du coin.

2.2.5 Méthode de traitement des données

●Données dans le logiciel Microsoft Excel

Le processus de traitement des données à l'aide du logiciel Microsoft Excel s'est fait de la manière suivante :

Nous avons mis nos différentes données dans un tableau ;

Nous avons sélectionné notre tableau ;

Nous sommes allés sur la barre de tâche ;

Nous avons cliqué sur insertion ;

Nous avons choisi graphique recommandés ;

Nous avons choisi le graphique qui correspondait le mieux à ce qu'on voulait exprimer.

● Données dans le logiciel MatLab

Le processus de traitement des données à l'aide du logiciel MatLab s'est fait de la manière suivante :

Nous avons ouvert l'interface Matlab

Nous avons cliqué sur APPS

Puis, cliqué sur Optimization

Ensuite nous avons cliqué sur solver pour choisir l'option Genetic Algorithm

Enfin nous avons entré nos données et lancé la simulation

●Données sur le nombre de taxis

Nous avons construit un tableau dans lequel étaient classés par ordre d'années le nombre de taxis. Connaissant le nombre de taxis de la zone de Yaoundé 3 et hors de Yaoundé 3 en fonction des années, une simple algèbre mathématique permet de connaître le nombre moyen de taxis

dans la zone et hors de la zone de Yaoundé 3. Soit Y_i le nombre de taxis par an de chaque zone, alors le nombre moyen \bar{Y} de taxis est donné par :

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{\text{nombre d'annes}} \quad (2.1)$$

On dispose donc en moyenne de 200 taxis dans la zone de Y3 et de 288 taxis hors de Y3.

●Données sur les informations propres à chaque taxi

Nous avons dans un tableau réparti pour chaque taxi âge du véhicule, âge du moteur, durée de travail journalier, le nombre de vidanges par mois, si oui ou non le moteur fume beaucoup et la consommation journalière de carburant. Pour obtenir la consommation annuelle du nombre de taxis pour chaque année, nous avons alors par simple raisonnement mathématique ; sachant que chaque taxi consomme 20 litres de carburant par jour et en considérant qu'une année a 365 jours, utilisé la formule :

$$\text{conso annuelle} = 20 \times 365 \times \text{nbr de taxis par an} \quad (2.2)$$

2.3 Méthode d'optimisation : Algorithme Génétique

2.3.1 Historique et définition

Les algorithmes génétiques, initiés dans les années 1970 par John Holland, sont des algorithmes d'optimisation s'appuyant sur des techniques dérivées de la génétique et des mécanismes d'évolution de la nature : croisement, mutation, sélection. 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 ». En 1866, Mendel publie un article retraçant dix années d'expériences d'hybridation chez les végétaux « recombinaison des gènes » et l'adresse aux sociétés scientifiques dans le monde. Les réactions sont mitigées, voire inexistantes. C'est à partir du 20ème siècle que la mutation génétique a été mise en évidence. John Holland étudie les systèmes évolutifs et, en 1975, il introduit le premier Modèle formel des algorithmes génétiques (the canonical genetic algorithm AGC) dans son livre *Adaptation in Natural and Artificial Systems*.

Il expliqua comment ajouter de l'intelligence dans un programme informatique avec les croisements (échangeant le matériel génétique) et la mutation (source de la diversité génétique). (Fallet-Kahn Francois, 2015)

2.3.2 Structure de l'AG

L'approche principale utilisée dans le processus évolutif est reconnue en tant qu'algorithme génétique. Les algorithmes génétiques sont inventés par Goldberg qui a été influencé par la théorie de Darwin concernant l'évolution. La théorie de l'évolution de Darwin déclare que l'existence de la créature est influencée par la prescription : **l'espèce la plus forte qui survit**. Il a également révélé que la poursuite de la vie de l'être vivant peut être retenue par le processus de reproduction, de croisement et de mutation (C. Bertelle, 2010). L'algorithme génétique travaille à partir d'une population composée de N individus sur qui des opérations mathématiques élémentaires de croisement et de mutation sont appliquées. Sa structure est donc donnée par le schéma ci-dessous :

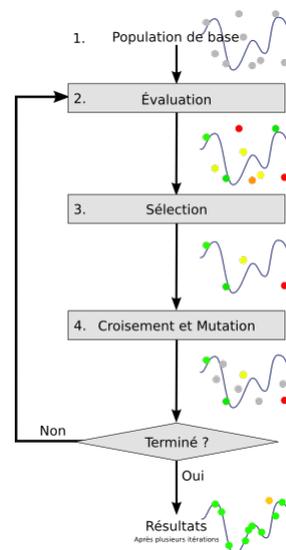


FIGURE 2.5 – schéma de l'algorithme génétique (C. Bertelle, 2010)

2.3.3 Paramètres basic et operateurs génétiques d'algorithme

Les algorithmes stochastiques itératifs opèrent sur des individus codés, à partir d'une population initiale. Cette population évolue de la génération k à la génération k+1 à l'aide de trois

opérateurs :

- Opérateur de Sélection
- Opérateur de Croisement
- Opérateur de Mutation

Chaque individu est reproduit en fonction de son adaptation au problème (fitness). On code les individus de manière à les faire “évoluer” grâce aux opérateurs. On effectue :

- des croisements sur les individus destinés à être reproduits
- Des mutations aléatoires

Finalement on a la génération de nouveaux individus.

Le corps principal d'une itération d'un algorithme génétique est le suivant :

- **Évaluer la qualité (fitness) des individus et leurs chances de survie**
- **Sélectionner les individus pour la reproduction**
- **Effectuer la reproduction**
- **Remplacer l'ancienne population par la nouvelle (Fallet-Kahn Francois,2014)**

2.3.4 Éléments d'un algorithme génétique

Individu : Les individus correspondent aux « solutions » du problème à optimiser. Ces solutions doivent être « codées » pour que le traitement puisse être effectué par l'algorithme génétique. Cette représentation codée d'une solution est appelée chromosome, et est composée de gènes. Chaque gène peut représenter une variable, un élément de la solution, ou encore une partie plus abstraite.

