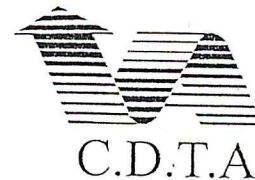
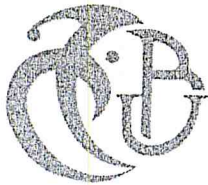


MA-510-31-1

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique  
Université SAAD DAHLAB de Blida



Faculté des Sciences  
Département de Mathématiques

Projet de Fin d'étude  
Pour l'obtention du Diplôme de  
Master en Recherche Opérationnelle

T h è m e

---

*Optimisation et Mutualisation des Ressources des  
Projets de Recherche ,Développement et  
Innovation (R&D&I) du CDTA*

---

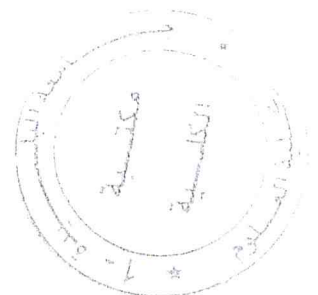
Présenté par :

Mlle.Khedidja OUKALI

Devant le Jury :

Président : Dr. O.TAMI (USDB)  
Examineur : Pr. F. HANNANE (USDB)  
Promoteur : Dr. H. ELMOSSAOUI (USDB)  
Encadreur : Dr. S. TAGZOUT (CDTA)

Soutenu le : 09 Juin 2016



MA-510-31-1

# Remerciements

*Louange à Allah,  
Clément et Miséricordieux,  
sans lui rien de tout cela n'aurait pu être.*

.....

*Je témoigne une reconnaissance particulière pour mon promoteur de l'USDB, que Mr. Hichem ELMOSSAOUI reçoit l'expression de toute ma reconnaissance pour ses précieuses contributions, conseils et orientations ainsi que ses aimables corrections et ses apports avantageux sur ce mémoire.*

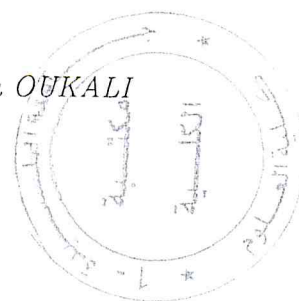
*Je tiens à exprimer toute ma gratitude et remerciements à mon encadreur le directeur du CDTA Dr. Samir TAGZOUT, pour son aimable disponibilité ainsi que le temps et la patience qu'il m'a accordé.*

*Mes plus sincères remerciements vont aux membres de la commission et jurys pour avoir suivi ce travail.*

*Mes remerciements les plus vifs vont tout particulièrement au Chef de Département Mathématiques Mr. Omar TAMI ainsi que tous les enseignants qui ont contribué de près ou de loin à notre formation universitaire.*

*Enfin, un grand merci à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail ainsi que pour les encouragements constants qu'ils m'ont prodigués.*

Khedidja OUKALI



# *Dédicace*

*Je remercie Dieu de nous  
avoir donné la force et la  
volonté de mener  
ce projet  
à terme*

*Alpha Tongo Oscar Uniform Sierra Charli Eko Uniforme X-ray  
Quebec Unoform India Mike Eko Sierra Oscar November Tongo  
Charli Hotel Eko Romeo Sierra*

*Je dédie ce travail*

*Khedidja OUKALI*

# Table des matières

Préambule	9
Introduction Générale	11
<b>1 Présentation du CDTA</b>	<b>13</b>
1.1 Historique du CDTA	13
1.2 Missions et objectifs du CDTA	14
1.3 Les axes de recherche du CDTA	15
1.4 L'organisation du CDTA	15
1.4.1 Description du Département de Procédés Technologiques Avancés et Gestion des Projets	17
1.4.2 Présentation du service Gestion et Suivi des Projets de Recherche	17
1.5 Les Ressources du CDTA	19
1.6 Le Réseau de coopération du CDTA	20
1.7 Jem-Euso Algérie :Un exemple des travaux du CDTA	20
1.8 Conclusion	21
<b>2 Problématique</b>	<b>22</b>
2.1 Politique actuelle du CDTA	22
2.2 Position du problème	23
2.3 Objectifs de notre étude	27
2.4 Conclusion	28
<b>3 Modélisation Mathématique du Problème</b>	<b>29</b>
3.1 Proposition des hypothèses de résolution	29
3.1.1 Enquête de recensement des ressources existantes	29
3.1.2 Centralisation des ressources recensées	30
3.1.3 Récolte de ressources demandées par les nouveaux projets	30
3.1.4 Planification annuelle des ressources recensées	31
3.1.5 Gestion dynamique des ressources	32
3.2 Conception du modèle mathématique	33
3.2.1 Données du problème	33
3.2.2 Variables de décision suggérées	34
3.2.3 Les Objectifs ciblés	35
3.2.4 Les différents types de contraintes	36
3.3 Récapitulatif du modèle mathématique	38
3.4 Évaluation et critiques du modèle mathématique	38
3.4.1 Nombre de variables	38
3.4.2 Caractéristiques importantes du modèle	40

4	Approches de résolution	41
4.1	Généralités sur les heuristiques	41
4.2	Les méta-heuristiques et leurs concepts	42
4.3	Les métaheuristiques les plus connues	44
4.3.1	Algorithmes de colonies de fourmis	44
4.3.2	Recuit simulé	45
4.3.3	Recherche Tabou	47
4.3.4	Algorithmes évolutionnaires	47
4.4	Algorithmes évolutionnaires (génétiques)	47
4.4.1	Analogie avec la biologie	48
4.4.2	Principe de l'algorithme	51
4.4.3	Critère d'arrêt	53
4.4.4	Codage d'un algorithme génétique	53
4.4.5	Les conditions du problème	54
4.4.6	Les limites	54
4.5	Conclusion	55
5	Présentation des méthodes de résolution	56
5.1	L'Heuristique	56
5.1.1	Justification du choix	56
5.1.2	Principe d'application	57
5.1.3	Le principe de l'heuristique « Affection Ressources »	57
5.2	La Méthode évolutionnaire	59
5.2.1	Justification de l'utilisation de NSGA II	59
5.2.2	Stratégie d'application de NSGA II	59
5.2.3	Une itération de NSGA II	60
5.2.4	Calcul des distances de surpeuplement (crowding distances)	60
5.2.5	Complexité de NSGA II	61
5.2.6	Avantages de NSGA II	62
5.2.7	Désavantages de NSGA II	62
5.3	Adaptation de NSGA II à notre problème	62
5.3.1	Représentation d'une solution	63
5.3.2	Création de la première population	63
5.3.3	Classement par fronts	65
5.3.4	Distance de crowding	66
5.3.5	Sélection pour le remplacement	66
5.3.6	Sélection pour la reproduction	67
5.3.7	Description de l'opérateur de croisement	67
5.3.8	Description de l'opérateur de mutation	70
5.4	Conclusion	71
6	Logiciel :CDTA RESSOURCES 1.0	72
6.1	L'Environnement de programmation DELPHI	72
6.2	Présentation du logiciel CDTA RESSOURCES 1.0	74
6.3	Les résultats du logiciel CDTA RESSOURCES 1.0	86
	Conclusion Générale	87
	Bibliographie	88

Annexe A	91
Annexe B	93
Annexe C	94

# Table des figures

1.1	Organigramme du CDTA . . . . .	16
1.2	Departement des Procédés Technologiques Avancés . . . . .	18
1.3	Organigramme Service Gestion & Suivi des Projets de R&D . . . . .	18
1.4	Le Robot Mobile ATRV2 & Le Robot Mobile B21R. . . . .	19
1.5	Réacteur Plasma Grand Volume à couplage inductive. . . . .	20
1.6	Jem-Euso Algérie. . . . .	21
2.1	Organigramme de la Division Productique & Robotique 2014_2016. . . . .	23
2.2	Comparaison du nombre d'effectifs par Grade du CDTA entre 2008 & 2014. . . . .	24
2.3	Prévision de recrutement par Grade pour l'année 2015. . . . .	25
2.4	Plateforme CDTA_PDP_Sharepoint 2003. . . . .	26
3.1	Hypothèses de résolution de la problématique. . . . .	30
3.2	Demande en matériels du projet CDTA-IMAREV équipe IRVA 2014 2016. . . . .	31
3.3	Demande en RH du projet IPLS Division DPR 2014 2016. . . . .	31
4.1	Classification générale des méthodes d'optimisation. . . . .	43
4.2	Comportement des Fourmis . . . . .	45
4.3	Surface convexe . . . . .	46
4.4	Surface non convexe . . . . .	46
4.5	Organigramme de l'algorithme génétique . . . . .	48
4.6	Représentation schématique du croisement en un point . . . . .	49
4.7	Représentation schématique du croisement en deux points . . . . .	50
4.8	Représentation schématique du croisement avec masque . . . . .	50
4.9	Représentation schématique de la mutation . . . . .	51
5.1	Densité de surpeuplement et distance de crowding. . . . .	62
5.2	Schéma d'un vecteur représentant une solution. . . . .	63
6.1	Code sources de DELPHI 7. . . . .	73
6.2	Interface graphique de DELPHI 7. . . . .	73
6.3	Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant . . . . .	74
6.4	Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant . . . . .	75
6.5	Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant . . . . .	75
6.6	Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant . . . . .	76
6.7	Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Installer . . . . .	76
6.8	Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Terminer . . . . .	77
6.9	Page d'Aceuil de CDTA RESSOURCE 1.0. . . . .	77
6.10	Memoire Master en format PDF de CDTA RESSOURCE 1.0. . . . .	78
6.11	Recherche Google via CDTA RESSOURCE 1.0. . . . .	78

6.12	Résumé du memoire CDTA RESSOURCE 1.0 . . . . .	79
6.13	Contact CDTA RESSOURCE 1.0 . . . . .	79
6.14	Menu principal de CDTA RESSOURCES 1.0 . . . . .	80
6.15	GESTION DES EQUIPEMENTS CDTA RESSOURCES 1.0 . . . . .	81
6.16	GESTION DES PROJETS CDTA RESSOURCES 1.0 . . . . .	81
6.17	DUREE ENTRE PROJETS CDTA RESSOURCES1.0 . . . . .	82
6.18	PLANNING ANNUEL CDTEA RESSOURCES 1.0 . . . . .	83
6.19	TRI EQUIPEMENTS CDTA RESSOURCES 1.0 . . . . .	83
6.20	AFFECTATION AUTOMATIQUE . . . . .	84
6.21	AFFECTATION NSGA II . . . . .	85
6.22	AFFECTATION NSGA II . . . . .	85
6.23	PARAMETRES NSGA II . . . . .	86
6.24	les démissions du CDTA entre 2008 et 2014 . . . . .	91
6.25	les détachements du CDTA entre 2008 et 2014 . . . . .	91
6.26	les departs en retraite du CDTA entre 2008 et 2014 . . . . .	92
6.27	l'effectifs du CDTA entre 2008 et 2014 . . . . .	92
6.28	RESULTATS CDTA RESSOURCES 1.0 . . . . .	94



# Préambule

L'industrie, les pouvoirs publics et diverses parties prenantes dans le monde entier reconnaissent l'importance de la recherche menée au sein des établissements de recherche, développement et de l'enseignement supérieur, et même plus, on leur associe le pouvoir de production de nouvelles idées, savoir et connaissances, et considérée comme un levier pour l'économie.

En même temps, les entités de recherche et développements sont confrontées à l'évolution rapide de leur environnement résultant des contraintes de financement, de l'importance accordée à l'assurance qualité et de l'impact de la mondialisation, de la commercialisation des nouvelles technologies.

Les dépenses sur la Recherche, le Développement et l'Innovation (R&D&I) sont devenues un critère de concurrence entre les puissances mondiales, je cite que dans un rapport consacré à l'innovation diffusé par l'OCDE (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) [23] la Chine sera au premier rang dans les dépenses R&D&I pour l'horizon 2019. On parle alors de centre de gravité de l'innovation qui se déplace vers le pays au soleil levant, elle s'est fixée pour objectif de consacrer 2,5% de son PIB (Produit Intérieur brut) à l'innovation en 2020, devrait accéder au premier rang mondial des dépenses de R&D&I, au moment où l'empire du milieu ont doublé les dépenses de R&D&I entre 2008 et 2012. Les économies développées (Europe, Etat Unis) étaient affectées par la crise économique. Les talents du monde entier sont attirés par l'Asie, Taïwan, la Chine et la Corée du sud - les pays du monde qui consacrent la part la plus importante de son PIB à l'innovation - «figurent parmi les principales destinations des auteurs scientifiques venus des Etats-Unis», remarque l'OCDE. Ces trois zones géographiques ont connu «un apport net de matière grise entre 1996 et 2011», malgré l'importante migration parallèle de chercheurs asiatiques vers les pays de l'OCDE. «Cette redistribution à la tête du monde scientifique est visible dans les brevets et publications», note l'institution. [23]

Ceci est une petite projection de l'état actuel et prévisionnel des cinq années à venir du domaine R&D&I à l'échelle mondiale, cette situation d'évolution et de concurrence imposée fait ressortir la nécessité pour les pays du monde entier de gérer efficacement leurs fonds au service des entités de la R&D&I ainsi que les établissements d'enseignement supérieur et universitaires.

Pour l'Algérie, le budget alloué à la recherche scientifique, au titre du quinquennat 2010-2014, est de 100 milliards de DA. Ce budget représente à peine 0,63% du produit intérieur brut (PIB) du pays. Il faut additionner les budgets de fonctionnement et d'équipement à celui du Fonds national de la Recherche Scientifique et du Développement Technologique (FNRSDT) pour parvenir à un PIB de 0,63%, ce qui représente uniquement le budget de trois universités américaines. L'objectif sera d'atteindre 1% du PIB, qui restera encore loin de la moyenne de certains pays émergents, qui tourne autour de 1,5%. Le financement de la recherche scientifique pour 2011 avoisine les 30 milliards de DA. Cette enveloppe est censée permettre de mener à terme les pro-

jets de construction de 846 laboratoires que nécessite le plan de développement jusqu'à 2014. [26]

Ces dernières années la situation de l'Algérie n'étant pas l'une des meilleurs malheureusement, elle ne cesse de se dégrader surtout avec la chute du prix du gaz et pétrole et l'annonce de l'austérité pour l'année 2016 , un pays où plus de 95% de son PIB viens de l'exportation de ressources énergétiques et matières premières et où on déploie l'absence de chercheurs et scientifiques algériens disposant de compétences avérées dans la dynamique du développement du pays. Toutes ces contraintes poussent l'Algérie à bien réviser sa politique de dépense et à bien orienter son économie vers la production et l'industrie.

# Introduction Générale

La qualité des ressources est un des principaux facteurs de la compétitivité des pays, que ce soit une simple main d'oeuvre ou un docteur classe A , un équipement industriel hyper cher ou une petite machine, le fait de pouvoir disposer d'une ressource à forte densité de compétences dans son domaine ,constitue un avantage majeur pour les entreprises comme pour les organisations publiques, vu la vitesse du développement que connaît l'économie et ceci grâce à l'introduction et la généralisation de nouvelles technologies.

Souvent négligé depuis l'avènement de l'automatisation dans l'étude des systèmes de production, l'impact de l'entité humaine sur le fonctionnement de l'entreprise semble aujourd'hui indiscutable. Ses capacités cognitives en font encore, et pour longtemps, un facteur incontournable des processus industriels. Cependant, les capacités et les comportements de l'homme sont au bas de l'introduction de nouveaux critères permettant de reconnaître une compétence professionnelle au-delà de la seule qualification du poste. De nouveaux critères d'évaluation de ce dernier apparaissent.

Cependant le plus important c'est : Comment assurer une bonne utilisation de ces trésors ? Quel est le meilleur moyen pour une gestion efficace ? Comment tirer profit de ces biens ? Peut-on les mutualiser ? . . . etc Les problèmes de gestion et mutualisation des ressources humaines et matériels restent un point très important dans l'organisation de la société.

Au niveau opérationnel (court terme), les approches d'allocation des ressources doivent, en théorie du moins, intégrer un grand nombre de contraintes.

La Recherche Opérationnelle (R.O.) qui est une discipline qui vise à résoudre par une démarche scientifique des problèmes de décision complexes issus du monde réel. Sa vocation est donc de construire des modèles pour des problèmes généraux d'aide à la décision, en particulier les problèmes d'optimisation , de proposer des méthodes de résolution des problématiques définies sur ces modèles.

Le problème d'allocation et planification des ressources ou appelé aussi problème d'affectation est un classique dans la Recherche Opérationnelle.

Dans le contexte de la préparation d'un mémoire de fin d'étude, on va tenter de proposer des solutions pour la gestion des ressources et équipements de la R&D&I du CDTA dans l'objectif d'assurer une bonne politique de mutualisation de ses ressources.

Nous procéderons d'abord dans ce document à la présentation de l'établissement d'accueil, à savoir le CDTA ; nous évoquerons ses récentes réalisations, l'essentiel de ses clients, son potentiel humain et matériel de production, nous schématiserons brièvement son organisation interne

et nous évoquerons la gestion de son patrimoine de machines de production à travers ses projets.

Une deuxième partie consistera en l'exposé des difficultés de gestion de ces ressources du point de vue investissement et des conséquences négatives engendrées non seulement sur la production scientifique et technologique mais aussi sur la qualité de l'environnement du travail. Quelles seraient les mesures à prendre vis-à-vis de ces difficultés, en reconsidérant la politique de travail adoptée, dans le but d'améliorer les performances du Centre face à ses objectifs et aux attentes de la nation ?

Dans un troisième chapitre, nous aborderons la modélisation mathématique de la problématique évoquée dans le deuxième chapitre ; nous donnerons alors un modèle simple et représentatif pour la détermination de solutions au problème posé.

Le quatrième chapitre passera en revue les notions de base de l'optimisation multi-objective ; nous y donnerons ainsi certaines définitions de termes importants dans cette branche de l'optimisation combinatoire. Cette partie s'articulera autour des différentes méthodes de résolution envisageables face aux problèmes d'optimisation multicritère, comme les heuristiques et les méta-heuristiques.

Un cinquième chapitre exposera nos choix de méthodes de résolution et expliquera de façon plus précise les étapes de l'adaptation des méthodes retenues pour la résolution.

Enfin, la présentation d'un logiciel élaboré à la base de cette étude sera faite dans une sixième et dernière partie.

# Chapitre 1

## Présentation du CDTA

La fuite des cerveaux est un phénomène que même les pays développés en souffrent mais avec un taux très faible comparant aux pays en voie de développement comme l'Algérie, d'ailleurs, comme d'autres la décrivent : C'est une véritable hémorragie. Le chercheur Ahmed Guessoum a déclaré lors d'une conférence à Média qu'enivrant 71500 diplômés universitaires ont quitté l'Algérie entre 1994 et 2006 . " La priorité actuelle est de créer des centres de recherche scientifique pour accueillir les chercheurs après leur cursus universitaire" telle est la déclaration de l'ancien ministre Mr R. HRAOUBIA dans un communiqué de presse [4] , ceci n'est qu'un point qui décrit la nouvelle politique que mène l'Algérie contre ce phénomène et une des solutions pour garder ces élites ,ceci montre à quel point ces institutions sont importantes pour chaque nation. En octobre 2015 Mr H.Aourag affirme que la recherche en Algérie a commencé à reprendre quelques couleurs, notamment à la suite du retour de l'étranger de flux importants de chercheurs et d'universitaires. « Plus d'une centaine parmi eux, précise-t-il, est déjà revenue travailler dans nos centres ».[26]

D'après les dernières statistiques que la DGRSDT a annoncées en juillet 2015, l'Algérie compte : 48 universités, 1386 laboratoires de recherche, 12 centres de recherche, Le CDTA en est un, on le présentera dans ce chapitre en tant que structure d'accueil où on a effectué notre stage pratique, dans l'objectif d'enrichir notre expérience et nous offrant la chance de mettre en œuvre nos connaissances théoriques et de voir leurs résultats en pratique.

### 1.1 Historique du CDTA

Dans leur livre "L'université algérienne et la recherche scientifique" , Benzaghout et Mahiou ont cités que la création du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS) aux années 70 était comme la toute première tentative, après l'indépendance, d'organiser la recherche en Algérie, suivie du Conseil Provisoire de la Recherche Scientifique (CPRS) en 1971 et de l'Office National de la Recherche Scientifique (ONRS) en 1973. Sachant que la première activité de recherche était des initiatives individuelles faites par des groupes informels non organisés touchant à la recherche médicale, les sciences sociales et fondamentales sauf que pour la recherche scientifique pour les filières technologiques n'a commencé à se développer qu'avec la création du Commissariat aux Energies Nouvelles (CEN) en 1982 . Après d'importants recrutements de chercheurs à partir de 1986, l'action du CEN, relayée par le Haut-Commissariat à la Recherche (HCR), a permis la création de plusieurs structures dans le domaine des technologies avancées, le CDTA était une de ces structures.

Le Centre de Développement des Technologies Avancées, plus connu sous le sigle du CDTA,

son siège actuel se situe à Baba Hassen, Alger Oucst. C'est un Etablissement Public à caractère Scientifique et Technologique (EPST) sous la tutelle du MESRS. Il est compté parmi les plus grands organismes publics algériens de la recherche scientifique. C'est le 22 mars 1988 qu'il passe du statut d'Unité de Recherche du Commissariat aux Energies Nouvelles, à celui de Centre de Recherche et de Développement sous la tutelle du Haut-Commissariat à la Recherche par le décret présidentiel N 88-61.

On cite les événements phares qui ont marqué le CDTA :

- Le 29 Novembre 1988, L'organisation interne du CDTA est fixée par arrêté interministériel :
  1. Départements de support à la recherche :
    - Formation et information scientifique.
    - Administration et Moyens.
    - Etudes et Moyens Techniques.
  2. Départements de recherche et développement :
    - Cybernétique.
    - Milieux Ionisés.
    - Microélectronique.
- Le 01 Décembre 2003, le Décret exécutif n 03-457 modifie et complète le décret N 88-61 du 22 mars 1988 portant sur la création du Centre de Développement des Technologies Avancées et passage du Centre au statut d'Etablissement Public à Caractère Scientifique et Technologique.
- Le 02 septembre 2006, un Arrêté interministériel portant organisation interne du Centre de Développement des Technologies Avancées.
- 08 novembre 2007, une Arrêté interministériel complétant l'arrêté interministériel du 02 septembre 2006 portant sur l'organisation interne du Centre de Développement des Technologies Avancées et relatif aux activités de l'Unité de Développement de la Technologie le du Silicium.
- Le 15 Mars 2011 une unité de recherche en photonique et optique UROP (sise à Sétif) a été créé et rattachée au Centre de développement des technologies avancées [Arrêté ministériel N 143]. [3].

## 1.2 Missions et objectifs du CDTA

Comme toute institution de recherche au monde, la mission majeur du CDTA est de produire du savoir et mettre celui-ci au service de la société , sauf que ce savoir est bien cerné par des domaines bien précis auxquels le CDTA s'y intéressent .comme l'indique son nom, le CDTA portaient sur la prise en charge des travaux de recherche scientifique, de développement technologique, de valorisation et de formation dans les domaines des sciences et des technologies de l'information, des technologies industrielles et de la robotique, des dépôts et des traitements des matériaux, des applications et des technologies des lasers.

De la physique aux mathématiques, des mathématiques à l'électronique, de l'électronique à l'optique, le CDTA mène une politique de décloisonnement entre les disciplines et démolit le transfert des données, il stimule les coopérations entre les sciences en créant des équipes de recherche dont les membres issus de divers domaines, ainsi il favorise le passage du savoir à travers les barrières disciplinaires.

Un autre objectif est de progresser dans le classement aux niveaux nationales et internationales sachant qu'il a occupé la 11<sup>ème</sup> place en 2012 à l'échelle nationale et 3<sup>ème</sup> en 2014, (la dernière déclaration de la direction de valorisation, DGRSDT).

### 1.3 Les axes de recherche du CDTA

Le spectre des Technologies Avancées étant très large, un ordonnancement prioritaire dans le choix de ces domaines s'est imposé. Le critère fondamental demeure l'utilisation de l'action de recherche et développement comme facteur de développement socio-économique. C'est ainsi que les domaines pris en charge par le CDTA sont essentiellement l'architecture des systèmes, la microélectronique, la robotique/productique et les milieux ionisés.

Dans le cadre de l'accomplissement de ces missions, les actions menées par le CDTA s'articulent autour des axes suivants :

- L'architecture des systèmes et multimédia : en particulier, les systèmes d'information et les entrepôts de données ; la e-santé, le e-gouvernement et la e-maintenance ; les architectures, l'arithmétique pour les algorithmes sériels et parallèles ; la cryptographie et la compression des images médicales ; l'instrumentation et les équipements spécialisés en santé, industrie, énergie, environnement ; les systèmes multimédia alliant la parole, le script, l'image et la voix ; les réseaux de transmission et de restitution de données, de la voix et de l'image ; et la sécurité informatique.
- La productique et la robotique : en particulier, les systèmes automatisés de production, les ateliers flexibles, la vision artificielle et la CFAO, la technologie et la commande des robots, la robotique mobile et les robots manipulateurs.
- Le dépôt de couches minces par plasma et par ablation laser : notamment la fabrication de réacteurs ; la caractérisation des dépôts par la diffraction à rayons X et le Meb.
- Les lasers : en particulier le traitement des matériaux par laser, la fabrication des lasers solides, à gaz et colorants, et leurs applications industrielles, médicales, de mesure et d'instrumentation.
- Les milieux ionisés : notamment la spectroscopie des plasmas froids et poudreux ; les phénomènes d'absorption d'une onde laser par plasma et d'ablation laser, les phénomènes de transport, l'interaction laser-matière, l'instabilité et les plasmas de décharge.

### 1.4 L'organisation du CDTA

Les projets de recherche émanant des axes cités ci-dessus sont exécutés par vingt (20) équipes de recherche organisées au sein de cinq divisions de recherche et deux unités de recherche se localisant à l'université de Sétif et soutenues par trois (03) départements de soutien technique et administratif, un atelier prototypage et une centrale technologique. Voir la figure 1.1

Les divisions de recherche et de développement technologique :

- Division Architecture des Systèmes et Multimédia (DASM).
- Division Microélectronique et nanotechnologie (DMN).
- Division Milieux Ionisés et Laser (DMIL).
- Division Productique et Robotique (DPR).
- Division Telecom (DTELECOM)

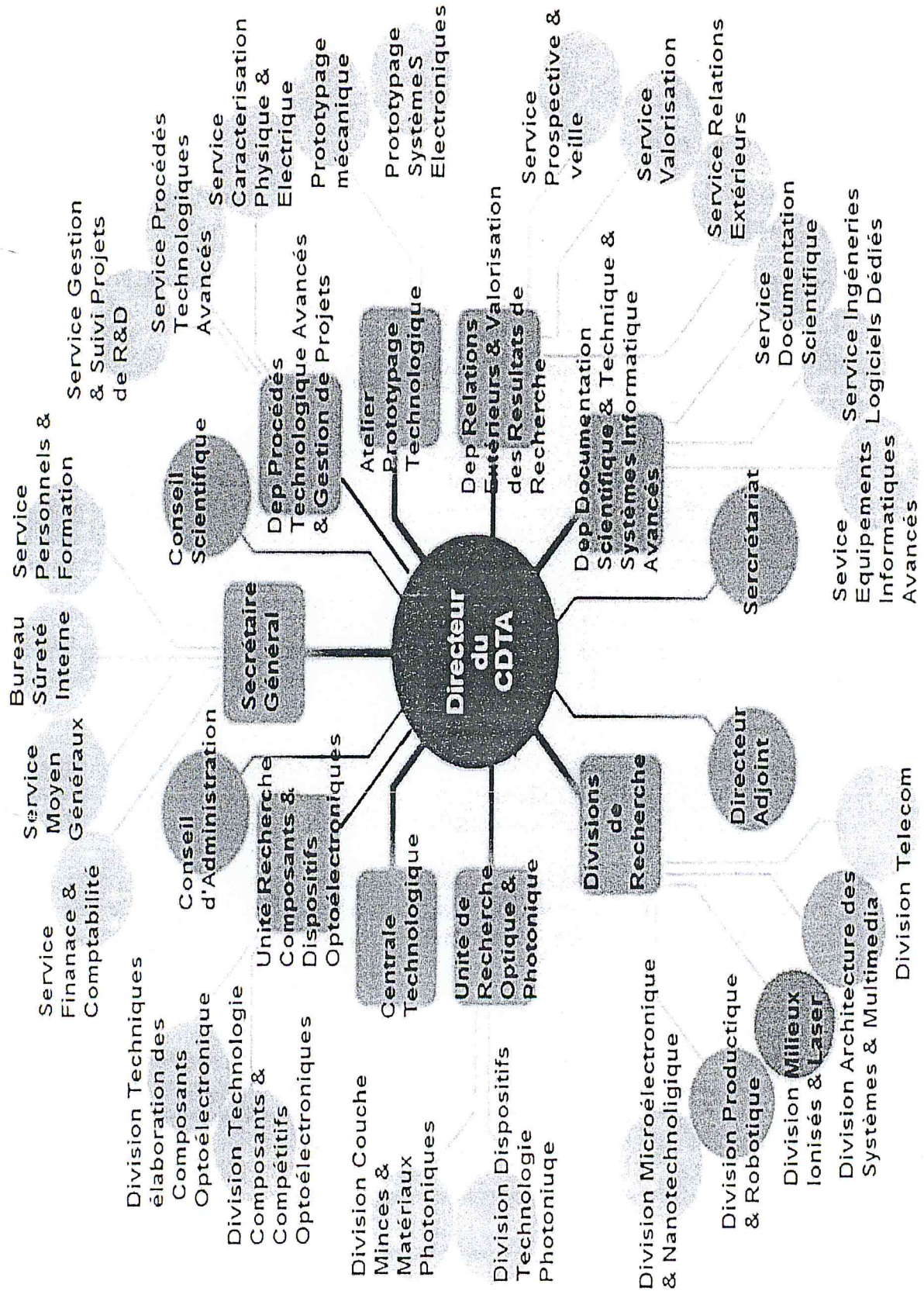


FIGURE 1.1 – Organigramme du CDTA .



Les unités de recherche de Sétif

- UROP
- UNESD

Les départements de soutien à l'activité de recherche en :

- Procédés Technologiques Avancés et Gestion de Projets.
- Relations Extérieures et Valorisation des Résultats de la Recherche.
- Documentation Scientifique et Technique et Systèmes Informatiques Avancés.

La thématique de notre projet a été proposée par le service gestion et suivi des projets de recherche du département procédés technologiques avancés et gestion des projets.

#### 1.4.1 Description du Département de Procédés Technologiques Avancés et Gestion des Projets

Le département de procédés technologiques avancés et gestion des projets de recherche comprend : voir la figure 1.2 :

- Le service des procédés technologiques avancés.
- Le service de gestion et suivi des projets de recherche.
- Le service de caractérisation physique et électrique. Voir la figure

Le département est chargé de :

- Elaborer des mesures incitatives au dépôt de brevets et à la publication des résultats ;
- Mettre à la disposition des divisions de recherche tous les moyens technologiques de fabrication et de développement nécessaires à leurs activités ;
- Assurer la maintenance des équipements scientifiques et moyens technologiques, notamment dans les domaines de l'électronique, de la mécanique, du verre, de la cryogénie et des circuits imprimés.

#### 1.4.2 Présentation du service Gestion et Suivi des Projets de Recherche

Créé en 2014, le service Gestion et Suivi des Projets de Recherche est chargé d'élaborer les pratiques et les principes de gestion et de suivi des projets de recherche au sein du CDTA. Le service a pour mission l'analyse et la programmation des besoins ainsi que le suivi de l'exécution des projets de Recherche et Développement. Le service a pour objectifs, d'une part, la mise en œuvre des mécanismes et des outils qui permettent aux chefs de projets de gérer leurs projets de façon optimale selon des modèles et principes établis, d'une autre part, de mettre à disposition au haut management du Centre des analyses et des statistiques des projets et de leurs évolution.

Le service est constitué de deux sections :

##### 1) Section Analyse et Programmation des Besoins des Projets de Recherche/Développement :

A pour mission de gérer l'information relative aux projets du CDTA à travers la plateforme CDTA-PDP. La section est notamment chargée d'établir des statistiques, d'analyser et de recenser les besoins en moyens humains et matériels des différents projets et de proposer/programmer les actions futures à mener.

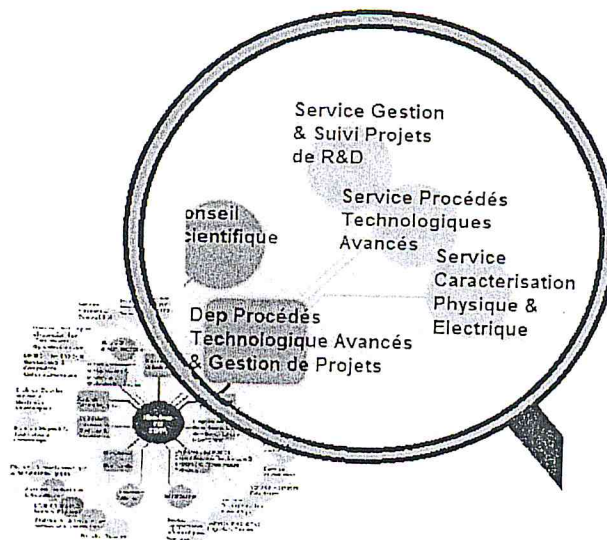


FIGURE 1.2 – Département des Procédés Technologiques Avancés .

- 2) Section Management de Suivi de l'Exécution des Projets de Recherche /Développement :

A pour mission de mettre en place un système de gestion de projets adapté au contexte des projets de Recherche et développement du CDTA. La section est notamment chargée d'établir les bonnes pratiques de gestion de projets à travers un ensemble d'outils et de supports permettant un suivi et une évaluation régulières de projets.

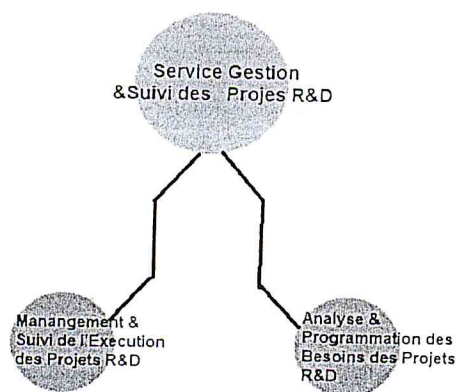


FIGURE 1.3 – Organigramme Service Gestion & Suivi des Projets de R&D .

L'organigramme du service gestion et suivi des projets de recherche est donné comme suit : Voir la figure 1.3

Objectifs du service :

- Réunir les éléments nécessaires à l'identification des projets de recherche ainsi que les données permettant leur programmation, leur exécution et leur évaluation .
- Impulser et favoriser l'assimilation, la maîtrise le progrès des sciences et techniques ainsi que l'innovation technologique dans son domaine d'activités .
- Assurer une veille scientifique et technologique en rapport avec son objet .
- Rassembler et traiter l'information scientifique et technique et en assurer la conservation et la diffusion .
- Contribuer à la valorisation des résultats de la recherche en veillant notamment à leur diffusion, à leur exploitation et à leur utilisation.
- Assurer la coordination, le suivi et l'évaluation des unités, des laboratoires et des équipes de recherche.

## 1.5 Les Ressources du CDTA

Le CDTA possède un grand patrimoine et ressources en équipements de recherche et développement, une ressource humaine spéciale et riche qu'on ne trouve pas dans n'importe quelle entreprise entre Directeur de Recherche et Docteur classe A , Attaché de Recherche et Ingénieur de Soutien à la Recherche . Le CDTA comporte plus de 500 employés toutes catégories confondues. Je cite que parmi les objectifs de la création des centres de recherche en Algérie était plus pour récupérer la matière grise algérienne qui se trouve dans des entités de recherche étrangère. Le cdta a réussi à attirer beaucoup d'entre eux .

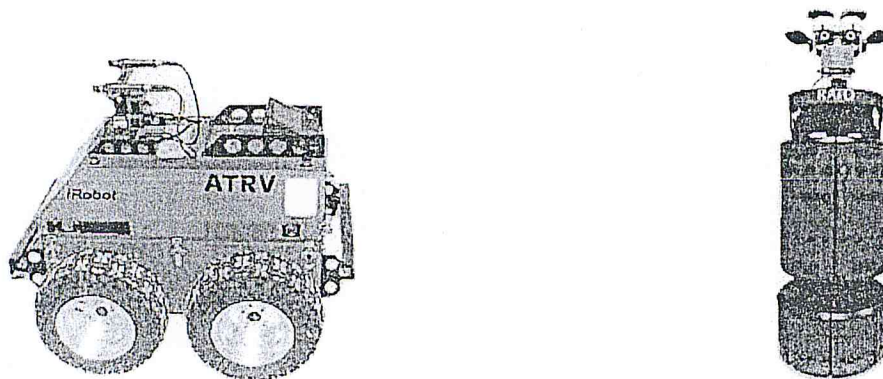


FIGURE 1.4 – Le Robot Mobile ATRV2 & Le Robot Mobile B21R.

Le CDTA possède une plateforme Technologique [18] qui est en cours de construction afin de centraliser les équipements de recherche et de rationaliser leurs utilisation dans l'objectif d'instaurer une politique de mutualisation des ressources. Les figures 1.4 et 1.5 sont des échantillons des équipements de recherche du centre.

Le CDTA se dote d'un centre de documentation accessible via son portail , voir [16] , dont on regroupe tous les travaux du CDTA entre publications, ouvrages, brevet et conférence.

Cette partie sera illustré plus en détail dans les chapitres qui suivent puisqu'on traite l'optimisation dans la gestion de ces ressources.

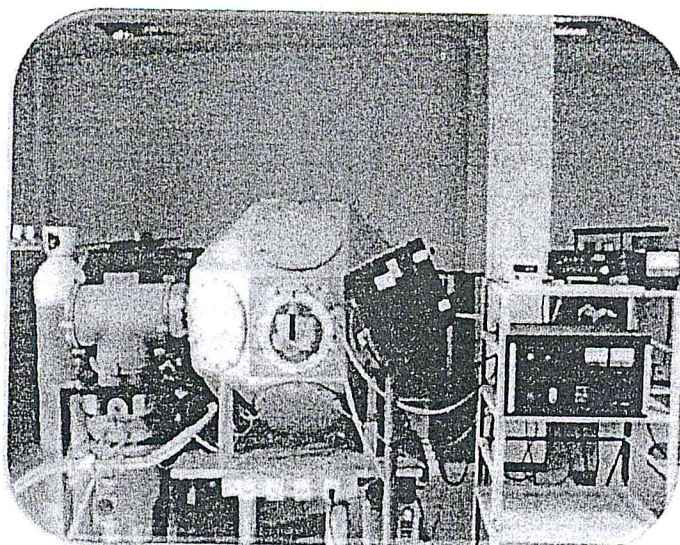


FIGURE 1.5 – Réacteur Plasma Grand Volume à couplage inductive.

## 1.6 Le Réseau de coopération du CDTA

Le CDTA est un centre ouvert à l'international ; un fait qui donne à ses chercheurs la possibilité d'accéder au niveau du standard international en termes d'échanges et de coopération ; Plusieurs conventions de coopération scientifique et technique sont en cours d'exécution avec les établissements de recherche des pays suivants : France, Allemagne, Afrique du Sud, Tunisie, Maroc, Canada, Irlande, Corée du Sud, Pologne, Espagne, Belgique, Malaisie, USA, HongKong et Canada.

En effet, le CDTA est désormais membre de l'IFAC. L'IFAC, ou la Fédération internationale d'organisations nationales (NMOs) désigne, pour chaque pays membre, un scientifique reconnu dans le domaine comme représentant de l'IFAC. Ces représentants ont la responsabilité de faire avancer les objectifs de l'IFAC dans leurs pays respectifs.

Le CDTA a également obtenu la qualité de membre académique et de recherche de l'Union Internationale des Télécommunications (ITU), une institution spécialisée des Nations unies pour les technologies de l'information et de la communication (TIC). Son rôle est d'harmoniser le développement des télécommunications dans le monde et son domaine d'action couvre aujourd'hui l'ensemble du secteur des TIC, de la radiodiffusion numérique à l'Internet, en passant par les technologies mobiles et la TV3D.

## 1.7 Jem-Euso Algérie : Un exemple des travaux du CDTA

La mission surnommée JEM EUSO Japanese Experimental Module as Extreme Universe Space Observatory consiste à développer, par un effort international conjoint, un télescope à détection principale dans l'UV et son installation à bord de la Station Spatiale Internationale. Elle est dédiée à l'exploration des sources d'énergie qui alimentent l'accélération des rayons cosmiques de très hautes énergies 10<sup>19</sup> à 10<sup>21</sup> eV. Notamment, celles qui entourent notre globe terrestre.

Voir [17]

L'intérêt est d'abord scientifique. Les sources non connues qui compensent la dépense en énergie cinétique des rayons cosmiques ultra-énergétiques sont susceptibles de donner plus d'éclaircissement sur l'origine et les constituants de notre univers. Ainsi, l'intérêt est universel et concerne toute l'humanité.

Les aspects de développement technologique à la double échelle composants et systèmes (intégration, tests, caractérisation, calibration, etc.) sont pluridisciplinaires : optique spatiale, électronique embarquée, thermique, optoélectronique, mécanique de précision, télédétection par caméra IR et LiDAR, microélectronique (ASIC, FPGA, etc.), mécatronique, etc. Ils intéressent tous les pays participants. Cet événement permettra d'acquérir des compétences de standard international dans :

- La formation par la recherche au bénéfice des jeunes chercheurs et des étudiants dans le sens à renforcer et honorer la contribution algérienne.
- L'acquisition et la capitalisation d'un savoir-faire, à terme, au bénéfice de l'Algérie.

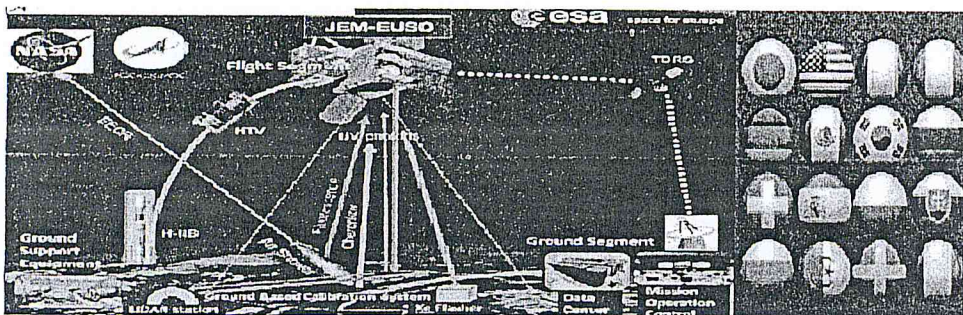


FIGURE 1.6 – Jem-Euso Algérie.

La collaboration consiste à développer un module expérimental de conception spécifique qui utilise l'atmosphère terrestre comme détecteur. Ce module est à placer au courant 2017 à 2018 sur la Station Spatiale Internationale (SSI). Le projet est piloté par le Centre de Recherche Japonais Riken et pris en charge par 87 institutions de 16 pays Voir la figure 1.6 Fig 3 dont l'Algérie. Voir [17]

Le consortium Algérien a connu la participation de plusieurs membres de 7 différents établissements de recherche : dont Dr. Mohammed TRAÏCHE, Coordonnateur national du CDTA.

## 1.8 Conclusion

le CDTA est une institution qui possède de grandes chances pour grandir encore plus et aller au-delà des limites et frontières géographiques , il détient actuellement un très grand nombre de réalisations dans divers domaines, même en dehors de ces axes de recherche en intégrant le secteur socio économique, industries et même dans le domaine spacial ... etc. mais comme toute institutions il possède des problématiques et difficulté rencontrées , dans le chapitre qui va suivre on traitera un ensemble de ces problèmes.

## Chapitre 2

# Problématique

Ce chapitre est consacré à la présentation de la problématique et au principal objectif assigné à notre étude. Nous entamons le chapitre par la présentation de la politique actuelle du CDTA des définitions et des généralités nécessaires pour la compréhension du problème, ensuite nous présenterons la problématique.