Population : C'est l'ensemble des individus, ou encore l'ensemble des chromosomes d'une même génération. Habituellement, la taille de la population reste constante tout au long de l'algorithme génétique.

Qualité ou fitness d'un individu : Le calcul de la qualité d'un individu est essentiel aux algorithmes génétiques. Cette fonction donne, en valeur numérique (habituellement réelle), la qualité d'un individu. C'est selon cette valeur numérique que sont calculées les chances de sélection de cet individu.

Sélection : Selon la qualité des individus, chacun se voit attribuer un pourcentage de chances

d'être choisi pour la reproduction, qui correspond à l'importance relative de la qualité de l'individu par rapport à la qualité totale de la population.

Reproduction : La reproduction s'effectue généralement en croisant deux individus, ce qui produit deux nouveaux individus à placer dans la nouvelle population. (C. Bertelle, 2010)

On peut résumer le processus par le graphique suivant :

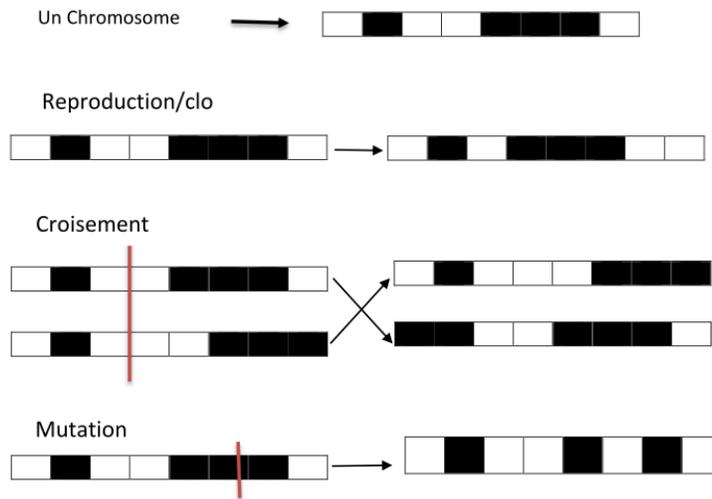


FIGURE 2.6 – Principe de génération (JD, 2008)

2.4 Application de l'Algorithme Génétique à notre cas d'étude

Comme expliqué plus haut dans les généralités sur les AG, nous avons besoin d'une fonction objective ou fonction fitness qui nous permettra d'évaluer les différents individus afin de minimiser la pollution . Dans notre cas d'étude, nous allons définir une fonction objective ou fonction fitness caractéristique de notre population de taxis et qui dépend à la fois de tous les paramètres propres à chaque taxi par la relation :

$$S_e = \alpha \times V + \beta \times \sum_{e=1}^N \sum_{i=1}^M X_{ei} T_e \quad (2.3)$$

Où e est l'indice lié à chaque taxi ou véhicule des N taxis interrogés

X_{ei} est l'age de chaque véhicule e

V représente le nombre de taxis dans la zone de Y3

T_e est le temps de travail journalier de chaque véhicule e

α et β sont les paramètres de poids associés au nombre de véhicule et au temps total de travail quotidien. (Beatrice Ombuki, Brian J.Ross and Franklin Hanshar, 2004)

Cette fonction que nous allons introduire dans notre interface MatLab et la minimiser par la suite avec :

$$V = 200 \text{ taxis}; \alpha = 0.5632; \beta = 1.8 \quad (2.4)$$

Nous allons d'abord appliquer l'AG à une population de 200 individus avec une sélection par tournoi (uniforme), puis par roulette (stochastique uniforme).

2.5 conclusion

Au terme de ce chapitre, il était question pour nous d'énumérer le matériel utilisé lors de nos travaux et décrire les méthodes de collecte et traitement des données sur le nombre de taxis de Y3 et hors de Y3, les informations propres à chaque taxi, de décrire les méthodes de traitement des données sur le logiciel MatLab et sur Microsoft Excel et enfin de décrire la méthode d'optimisation appropriée pour minimiser la pollution. Nous pouvons donc dire que nos objectifs ont été atteints. Nous nous posons la question à savoir quels sont les résultats obtenus et quelle interprétation peut-on leur donner ?

RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

3.1 Introduction

Une fois les données collectées et traitées, il sera question pour nous de présenter les résultats obtenus suite au traitement de nos données et ensuite d'interpréter les résultats obtenus. Nous allons dans ce chapitre présenter les nombres de taxis de Y3 et hors de Y3 en fonction des années, puis de présenter les résultats obtenus suite à l'optimisation avec le logiciel MatLab.

3.2 Résultats de la collecte des données dans la zone de Y3

Suite à l'enquête qui a été faite à la mairie de Y3, nous avons pu relever le nombre de taxis dans la zone de Y3 et hors de la zone de Y3, puis calculer la consommation annuelle des taxis de chaque zone. Les nombres de taxis dans la zone de Y3 et hors de Y3 allant de 2005 à 2018 et leurs différentes consommations annuelles sont représentés dans le tableau ci-dessous :

TABLE 3.1 – nombres de taxis par an et consommations annuelles des taxis de Y3 et hors de Y3 en fonction des années

Année	nbr taxis Y3	conso/an en L(X10 ³)	nbr taxis hors Y3	conso/an en L(X10 ³)
2005	26	189.8	100	730
2006	28	204.4	142	1036.6
2007	59	503.7	143	1043.9
2008	135	1058.5	176	1284.8
2009	295	1496.5	236	1722.8
2010	224	1708.2	265	1934.5
2011	230	1825	315	2299.5
2012	254	2073.2	337	2460.1
2013	289	2182.7	330	2409
2014	306	2233.8	397	2898.1
2015	356	2671.8	405	2956.5
2016	380	3285	421	3073.3
2017	442	3226.6	473	3452.9
2018	268	1956.4	299	2182.7
moyenne	200.8571429	3227.121428	288.5	2106.05

Les données du tableau montrent par simple calcul en utilisant la formule présentée à l'équation (2.1) qu'il y'a en moyenne **210 taxis** dans la zone de Y3 et **288 taxis** hors de Y3.