### 2.1 Politique actuelle du CDTA

Les projets R&D&I (Recherche et Développement et Innovation) du CDTA sont des projets qui s'exécutent sur une période de trois ans. créés au départ par une volonté et une proposition d'idées du chercheur, qu'il présentera au Conseil Scientifique via un canevas proposition de nouveaux projets, que celui-ci validera si les règles de création, d'organisation et de fonctionnement des projets de recherche qui sont fixées par le Décret exécutif n 99-244 du 21 rajab 1420 correspondant au 31 octobre 1999 [3] et bien d'autres critères mis en place par la commission d'évaluation du CS (Conseil Scientifique) sont assurés.

Les projets sont évalués selon leurs types sur 3 catégories : les projets de recherche fondamentale, les projets de développements et les projets de recherche appliqués, le management de ces projets prend en considération leurs appartenances.

Tout projet de recherche est affecté à une équipe de recherche qui elle-même appartient à une des 07 divisions de recherche, une arborescence descriptive est illustrée sur la Figure 2.1.

De même tous les projets classés dans la catégorie développement s'affectent à l'un des 3 départements du centre.

Les projets communs entre les deux corps regroupent les projets de recherche appliquée.

Afin de suivre tous ces types de projets, en 2007, le CDTA est entré dans la phase du management rigoureux des activités R&D&I à travers le lancement et le déploiement du système de Planification et Développement des Projets (PDP\_Sharpoint), c'est une plateforme de collaboration qui aide les chercheurs et l'administration à améliorer leur gestion de projets.

Dans notre étude, on va s'intéresser au protocole de recherche 2014\_2016, on distingue que le centre ne possède pas une plateforme spéciale pour la gestion et le suivi de ses ressources, l'équipement de recherche de haute qualité, les affectations de chercheurs aux équipes et projets

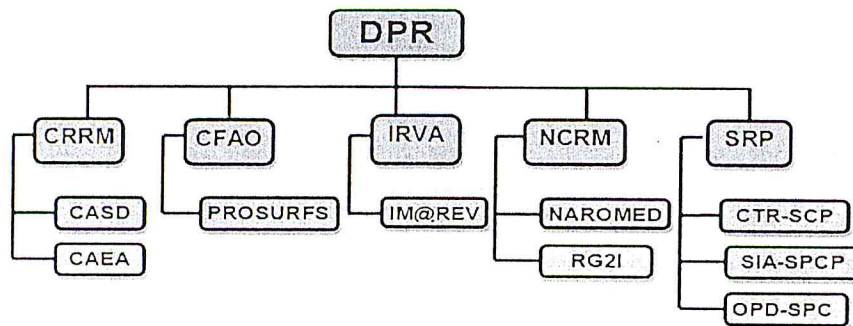


FIGURE 2.1 – Organigramme de la Division Productive & Robotique 2014\_2016.

de recherche], la politique actuelle que le centre suit est de donner la responsabilité de la gestion et la maintenance des équipements aux porteurs de projets, plus exactement, au demandeur du matériels sous prétexte qu'il est le meilleur connaisseur de la technologie de ces machines et chef d'œuvre, et vu le type et les caractéristiques spéciaux de ces équipements la majorité du temps les porteurs de projets bénéficient d'un budget de formation pour savoir les manipuler que ce soit en Algérie ou à l'étranger.

En ce qui concerne la ressource humaine, le CDTA est un organisme du Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique (MESRS), le recrutement de son personnel obéit à la loi de la Fonction Publique Algérienne, par le décret executif N 0087 [3].

## 2.2 Position du problème

Une fois que la proposition d'un nouveaux projet est validé et acceptée par le CS (Conseil Scientifique), une étude des besoins en Ressources matériels et humaines se fait pour les acquérir. Les procédures adoptées par le Centre pour répondre aux demandes de réquisition sont traitées au « cas par cas », donc de manière très ponctuelle, et ils ne tiennent compte d'aucun ordre de priorité prédéfini ni d'aucun critère. Il revient aux décideurs de la direction de juger de la priorité d'un équipement et même pour leur facilité la tâche, ils ont eu recours à suivre une politique qui est : "Premier arrivé premier servi". Ceux-ci ne disposent bien entendu d'aucun planning de matériel pour chaque projet durant toute sa période de réalisation ce qui rend la gestion et le suivi de ces fonds difficiles voire même impossible, car il ne garde même pas un historique physique (sur :bases de donnée informatisée, archives en format papier...etc

Avant 2015, la tutelle allouait un très grand budget pour la recherche par rapport aux travaux de recherche proposés. Toute demande d'achat était acceptée sauf si l'équipement demandé n'existe pas ou n'étant pas disponible sur le marché national ou international, où bien pour pallier temporairement à ces problèmes, le CDTA doit parfois faire appel à la sous traitance où à la location de matériel extérieur à son patrimoine, ce qui cause des dépenses à priori évitable. où alors, le meilleur refuge du chercheur; c'est de recenser toutes les institutions nationales et internationales possédant les équipements ou la compétence humaine dans son domaine et créée des collaborations avec eux, ceci rentre dans les affinités du travail mais ce n'est pas toujours évidentes à les décrocher et les réaliser, malheureusement, le chercheur ne peut en aucun cas se

baser dans son travail sur ce genre de solutions.

Dans d'autres cas, lorsque certains types de machine, nécessitant une assistance humaine spécialisée, tombent en panne, le personnel concerné se voit automatiquement mis en chômage technique rémunéré puisque les lois de la fonction publique lui assure le droit de garder son poste une fois confirmé, ce qui constitue des pertes d'argent, ou risque de perdre cet effectif souvent expérimentés et précieux parce que lui-même n'accepte pas la situation de non activité, surtout si son profile est demandé par le marché du travail avec une meilleur rémunération, à titre d'exemple : lors de l'opération recrutement Février 2014, le CDTA à recruter 05 ingénieurs informaticiens, parmi ces 5, il n'en reste que 02 occupant leurs poste.

Les conditions de recrutement rencontrées par le centre, que la fonction publique instaure sur ces institutions l'oblige à bien gérer ces éléments et leurs affectations de plus le nombre de postes budgétaires permanents (CDI) limités vu que la répartition de ces postes se fait par Cota dispatché par la tutelle sur les 12 centres de recherche algériens, d'un côté, d'un autre coté le centre est face à un autre problème très important, c'est la fuite des compétence, on a recenser en 2014\_2015 la démission de 5 ingénieur en informatique, 2 attaché de recherche, 1 docteur classe A, à ce niveau le CDTA doit tirer la sonnette d'alarme car cette situation frêne l'avancement des projets. Vous trouverez en Annexe quelques résultats intéressant sur le personnel du CDTA entre l'année 2008 et l'année 2014

Certes, Il est à préciser que cette méthode de traitement des requêtes des projets de recherche est convaincante puisque le financement est assuré et dans la mesure où le centre arrive toujours à gérer les demandes, mais les résultats d'une telle approche sont réalisables dans l'ensemble, bien que les délais de réalisation soient parfois enfreints, et que les dépenses sont jugées non raisonnables.

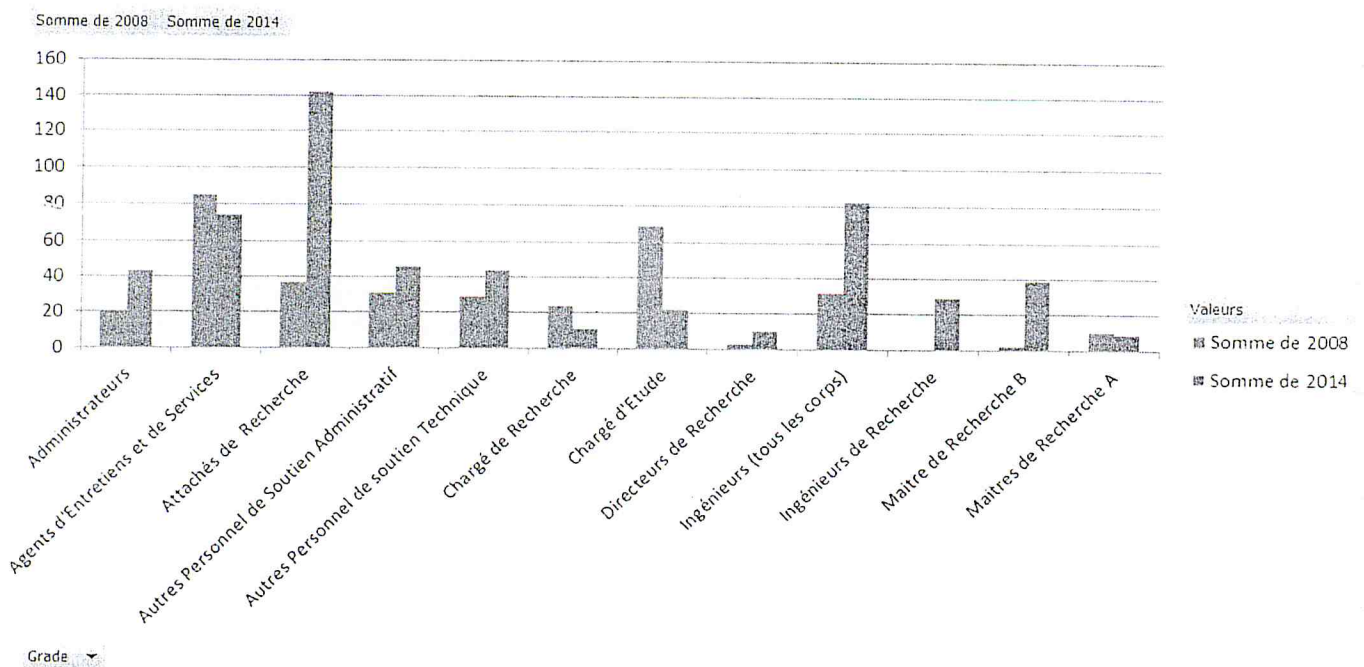


FIGURE 2.2 – Comparaison du nombre d'effectifs par Grade du CDTA entre 2008 & 2014.



En faisant une comparaison entre le nombre de projets, divisions et unités de recherche, et même le nombre de travailleurs au CDTA entre les années 2008 et 2014 voir Figure 2.2 , l'augmentation de nombre de projets est très visible ; Le CDTA est confrontée ces dernières années à l'importante croissance dans ces projets et domaines de recherche , d'ailleurs , 166 personnes à recruter est le résultat d' une étude prévisionnelle de recrutement faite en fin 2014 voir 2.3 , le CDTA à reçu 83 nouveaux recrutés en septembre dernier . les perspectives du Centre est d'acquérir de plus en plus de projets, divisions et unités de recherche et pourquoi pas intégrer le secteur économique public ou privé que ce soit à l'échelle nationale ou internationale.

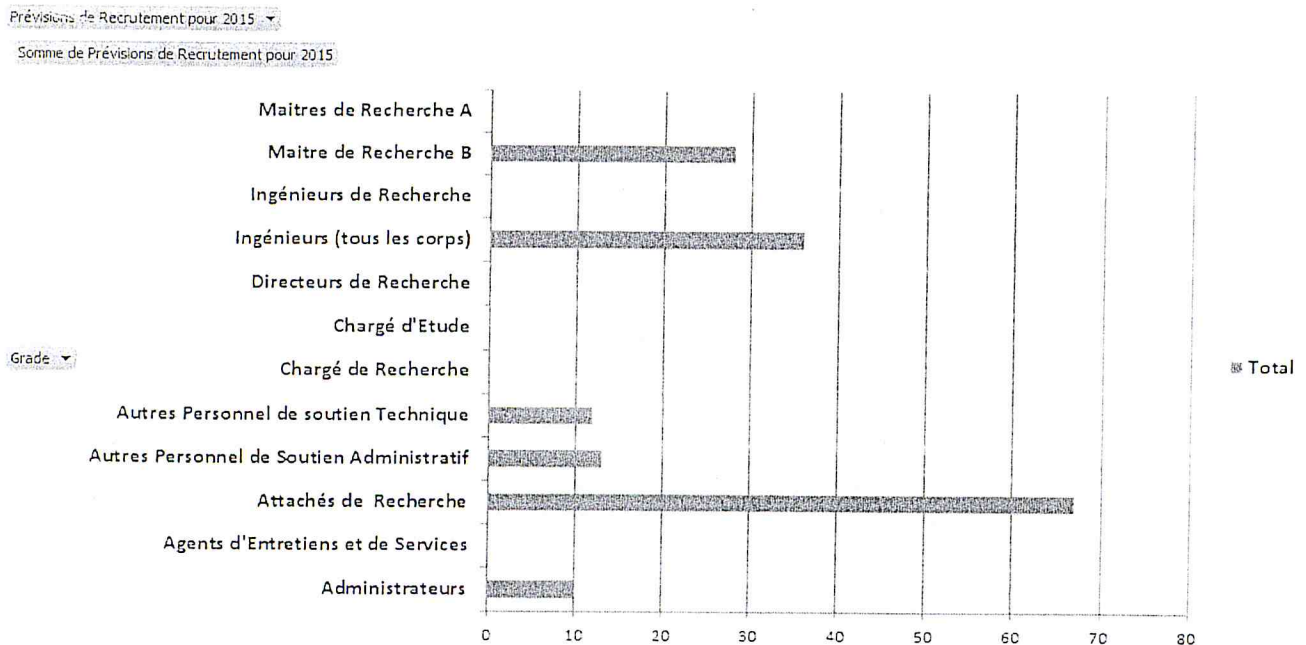


FIGURE 2.3 – Prévision de recrutement par Grade pour l'année 2015.

Toutefois, la gestion d'un petit nombre de projets n'était pas d'une grande complexité, chose qui diffère actuellement ; on assiste à un manque important dans la couverture simultanée en gestion et suivi de toutes les demandes en ressources des projets, ce qui mène à un déficit (ou plutôt à un « manque à gagner » considérable.

De plus , la politique suivie actuellement consiste à responsabiliser le porteur de projet sur les équipements achetés surtout lorsqu'il arrive à la fin de son protocole de recherche , on distingue deux cas : Soit il fait une nouvelle proposition de projet ou il réutilisera les mêmes ressources et ceci est l'idéal , ou bien il essaie de trouver un moyen pour les gérer , et comme il possède un profile de Chercheur et non pas un profile de Gestionnaire ou de Manager, dont il n'a probablement même pas reçu une formation dans ce sens , fait en sorte que des anomalies apparaissent .A la fin ,il arrive qu'il l'abandonne ou il le signale à la direction qui ,elle-même, ne trouve pas quoi faire avec, puisque les dirigeant ne savent pas forcément comment assurer leurs maintenance ,vu le critère scientifique de ces équipements, ils se trouvent obligés de les ranger dans des sous-sols et des caves du centre qui se noie dans ce cercle vicieux ; comme conséquence :

- Le cumul de matériel qui coûte des fortunes , qui occupe trop de place sans utilité.
- Mettre en danger la réputation du CDTA face à la communauté de recherche nationale

- ou internationales, en 2008 classé comme 1er centre de recherche qui possède la plus grande production de recherche, en 2105 il est à la 7 eme postions [05].
- Perte énorme de fonds et d'argent dans des équipements que sont à la base une ressource d'investissements extraordinaires.
  - Perte de temps énorme car la procédure d'achat des équipements de recherche prend beaucoup de temps (taxes ; douane ;...etc).
  - La qualité d'hygiène et sécurité de l'environnement de travail qui se dégrade de plus en plus.
  - Comme les équipements ne sont pas répertoriés et déclarés alors le risque de les perdre est très élevé (disparition de matériels) , encore pire , l'achat d'équipement qu'on oublie d'utiliser ou se voir même contrarier de relancer une autre procédure d'achat de ce même équipement lors des nouveaux protocoles de recherches donc double perte.
  - Perdre une occasion en or de récupérer non pas sa valeur d'achat de ces équipements mais aussi la possibilité de tirer des bénéfices en les exploitant sous des prestations de services pour les entreprises publiques et privés.
  - Empêcher des générations qui viennent de trouver une ressource bien entretenue pour progresser dans leurs thématiques de recherche.
  - Perdre des occasions pour signer des collaborations entre les établissements de recherche et universitaires et pourquoi pas intégrer le marché international de la recherche et recevoir des étudiants de l'étranger comme toutes institutions de recherche de haut niveau international.

Un autre point très important c'est qu'en 2007, le CDTA est entré dans la phase du management rigoureux des activités R&D à travers le lancement et le déploiement du système de Planification et Développement des Projets (PDP\_Sharpoint) son accès est dans dans [10]. Ce concept, aujourd'hui incontournable dans l'accompagnement de la programmation, de l'exécution et du suivi des projets R&D, sauf que la version de cette plateforme est très ancienne, elle se date de 2003, et vu l'évolution du domaine informatique, les utilisateurs de cette plateforme se retrouve face à des problèmes d'incompatibilités avec d'autre logiciels et applications. Voir Figure 2.4

De plus PDP\_Sharepoint ne comporte pas le volet gestion de ressources dynamiques à temps réel, ce qui réduit l'utilisation de celle-ci à une plateforme collaborative entre chercheur chercheur et chercheur direction. Autre chose, l'achat d'une nouvelle plateforme et l'actualisation de cette dernière leur nécessite un budget considérable (dans les 500.000,00 DA).

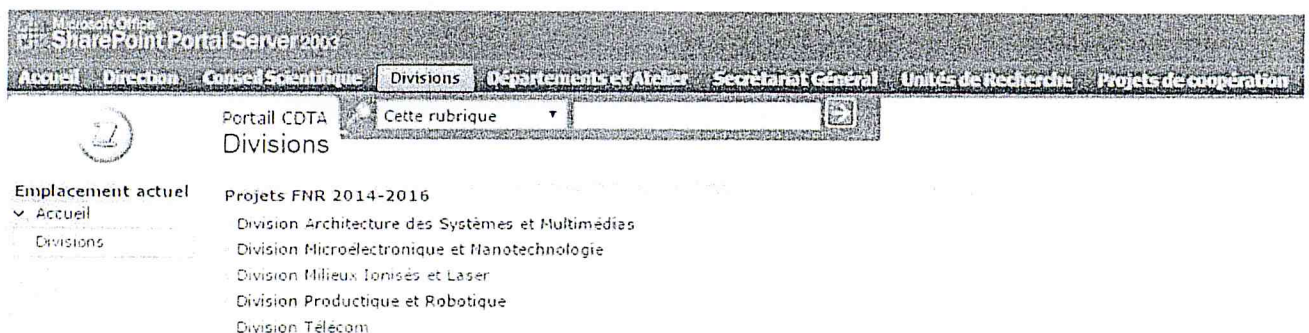


FIGURE 2.4 – Plateforme CDTA\_PDP\_Sharepoint 2003.

Face à toutes ces contraintes, le CDTA a décidé de centraliser la gestion de ces trésors, de mettre en place des structures spécialisées dans la gestion et le suivi de ses projets de recherche, à savoir gérer ses ressources et surtout son matériel noble et très cher, il s'agit principalement du gros matériel de recherche que certains d'entre eux n'existent qu'au CDTA et cela à l'échelle nationale.

Effectivement, la création d'un Service de gestion et suivi de projets de recherche est réalisé avec les derniers changements de l'organigramme du Centre effectués au sein du Département des Procédés Technologiques Avancés et Gestion des Projets nécessitant la mise en place d'un système de gestion capable d'améliorer ses performances dans le contexte du respect des points suivants :

- Délais d'exécution des projets.
- Qualité du travail (complétion et finition).
- Budget initialement prévu pour chaque projet de recherche.

Et ceci en adoptant et en construisant des outils modernes qui soient encore plus fiables et d'actualité.

## 2.3 Objectifs de notre étude

L'objectif de notre étude est d'élaborer une application portant sur la planification optimale des ressources indispensables aux services d'assistance demandés pour chaque projet de chaque catégorie. Par considération d'une période donnée, Plus précisément, notre tâche consiste à tracer la marche des ressources qui est spécifique pour chaque projet, l'instant de début et de fin de chaque affectation. Ces marches sont présentées aux utilisateurs [porteurs de projets, administrations, gestionnaires . . . etc] sous forme de Table d'horaires.

La construction des tables est loin d'être une tâche aisée : il y a, d'une part, les régels de sécurité à respecter minutieusement et, d'autre part, les contraintes opérationnelles et techniques qui font que le système est trop contraint. En effet, chaque ressource doit satisfaire un certain ensemble de contraintes et comme le nombre de ressources est trop élevé, la construction de la table optimale devient une tâche difficile.

Pour son exécution, il est demandé de :

- Déterminer aussi finement que possible toutes les opérations existantes des projets.
- Prendre en considération la structure et la capacité des ressources.
- Contraintes de sécurité : une durée de temps minimum entre l'utilisation d'un équipement par deux demandeurs.
- Prendre en considération les équipements fixes.
- Il ne peut y avoir plus de deux utilisateurs de la même ressource au même temps.
- Affecter à chaque projet sa demande en ressources matérielles ou humaines au moment demandé en évitant tout retard ou refus.

## 2.4 Conclusion

Nous pensons que les techniques de la Recherche Opérationnelle permettront d'aboutir à un système élaboré de gestion des ressources humaines et matérielles; dans ce contexte, nous envisageons l'élaboration d'un logiciel informatique au service de la recherche algérienne ,qui donne, à partir des demandes des projets triennal (2014 \_2016) , un planning idéal d'affectation d'un grand nombre de ressources (Robot car, microscope électronique ,Ingénieurs, techniciens, ... etc.) aux différents projets de : recherche fondamentale , recherche appliquée ou développement , dans la perspective de satisfaire toutes les requêtes d'équipements demandées dans les plus brefs délais et en temps d'exécution réduit par rapport à la période de planification sans avoir à dépenser plus de fond en ayant recours à la location ou à la sous traitance et pourquoi pas en utilisant un nombre minimum de ressources afin de pouvoir accéder éventuellement à de nouveaux projets innovants dans le futur.

## Chapitre 3

# Modélisation Mathématique du Problème

D'une certaine manière, la modélisation mathématique d'un problème est une transcription simplifiée de la réalité, dans la mesure où l'on fait abstraction de certains paramètres, qu'on ne prend alors plus en considération, à condition de proposer quelques hypothèses, en citant en occurrence une série de points essentiels (conditions nécessaires) à vérifier obligatoirement pour rendre possible l'utilisation du modèle élaboré. Dans notre cas, nous allons recenser les hypothèses, étroitement liées en fait à la disponibilité et la nature même des données.

### 3.1 - Proposition des hypothèses de résolution

Le problème d'organisation et de planification au CDTA ne peut pas être résolu à partir d'un seul programme et par le travail d'une seule entité de service et cela à cause de l'existence d'intérêts communs et aussi à cause de sa taille jugée grande et que les méthodes d'optimisation connues jusqu'à maintenant puissent le résoudre.

Pour y remédier, on vous propose une décomposition du le problème en sous problèmes et les résoudre suivant des étapes voir figure 3.1 . Cette décomposition réduit la taille du problème et le ramene à la portée de la capacité des calculateurs. Mais, comme la plupart des décompositions, les solutions obtenues en sont pas forcément globalement optimale et peuvent même être incompatibles entre elles. En effet, la solution du problème d'optimisation des ressources est utilisée comme entrée pour le problème de construction des tables horaires.

#### 3.1.1 Enquête de recensement des ressources existantes

Cette étape du traitement fera appel à la coopération de toutes les entités et services du Centre en déclarant toutes les ressources qu'ils utilisent lors des enquêtes de recensements régulières [ce qu'on appelle aussi les enquêtes d'inventaires qui se font généralement chaque fin de l'année] l'idéal c'est de les faire au moins deux fois par ans, pourquoi ? Parce que par exemple : si on trouve lors de la première enquête du premiers semestre de l'année, le manque d'un équipement ,on n'aura pas à attendre plus de 6 mois pour se rendre compte, et ce temps gagné est à la faveur des enquêteurs sur l'absence de celui-ci. Tout ce travail à pour objectif d'avoir une vue et projection exacte de l'état réel des ressources et les structurant ensuite sous forme de bases

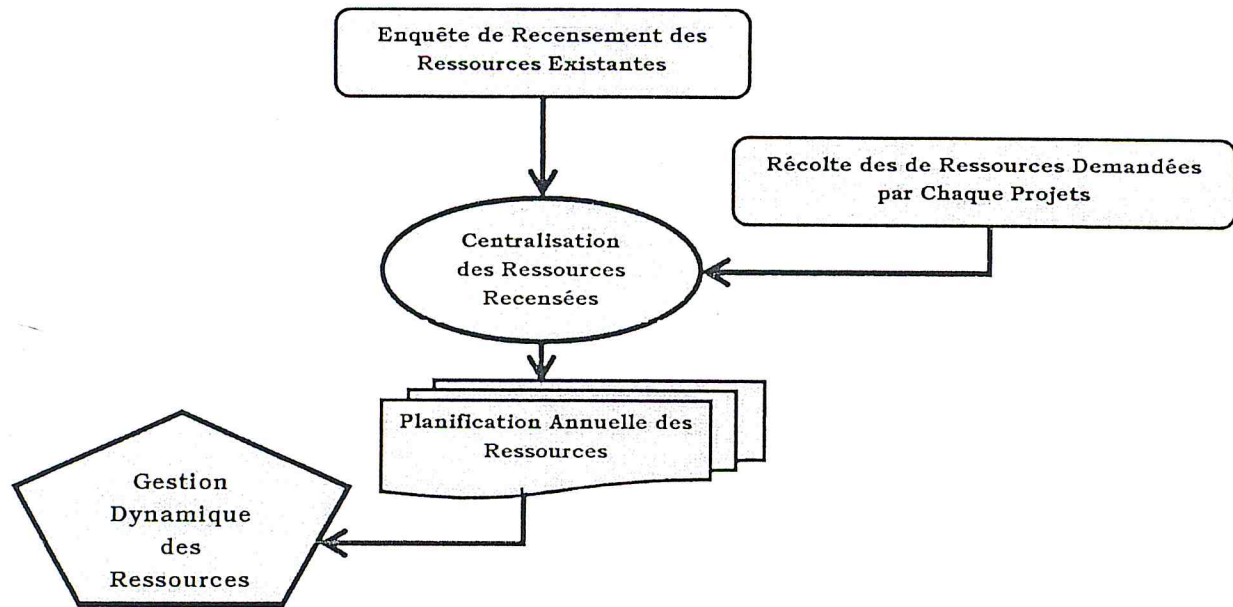


FIGURE 3.1 – Hypothèses de résolution de la problématique.

de données référentielles.

Ces bases de données représentent un outil très puissant pour la prise des décisions pour toutes les autres étapes de traitements qui suivent, car à titre d'exemple : les décisions qui vont être prises sur l'achat d'un Microscope Electronique à Balayage qui pourra prendre une grande part du budget vu son coût très élevé dépendent de l'existence ou non d'un ou plusieurs ressources du même type dans le Centre. Cette étape apparaît très banale mais le fait de la négliger englobe des problèmes énormes.

### 3.1.2 Centralisation des ressources recensées

Une fois que la récolte des bases de données des ressources, on propose de déléguer la tâche de la gestion et le suivi de cette base pour un service du centre pourquoi pas le service gestion et suivi des projets de recherche ou d'en créer un spécialement pour s'occuper de cette tâche à plein temps . Le mot centralisation veut dire que une fois qu'un équipement est entrés dans la base de données il n'appartient plus au chercheur qui a demandé ou proposer son achat pour la première fois, donc il devient une ressource mutualisable C'est cette étape qui nous autorise à dire qu'on est en train de faire de la mutualisation des ressources .

### 3.1.3 Récolte de ressources demandées par les nouveaux projets

L'estimation du volume de la demande des ressources est indispensable pour un service orienté vers la satisfaction de la demande des chercheurs et développeurs .L'un des plus importants points à satisfaire avant l'application et la résolution du modèle est la précision des besoins en ressources émises par chacun des projets R&D. Les demandes sont présentes dans les cahiers des charges pour les projets de développement et dans les protocoles triennal de recherche présenté par chaque équipe de projets qui englobe l'estimation des ressources matérielles

(équipements, outils et matériaux), humaines ( toutes catégories confondues) et budgétaires indispensables au bon déroulement des travaux et au respect des délais de réalisation autant que possible. Cependant, le cahier de charges et protocole de recherche découle, comme nous l'avons précédemment dit dans le chapitre 2, de l'étude préliminaire d'ordonnancement des tâches du projet concerné proposé par les chercheurs ; c'est pourquoi cette étape doit être minutieusement traitée au niveau de chaque projet.

**Cas pratique : Étude des Besoin en équipement 2014\_2016 :** Sur les 56 propositions de nouveaux projets soumises au conseil scientifique, pour le programme triennal 2014-2016, seuls deux ont été rejetés, soit un taux de validation positive de 97%, accompagnée, bien entendu, de recommandations et de quelques réserves. Après la validation et signature des contrats chef de projet-direction , les porteurs de projets était invités à préparer , conformément au protocole, le programme prévisionnel de l'année 2014, l'opération de recensement des besoins exprimés dans les protocoles est un travail qui se fait en collaboration avec les porteurs de projets qui définissent les spécifications technique des équipements en suie la Récupération des protocoles des équipes de recherche de la plateforme PDP-SharePoint ; Traitements et récupération des données. Exemple du projet IMAREV de L'équipe IRVA DPR voir Figure 3.2

Projet	Ressource Matérielle Existante	NB	Ressource Matérielle Demandée	NB
IMAREV	Casque HMD Vuzix Wrap 920 AR	1	PC Serveurs	1
	PDA	1	Camera IR InfraRouge	1
	PC Portable DELL	1	Video Projector	1
	Téléviseur 3D	1	Flystick	1

FIGURE 3.2 – Demande en matériels du projet CDTA-IMAREV équipe IRVA 2014 2016.

**Cas pratique : Étude des Besoin en Recrutement 2014\_2016 :** Après L'étude des besoins en équipements de chaque projet de recherche pour le triennal 2014-2016, vient le recensement des besoins en recrutements, exemple illustartif projet IPLS Division DPR voir Figure 3.3

Projet	Ressource Humaine Demandée	Spécialité d'étude	Option d'étude	NB
IPLS	Ingénieur	Informatique	Systèmes Embarqués	1
	Master ou Magistère	Informatique	Systèmes Embarqués	1
	Ingénieur	Recherche Opérationnelle	Théorie des graphes	1
	Docteur classe B	Electronique	Contrôle	1

FIGURE 3.3 – Demande en RH du projet IPLS Division DPR 2014 2016.

### 3.1.4 Planification annuelle des ressources réencées

La planification des ressources est la sélection d'un certain nombre de ressources parmi toutes les ressources en respectant certaines contraintes et en suivant un objectif donné parmi

les contraintes possibles on cite comme exemple : La suffisance de ressources pour couvrir la demande des chercheurs . On cite comme objectifs : La minimisation des coûts de couverture des ressources demandées et la maximisation du nombre de ressources allouées.

On propose que Le planning comporte des demandes exprimées par mois et par type de ressource considéré. C'est la raison pour laquelle nous projetons de satisfaire ces demandes mensuellement, et non pas quotidiennement ni hebdomadairement ; ainsi, l'affectation temporelle d'un équipement à un projet sera prévue pour des durées spécifiées en nombre de mois. Par conséquent, toute ressource ne pourra en aucun cas être planifiée pour plus d'un projet au cours d'un mois considéré. Si dans l'avenir ces besoins sont planifiés et exprimés plus précisément, c'est-à-dire en semaines ou en jours, notre méthode sera remise à jour du point de vue des durées d'affectation

### 3.1.5 Gestion dynamique des ressources

**Temps de maintenance des équipements** En pratique, vu les différents types de ressources dont nous traitons et qui font partie du patrimoine considéré, il s'avère qu'un nombre important d'équipements nécessitent, avant leur utilisation, un certain temps d'installation sur site et de temps de maintenance pour assurer un certain niveau de sécurité , nous citons l'exemple illustratif de la salle blanche qui nécessite une durée de montage sur site par une équipe spécialisée et même le coût de sa maintenance est très élevé.

Nous estimons que ces temps de maintenance pour un projet donné doivent être pris en considération lors de l'élaboration du planning annuel en matériel par le projet, qu'ils soient donc inclus dans les durées de réquisition, afin de proposer une meilleure appréciation du temps réel de mobilisation qui se fera dans un projet pour chaque ressource.

Quant aux durées de transport des équipements, nous avons été informés auprès du centre que les temps de transport négligeables devant les durées de réquisition sur projets qui seront comptées en mois.

**Occurrence de perturbations** Notre application étant prévue pour une période de traitement bien définie de l'avenir, ses résultats peuvent être sujets à des imprévus et des aléas que nous ne pourrions assumer dans une première approche. C'est pourquoi, dans un premier temps, nous supposons qu'aucune des données concernant les plannings du matériel pour un projet ne sera modifiée par la suite (annulation, report dû à un retard d'avancement des travaux, etc.)

**Demandes de réquisition et validation** Concernant les demandes de réquisition à présenter par chaque projet envers la Direction avant la réception du matériel, ainsi que leur validation qui passe obligatoirement par la direction générale (comme il est indiqué dans la politique actuelle du CDTA chapitre 2 ), ces démarches pourront être éliminées dans l'avenir si la nouvelle méthode est adoptée. En effet, cette dernière suppose que les plannings déposés dans le cahier de charges en début d'exercice sont tout à fait fiables, et qu'il est possible tout de même de les modifier si cela s'avère nécessaire par la suite.



**Remarque** Après la prise en compte de ces hypothèses de travail, une telle application, une fois mise en place et prête à être utilisée par le Centre, ne cherche évidemment pas à prendre le rôle d'un décideur dans sa tâche, mais vise plutôt à être acceptée par celui-ci comme un outil d'aide à la décision, surtout dans des cas où la gestion simultanée d'un grand nombre de ressources tout type confondu, serait difficile à mener. Ainsi, le décideur pourra utiliser le logiciel très aisément pour acquérir une idée sur différentes solutions concevables.

## 3.2 Conception du modèle mathématique

A l'issue de notre compréhension de la problématique et de la procédure utilisée jusque-là par Le CDTA pour faire face aux difficultés de gestion du patrimoine, nous avons longuement réfléchi sur la modélisation la plus adéquate pour ce problème.

Les aléas qui peuvent entraver l'application d'un planning annuel d'affectations rendent le problème assez difficile, il aurait sans doute fallu faire appel à l'étude statistique pour évaluer la fréquence des pannes et des accidents matériels, ainsi que le non-respect des délais de livraison des projets.

L'objectif de notre travail consiste à :

- Avant le début de la période d'exercice, rassembler les données du problème (planning des ressources de chaque projet, liste des équipements utilisables, des ressources humaines, affectation actuelle de chacun d'eux.
- Traiter les données pour construire un planning applicable sur toute la période future d'exercice.
- Affecter en chaque début de mois les ressources à leurs destinations respectives.

**Remarque** La méthode proposée ici sera appliquée pour chaque ensemble de ressources séparément, c'est-à-dire qu'on ne traitera que des ressources de même type à la fois, et nous aurons autant de programmes à traiter qu'il n'y a de familles de ressources.

### 3.2.1 Données du problème

Nous allons maintenant décrire précisément les notations utilisées dans notre modélisation.

#### 1. La notation des ensembles :

$R$  : Ensemble de Ressources d'une même famille (même type) ;  $|R| = NR$ .

$P$  : Ensemble de Projets concernés par la période de planification ;  $|P| = NP$ .

$M$  : Ensemble des Mois de la période de planification considérée ;  $|M| = NM$ .

#### 2. les Indices utilisés :

$i$  : Numéro d'une ressource dans une famille de ressources  $R$ ;  $i \in \{1, \dots, NR\}$ .

$j$  : Numéro d'un projet parmi l'ensemble  $P$  des projets concernés;  $j \in \{1, \dots, NP\}$ .

Remarque : le projet à indice  $j = 0$  désigne la Plateforme centrale de Ressources.

$k$  : Numéro d'un mois dans la période d'exercice  $M$ ;  $k \in \{1, \dots, NM\}$ .

Remarque : le mois à indice  $k = 0$  désigne le dernier mois de la période d'exercice précédente.

### 3. les données disponibles :

$RD_{jk}$  = nombre de ressources du type considéré demandés par le projet  $j$  durant un mois  $k$ , avec  $j \in \{1, \dots, NP\}$  et  $k \in \{0, \dots, NM\}$  où  $k = 0$  désigne le dernier mois de la période précédente.

$T_{jj'}$  = Temps (réparation & maintenance), en mois, séparant la demande de deux projets  $j$  et  $j'$  ou un projet et le parc d'équipement du SGPRD, avec  $j \in \{1, \dots, NP\}$  et où  $j = 0$  et  $j' = 0$  désignent l'indice de la Plateforme centrale de Ressources. Ou pour la famille ressources humaine RH elle peut être la période de congé ou maladie ou mise en disposition calculée en mois aussi

$CR$  = Coût de réparation, d'un équipement de ce type. Ou paiement de la ressource humaine sou traitante en cas d'absence du personnel considéré.

$CL$  = Coût moyen de location externe d'une ressource du même type.

$ET_i$  = pondération caractérisant l'état actuel du  $i^{ime}$  ressource avec  $i \in \{1, \dots, NR\}$ ; on a  $ET_i \in \{1, 10; 100; 100\}$  selon que la ressource  $i$  soit respectivement : médiocre, en état moyen, en bon état ou neuf.

$$DS_{jk} = \begin{cases} 1 & \text{Si la demande du } (k+1) \text{ mois dépasse} \\ & \text{la demande du mois } k \text{ pour le projet } j \text{ (i.e. : } RD_{jk+1} > RD_{jk}) \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (3.1)$$

avec  $j \in \{1, \dots, NP\}$  et  $k \in \{1, \dots, (NM - 1)\}$

#### 3.2.2 Variables de décision suggérées

Nous définissons ci-après les variables de décision que nous utiliserons pour la modélisation du problème :

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{Si la ressource } i \text{ sera affectée au projet } j \\ & \text{durant le mois } k \text{ (ou } j=0 \text{ désigne la Plateforme Centrale ressources)} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (3.2)$$

avec  $i \in \{1, \dots, NR\}$ ,  $j \in \{1, \dots, NP\}$  et  $k \in \{1, \dots, NM\}$

Sachant que :

$$X_{ij0} = \begin{cases} 1 & \text{Si la ressource } i \text{ est actuellement affectée au } j^{\text{ème}} \text{ projet (au cours} \\ & \text{du dernier mois de la période précédente)} \\ 0 & \text{Sinon} \end{cases} \quad (3.3)$$

avec  $i \in \{1, \dots, NR\}$  et  $j \in \{0, \dots, NP\}$

Vu la définition du problème, nous avons jugé que les variables de décision choisies pour le modèle devaient satisfaire deux points importants :

- a. Elles doivent tout d'abord être très explicites et descriptives des décisions réelles à prendre au sein de la société par les responsables concernant les affectations de chaque ressource durant chaque mois.
- b. D'autre part, il est important de pouvoir utiliser ces variables pour exprimer l'ensemble des contraintes et des objectifs.

Dans ce contexte, nous précisons que les variables de décision présentées ci dessus permettent de savoir clairement où envoyer chacune des ressources et à quel moment (durant quel mois) de la période d'exercice étudiée.

### 3.2.3 Les Objectifs ciblés

Au cours de nos visites et nos entretiens avec les responsables du CDTA, il nous a été demandé d'œuvrer en vue de satisfaire un maximum de demandes, pour éviter de faire appel à la location de matériel externe, tout en essayant de minimiser les dépassements de délais d'exécution des travaux. Or ce dernier point n'est pas maîtrisable puisqu'il est très dépendant de conditions futures imprévisibles, et donc lié aux aléas de l'avenir. Nous chercherons à minimiser indirectement ces retards, causés généralement par les pannes affectant les ressources, ou encore par la mauvaise estimation des durées d'exécution des tâches au cours de l'étude d'ordonnement d'un projet.

Pour cela, nous classerons les ressources dans un ordre de priorité d'utilisation selon leur état actuel, grâce aux pondérations  $ET_i$  (une ressource neuve sera sélectionnée en premier lieu). Quant aux modifications des demandes au cours de la période de travail, elles pourront être prises en charge, comme nous l'avons expliqué, par la seconde partie de l'application (phase de post-optimisation), de même que pour les cas de réforme d'un équipement (variation dans le parc équipements disponibles pour le restant de la période, à partir du mois courant).

Une fois le premier objectif révisé, nous avons proposé l'introduction d'une deuxième fonction à minimiser, qui englobe les coûts de maintenance des équipements entre leurs affectations

d'un projet à un autre. Ainsi, on permet de contrôler les coûts de maintenance et de la mobilisation d'équipements pour cet effet.

Par conséquent, les deux objectifs principaux retenus ont été modélisés de la manière qui suit :

1. Maximiser le nombre de demandes satisfaites :

On peut formuler cet objectif par l'expression suivante :

$$Z_1(MAX) = \sum_{i=0}^{NR} \sum_{j=0}^{NP} \sum_{k=0}^{NM} X_{ijk} \quad (3.4)$$

Finalement, ayant convenu qu'il fallait favoriser l'emploi du meilleur matériel (en bon état) dans les projets, on pondère alors chaque variable  $X_{ijk}$  par la valeur  $ET_i$  qui correspond à l'état de la ressource concernée, d'où l'expression :

$$Z_1(MAX) = \sum_{i=0}^{NR} \sum_{j=0}^{NP} \sum_{k=0}^{NM} ET_i \cdot X_{ijk} \quad (3.5)$$

**Remarque :** Afin d'éviter toute confusion dans une solution, en ce qui concerne l'utilisation des équipements plus ou moins neufs, nous conviendrons de poser des pondérations  $ET_i$  assez éloignées les unes des autres pour deux états différents des ressources ; exemple : pour un équipement neuf,  $ET_i = 1000$  et pour un équipement en bon état,  $ET_i = 100$ , etc.

2. Minimiser les coûts de Réparation :

Ceci revient à minimiser le coût total de maintenance d'équipements entre les projets ou entre un projet et la Plateforme centrale de ressources de mois en mois, on arrive donc à l'expression suivante :

$$Z_2(MIN) = \sum_{i=0}^{NR} \sum_{k=0}^{NM-1} \sum_{j=0}^{NP} \sum_{j=0}^{NP} CR.T_{jj'} \cdot X_{ijk} \cdot X_{ij'k+1} \quad (3.6)$$

### 3.2.4 Les différents types de contraintes

Un problème d'optimisation se présente rarement sans contraintes de réalisabilité ; c'est en effet en celles-ci que réside la difficulté de résolution, qui interpelle l'utilisation de méthodes mathématiques élaborées et de moyens informatiques capables de satisfaire le besoin d'une solution très recherchée (optimale dans le meilleur des cas et si elle existe).

Notre problème comporte techniquement trois types de contraintes, que nous allons définir plus bas, mais ces trois types peuvent être résumés en deux catégories principales : la

première comporte les contraintes formelles, c'est-à-dire des contraintes obligatoires pour l'expression convenable du problème; elles sont liées à la définition des variables de décision et surtout à la réalisabilité de la solution sur le terrain :

### 1. Contraintes d'affectation des demandes :

Chaque ressource  $i$  du type traité doit avoir un emploi spatio-temporel unique; on ne pourra en aucun cas utiliser la même ressource à deux endroits différents simultanément (durant un mois  $k$ ) :

$$\sum_{j=0}^{NP} X_{ijk} = 1, \forall i \in \{1, \dots, NR\} \forall k \in \{1, \dots, NM\} \quad (3.7)$$

### 2. Contraintes de Satisfaction des demandes :

Ce type de contraintes suggère que la demande de chaque projet  $j$  durant un mois  $k$  quelconque ne soit jamais dépassée par le nombre de ressources du type considéré affectés en même temps vers ce projet, soit l'expression suivante :

$$\sum_{i=0}^{NR} X_{ijk} \leq RD_{jk}, \forall j \in \{1, \dots, NP\} \forall k \in \{1, \dots, NM\} \quad (3.8)$$

La seconde catégorie de contraintes englobe les parties souhaitables par le centre pour le bon déroulement des travaux :

### 3. Contraintes de non libération conditionnelle des ressources :

Ce dernier type de restrictions assure que, pour chaque projet  $j$  (avec  $(j \neq 0)$  puisqu'on ne considère pas la Plateforme centrale de ressources) et à la fin d'un mois  $k$  considéré, si l'on sait que la demande en ce type de machines ne va pas diminuer pour le mois suivant (dans ce cas  $DS_{jk} = 1$ ), alors on ne permettra pas de libérer une ressource  $i$  si elle est déjà sur le site de ce projet :

$$X_{ijk+1} \geq RD_{jk}, \forall i \in \{1, \dots, NR\} \forall j \in \{1, \dots, NP\} \forall k \in \{0, \dots, (NM - 1)\} \quad (3.9)$$

En réalité, ces dernières contraintes sont probablement maîtrisées par la seconde fonction objectif même, puisque nous tentons de minimiser temps et le cout de maintenance des équipements entre leurs basculement entre les projets autant que possible; étant donné que le temps de maintenance de cette équipement entre un projet et lui-même est nulle ( $T_{jj} = 0$  pour le projet  $j$ ), alors la solution devrait répondre à ces exigences. Mais il vaut mieux rajouter ce type de contraintes qui pourrait ne pas être satisfait dans le cas d'une solution réalisable non optimale. De plus, grâce à ce type de contraintes, on réduit considérablement l'ensemble des solutions réalisables, et on peut ainsi atteindre plus rapidement une solution relativement acceptable (pour le deuxième critère).