Ces données nous ont permis à l'aide du logiciel Microsoft Excel d'obtenir les courbes suivantes :

1. Evolution du nombre de taxis de Y3 en fonction des années

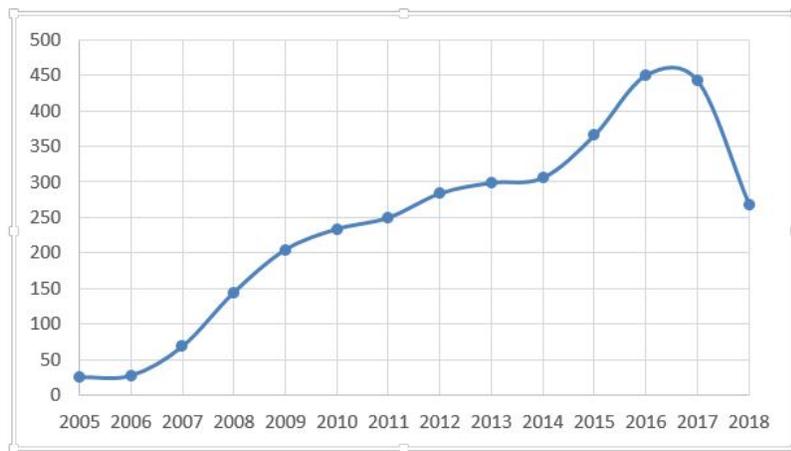


FIGURE 3.1 – Evolution du nombre de taxis de Y3 en fonction des années

Interprétation

Cette polifération en puissance du nombre de taxis dans la zone est une conséquence du taux de natalité de la population dans la zone de Y3. Plus la population est grande, plus il y'a une augmentation de la demande des moyens de transport. La chute légère du nombre de taxis en 2018 est due au non achèvement de l'année en cours.

Notons que cette courbe est toute aussi valable pour la consommation annuelle des taxis car on observera de même une croissance au fil des années.

1. -Evolution de la consommation annuelle des taxis hors de Y3 en fonction des années

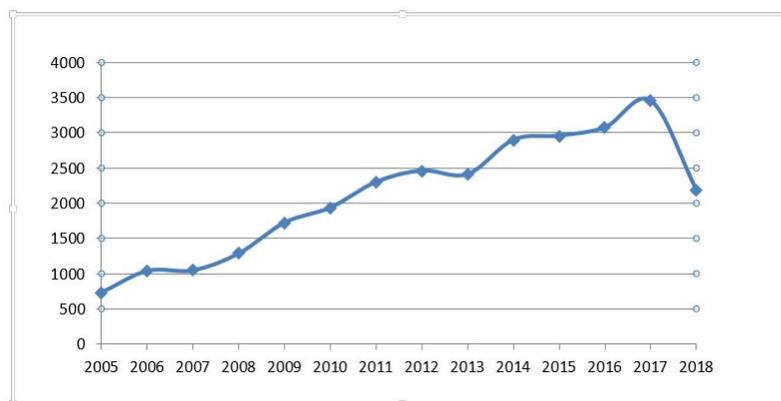


FIGURE 3.2 – Evolution de la consommation annuelle des taxis hors de Y3 en fonction des années

Interprétation

De même, cette polifération en puissance de la consommation annuelle de carburant hors de la zone est une conséquence de la quantité énorme de taxis hors de la zone de Y3. Plus la population est grande, plus il y'a une augmentation de la demande des moyens de transport. On constate de plus ici une chute légère de la consommation en 2018 à cause du non achèvement de l'année en cours car les enquêtes ont été menées en Aout 2018.

Notons que cette courbe est toute aussi valable pour l'évolution du nombre de taxis en fonction des années car on observerait de même une croissance au fil des années.

3.3 Présentation des informations propres à chaque taxi

Après l'interrogatoire fait à 19 taxis de Y3, nous avons pu relevé les informations propres à chaque véhicule. Ces informations sont données dans le tableau ci-dessous :

TABLE 3.2 – informations propres à chaque taxi

Taxis	A véhicule(ans)	A moteur(ans)	D travail/jr(heures)	Nbr vidanges/mois	Etat du filtre
1	10	2.5	20	03	bon état
2	15	5	17	01	bon état
3	4	4	8	02	défectueux
4	12.5	6.3	16	00	défectueux
5	20	1	20	00	défectueux
6	2	2	16	01	bon état
7	1.5	1.5	16	01	bon état
8	7	7	10	00	défectueux
9	18	5	20	02	bon état
10	4.5	4.5	16	01	bon état
11	8	8	14	02	bon état
12	0.5	0.5	19	00	défectueux
13	3.6	3.6	18	02	bon état
14	15	5	8	03	bon état
15	4	8	20	01	passable
16	4.8	4.8	20	01	passable
17	23	7	15	02	bon état
18	9.5	9.5	7	00	défectueux
19	12	2	13	00	bon état
moyenne	11.5	4.9090909	15.42105263	•	•

Le tableau ci-dessus nous a permis d'obtenir les courbes ci-dessous pour une étude de 19 taxis :