### 3.3 Récapitulatif du modèle mathématique

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{aligned}
 (P) \quad & Z_1(MAX) = \sum_{i=0}^{NR} \sum_{j=0}^{NP} \sum_{k=0}^{NM} ET_i \cdot X_{ijk} \\
 & Z_2(MIN) = \sum_{i=0}^{NR} \sum_{k=0}^{NM-1} \sum_{j=0}^{NP} \sum_{j=0}^{NP} CR \cdot T_{jj'} \cdot X_{ijk} \cdot X_{ij'k+1} \\
 & \sum_{j=0}^{NP} X_{ijk} = 1, \forall i \in \{1, \dots, NR\} \forall k \in \{1, \dots, NM\} \\
 & \sum_{i=0}^{NR} X_{ijk} \leq RD_{jk}, \forall j \in \{1, \dots, NP\} \forall k \in \{1, \dots, NM\} \\
 & X_{ijk+1} \geq RD_{jk}, \forall i \in \{1, \dots, NR\} \forall j \in \{1, \dots, NP\} \forall k \in \{0, \dots, (NM-1)\} \\
 & \text{ou } : X_{ijk} \in \{1, 0\}, \forall i \in \{1, \dots, NR\} \forall j \in \{1, \dots, NP\} \forall k \in \{0, \dots, (NM-1)\}
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}
 \tag{3.10}$$

### 3.4 Évaluation et critiques du modèle mathématique

A cette étape de notre étude, ayant réussi à exprimer notre problème par sa formulation en un programme mathématique en variables bivalentes, nous allons effectuer une brève analyse concernant la taille du problème, en évaluant le nombre de variables et de contraintes mises en jeu, et nous citerons aussi quelques caractéristiques importantes observées.

#### 3.4.1 Nombre de variables

Etant donné que le modèle proposé traite d'un seul type de ressource à la fois, une évaluation exacte du nombre de variables et de contraintes pour toute application est inutile. Puisque le but de cette évaluation est d'estimer la taille et la complexité du problème d'optimisation combinatoire en question, il suffit de décrire une expression simple pour le calcul de ces paramètres, et d'en donner un exemple qui ne soit pas extrême (c'est-à-dire qui ne corresponde ni au type de ressources les plus abondants, ni aux ressources les plus rares).

Mais avant de commencer cette partie de l'analyse, il est intéressant de rappeler le lecteur des ensembles considérés et de leurs cardinaux :

$R$  : Ensemble de **Ressources** d'une même famille (même type) ;  $|R| = NR$ .

$P$  : Ensemble des **Projets** concernés par la période de planification ;  $|P| = NP$

auquel on a ajouté le site de la plateforme centrale de ressources , soit  $NP + 1$  site d'affectation au total

$M$  : Ensemble des **Mois** de la période de planification considérée ;  $|M| = NM$ .

Exprimons le nombre de chacun des paramètres suivants, pour un type de ressource fixé :

$$\begin{aligned}
 \_ \text{Nombre de variables binaires de type } X_{ijk} &= NR \times NP \times NM \\
 \_ \text{Nombre de contraintes de type (4.)} &= NR \times NM \\
 \_ \text{Nombre de contraintes de type (4.)} &= NP \times NM \\
 \_ \text{Nombre de contraintes de type (4.)} &= NR \times NP \times [(NM - 1) + 1] \\
 &= NR \times NP \times NM
 \end{aligned} \tag{3.11}$$

Soient au total :

$$\underline{\text{Nombre de contraintes tous types confonds}} = NM[NR + NP(NR + 1)] \tag{3.12}$$

Pour donner une idée sur le nombre de variables et de contraintes correspondant à un type donné de ressources, citons l'exemple des pelles sur chenilles qui sont au nombre de 47 unités à cette date.

Ayant recensé jusqu'à présent 26 projets, nous avons les données suivantes :  $NR = 47$ ,  $NP + 1 = 26 + 1 = 27$  et  $NM = 12$  , si l'on traite une période de planification d'exercice d'une année. Nous aurons donc au cours de ce programme :

$$\begin{aligned}
 \_ NR \times (NP + 1) \times NM &= 47 \times 27 \times 12 = 15228 \\
 \_ NM.[NR + NP(NR + 1)] &= 15540 \text{ contraintes de tous types}
 \end{aligned}$$

Notons encore une fois que cet exemple permet uniquement d'avoir une approximation de la taille possible d'un problème moyen, comme celui des pelles sur chenilles.

On remarque bien que ces nombres sont assez importants, et c'est la raison pour laquelle nous sommes amenés inévitablement à faire appel à des méthodes non exactes de résolution.

### 3.4.2 Caractéristiques importantes du modèle

On remarque bien que ces nombres sont assez importants, et c'est la raison pour laquelle nous sommes amenés inévitablement à faire appel à des méthodes non exactes de résolution.

- Clarté et précision des variables de décision ;
- Linéarité de toutes les contraintes ;
- Deux objectifs dont l'un non linéaire ;
- Taille importante du problème ;

Ces indications vont nous guider un peu dans la recherche d'une méthode de résolution appropriée.



## Chapitre 4

# Approches de résolution

L'objet de ce chapitre est précisément de présenter les approches de résolution de notre problème. Avant de commencer la présentation de nos algorithmes, c'est toujours intéressant d'apporter au lecteur quelques définitions sur les méthodes appelées heuristiques et métaheuristiques, ainsi que de présenter une partie du palmarès des techniques métaheuristiques les plus utilisées de nos jours et plus fiables (en termes de temps de recherche d'une solution relativement bonne).

### 4.1 Généralités sur les heuristiques

En Recherche Opérationnelle, on trouve plusieurs classes de problèmes définies selon des propriétés et des caractéristiques de « difficulté et complexité relative » [29][14].

Leur résolution est souvent lourde d'application, on entend par là que l'utilisation de méthodes exactes de résolution est parfois possible mais ces dernières peuvent être désavantageuses en terme de temps par exemple, c'est-à-dire que l'on ne peut connaître à priori le nombre exact d'itérations nous menant à l'optimum (si optimum il y a), et souvent le temps écoulé à chercher une solution pour prendre une décision est lui-même aussi important que cette décision.

De tels problèmes sont très fréquemment rencontrés dans la vie réelle, et dans certains cas les décideurs ont besoin de solutions immédiates. Les chercheurs se sont donc tournés vers d'autres techniques de résolution dites heuristiques. Ces heuristiques sont en fait des procédures intuitives (empiriques) propres à chaque problème, conçues étape par étape en utilisant le bon sens et la logique et s'orientant selon les préférences du décideur, de sorte à trouver une solution aussi satisfaisante que possible.

En effet, les heuristiques, à la différence des méthodes exactes, sont souvent construites à partir de l'expérience ou d'analogies, plutôt que d'une analyse scientifique qui prend en compte un maximum d'éléments et qui serait difficilement exploitable.

Une heuristique reste cependant spécifiquement élaborée pour un type précis de problèmes contrairement aux métaheuristiques qui, comme nous le verrons dans la suite de ce chapitre, peuvent être appliquées à différentes catégories de problèmes à condition d'en

trouver une bonne adaptation à ces derniers.

Nous invitons le lecteur à consulter l'exemple d'heuristique présenté à titre pédagogique en annexe .

Ce qui est à retenir concernant les heuristiques est qu'elles sont des méthodes approximatives (non exactes) conçues en vue d'atteindre des solutions satisfaisantes en un temps réduit par rapport à l'application d'une méthode exacte, si elle existe, qui ne convergerait pas assez vite vers un optimum. Aussi, il est important de souligner que ces méthodes sont fondées sur une certaine logique intuitive propre à chaque chercheur et adoptée face à une problématique précise.

## 4.2 Les méta-heuristiques et leurs concepts

Depuis quelques décennies, les ingénieurs et chercheurs étaient déjà confrontés à des problèmes d'optimisation grandissants, auxquels ils ne trouvaient pas de techniques de résolution satisfaisantes en termes de temps de calcul et de convergence vers une solution optimale.

Dès le début des années 80, s'inspirant de mécanismes naturels (physiques, biologiques ou éthologiques) les entourant, ils développent par analogie aux phénomènes observés dans leur milieu de vie direct, des procédés d'exploration des ensembles de solutions réalisables des problèmes difficiles de l'optimisation combinatoire. C'est l'apparition des métaheuristiques,

Les métaheuristiques constituent une classe de méthodes très puissantes pour l'optimisation combinatoire et l'affectation sous contraintes de grande échelle. Ces méthodes ont permis de trouver des solutions de bonne qualité en temps raisonnable à des problèmes combinatoires réputés difficiles. On les trouve sous deux types :

- L'exploration par méthodes de descente (amélioration itérative par visite de voisinage), telles la recherche avec tabous ou le recuit simulé ;
- L'application de métaheuristiques dites distribuées , qui itèrent sur un échantillon (de taille fixe) de solutions, comme les algorithmes évolutionnaires ou de colonies de fourmis .

Les méthodes de descente (appliquées pour des problèmes de minimisation), par « recherche avec tabous » ou par « recuit simulé », sont les premières à avoir été utilisées ; elles itèrent séquentiellement sur une solution réalisable dont elles tentent d'améliorer la valeur de l'objectif, consultant un voisinage (la notion de voisinage doit être précisément définie au préalable) de la solution courante mais peuvent cependant souvent être piégées dans des minimums locaux. Même l'application répétée d'une telle procédure est particulièrement inefficace si le nombre de minimums locaux croît exponentiellement avec la taille du problème. [11]

Quant aux méthodes d'exploration distribuée, telles que « les algorithmes évolu-

tionnaires » dits aussi « génétiques » et les « algorithmes de colonies de fourmis », elles itèrent progressivement sur des ensembles finis de solutions en partant d'une population initiale non homogène aléatoirement choisie, et agissent, d'une itération à la suivante, sur les caractères représentés dans l'intégralité de celle-ci. Elles exigent cependant une bonne compréhension du problème pour la construction des différents opérateurs régissant le passage d'une population vers une nouvelle qui soit relativement meilleure.

Cependant le choix d'une bonne métaheuristique et l'adapter bien comme il le faut au problème en question fait appel généralement au savoir-faire et à l'expérience de l'utilisateur, plutôt qu'à l'application de règles bien établies.

Il existe de plus des méthodes dites « hybrides » qui sont des combinaisons entre les métaheuristiques distribuées et les méthodes séquentielles, visant à tirer profit des avantages respectifs des unes et des autres. Voir Figure 4.1

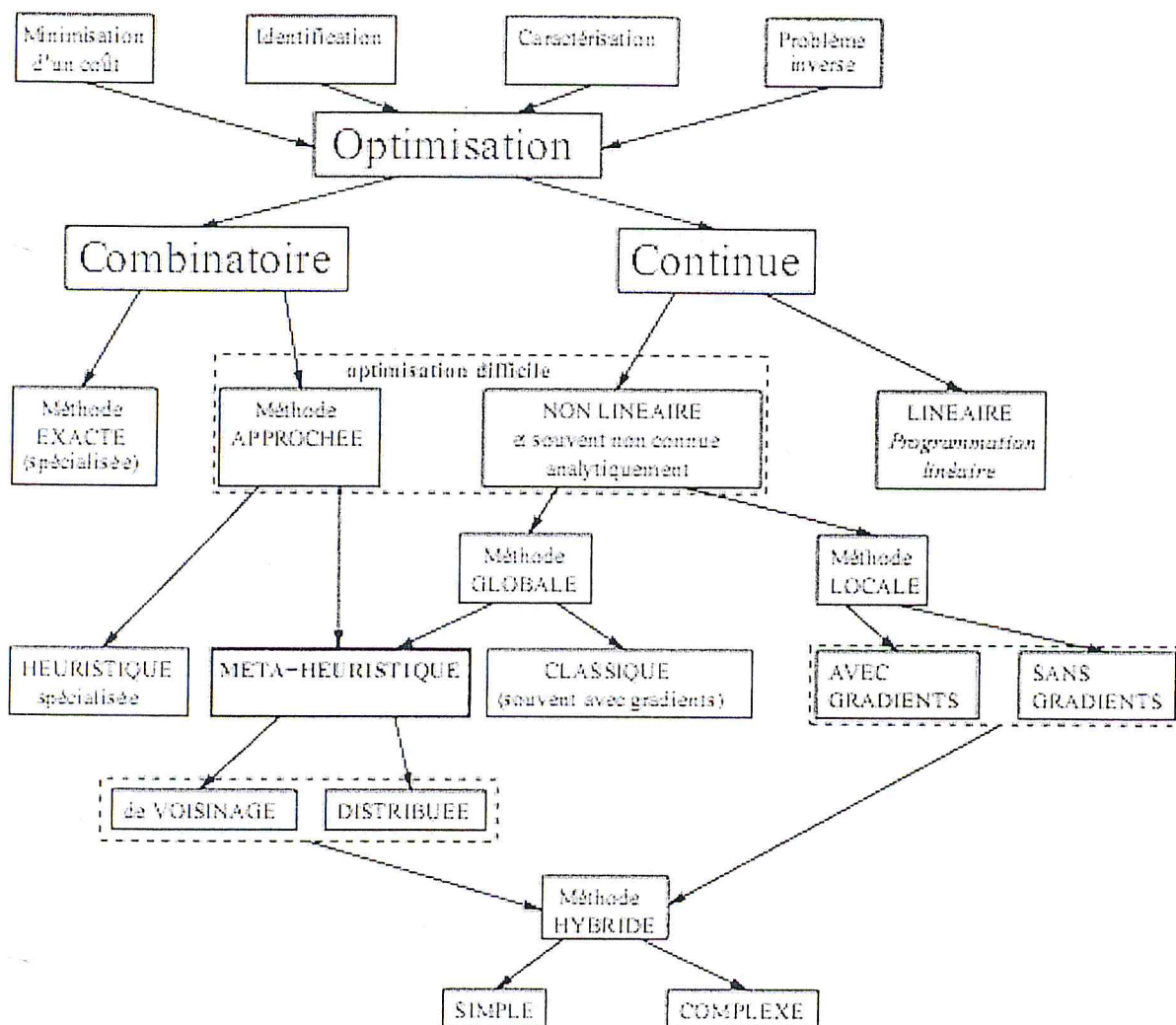


FIGURE 4.1 – Classification générale des méthodes d'optimisation.

### 4.3 Les métaheuristiques les plus connues

Nous allons procéder maintenant à une brève présentation de quelques métaheuristiques souvent rencontrées et utilisées [11],

#### 4.3.1 Algorithmes de colonies de fourmis

Pour la recherche de chemins optimaux dans un graphe, cette algorithmes est proposé à la fin des années 1980 par Moyson et Manderick, puis par Dorigo dans les années 90. [25][15][27]

L'idée originale est issue de l'observation du comportement collectif d'exploitation de la nourriture chez les fourmis. En effet, celles-ci, bien qu'ayant individuellement des capacités cognitives très limitées, sont capables collectivement de résoudre le problème de la découverte du plus court chemin entre une source de nourriture et leur nid. [2],[1],[28]

Les scientifiques ont donc remarqué, après plusieurs expériences, que lorsque les fourmis ont le choix entre deux parcours de longueurs différentes, menant au même point de nourriture, elles ont automatiquement tendance à emprunter le plus court chemin.

Voici un modèle grossier qui explique ce comportement (voir Figure 4.2) :

- Une fourmi « éclaireuse » parcourt plus ou moins aléatoirement l'environnement autour de la colonie ;
- si celle-ci découvre une source de nourriture, elle rentre plus ou moins directement au nid, en laissant sur son chemin une piste de phéromones ;
- ces phéromones étant attractives, les fourmis passant à proximité vont avoir tendance à suivre, de façon plus ou moins directe, cette piste ;
- en revenant au nid, ces mêmes fourmis vont renforcer la piste ;
- si deux pistes sont possibles pour atteindre la même source de nourriture, celle étant la plus courte sera, dans le même temps, parcourue par plus de fourmis que la piste longue ;
- la piste courte sera donc de plus en plus renforcée par les phéromones, et donc de plus en plus attractive ;
- la piste longue, elle, finira par disparaître, les phéromones étant plus ou moins volatiles.
- à terme, l'ensemble des fourmis a donc « choisi » la piste la plus courte.

Les algorithmes de colonies de fourmis sont beaucoup étudiés depuis quelques années, le problème du voyageur de commerce a fait l'objet de la première implémentation de l'algorithme « Ant System » (système de fourmis) ; le passage de la métaphore à l'algorithme est dans ce cas relativement facile à faire puisque le problème du voyageur de commerce est bien connu et étudié. Il est tout de même bon de mentionner l'existence d'une littérature importante sur toutes sortes d'autres problèmes solvables grâce aux variantes de cette approche, comme par exemple : coloriage de graphes, affectation de fréquence, affectation généralisée, sac à dos multi dimensionnel, etc.

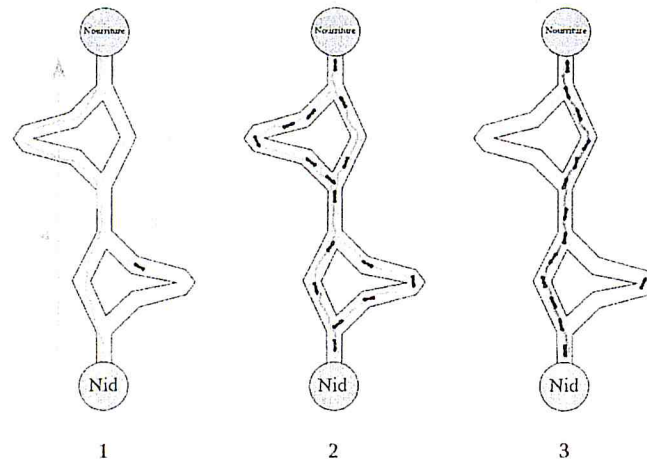


FIGURE 4.2 – Comportement des Fourmis

#### 4.3.2. Recuit simulé

Mise au point par trois chercheurs de la société IBM, S. Kirkpatrick, C.D. Gelatt et M.P. Vecchi en 1983, et indépendamment par V. Cerny en 1985 [22], la méthode du recuit simulé s'appuie sur un algorithme qui permet de décrire l'évolution d'un système thermodynamique. Par analogie avec le processus physique de recuit des matériaux cristallins. Ce dernier consiste à amener un solide à basse température après l'avoir élevé à forte température. Lorsque le solide est à une forte température, chaque particule possède une très grande énergie et peut effectuer de grands déplacements aléatoires dans la matière. Au fur et à mesure que la température est abaissée, chaque particule perd de l'énergie et sa capacité de déplacement se réduit. Les différents états transitoires de refroidissement permettent d'obtenir des matériaux très homogènes et de bonne qualité.

Pour pouvoir adapter ce comportement à un problème d'optimisation, les déplacements aléatoires de chacun des points vont être liés à une probabilité dépendante d'une variable représentant la température du matériau [7][19].

L'algorithme qui décrit cette méthode peut être écrit simplement comme suit :

- a) a) A partir d'une solution initiale  $x_0$  on effectue un déplacement aléatoire (par exemple on translate un composant, ou on échange deux composants).
- b) b) Si le déplacement mène à  $x_1$  tel que le critère que l'on cherche à optimiser est amélioré (on a fait baisser l'énergie du système) alors  $x_1$  est accepté ; Sinon, il est accepté avec une probabilité

$$P = \exp\left[\frac{-\Delta(f)}{K.T}\right] \quad (4.1)$$

$\Delta(f)$  REPRÉSENTE LA DISTANCE DE DÉPLACEMENT :  $x_1 - x_0$   
 $T$  est assimilé à une température décroissante au cours du temps.

$k$  est une constante.

Au début de la simulation, les points ont une grande capacité d'exploration de l'espace d'états car l'algorithme accepte des déplacements importants. De nombreux points n'améliorant pas le critère sont acceptés car la probabilité  $P$  est grande.

Au fur et à mesure que  $T$  diminue ( $P$  augmente), la capacité de déplacement d'un point diminue et les points améliorant le critère sont de plus en plus nombreux. Quand  $T$  tend vers 0, seuls les points améliorant leur valeur sont acceptés.

Pour comprendre simplement le principe de ce fonctionnement, imaginons une bille qui glisse le long d'une surface. Si cette surface est convexe alors la bille va atteindre le point minimal de la surface après plusieurs oscillations (comme montré ci-dessous).

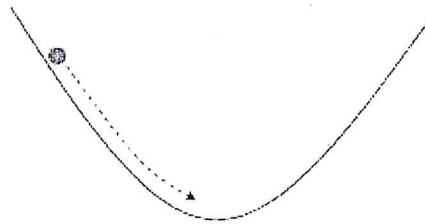


FIGURE 4.3 – Surface convexe

Par contre, si cette surface n'est pas convexe, en d'autres termes si elle possède au moins un optimum local, alors la bille risque de se bloquer dans un optimum local si son énergie de départ n'est pas assez importante. Avec une énergie initiale importante, la bille pourra éviter le piège comme le montre la figure qui suit :

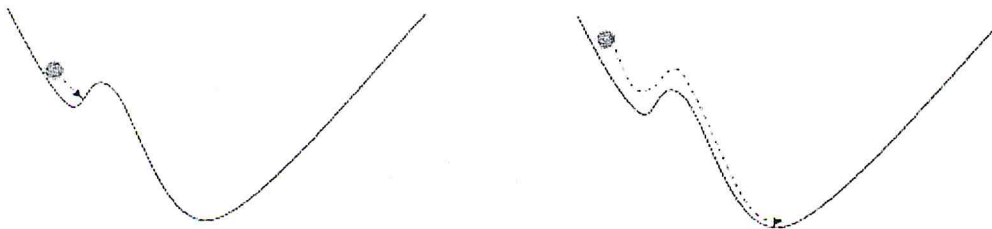


FIGURE 4.4 – Surface non convexe

Le fait donc de partir d'un niveau de température élevé donne à l'algorithme une bonne capacité d'exploration, et le fait que le refroidissement se fasse de manière assez lente évite que la recherche ne s'arrête sur un minimum local.