-Évolution de l'âge du véhicule en fonction de l'âge du moteur

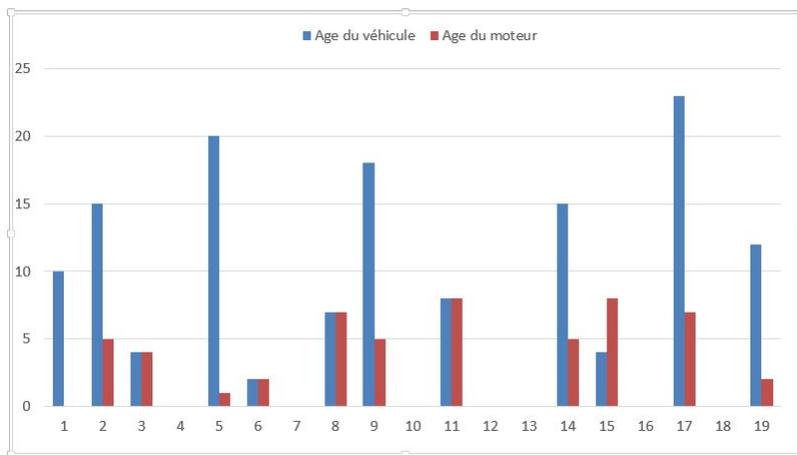


FIGURE 3.3 – évolution de l’âge du véhicule et celui du moteur en fonction des taxis

Interprétation

Sur le diagramme en bande ci-dessus, on peut remarquer que Six (6) véhicules, soit **31.57 pourcents** ont un âge supérieur à la moyenne qui est de 11.5 ans et Sept (7) moteurs, soit **36.84 pourcents** ont aussi un âge supérieur à la moyenne qui est de 4.9090909 ans. Par conséquent, ceux-ci sont les plus susceptibles de polluer que les autres. Par ailleurs, certains véhicules plus âgés ont un moteur presque neuf c’est-à-dire d’âges inférieurs à la moyenne ; alors, ceux-ci peuvent aussi moins polluer à cause du bon état de leurs moteurs.

-Évolution de l’âge du véhicule en fonction du temps de travail

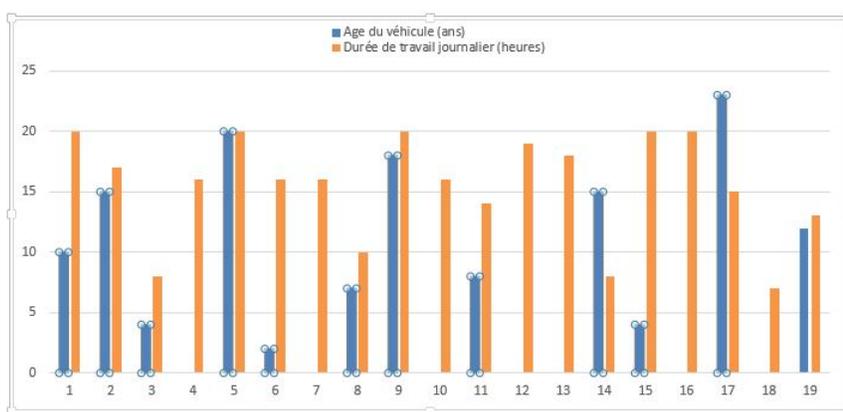


FIGURE 3.4 – évolution de l’âge du véhicule en fonction du temps de travail journalier

Interprétation

Sur cet histogramme, on peut bien constater que la plupart des véhicules d'âges supérieurs à la moyenne travaillent beaucoup plus que ceux d'âges inférieurs à la moyenne 15.42105263 heures. Par conséquent, ceux-ci contribuent le plus à la pollution que les autres. Alors que ceux qui travaillent moins et qui ont l'avantage d'être neufs polluent le moins possible.

-Evolution de l'âge du moteur en fonction du temps de travail journalier

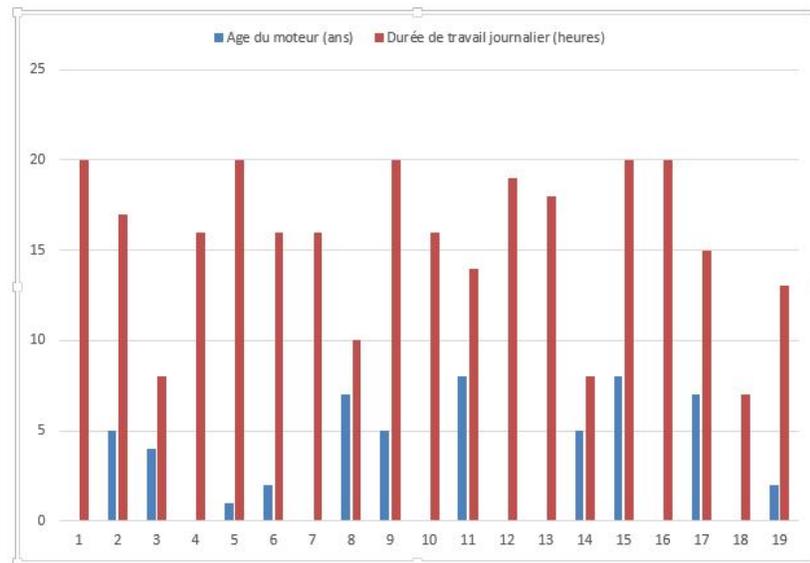


FIGURE 3.5 – : évolution de l'âge du moteur en fonction du temps de travail journalier

Interprétation

On remarque ici que certains taxis qui ont des moteurs défectueux c'est-à-dire d'âges supérieurs à la moyenne ont un temps de travail journalier supérieur à la moyenne. Ce qui reste un inconvénient pour eux car ceci détruit beaucoup plus le moteur et augmente la pollution.