Les principaux inconvénients du recuit simulé résident dans le choix des nombreux paramètres, tels que la température initiale, la loi de décroissance de la température, les critères d'arrêt ou la longueur des paliers de température. Ces paramètres sont souvent choisis de manière empirique [8].

### 4.3.3 Recherche Tabou

Présentée par Fred Glover en 1986, cette métaheuristique itérative est qualifiée de recherche locale.[20]

En effet, l'idée de la recherche avec tabou consiste, à partir d'une position donnée, à explorer le voisinage et à choisir la position dans ce voisinage qui minimise la fonction objective (pour un problème de minimisation).

Il est essentiel de noter que cette opération peut conduire à augmenter la valeur de la fonction : c'est le cas lorsque tous les points du voisinage ont une valeur plus élevée. C'est grâce à cette opération que l'on peut sortir d'un éventuel minimum local.

Le risque cependant est qu'à l'étape suivante, on retombe dans le minimum local auquel on vient d'échapper. C'est pourquoi il faut que l'heuristique ait de la mémoire : le mécanisme consiste à interdire (d'où le nom de tabou) de revenir sur les dernières positions explorées.

Les positions déjà explorées sont conservées dans une pile FIFO (appelée souvent liste tabou) d'une taille donnée, qui est un paramètre ajustable de l'heuristique. Cette pile doit conserver des positions complètes, ce qui dans certains types de problèmes, peut nécessiter le stockage d'une grande quantité d'informations. Cette difficulté peut être évitée en ne gardant en mémoire que les mouvements précédents, associés à la valeur de la fonction à minimiser c'est-à-dire qu'on mémorise les actions qui nous ont fait passer à la nouvelle solution voisine [31][6][30].

### 4.3.4 Algorithmes évolutionnaires

Les algorithmes génétiques, parfois appelés aussi algorithmes évolutionnaires, appartiennent à la famille des métaheuristicues, dont le but est d'obtenir une solution approchée, en un temps correct, à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas de méthode exacte pour le résoudre rapidement. Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle développée au XIXe siècle par le scientifique Darwin et l'appliquent à une population de solutions potentielles au problème donné. Comme on va travailler avec cette approche on va la voir plus en détail dans ce qui suis [11]

## 4.4 Algorithmes évolutionnaires (génétiques)

L'utilisation, dans la résolution de problèmes, d'algorithmes génétiques est à l'origine le fruit des recherches de John Holland et de ses collègues et élèves de l'Université du Michigan qui ont, dès 1960, travaillé sur ce sujet. La nouveauté introduite par ce groupe de chercheurs a été la prise en compte de l'opérateur de Crossing Over en complément des mutations. Et c'est cet opérateur qui permet le plus souvent de se rapprocher de l'optimum d'une fonction en combinant les gènes contenus dans les différents individus de la population. Le premier aboutissement de ces recherches a été la publication en 1975 de «

Adaptation in Natural and Artificial System » [5] [32][9].

#### 4.4.1 Analogie avec la biologie

##### 1. Terminologie commune aux deux disciplines :

Les algorithmes génétiques étant basés sur des phénomènes biologiques, il convient de rappeler au préalable quelques termes de génétique.

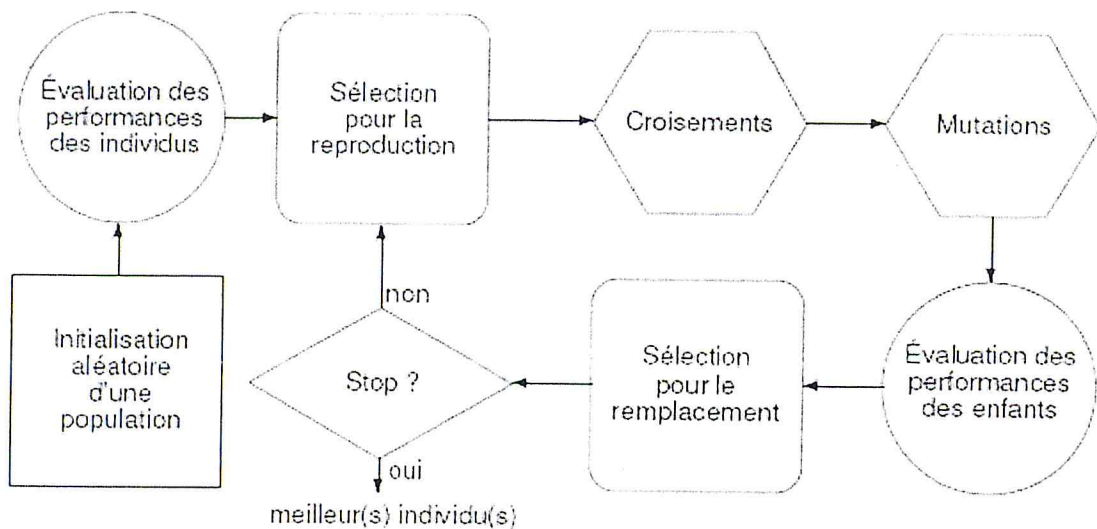


FIGURE 4.5 – Organigramme de l'algorithme génétique

Les organismes vivants sont constitués de cellules, dont les noyaux comportent des chromosomes qui sont des chaînes d'ADN. L'élément de base de ces chromosomes (le caractère de la chaîne d'ADN) est un gène. Sur chacun de ces chromosomes, une suite de gènes constitue une chaîne qui code les fonctionnalités de l'organisme et ses caractères (la couleur des yeux, la taille, etc.). La position d'un gène sur le chromosome est son locus.

L'ensemble des gènes d'un individu est son génotype et l'ensemble du patrimoine génétique d'une espèce est le génome. Les différentes versions ou expressions d'un même gène sont appelées allèles.

On utilise aussi, dans les algorithmes génétiques, une analogie avec la biologie, qui concerne l'évolution, hypothèse émise par Darwin et qui propose qu'au fil du temps, les gènes conservés au sein d'une population donnée sont ceux qui sont le plus adaptés aux besoins de l'espèce vis à vis de son environnement.

##### 2. Les outils issus de la biologie :



La génétique a mis en évidence l'existence de plusieurs opérations au sein d'un organisme donnant lieu au brassage génétique. Ces opérations interviennent lors de la phase de reproduction lorsque les chromosomes de deux organismes fusionnent. Ces opérations sont imitées par les algorithmes génétiques afin de faire évoluer les populations de solutions de manière progressive.

### 3. Les sélections :

Pour déterminer quels individus sont plus enclins à obtenir les meilleurs résultats, une sélection est opérée. Ce processus est analogue à un processus de sélection naturelle, les individus les plus adaptés gagnent la compétition de la reproduction tandis que les moins adaptés meurent avant la reproduction, ce qui améliore globalement l'adaptation.

### 4. Les crossing over ou recombinaisons :

Lors de cette opération, deux chromosomes s'échangent des parties de leurs chaînes, pour donner de nouveaux chromosomes. Ces crossing-over peuvent être simples ou multiples. Dans le premier cas, les deux chromosomes se croisent et s'échangent des portions d'ADN à partir d'un seul point comme l'indique la figure suivante :

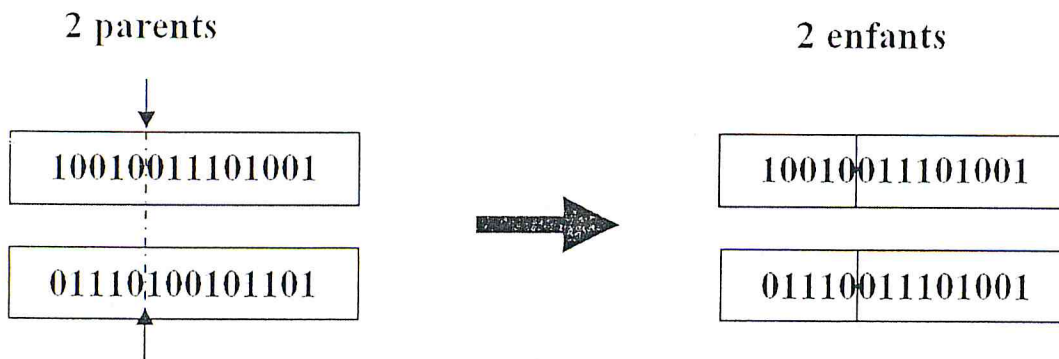


FIGURE 4.6 – Représentation schématique du croisement en un point

Dans le deuxième cas, il y a plusieurs points de croisement, et on procède comme l'indique le schéma :

Outre ces deux procédés de croiser les individus, il existe une méthode menant à une diversification plus importante et à un meilleur brassage des éléments des chromosomes ; celle-ci consiste en la création d'un « masque » pour le croisement, qui est un vecteur de 0 et de 1 aléatoirement générés (selon une loi uniforme de paramètre 0,5) et de même longueur que les individus. Pour chaque position d'un bit dans les solutions, on permute les éléments des individus seulement lorsque la valeur contenue dans le masque est égale à 1, dans le cas contraire, les éléments

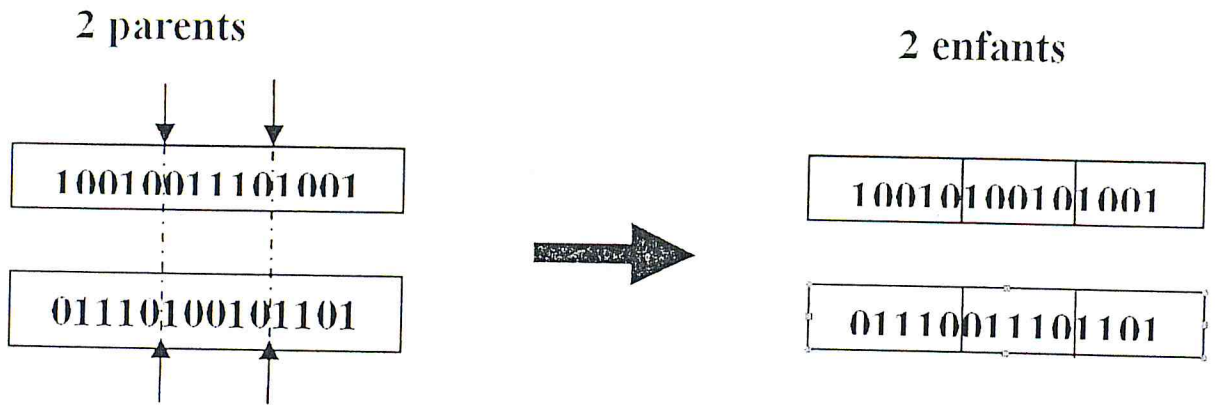


FIGURE 4.7 – Représentation schématique du croisement en deux points

des deux chromosomes parents sont conservés tels quels.

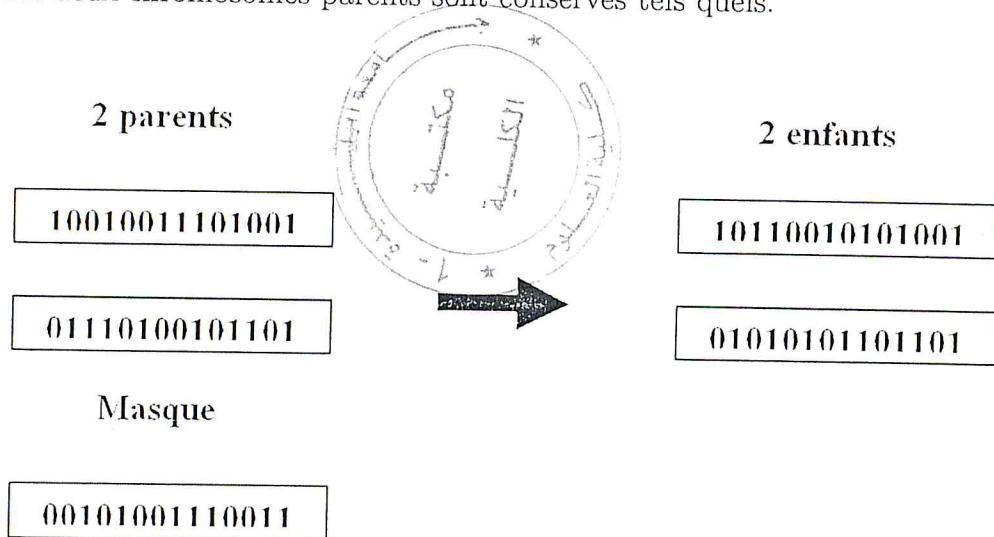


FIGURE 4.8 – Représentation schématique du croisement avec masque

Pour les algorithmes génétiques, c'est cette opération de croisement qui est prépondérante; mais plus généralement, le programmeur est appelé à définir une technique de recombinaison encore plus spécifique pour son problème, et qui dépend surtout du codage des solutions du problème. La probabilité d'apparition d'un crossover peut être généralement comprise entre 0,1 et 0,9 (elle est préalablement fixée).

L'opérateur de croisement doit respecter généralement les propriétés suivantes :

- Le croisement de deux parents identiques donnera des descendants identiques aux parents ;
- Par extension, deux parents proches l'un de l'autre dans l'espace de recherche engendreront des descendants qui leur seront proches.

Le taux de croisement détermine la proportion des individus qui sont croisés parmi ceux qui remplaceront l'ancienne génération. Plus le taux de croisement est élevé, plus il y aura de nouvelles structures qui apparaissent dans la population. Mais il ne faut pas qu'il soit trop élevé car de « bonnes structures » risqueraient d'être cassées trop vite par rapport à l'amélioration que peut apporter la sélection ; il ne faut pas non plus qu'il soit trop faible car la recherche risque de stagner à cause du faible taux d'exploration. Le taux habituel est choisi entre 50% et 90%.

#### 5. Les mutations :

L'opérateur de mutation apporte aux algorithmes génétiques la propriété d'ergodicité de parcours d'espace. Cette propriété indique que l'algorithme génétique sera susceptible d'atteindre tous les points de l'espace d'état, sans pour autant les parcourir tous dans le processus de résolution.

De la même manière que pour les crossing-over, on définit ici un taux de mutation lors des changements de population qui est typiquement faible, généralement compris entre 0,001 et 0,01. Il est nécessaire de choisir pour ce taux une valeur relativement faible de manière à ne pas tomber dans une recherche aléatoire et conserver le principe de sélection et d'évolution. Un taux de mutation trop élevé rend la recherche trop aléatoire ; par contre, avec un taux de mutation trop faible, la recherche risque de se concentrer toujours sur les mêmes individus et de mal explorer le domaine de recherche (risque de blocage dans un optimum local).

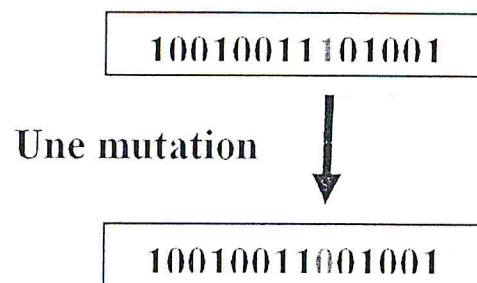


FIGURE 4.9 – Représentation schématique de la mutation

#### 4.4.2 Principe de l'algorithme

Les algorithmes génétiques se basent sur les différents principes décrits ci-dessus. De manière globale, on commence avec une population de base qui se compose le plus souvent de chaînes de caractères correspondant chacune à un chromosome. Plusieurs possibilités de codages des solutions sont envisageables, selon le problème traité, mais nous retiendrons pour le moment l'utilisation la plus simple et la plus utilisée du codage binaire (ex. : 0100110).

Le contenu de la population initiale est généré aléatoirement (ou pseudo aléatoirement, c'est-à-dire que la recherche de solutions réalisables initiales est plus ou moins guidée par le concepteur de l'algorithme). Il est évident que le choix de la population initiale d'individus conditionne fortement la rapidité de l'algorithme. Diverses stratégies sont d'ailleurs envisageables pour échantillonner correctement un espace de recherche complexe ou de grande dimension. On attribue à chacune des solutions une note qui correspond à son adaptation au problème (on parle alors de fonction « fitness », correspondant en général à la valeur du critère de la solution). Ensuite, on effectue une sélection au sein de cette population.

Il existe plusieurs techniques de sélection. Voici les principales utilisées :

#### 1. Sélection par rang :

Cette technique de sélection choisit toujours les individus possédant les meilleurs scores d'adaptation, le hasard n'entre donc pas dans ce mode de sélection.

#### 2. Probabilité de sélection proportionnelle à l'adaptation :(appelé aussi Roulette Wheel Selection, ou roue de la fortune) :

Cette méthode consiste à associer à chaque individu un segment dont la longueur est proportionnelle à sa fonction de performance, donc à son adaptation au problème. On reproduit ici le principe de tirage aléatoire utilisé dans les roulettes de casinos, sur un axe que l'on normalise entre 0 et 1. Afin de sélectionner un individu, on utilise le principe de la roue de la fortune biaisée.

Cette roue est une roue de la fortune classique sur laquelle chaque individu est représenté par une portion proportionnelle à son adaptation. On effectue ensuite un tirage au sort homogène sur cette roue. Avec ce système, les grands segments, autrement dit les bons individus, seront choisis plus souvent que les petits.

#### 3. Sélection par tournoi :

Cette technique utilise la sélection proportionnelle sur des paires d'individus, puis choisit pour ces paires l'individu qui a le meilleur score d'adaptation.

#### 4. Sélection uniforme :

La sélection se fait aléatoirement, uniformément et sans intervention de la valeur d'adaptation. Chaque individu a donc une probabilité  $1/P$  d'être sélectionné, où  $P$  est le nombre total d'individus dans la population.

Lorsque deux chromosomes ont été sélectionnés, on réalise un crossing-over. On effectue ensuite des mutations sur une faible proportion d'individus, choisis aléatoirement. Ce processus nous fournit une nouvelle population. On réitère le processus un grand nombre de fois de manière à imiter le principe d'évolution, qui

ne prend son sens que sur un nombre important de générations.

Il existe plusieurs techniques qui permettent éventuellement d'optimiser ces algorithmes, on trouve par exemple des techniques dans lesquelles on insère à chaque génération quelques individus non issus de la descendance de la génération précédente mais générés aléatoirement. Ainsi, on peut espérer éviter une convergence vers un optimum local.

#### 4.4.3 Critère d'arrêt

L'arrêt de l'évolution d'un algorithme génétique est l'une des difficultés majeures car il est souvent difficile de savoir si l'on a trouvé l'optimum.

Actuellement, les critères les plus utilisés sont les suivants :

- Arrêt de l'algorithme après un certain nombre de générations, fixé au départ ; c'est ce que l'on est tenté de faire lorsque l'on doit trouver une solution en un temps limité ;
- L'algorithme peut être arrêté lorsque la population n'évolue plus, ou plus suffisamment rapidement, i.e. les meilleurs individus ne s'améliorent plus depuis un certain nombre de générations ;
- On peut aussi arrêter le processus lorsqu'une solution possède une valeur du fitness suffisamment satisfaisante.

#### 4.4.4 Codage d'un algorithme génétique

Pour les algorithmes génétiques, un des facteurs les plus importants, si ce n'est le plus important, est la façon dont sont codées les solutions (ce que l'on a nommé ici les chromosomes), c'est-à-dire les structures de données qui coderont les gènes.

##### 1. Codage binaire :

Ce type de codage est certainement le plus utilisé car il présente plusieurs avantages. Son principe est de coder la solution selon une chaîne de bits (qui peuvent prendre les valeurs 0 ou 1). Les raisons pour lesquelles ce type de codage est le plus utilisé sont tout d'abord historiques. En effet, lors des premiers travaux de Holland, les théories ont été élaborées en se basant sur ce type de codage. Et même si la plupart de ces théories peuvent être étendues à des données autres que des chaînes de bits, elles n'ont pas été autant étudiées dans ces contextes. Cependant, l'avantage de ce type de codage sur ses concurrents a tendance à être remis en question par les chercheurs actuels qui estiment que les démonstrations d'Holland sur les avantages supposés de ce codage ne sont pas révélatrices.

Il existe au moins un côté négatif à ce type de codage qui fait que d'autres existent. En effet, ce codage est souvent peu naturel par rapport à un problème donné (l'évolution des poids d'arcs dans un graphe par exemple est difficile à

coder sous la forme d'une chaîne de bits).

## 2. Codage à caractères multiples :

Une autre manière de coder les chromosomes d'un algorithme génétique est le codage à l'aide de caractères multiples (par opposition aux bits). Souvent, ce type de codage est plus naturel que celui énoncé ci-dessus. C'est d'ailleurs celui-ci qui est utilisé dans de nombreux cas poussés d'algorithmes génétiques.

Finalement, le choix du type de codage ne peut pas être effectué de manière sûre dans l'état actuel des connaissances. Selon les chercheurs dans ce domaine, la méthode actuelle à appliquer dans le choix du codage consiste à choisir celui qui semble le plus naturel, le plus adéquat en fonction du problème à traiter et développer ensuite l'algorithme de traitement.

### 4.4.5 Les conditions du problème

Comme cela a été dit plus haut, les algorithmes génétiques peuvent être une bonne solution pour résoudre un problème. Néanmoins, leur utilisation doit être conditionnée par certaines caractéristiques du problème. Les caractéristiques à prendre en compte sont les suivantes :

- Nombre de solutions important : En effet, les performances des algorithmes génétiques par rapport aux algorithmes classiques sont plus marquées lorsque les espaces de recherches sont importants. Pour un espace dont la taille est faible, il peut être plus sûr de parcourir cet espace de manière exhaustive afin d'obtenir la solution optimale en un temps qui restera correct. Au contraire, utiliser un algorithme génétique engendrera le risque d'obtenir une solution non optimale, en un temps qui restera sensiblement identique.
- Pas d'algorithme déterministe adapté et raisonnable.
- Lorsque l'on préfère avoir une solution relativement bonne rapidement plutôt qu'avoir la solution optimale en une durée indéfinie. C'est ainsi que les algorithmes génétiques sont utilisés pour la programmation de machines qui doivent être très réactives aux conditions environnantes.

### 4.4.6 Les limites

Le temps de calcul : par rapport à d'autres métaheuristiques, les algorithmes génétiques nécessitent de nombreux calculs, en particulier au niveau de la fonction d'évaluation (fitness de chaque individu). Ils sont, de plus, souvent difficiles à mettre en œuvre : des paramètres comme la taille de la population ou le taux de mutation sont parfois difficiles à déterminer. Or le succès de l'évolution en dépend et plusieurs essais sont donc nécessaires, ce qui limite encore l'efficacité de l'algorithme. En outre, choisir une bonne fonction d'évaluation est aussi critique. Celle-ci doit prendre en compte les bons paramètres du problème. Elle doit donc être choisie avec soin (après plusieurs essais).

Il faut aussi noter l'impossibilité d'être assuré, même après un nombre important de générations, que la solution trouvée est la meilleure. On peut seulement être sûr que l'on s'est approché de la solution optimale (pour les paramètres et la fonction d'évaluation choisie), sans la certitude de l'avoir atteinte.

Un autre problème important est celui des optimums locaux. En effet, lorsqu'une population évolue, il se peut que certains individus qui, à un instant, occupent une place importante au sein de cette population deviennent majoritaires. À ce moment, il se peut que la population converge vers cet individu et s'écarte ainsi d'individus plus intéressants mais trop éloignés de l'individu vers lequel on converge. Pour vaincre ce problème, il existe différentes méthodes comme l'ajout de quelques individus générés aléatoirement à chaque génération ou des méthodes de sélection différentes de la méthode classique.

## 4.5 Conclusion

Ce chapitre a débuté par une section d'introduction sur les heuristiques et méta-heuristiques, approche différente. Ces méthodes ont montré leur efficacité pour trouver des solutions approchées satisfaisantes pour un grand nombre de problèmes. Le chapitre suivant sera consacré à adapter ces méthodes et techniques à notre problème.

## Chapitre 5

# Présentation des méthodes de résolution

### 5.1 L'Heuristique

Nous donnons ,dans ce chapitre, un aperçu sur la première technique de résolution que nous allons appliquer à notre problème et qui est une heuristique gloutonne[24] conçue spécifiquement pour son traitement.

Rappelant que notre objectif est de déterminer une affectation des ressources aux projets dans le but de maximiser le nombre de demandes favorables pour chaque mois tout en tenant compte des différentes contraintes qui se posent .

#### 5.1.1 Justification du choix

Face à un nombre de données et de variables assez important, et devant la présence d'une série de contraintes peu particulières ainsi qu'une fonction objectif non linéaire, il est difficile d'entreprendre une résolution par une méthode exacte, comme par exemple celle du Branch and Bound (Séparation et Evaluation), qui serait prohibitive dans la mesure où son temps d'application peut s'avérer exorbitant. Notre méthode a été élaborer selon une certaine logique de réflexion par rapport à ce problème d'affectation, étant donnée la complexité relative de sa résolution.

Voulant trouver la planification des affectations de chaque ressource vers les différents projets R&D&I durant chaque mois de la période considérée, nous procéderons dans cette méthode progressivement en traitant les affectations mois par mois. Ainsi, nous effectuons en chaque fin de mois une réactualisation du positionnement et de la disponibilité de chaque équipement et également une récapitulation des demandes effectuées par tous les projets pour le mois à venir, afin d'affecter d'une manière simple chaque ressource vers le projet le plus proche exprimant une demande en le type de ressource traité, tout en assurant la satisfaisabilité des différentes contraintes.



### 5.1.2 Principe d'application

Les étapes successives qui suivent expriment la démarche à suivre au cours de cette résolution.

#### — Etude préliminaire :

1. Faire le tableau récapitulatif de toutes les demandes de tous les projets pour chaque mois de la période et pour chaque type de ressource.
2. Pour chaque mois et chaque type de ressource comparer les demandes de tous les projets, on aura les cas suivants :
  - Les demandes sont nulles, il n'y aura pas d'affectation du type de ressource considéré (tous les équipements et ressources sont alors envoyés vers la Plateforme Centrale de Ressources (PCR) pour le mois à venir).
  - Les demandes dépassant le nombre de ressources de ce type que possède CDTA, on fait appel à l'heuristique « Affectation Ressources », et on détermine le nombre de locations externes nécessaires.
  - Le patrimoine du CDTA en ces ressources est supérieur à toutes les demandes; ici aussi l'heuristique « Affectation Ressources » intervient et le nombre de locations externes est nul.

### 5.1.3 Le principe de l'heuristique « Affectation Ressources »

Nous avons comme informations en entrée les demandes en ressources matérielles et humaines de chaque projet durant toute la durée de l'exercice, la liste de ces derniers est à notre disposition ainsi que leurs emplacements à travers le CDTA et forcément les coûts de location de chaque équipement et la maintenance.

Connaissant cela, nous avons pensé à développer une heuristique gloutonne qui traite un type d'équipement à la fois et dont le principe est le suivant :

---

#### Heuristique Affectation\_Ressources ;

- (1) Fixer un type de ressource ; aller à (2) ;
- (2) Classer les ressources de ce type selon leur état du meilleur au plus médiocre ; aller à (3) ;
- (3) Au début de la période :
  - (3.1) Faire le récapitulatif général des demandes en ce type de ressource par tous les projets pour le mois à venir ; aller en (3.2) ;
  - (3.2) Si les demandes sont nulles, alors affecter tous les ressources de ce type vers le parc de la Plateforme technologique

- et passer au mois suivant ;  
aller en (3.1) ;  
Sinon, aller en (3.3) ;
- (3.3) Localiser la ressource durant le mois précédent ;  
aller en (3.4) ;
- (3.4) Récapituler les demandes en ce type de ressource pour le prochain mois dans chacun des projets et classer ceux-ci dans l'ordre croissant de la date de la demande par rapport à l'emplacement actuel de la ressource ;  
aller en (3.5) ;
- (3.5) S'il n'y a plus de demandes en ce type de ressource pour le mois suivant, affecter cette ressource à la PT durant le mois suivant ;  
et aller en (3.7) ;  
Sinon aller en (3.6) ;
- (3.6) Affecter cet ressource au premier projet demandeur pour le mois à venir ;  
aller en (3.7) ;
- (3.7) Si on a parcouru toutes les ressources de ce type, choisir un autre type de ressource et aller en (2) ;  
Sinon, passer à la ressource suivant et aller en (3) ;
- 

### Algorithme 1 - Heuristique Affectation Ressources

Comme toute méthode de résolution, l'heuristique gloutonne proposée ci-dessus possède des avantages et des inconvénients. De la manière intuitive dont est définie cette heuristique, on tend à penser que cette dernière nous mènera vers une solution assez proche d'un optimum de Pareto. En effet, la politique de choix des meilleurs ressources en priorité nous assure l'optimalité par rapport au premier critère, relatif à la maximisation de la satisfaction des demandes par l'utilisation des ressources de meilleure qualité, même si la solution ainsi obtenue risque d'être dominée par une autre par rapport au deuxième critère (distance totale parcourue par les ressources), ce que nous ne pouvons prévoir à priori.

Ainsi, le résultat qu'affichera en sortie cet algorithme est intéressant dans la mesure où il effectue un compromis entre temps de résolution et qualité de la solution proposée au décideur.

## 5.2 La Méthode évolutionnaire

Dans cette partie, nous décrivons une variante des algorithmes évolutionnaires cités plus haut, que nous avons choisi d'utiliser pour la résolution du problème de planification des affectations des ressources aux projets  $s$ . La méthode NSGA II (Nondominated Sorting Genetic Algorithm II), une fois bien adaptée à la définition du problème par un bon codage des solutions et une bonne définition des opérateurs de sélection et de diversification, s'avère être efficace pour ce type de problème multi-objectifs à variables binaires.

### 5.2.1 Justification de l'utilisation de NSGA II

L'utilisation des algorithmes génétiques est de plus en plus répandue au cours des dernières décennies, de par leur capacité considérable à explorer différentes régions dispersées dans le domaine de réalisabilité, tout en essayant d'approcher au mieux les solutions Pareto-optimales, avec un risque minimum d'être piégé dans un optimum local, grâce à la présence de l'opérateur de mutation [13][12].

Une autre raison qui nous pousse à appliquer une telle méthode est la définition même des solutions de notre problème ; en effet, les variables proposées pour notre modèle mathématique dans le chapitre 3 sont binaires, et le codage d'un chromosome représentant une instance du vecteur de décisions s'avère possible en utilisant des structures vectorielles simples, comme nous le décrirons dans la suite de ce paragraphe.

Dans les problèmes multi-objectifs comme celui auquel nous sommes confrontés, une étape difficile des algorithmes génétiques est celle du calcul et de la comparaison des performances des vecteurs critères, pour les solutions d'une même population afin de les classer de la plus intéressante à la moins bonne. L'avantage de l'algorithme NSGA II est qu'il offre une technique intéressante de classement des solutions, selon la notion de dominance, mais aussi selon le concept de la distance de Crowding que nous allons soigneusement définir ci-après.

Cependant, l'implémentation de cette méthode risque d'être coûteuse sur le plan de programmation, puisque il est important d'abord de bien définir les opérateurs de croisement et de mutation tels que l'on n'aboutisse jamais à une solution qui viole l'une des contraintes du problème, mais aussi sur le plan du temps d'application pour la recherche d'une solution qui risque finalement de ne pas être aussi satisfaisante que l'on désire.

### 5.2.2 Stratégie d'application de NSGA II

En 2000, Deb et al. ont proposé un algorithme évolutionnaire multi-objectifs élitiste qu'ils ont appelé NSGA II pour indiquer les origines de la nouvelle approche. En fait, ce n'est que le principe de base du calcul de la performance que NSGA II a hérité de son prédécesseur NSGA (notions de classement des solutions dans des fronts successifs de solutions non dominées, soit le Ranking, puis classement par performances décroissantes dans chaque front).

Dans NSGA II, la population des enfants  $Q_t$  est d'abord créée à partir de la population des parents  $P_t$ . Ensuite, elles sont réunies en un ensemble  $R_t = Q_t \cup P_t$ , qui est trié selon le principe de dominance. La population suivante est remplie par les solutions des sous ensembles non dominés de  $R_t$  l'un après l'autre en commençant, évidemment, par le premier front. Vu que

la taille de  $R_t$  est  $2N$ , tous ces sous ensembles ne peuvent pas rentrer dans la nouvelle population dont la taille doit être égale à  $N$ . Pour choisir les solutions qui vont survivre du front dont seulement une partie peut être placée dans la population suivante, une mesure de la densité des solutions dans l'espace des critères est utilisée [21].

Il est clair qu'au début de l'évolution, ces solutions peuvent être choisies aléatoirement sans influencer le processus de l'optimisation. Mais à partir d'un certain moment  $t$ , le premier front de  $R_t$  commence à contenir plus de  $N$  individus. Dans ce cas, la procédure de préservation de la diversité est appliquée à tous les individus non dominés, ce qui a une grande importance pour la bonne présentation finale de l'ensemble de Pareto.

La population initiale de NSGA II  $P_0$  est remplie aléatoirement (ou pseudo aléatoirement, de façon à assurer la réalisabilité des solutions), et ensuite triée selon le principe de dominance. A l'étape de sélection des parents, NSGA II utilise un tournoi qui est basé tout d'abord sur le rang non dominé, et utilise ensuite une mesure de densité dite Crowding distance pour comparer deux solutions du même rang (cette mesure sera détaillée plus loin). La population  $Q_0$  de taille  $N$  est obtenue par l'application des opérateurs de croisement et de mutation aux parents sélectionnés lors du tournoi.

### 5.2.3 Une itération de NSGA II

Après initialisation aléatoire de la population initiale  $P_0$ , une itération de NSGA II se déroule comme suit :

- 1) Créer  $Q_t$  à partir de  $P_t$  en utilisant le tournoi et en appliquant des opérateurs de variation génétique aux individus gagnants.
- 2) Réunir les populations des parents et des enfants  $R_t = Q_t \cup P_t$ . Trier l'ensemble résultant  $R_t$  en sous ensembles  $F_t$ .
- 3) Soit une nouvelle population  $P_{t+1} = \emptyset$ . Soit le compteur des sous ensembles non dominés  $i = 1$ .
- 4) Tant que  $|P_{t+1}| + |F_i| < N$ ,  $P_{t+1} \rightarrow P_{t+1} \cup F_i$ , et  $i \rightarrow i + 1$ .
- 5) Ordonner l'ensemble  $F_i$  selon les « distances de surpeuplement » (crowding distances ; la procédure de leur calcul est présentée ci-dessous) et inclure  $N - |P_{t+1}|$  solutions ayant les valeurs de distances les plus grandes de la population  $P_{t+1}$ .

Il est important de noter que le tri de  $R_t$  en sous ensembles non dominés fait à l'étape 1 et le remplissage de la population  $P_{t+1}$  peuvent être effectués simultanément. Chaque fois qu'un nouveau front est trouvé, on vérifie s'il peut rentrer dans  $P_{t+1}$  entièrement. Si ce n'est pas le cas, le processus du Ranking (classement par fronts) s'arrête.

### 5.2.4 Calcul des distances de surpeuplement (crowding distances)

Pour estimer la densité des solutions voisines d'une solution  $i$  dans un ensemble non dominé  $F$ , la quantité  $d_i$ , appelée ici « la distance de surpeuplement », est calculée de la façon suivante :

---

### Algorithme Distance de Crowding ;

- (1) Soit  $l = |F|$  . Soit d'abord  $d_{i=0}$  pour toute solution  $i$  de  $F$  . Soit le compteur d'objectifs  $m = 1$
- (2) Pour l'objectif  $m$  , réordonner l'ensemble  $F$  de manière à ce que les valeurs  $Z_m$  de sur ces éléments diminuent. Soit  $I^m = \text{sort}_{[Z_m >]}(F)$  le vecteur des indices, c'est-à-dire  $I_i^m$  dénote l'indice de la solution dans la liste ordonnée selon l'objectif  $m$  .
- (3) Pour chaque solution  $i$  telle que  $2 \leq I_i^m \leq (l - 1)$  , mettre à jour la valeur de  $d_i$  comme suit :

$$d_i \leftarrow d_i + \frac{Z_m^{I_i^m+1} - Z_m^{I_i^m-1}}{Z_m^{\max} - Z_m^{\min}} \quad (5.1)$$

et associer des valeurs de distance très grandes aux solutions sur les extrémités de  $F$  , c'est-à-dire si  $I_i^m = 1$  ou  $I_i^m = l$  ,  $d_i = +\infty$  .

- (4) Si  $m = M$  , la procédure est terminée, sinon incrémenter le compteur d'objectifs  $m \leftarrow (m + 1)$  et retourner à l'étape 2.
- 

### Algorithme 2 – Distance de crowding

La quantité  $d_i$  correspond au semi périmètre du cuboïde dont les sommets sont les voisins les plus proches du point  $i$  (voir figure 5.1).

Le calcul des distances de surpeuplement exige d'ordonner chacun des fronts considérés  $M$  fois, chaque ordonnancement ayant le coût  $O(N \log N)$  .

Le coût de l'étape 3. est  $O(N)$ . Le coût du calcul des distances de surpeuplement est alors de l'ordre de  $O(MN \log N)$  .

#### 5.2.5 Complexité de NSGA II

L'étape 1 de NSGA II consiste à trier la population de taille  $2N$  en sous ensembles non dominés, ce qui exige  $O(M.N^2)$  opérations. L'étape 4. utilise les valeurs de distance de surpeuplement de toutes les  $N$  solutions de la population  $P_t$  , dont le calcul coûte  $O(M.N \log N)$  . La complexité totale de NSGA II est alors  $O(M.N^2)$  .

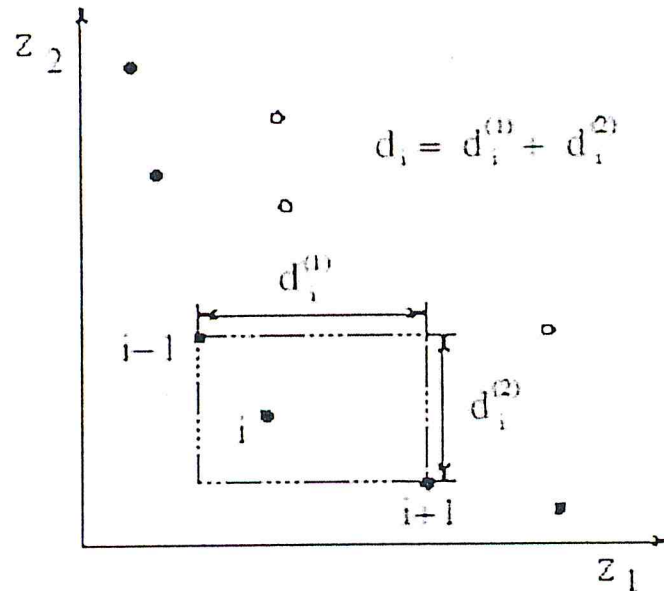


FIGURE 5.1 – Densité de surpeuplement et distance de crowding.

### 5.2.6 Avantages de NSGA II

A la différence de toutes les stratégies de préservation de la diversité utilisées dans d'autres méthodes, celle employée dans NSGA II n'exige aucun paramètre à fixer. Notons que rien n'empêche de calculer les distances de surpeuplement dans l'espace de décision si cela est considéré plus adapté au problème.

### 5.2.7 Désavantages de NSGA II

Comme nous l'avons déjà dit, le mécanisme d'évolution de NSGA II est tel qu'à partir d'une certaine génération, toute la population est contenue dans le premier front non dominé. A ce stade, des solutions Pareto-optimales situées dans une région très « peuplée » peuvent être éliminées en laissant la place à des solutions non dominées dans la population courante, mais qui ne sont pas Pareto-optimales.

NSGA II exige le Ranking d'une population de taille  $2N$  au lieu de  $N$ , comme dans la majorité des algorithmes.

## 5.3 Adaptation de NSGA II à notre problème

A ce stade du travail, nous appliquerons la méthode décrite ci-dessus afin de trouver les affectations de chaque ressource d'un type traité au cours de chaque mois de la période de planification (une année dans notre cas). L'utilisation de cette approche nécessite toutefois une bonne définition des paramètres de l'algorithme.

### 5.3.1 Représentation d'une solution

Avant de procéder à l'explication des étapes d'application de l'algorithme NSGA II, nous allons apporter ici des informations concernant la représentation et la codification d'une solution au problème par des structures mathématiques précises. Il s'agit de trouver un moyen efficace et explicite de représentation, qui soit peu coûteux en termes d'espace mémoire requis pour le stockage des solutions d'une même génération.

Une solution étant composée d'éléments  $X_{ijk}$  binaires, il suffira de stocker ses éléments dans un vecteur de bits de longueur  $NR \times NP \times NM$ , disposés comme l'indique la figure 5.2 :

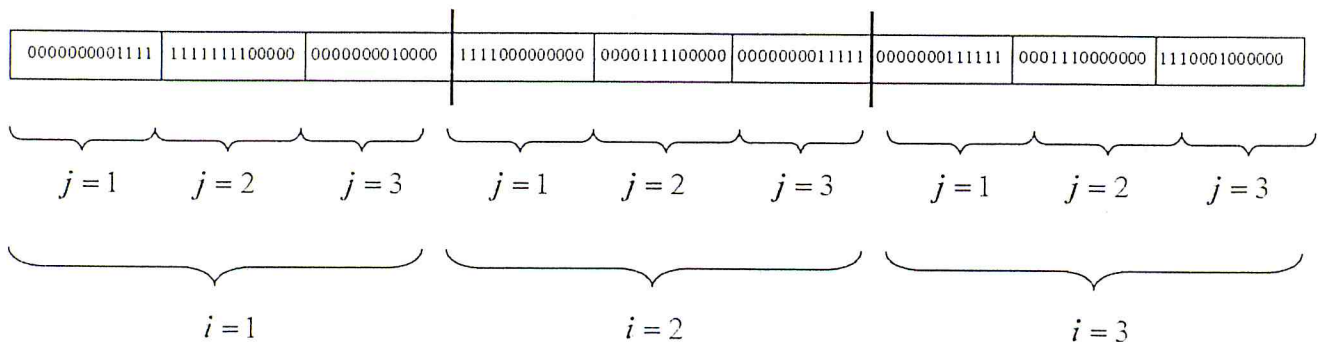


FIGURE 5.2 – Schéma d'un vecteur représentant une solution.

**Remarque :** Sur cette figure, nous avons  $N.E=3$  ressources,  $N.C=2$  projets + la PCR, et enfin  $NP=12$  mois + le dernier mois de la période précédente. Les individus seront représentés par des séquences de 0 et de 1, dites « chromosomes » ; chacune sera stockée dans un vecteur de longueur fixée pour chaque type de ressources. Les chromosomes d'une même génération seront au fur et à mesure enregistrés dans un fichier texte, afin d'en sauvegarder toutes les caractéristiques (nous nous arrangeons, dans l'implémentation, pour écrire avant chaque chromosome son numéro dans la génération courante, et après chaque chromosome ses deux valeurs de critères).

### 5.3.2 Création de la première population

L'étape initiale consiste en la création pseudo aléatoire d'individus réalisables pour le problème, formant ainsi la génération de départ, et ceci au moyen d'une procédure de choix non déterministe, que nous décrivons ci-contre. Soit  $N$  la taille de la population à une génération quelconque et notons  $Man[i, j, k]$  les éléments d'un individu :

Algorithme génér\_pop\_initiale;

Début

Pour  $i := 1$  haut  $NE$  faire

Localiser la ressource  $i$  au cours du mois  $k = 0$  et remplir  $Man[i, j, 0]$ ;

Fait;

Créer le fichier (POP);

$t := 1$ ;

Tant que  $t \neq N$  faire

Ecrire (POP,t);

Pour  $k := 1$  haut  $NP$  faire

Pour  $j := 1$  haut  $NC$  faire

Pour  $i := 1$  haut  $NE$  faire

Tant que  $(j \neq PCR)$  et  $(DS[j, k] = 1)$  et  $(Man[i, j, k - 1] =$

1)

et  $(Dem[j, k]nonsatisfaite)$  faire  $Man[i, j, k] := random\{0; 1\}$ ;

Fait

Fait

Fait

Pour  $j := 1$  haut  $NC$  faire

Tant que  $(Dem[j, k]nonsatisfaite)$  et

(les ressources ne sont pas toutes utilisées) faire

Choisir une ressource  $i$  non encore affecté;

Affecter la ressource  $i$  au projet  $j$  (ie :  $Man[i, j, k] := 1$ );

Fait

Fait

Pour  $i := 1$  haut  $NE$  faire

Si  $i := 1$  n'est pas affecté à un projet alors

Affecter  $i$  à la PCR pour le mois  $k$  (ie :  $Man[i, j, k] := 1$ );

Fsi

Fait

Fait

Pour  $i := 1$  haut  $NE$  faire

Pour  $j := 1$  haut  $NC$  faire

Pour  $k := 0$  haut  $NP$  faire

Ecrire (POP,  $Man[i, j, k]$ );



```

    Fait
  Fait
  Fait ;
  Calculer le critère 1 ;
  Ecrire (POP, critère 1) ;
  Calculer le critère 2 ;
  Ecrire (POP, critère 2) ;
   $t := t + 1$  ;
  Fait
Fin.