3.4 Application de l'Algorithme Génétique

Nous avons implémenté la méthode optimisante présentée à l'équation 2.3 à travers le logiciel MatLab plus précisément l'interface Optimization Tool et nous avons fixé les conditions suivantes :

- L'âge de chaque véhicule ne doit pas dépasser l'âge moyen qui est de 11 ans
- Le temps de travail journalier doit dépendre de l'état (bon ou défectueux) du moteur
- Chaque véhicule doit effectuer au moins 2 vidanges par mois.

Pour une population de 200 individus, nous avons obtenu la courbe ci-dessous :

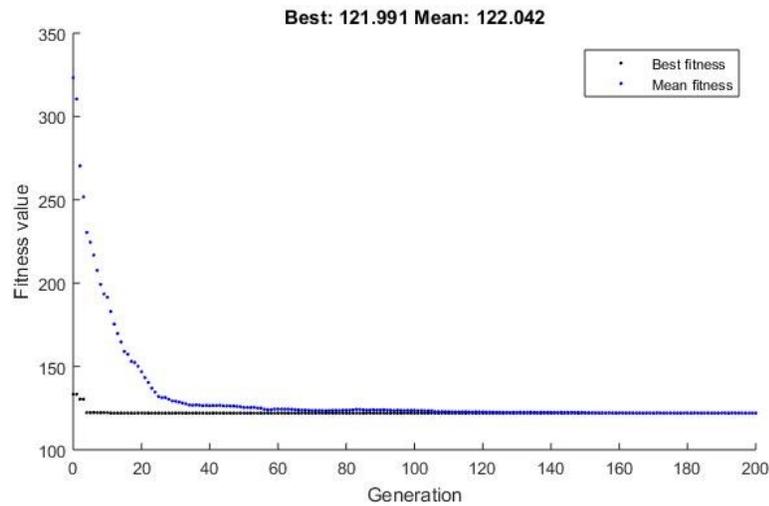


FIGURE 3.6 – : fonction fitness (qualité) pour la dépollution des taxis en zone urbaine (Y3)

Interprétation

En créant une sélection uniforme stochastique, nous obtenons deux courbes : Bleue et noire. La courbe en bleu donne les différents individus pour les 200 itérations. Cette courbe décrit l'ensemble des solutions obtenues. La courbe en noir quant à elle présente la meilleure qualité de dépollution ; elle décrit les meilleurs individus retenus (fitness value) parmi ceux sélectionnés et croisés. Sur le domaine d'évaluation, il en ressort que :

De 0 à 23, la mutation progresse vers un point de convergence.

De 23 à 40, la corrélation devient plus grande.

Et de 60 à 100, elle rétrécit encore plus.

On montre donc que la mutation et les croisements tendent vers un individu parfait et au fur et à mesure que les croisement s'effectuent dans l'ensemble des générations, on a une superposition totale de la fonction fitness et de la fonction mean fitness (qualité meilleure et qualité moyenne). A la convergence, l'AG arrête l'échantillonnage lorsque la fonction d'évaluation ne varie plus considérablement avec les gènes sélectionnés et la boucle fermée, on visualise le fitness et la valeur moyenne (Means). Avec les taxis, on a : **Best fitness = 121.991** et **Means = 122.042**.

On peut donc dire que pour les 200 taxis ayant participé au programme, la population d'enfants de meilleure qualité s'élève à 122 taxis pour une baisse de la pollution dans la zone de Y3. Ce qui explique la convergence rapide des deux courbes.

En choisissant une sélection uniforme, on a la courbe suivante :

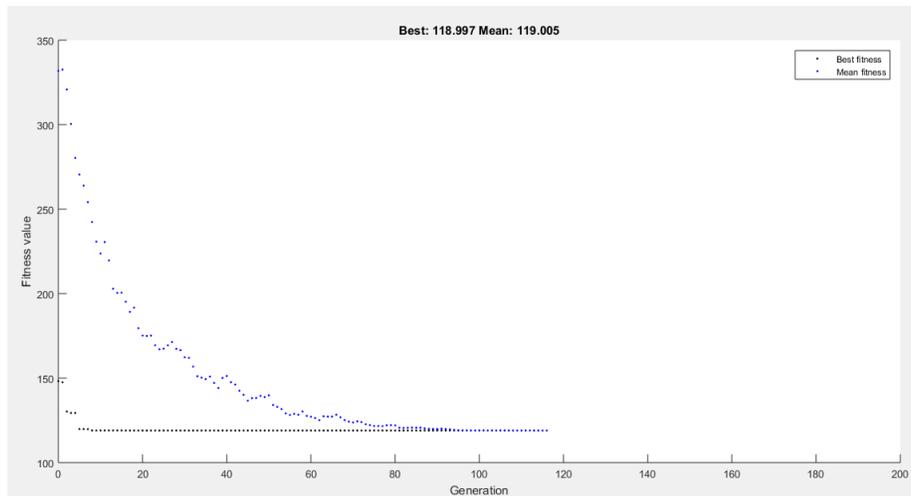


FIGURE 3.7 – : fonction fitness (qualité) pour la dépollution des taxis en zone urbaine (Y3)

Interprétation

En appliquant l'AG, on obtient également deux courbes. Les individus obtenus sont différents. C'est ce qui explique la convergence entre les valeurs obtenues à partir de 80 itérations. Le « **best fitness** » est de **118.997** et le « **Mean** » **119.005** correspondant ainsi au nombre de taxis pour une meilleure qualité de dépollution. Ce qui montre qu'avec la sélection uniforme il y'a encore plus de croisements et de mutations ; ce qui minimise encore plus la fonction fitness et donne une meilleure précision sur le résultat.

Résumé

On constate de ces deux courbes que la meilleure valeur pour une dépollution totale est donnée par la deuxième courbe avec une population de taxis de 119 qui représente le nombre minimal qu'il faut dans la zone de Y3 pour une fonction qualité de dépollution.

La première courbe quant à elle nous donne le nombre maximal (121) de taxis qu'il faut dans la zone de Y3 pour une chute du taux de pollution dans la zone.

On observe ce cas de figure sur la deuxième courbe avec une valeur d'un nombre de taxis de meilleure qualité de 119 taxis dans la zone. Ceci à travers les éléments liés à la fonction fitness tels que :

- **Le nombre de taxis dans Y3**

- La limitation d'âge du véhicule
- La limitation du temps de travail journalier
- Le contrôle du nombre de vidanges mensuel

NB :

Notons que cette population d'enfants retenus dans la zone de Y3 est le résultat obtenu suite à l'application de l'AG sur les taxis de la zone. Par ailleurs, nous n'en disconviendrons pas qu'il est possible d'avoir un surplus de taxis dans cette zone à condition que ceux-ci remplissent les conditions citées plus haut.

3.5 conclusion

L'optimisation par algorithme génétique nous a permis d'évaluer avec une bonne précision le nombre minimal de taxis dans la zone pour une dépollution totale. L'objectif étant d'avoir une bonne dépollution en minimisant le nombre de taxis dans la zone de Y3, l'interprétation des courbes obtenues nous a permis de proposer un nombre de taxis de 119 dans la zone. Le programme complet figure en annexe.

IMPLICATION SUR LE SYSTEME EDUCATIF

4.1 Introduction

Selon Emmanuel Kant, l'éducation est le processus de transmission des savoirs, des savoirs faire, savoirs être et compétences des générations adultes vers celles qui ne sont pas encore mures pour la vie sociale. Au Cameroun, l'éducation est assurée à trois niveaux : la famille, la religion et l'Etat. Au niveau de l'Etat, l'éducation se fait à l'école et elle est assurée par les professionnels formés dans les différentes écoles normales du pays. A l'Ecole Normale Supérieure de Yaoundé, à la suite d'un travail l'étudiant est toujours appelé à montrer son intérêt pédagogique et didactique. C'est ainsi que dans ce chapitre, nous devons montrer l'intérêt du travail fait sur le système éducatif camerounais. Nous allons premièrement montrer l'intérêt sur le système éducatif et ensuite faire une fiche pédagogique sur la notion de pollution telle qu'elle est traitée dans une classe du secondaire.

4.2 Intérêt didactique

De façon générale, la didactique est la science qui étudie la transmission et l'appropriation des connaissances. Sur le plan éducatif, la réduction de la pollution issue des moteurs Diesel par la méthode des algorithmes génétiques présente plusieurs avantages. Les notions de pollution et de moteur qui y sont traitées sont abordées dans plusieurs classes du secondaire :

- **En classe de quatrième dans le module chimie et protection de l'environnement**
- **En classe de troisième dans le module moteur à combustion interne**
- **En classe de première (C,D) en chimie dans les chapitres sur les engrais**

- En classe de première (C,D) en chimie dans les chapitres les pétroles et les gaz naturels
- En classe de première A en physique-chimie dans le chapitre sur la pollution
- Puis en classe de terminale en informatique dans le chapitre sur les algorithmes

Ce travail invite davantage les enseignants à sensibiliser les élèves et la société sur les dangers de la pollution ; les élèves doivent être éduqués sur la nécessité d'éviter de contribuer à la pollution de l'environnement sous toutes ses formes.

4.2.1 Définition des concepts

Optimisation : action d'optimiser c'est-à-dire améliorer une chose ou une situation selon un ensemble de critères

Dépollution : c'est le fait de réduire la pollution en d'autres termes réduire toute modification de l'état de l'air provoqué par les gaz toxiques ou corrosifs, les fumées, les vapeurs, la chaleur, les poussières, les odeurs ou tout autre polluant susceptible d'entraîner une gêne ou un danger pour la santé, la salubrité publique, la sécurité ou le bien être.

- **Algorithme** : suite ordonnée d'instructions qui permettent de résoudre un problème donné
- **Moteur** : machine qui a pour rôle de transformer l'énergie thermique en énergie mécanique (LAROUSSE, 2007)

4.2.2 Objectif de l'étude

Trois variables fondamentales constituent l'objectif de cette recherche notamment déterminer l'effet des polluants issus des moteurs sur la santé humaine, la faune et la flore ; ensuite déterminer les paramètres intrinsèques qui peuvent aggraver cette pollution et enfin de passer à une optimisation de ces paramètres afin d'obtenir un meilleur véhicule adapté pour la circulation et qui cause moins de danger pour l'environnement.

4.3 Fiche pédagogique

La fiche pédagogique est un document qui présente de manière succincte le contenu d'un thème traité et le déroulement des activités pédagogiques. Cette dernière permet à l'enseignant de présenter aisément le cours dans une salle de classe. Elle comprend des éléments fondamentaux d'un apprentissage tels que :

- Le thème traité
- Le niveau d'apprentissage
- Les objectifs généraux
- La méthodologie
- L'approche : il s'agit ici de l'approche franche communicative. Elle permet de jouir d'une liberté individuelle en vue de progresser dans la résolution du problème selon les aptitudes, les intérêts et les émotions.

En effet, il est question de faire une fiche pédagogique suivant le modèle de l'APC, sur le module la pollution et ses conséquences dans les classes de sixième, cinquième et quatrième.

De plus, en considérant que les savoirs sont associés à des contenus de matières, et sont indispensables à la pratique, cette étude contribuerait à susciter de manière pratique l'intérêt des apprenants sur l'impact de la pollution en zone urbaine.

4.4 conclusion

En somme, ce travail présente un intérêt pédagogique en ce sens qu'il a permis d'asseoir plusieurs connaissances pratiques en vue de la professionnalisation de l'enseignant. Nous pouvons citer entre autres l'esprit de synthèse et d'analyse des documents nécessaires pour la préparation d'un cours ; l'esprit d'observation, d'appréciation et d'interprétation des résultats ; la maîtrise du contenu des cours du secondaire sur la pollution et la maîtrise de l'outil informatique.

CONCLUSION GÉNÉRALE ET PERSPECTIVES

Au terme de ce travail, il était question pour nous d'optimiser par dépollution ou encore de réduire le taux de pollution issu des moteurs Diesel avec la méthode des Algorithmes Génétiques. La cible de cette étude a été les taxis de ville circulant dans la zone de Yaoundé 3.

Afin de connaître le nombre de taxis dans la zone de Y3 ainsi que les paramètres liés à chacun d'eux, une étude statistique dans un sondage aléatoire simple a été effectuée afin de collecter les données nécessaires pour obtenir une dépollution de qualité. Toute enquête faite nous a permis de noter que la zone de Y3 compte environ **200 taxis**.

Ensuite, des logiciels ont été utilisés pour observer l'évolution au cours des années du nombre de taxis et de la consommation annuelle des taxis de la zone de Y3. Puis, l'évolution de l'âge du véhicule et celui du moteur en fonction du temps de travail journalier. Notons que ces approches sont caractérisées par leur degré de simplicité, leurs conditions d'application et aussi de la précision de leurs résultats. Il a été impérieux tout d'abord de sculpter minutieusement l'environnement littéraire sur le moteur Diesel et son principe de fonctionnement, la dispersion atmosphérique des polluants et leurs effets sur l'environnement et enfin sur les méthodes d'optimisation génétique.

Par la suite, une étude statistique a été menée dans le but de relever les paramètres intrinsèques liés à chaque véhicule et permettant de réduire le taux de pollution dans la zone. Par ailleurs, une étude mathématique a été également établie par compréhension du principe physique. Ceci étant, pour effectuer une optimisation, nous avons fait recours à une fonction objective dépendant de tous les paramètres liés aux véhicules que nous avons étudié à l'aide d'un programme implémenté sur le logiciel MatLab.

Afin d'observer l'évolution du nombre de taxis et la consommation annuelle des taxis au cours des années, puis les âges des moteurs et des véhicules en fonction du temps de travail journalier, nous avons utilisé le logiciel Excel : ce qui nous a montré une croissance annuelle du nombre de taxis presque tous les ans.

Et les courbes montrant l'optimisation par l'AG ont été obtenues à l'aide du logiciel de simulation MatLab et plus précisément l'interface optimization tool.

Toute simulation faite a permis de conclure que, pour une diminution du taux de pollution dans la zone de Y3, il faut un nombre minimal de taxis égal à **119 taxis** et un nombre maximal égal à **121 taxis** et ceci à travers les éléments liés à la fonction objective tels que : la limitation du nombre de taxis dans la zone de Y3, la limitation des âges des véhicules ainsi que ceux des moteurs, la limitation du temps de travail journalier et le contrôle de vidange.

Toutefois, nous n'en disconviendrons pas qu'il est possible d'avoir un surplus de taxis dans cette zone à condition que ceux-ci remplissent les conditions citées plus haut.

Au vue de tout ce qui a été dit sur les effets nocifs des polluants issus des moteurs Diesel sur l'environnement, des recherches faites sur l'évaluation des rejets des

polluants en zone urbaine montrent que le moteur Diesel rejette 51.80grammes de CO_2 (quantité non négligeable). Soit donc une quantité de $51.80 \times 119 = 6164.2\text{grammes}$ équivaut à 6.1642kg de CO_2 pour les 119 taxis prévus par la fonction fitness.

La santé étant fragile et l'espèce humaine à protéger, des mesures adéquates doivent être prises pour la protection de la population pleinement exposée dans le diamètre de propagation des polluants : pour les arrondissements ayant une superficie routière égale à celle de Y3, nous recommandons un nombre de taxis moyen de 119 taxis.

Il serait encore judicieux de faire une étude faisant intervenir les variables physiques liées au climat et impactant sur la propagation et l'irradiation des polluants dans les différentes parties du Cameroun ayant des climats différents .

En vue de peaufiner la qualité des résultats, il nous incombe d'orienter la recherche en prenant appui sur les informations recueillies dans le centre de visite technique à Yaoundé notamment le centre VISITECH de Mendong :

- Tous les taxis ont déjà été marqués par le Tcheck-Engine. Ce qui traduit le fait que ces véhicules polluent déjà.
- Les filtres catalytiques de la majorité des taxis ne sont pas en état.
- La qualité du carburant n'est pas très bonne et cela constitue un facteur primordial de la pollution automobile.
- Le système de mélange air/carburant est défectueux et il n'y a plus respect du rapport air/carburant.

Nous ne pouvons prétendre avoir réduit totalement le taux de pollution dans la zone pour la simple raison que la méthode des Algorithmes Génétiques ne suffit

pas à elle seule pour conclure qu'il y'a dépollution totale. Le coup du biocarburant étant excessif pour les populations camerounaises, nous prévoyons dans nos futurs travaux, étudier une implémentation des véhicules fonctionnant grace à des batteries rechargeables par un système d'énergie solaire photovoltaïque ; une solution qui résolverait non seulement le problème de pollution, mais aussi le problème de bruit causé par ces moteurs bruyants .

Bibliographie

- E. Zitzler, K. Deb et L. Thiele. (2000). Comparison of Multiobjective Evolutionary Algorithms : Empirical Results.
- E. Zitzler, L. Thiele, M. Laumanns, C. M. Fonseca et V. Grunert daFonseca. (2003). Performance Assessment of Multiobjective Optimizers : An Analysis and Review IEEE Transactions on Evolutionary Computation,.
- Kalyanmoy Deb, Manikanth Mohan et Shikhar Mishra. . (2008). Towards a Quick Computation of Well-Spread Pareto-Optimal Solutions. EMO'03.
- C. Bertelle. (s.d.)(2010). Algorithmes génétiques. /Laboratoire d'Informatique du Havre.
- Eckart Zitzler, Marco Laumanns et Lothar Thiele. (2001). Improving the Strength Pareto Evolutionary Algorithm. Rapport technique.
- Fallet-Kahn Francois. (s.d.)(2014). Algorithme génétique. edition Brique MOD.
- : MVUH Joseph Léonard. (s.d.)(2016).
- Beatrice Ombuki, Brian J.Ross and Franklin Hanshar. (2004, february 04). MULTI-OBJECTIVE GENETIC ALGORITHMS FOR VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS. p. 24.
- Brice GONIER, Kevin DUBOT, Florent GENESTE,(2003). les moteurs Diesel

- Bruno SARENI. (1999). METHODES D'OPTIMISATION MULTIMODALES ASSOCIEES A LA MODELISATION NUMERIQUE EN ELECTROMAGNETISME. LYON : HAL.
- C.Habert et R.Garnier. (2014). health effect diesel exhaust : state of the art. paris : Elsevier masson SAS.
- D. Goldberg. (1994). Algorithmes génétiques. Addison Wesley.
- Eckart Zitzler et Simon Künzli. (2004). Indicator-Based Selection in Multiobjective search. Xin Yao et al. : PPSN VIII.
- Erick Labrousse et Route de Guitres. (2017). pollution atmosphérique. Bruxelles : APPANPC.
- François BOIS. (s.d.)(2013). REDUCTION DE LA POLLUTION D'UN MOTEUR DIESEL. THULLE : AUBERT MAXIME SUP.
- François RAMADE. (s.d.). UNIVERSALIS. Consulté le septembre 07, 2018, sur Tout universalis : <http://www.universalis.fr/encyclopedie/pollution/>
- Généralités sur la modélisation de dispersion atmosphérique des fumées d'incendie. (2012). SAFEGE (Ingénieurs conseils).
- Harpreet Kaur, Manpreet Singh, Harnam Singh Farwaha . (2015). ECONOMIC LOAD DISPATCH CONTAINING LOSS COEFFICIENT. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET).
- Henry Mansour Z. (s.d.). moteurs thermiques. thermo propulsion 1.
- JD. (2008). tutoriel algorithme génétique. ELEC2311. projet.
- LAROUSSE. (2007). paris : INC.

- laurent MOALIC. (2013). MODÉLISATION DYNAMIQUE DE LA DENSITÉ DE POPULATION VIA LES RÉSEAUX CELLULAIRES ET OPTIMISATION MULTIOBJECTIF DE L'AUTO-PARTAGE. Belfort : Université de Franche-Comté (UFC).
- M. Y. BOUROUBI-UdeM. (s.d.). MATLAB : Logiciel de calcul scientifique et langage de programmation. www.Mcourscom.
- Marie Postel. (2004). Introduction au logiciel Matlab. Laboratoire Jacques-Louis Lions, Université Pierre et Marie Curie.
- Mouadh Yagoubi. (2012). Optimisation évolutionnaire multi-objectif parallèle : application à la combustion Diesel. PARIS SUD : UNIVERSITÉ PARIS SUD XI.
- N. Diaf, M Bouchaour, L. Merad et B. Benyoucef. (2003). paramètres influençant dans la dispersion des polluants. Tlemcen : ICPWE.
- PAN Sovanna. (2005). généralités sur les moteurs thermiques. ITC/GIM.
- Pasteau Etienne, Perez Benoît, Teulière Elsa. (2015). ATELIER : LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE. CERES-ERTI(Centre d'Enseignement et de Recherche sur l'Environnement et la Société .
- SYCOMOREEN. (s.d.). approche thermodynamique des rendements des moteurs à allumage commandé et des moteurs à allumage spontané.
- terre-net media. (2014, mai 14). terre-net . Consulté le août 30, 2018, sur linkinfarm : [https ://www.terre-net.fr/materiel-agricole/tracteur-quad/article/une-huile-haut-de-gamme-contre--usure-des-moteurs-207-120](https://www.terre-net.fr/materiel-agricole/tracteur-quad/article/une-huile-haut-de-gamme-contre--usure-des-moteurs-207-120)

Annexe

ANNEXE function $W = objfun(K)$

T=[20;17;8;16;20;16;16;10;20;16;14;19;18;8;20;20;15;7;13];

V=200;

alpha=107.35;

beta=1.8;

k=K(1,2);

X=[2.5;5;4;6.3;1;2;1.5;7;5;4.5;8;0.5;3.6;5;8;4.8;7;9.5;2];

X=zeros(19,1);T=zeros(19,1);W=zeros(19,1);Q=zeros(13,1);

for e=1 :19

W(e,1)=alpha.*V+(beta.*X(k,1).*T(k,1))+W(e,1);

end

disp('W')

disp(W);

for i=1 :13

Q(i,1)=W(19,1);

```
end

disp('Q')

disp(Q);

T=[20;17;8;16;20;16;16;10;20;16;14;19;18;8;20;20;15;7;13];

V=200;

alpha=0.563;

beta=1.8;

X=[2.5;5;4;6.3;1;2;1.5;7;5;4.5;8;0.5;3.6;5;8;4.8;7;9.5;2];

X=zeros(19,1);T=zeros(19,1);W=zeros(19,1);S=zeros(6,1);Q=zeros(13,1);

for e=1 :19

W(e,1)=alpha.*V+(beta.*X(k,1).*T(k,1))+W(e,1);

end

disp('W')

disp(W);

for i=1 :13

Q(i,1)=W(19,1);

end

disp('Q')

disp(Q);

for c=1 :6
```

$S(c,1)=Q(13,1);$

end

disp('S')

disp(S);