```

---

### Algorithme 3 Génér\_pop\_initiale.

#### 5.3.3 Classement par fronts

Une fois la population générée et une fois les valeurs des critères calculées pour chacun des individus, on procède au classement de ces solutions par sous ensembles successifs de fronts de solutions non dominées. Ainsi, on attribue à chaque solution le numéro de front (ou « rang ») auquel elle appartient. Cette procédure est généralement appelée le « Ranking » des solutions. L'ensemble des solutions de rang 1 constitue les solutions non dominées de toute la population courante.

La procédure de Ranking est donnée ci-dessous :

---

#### Algorithme Ranking ;

```

Début
  Soit  $S$  l'ensemble des solutions (individus) de la population ;
   $k := 1$  ;
  Tant que  $S \neq \emptyset$  faire
     $S' = \emptyset$  ;
    Pour tout  $s_i \in S$  faire
      Si  $s_i$  est une solution non dominée dans  $S$  alors
         $Rang(s_i) := k$  ;
         $S' := S' \cup s_i$  ;
    Fsi

```

Fait ;  
 $S := S - S'$  ;  
 $k := k + 1$  ;

Fait

Fin.

---

### Algorithme 4 Ranking.

A l'issue de cette procédure, on peut déjà classer les solutions de la population et avoir une idée sur leur qualité les unes par rapport aux autres. Ainsi, on sait déjà qu'une solution est meilleure tant son rang (numéro de front) est petit.

#### 5.3.4 Distance de crowding

Ayant ordonné les solutions d'une génération par fronts de dominance, il est maintenant nécessaire de comparer entre elles les solutions ayant à un même rang. La distance de crowding constitue, dans la méthode NSGA II, un élément essentiel, puisque c'est la nouveauté introduite dans l'algorithme par rapport au NSGA qui, lui, s'appuyait sur le calcul de fonctions de performance (fitness) des solutions pour pouvoir les classer, en affectant aux solutions une pénalité proportionnelle à la grandeur de leurs rangs.

La distance de crowding est, comme nous l'avons dit précédemment, une mesure de densité de surpeuplement pour chaque solution. Dans notre cas, nous avons affaire à deux critères, et la distance de crowding de l'individu d'une population est donnée par la somme des densités respectivement calculées pour chacun des critères. L'exécution de cette procédure est décrite plus haut, dans le paragraphe 6.2.4.. En sortie de cette procédure, nous obtenons une classification des solutions par fronts (du premier front jusqu'au dernier) et par distances de crowding (de la plus grande à la plus petite, afin de privilégier les individus couvrant la plus grande portion du front auquel elles appartiennent) dans la génération considérée, et cette classification est sauvegardée dans un nouveau fichier texte appelé « POP2 ».

#### 5.3.5 Sélection pour le remplacement

Les solutions ont été recopiées et classées dans le nouveau fichier « POP2 » de la manière qui suit :

- une solution dont le numéro de rang est le plus petit précède les autres solutions ;
- parmi deux solutions appartenant au même front de dominance, la préférence est attribuée à celle qui a la plus grande densité de surpeuplement (distance de crowding) ; elle figure alors avant les autres dans le nouveau fichier.

On élimine les  $\frac{N}{2}$  individus les plus « mauvais » au sens de cette règle de croisement et les  $\frac{N}{2}$  individus retenus constitueront la moitié de la future génération et seront appelés à se

reproduire grâce au croisement, donnant  $\frac{N}{2}$  enfants susceptibles de muter pour diversifier les régions d'exploration du domaine de réalisabilité.

### 5.3.6 Sélection pour la reproduction

Une fois les  $\frac{N}{2}$  meilleurs individus désignés pour le remplacement, il s'agit maintenant d'en tirer aléatoirement  $\frac{N}{2}$  couples qui engendreront  $\frac{N}{2}$  enfants. Cette opération se déroulera par « tournois » selon les étapes suivantes :

---

#### Algorithme Tournoi ;

Début

$j := \text{random}\{1, \dots, \frac{N}{2}\};$   
 $j := \text{random}\{1, \dots, \frac{N}{2}\} - \{i\};$

Si  $j < i$  alors  $g := j$

Sinon  $g := i$

Fsi ;

$j := \text{random}\{1, \dots, \frac{N}{2}\};$

$j := \text{random}\{1, \dots, \frac{N}{2}\} - \{i\};$

Si  $j < i$  alors  $h := j$

Sinon  $h := i$

Fsi ;

On ressort avec  $g$  et  $h$  les indices des deux parents, et on extrait alors les deux chromosomes correspondants du fichier « POP2 » vers deux structures «  $Man[i, j, k]$  » et «  $Woman[I, j, k]$  » ;

Fin.

---

### Algorithme 5 Tournoi.

#### 5.3.7 Description de l'opérateur de croisement

Nous arrivons ici à une étape qui est sans doute la plus importante de tout le processus de recherche par algorithme génétique, c'est la définition de l'opérateur de croisement. Celui-ci, en effet, doit être appliqué à une série d'individus de la population parente (en l'occurrence ceux qui ont été sélectionnés pour le remplacement, et parmi eux ceux qui ont été tirés lors de tournois pour former un couple de parents), et doit permettre la diversification de l'espace de recherche.

Généralement, pour des problèmes relativement simples, l'opérateur de croisement peut être facilement défini et il existe différentes manières de l'exécuter, comme nous avons mentionné certains exemples dans le paragraphe 5.3.4.2.. Pour notre problème, les choses semblent être bien plus compliquées; il s'avère que l'utilisation d'un opérateur de croisement peu élaboré conduirait inévitablement à une descendance d'individus non réalisables, ce qui risque de faire diverger notre algorithme évolutionnaire d'une bonne solution, et bien pire encore, la solution finale risque elle-même d'être non réalisable!

Il existe, certes, des méthodes génétiques qui consistent à pénaliser les solutions non réalisables susceptibles d'être générées, mais nous ne pouvons appliquer une telle approche car les éléments binaires d'un individu de notre problème sont très liées entre elles, et la modification de l'une entraîne la modification de plusieurs autres si l'on veut maîtriser la réalisabilité.

Dans ce paragraphe, nous exhibons la méthode de croisement (très délicate) que nous avons conçue (après beaucoup de réflexion sur les conséquences).

Une fois les deux parents à croiser fixés, voici donc, brièvement, la procédure à appliquer :

---

### Algorithme Croisement ;

Début

Soient  $Man[i, j, k]$  et  $Woman[i, j, k]$  les deux individus parents sélectionnés lors des tournois pour la reproduction ;  
 Soit  $Pc$  la probabilité de croiser deux individus, préalablement fixée ;  
 Générer aléatoirement un nombre  $x$  dans  $[0, 1]$  ,  $x := random[0, 1]$  ;  
 Si  $x \leq Pc$  alors  
   Déterminer les mois sur lesquels on peut croiser, comme suit :  
    $S := 0$  ;  
   Pour  $k := 1$  haut  $NM$  faire  
     Croisable :=vrai ;  
     Pour  $j := 1$  haut  $NP$  faire  
       Si  $DS[i; j] = 1$  alors  
         Croisable :=faux  
       Fsi  
     Fait ;  
     Si croisable=vrai alors  
        $S := S \cup \{k\}$   
     Fsi  
   Fait ;  
 Si  $S \neq 0$  alors

```

n := random{S} ;
Pour i := 1 haut NR faire
  Pour j := 1 haut NP faire
    Pour k := n haut NM faire
      C := Man[i, j, k] ;
      Man[i, j, k] := Woman[i, j, k] ;
      Woman[i, j, k] := C
    Fait
  Fait
Fait
Fsi
Fsi ;
Calculer les valeurs des critères 1 et 2 pour Man[i, j, k] ;
Ouvrir le fichier texte (POP2) ;
A la suite du fichier, enregistrer l'indice t de Man[i, j, k] ;
Enregistrer Man[i, j, k] ;
Enregistrer la valeur du critère 1 puis celle du critère 2 de
Man[i, j, k] ;
Calculer les valeurs des critères 1 et 2 pour Woman[i, j, k] ;
t := t + 1 ;
A la suite du fichier, enregistrer l'indice t de Woman[i, j, k] ;
Enregistrer Woman[i, j, k] ;
Enregistrer la valeur du critère 1 puis celle du critère 2 de
Woman[i, j, k] ;
Fin.

```

---

### Algorithme 6 Croisement

Après avoir défini les étapes du croisement des individus, il faut remarquer qu'une condition doit être vérifiée pour ce croisement (comme il est exprimé dans l'algorithme ci-dessus). Pour qu'un croisement soit possible, il faut trouver un indice  $n$  sur les mois tel qu'aucune des demandes des projets n'augmente, et ceci afin de permettre le croisement entre les affectations des ressources, dans le but de préserver la réalisabilité des solutions. Sans doute cette condition est-elle restrictive sur le nombre de croisements possibles, mais les données dont nous disposons montrent que de tels cas existent vraiment dans une période d'application, et le croisement est donc valable.

### 5.3.8 Description de l'opérateur de mutation

Une fois les croisements faits dans les  $\frac{N}{2}$  couples de parents sélectionnés, une très faible proportion des individus obtenus (enfants) est soumise à la mutation, en vue d'aboutir à des solutions encore plus variées, sans pour autant altérer le processus de l'algorithme génétique qui tend toujours à garder les individus de meilleur rang et de distance de crowding élevée.

Nous allons maintenant expliquer de quelle manière se font les mutations sur un prochain « nouveau né » avant qu'il soit inséré dans la nouvelle génération.

Une fois l'individu prêt à muter, il s'agira en fait de trouver un élément du chromosome qui le représente qui soit égal à 1, et de le remplacer par un zéro ; de cette manière, on annule une affectation de la ressource dans un projet. Ensuite, la ressource en question est affecté vers un autre projet demandeur, s'il en existe un tel que la demande ne soit pas saturée, durant le mois concerné par la mutation. Dans le cas où un tel projet n'existe pas, on peut envisager d'envoyer la ressource en question directement vers la PCR, mais cela endommagerait les valeurs des critères de la solution.

De plus, il est illogique d'avoir une ressource non utilisée (stocké dans la PCR) alors qu'un projet en a besoin (en l'occurrence celui qui comportait initialement cet ressource) donc par défaut, dans le cas où toutes les demandes sont saturées, on ne peut que remettre la ressource à sa place, ce qui suppose en fin de compte de ne pas faire muter l'individu.

Toute cette procédure se fait de la manière qui suit :

---

#### Algorithme Mutation ;

Début

Soit  $Man[i, j, k]$  un chromosome nouvellement créé ;

Déterminer l'ensemble des couples et  $S = \{(i, j), j' \neq PCR, DS[j, k] = 0 \text{ et } Dem[j, k] \neq 0\}$  ;

Choisir aléatoirement  $(j^*, k^*)$  dans  $S$  ;

Choisir aléatoirement  $i^* \in \{1, \dots, NR\}$  tel que  $Man[i^*, j^*, k^*] = 1$  ;

Vérifier s'il existe  $j \neq j^*$  (avec  $j' \neq PCR$ ) tel que la demande

$Dem[j^*, k^*]$  ne soit pas totalement satisfaite ;

Si oui, alors

Affecter  $i^*$  au projet  $j'$  au cours du mois  $k^*$ ,

ie :  $Man[i^*, j^*, k^*] := 1$  ;

Annuler l'ancienne affectation de  $i^*$ ,

ie :  $Man[i^*, j^*, k^*] := 0$  ;

Fsi

Fin.

---

## Algorithme 7 Mutation

La mutation ainsi définie assure toujours la réalisabilité de tout individu, de même que le croisement que nous avons décrit ci-haut.

### 5.4 Conclusion

Ce chapitre a été consacré pour la description de l'adaptation de l'heuristique gloutonne à notre problème, puis l'adaptation des algorithmes évolutionnaires (Génétique NSGA II). Maintenant vient la phase d'implémentation des deux méthodes, qui sera illustrée dans la dernière étape de notre travail.

## Chapitre 6

# Logiciel :CDTA RESSOURCES 1.0

Depuis l'apparition des premiers calculateurs puis de l'outil informatique, la conception de méthodes de résolution rapides et de logiciels performants est devenue possible et de plus en plus accessible, sous plusieurs langages de programmation. Vu que dans le passé, les mathématiciens et les chercheurs ont longtemps été confrontés à des problèmes gigantesques en termes de taille des données, du nombre de variables et contraintes, possédant une grande complexité du point de vue des expressions mathématiques des contraintes et fonctions objectifs modélisés, dont la résolution pouvait prendre des mois et même des années de calcul.

Nous abordons dans ce chapitre la partie implémentation des deux méthodes de résolution retenues, à savoir une heuristique gloutonne spécifiquement conçue et une adaptation de l'algorithme génétique NSGA II. Ayant proposé un modèle mathématique représentatif après avoir bien compris le problème soulevé par l'organisme d'accueil le CDTA.

Nous avons choisi l'environnement de programmation BORLAND DELPHI 7 ENTERPRISE, que nous décrirons brièvement ci-dessous.

On aura à présenter par la suite, l'application que nous avons conçue pour la résolution du problème soulevé, en décrivant les étapes de sa conception et ses fonctionnalités.

### 6.1 L'Environnement de programmation DELPHI

DELPHI est un environnement de programmation permettant le développement rapide d'applications (RAD Rapid Application Development); Il incarne la suite logique de la famille Turbo Pascal avec ses nombreuses versions. En 2015, ils ont fait sortir la dernière version qui est Delphi 10 Seattle.

De nombreux développeurs ont abandonné Delphi qui n'évoluait plus vraiment (puisque Borland recentrait alors son activité vers des outils de gestion du cycle de vie des applications) pour Visual Studio et C# (ou VB.NET). Tout de même, DELPHI reste une solution efficace pour développer diverses applications. Par ailleurs, la communauté Delphi reste très active et soudée comme le montre l'activité toujours importante des sites internet consacrés au langage, parmi les logiciels réalisés avec delphi on trouve C++Builder, le géant KASPERSKY et l'interface windows de SKYPE.

DELPHI fait appel à une conception visuelle des applications et à la programmation orientée objet. Il donne notamment accès à une importante bibliothèque extensible de composants



réutilisables, une série d'outils de conception, des modèles d'applications et de fiches, ainsi que des experts de programmation, et prend de plus en charge le maintien automatique d'une partie du code source. Voir Figure 6.1.

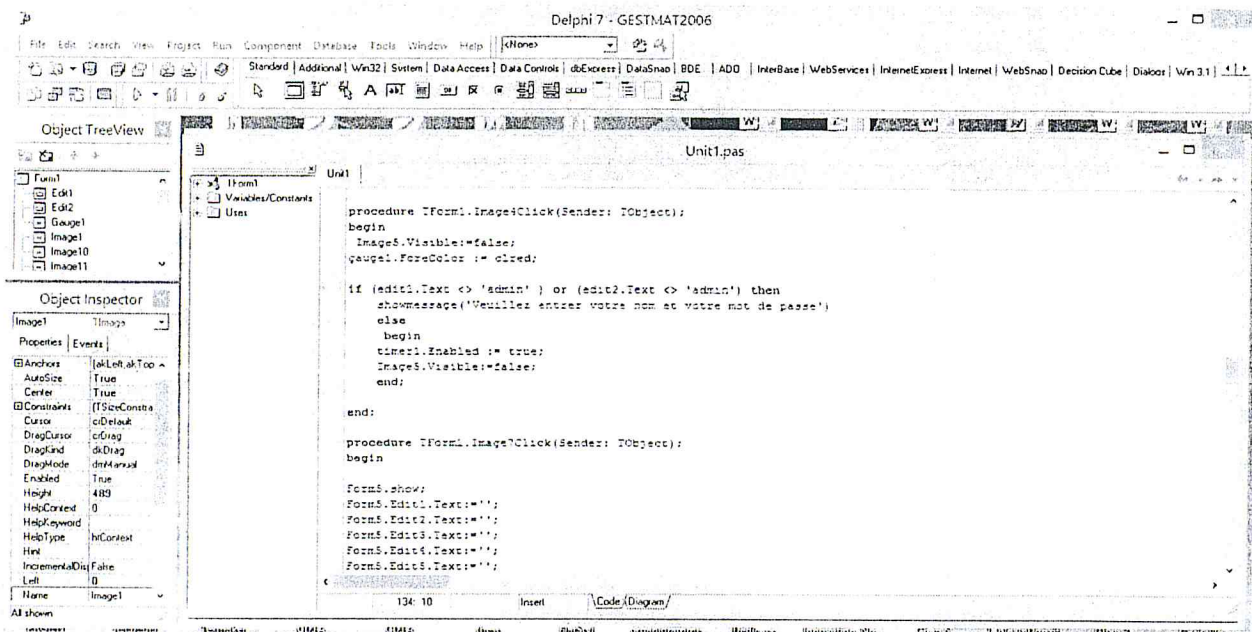


FIGURE 6.1 – Code sources de DELPHI 7.



FIGURE 6.2 – Interface graphique de DELPHI 7.

DELPHI permet aussi et surtout la conception d'applications à Interface de Documents Multiples (MDI Multiple Document Interface) dans lesquelles plusieurs documents ou fenêtres

peuvent être ouverts à partir d'une page parente ,voir Figure 6.2.

Il se distingue d'autant plus par sa capacité à gérer des bases de données complexes et de grande taille et répond donc tout à fait à nos besoins. Cependant, le choix de cet outil a été plus ou moins systématique, du fait de son utilisation du langage PASCAL que nous connaissions déjà ; il nous a suffi de nous familiariser avec les différents composants et surtout de maîtriser le module de bases de données.

## 6.2 Présentation du logiciel CDTA RESSOURCES 1.0

CDTA RESSOURCES 1.0 ,logiciel executable destiné à prendre en charge la gestion des ressources du CDTA et les opérations d'affectation vers les différents projets.

Pour commencer l'installation un fichier text intitulé Read Me contient toutes les informations et étapes à suivre pour l'installation, il est recommandé de le lire avant de faire quoi de se soit. Lorsqu'on clique sur le fichier exécutable CDTA RESSOURCES.SETUP une fenêtre installation apparait où on insert un mot de passe , cliquez sur suivant pour continuer. Voir Figure 6.3

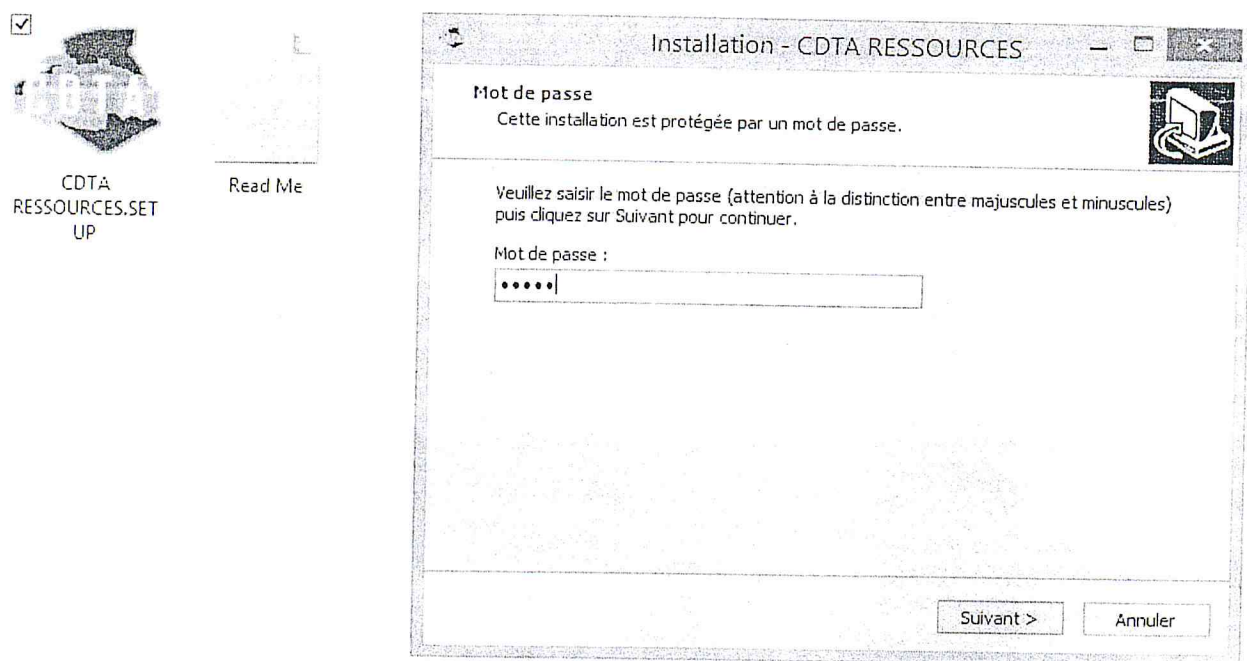


FIGURE 6.3 – Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant

Une fois l'installation est achevée , une Icône CDTA RESSOURCES apparait dans le Bureau ,il est recommandé d'exécuter l'application en tant qu'administrateur , ainsi , lors du lancement du logiciel une fenêtre à accès confidentiel s'ouvre où on doit introduire le nom d'utilisateur ainsi que le mot de passe. Voir Figure 6.9

Cette fenêtre nous permet aussi de voir un volet informations . En cliquant sur le lien PFE.pdf , une nouvelle fenêtre s'ouvre nous affichant ce présent mémoire en format PDF.Voir Figure 6.10

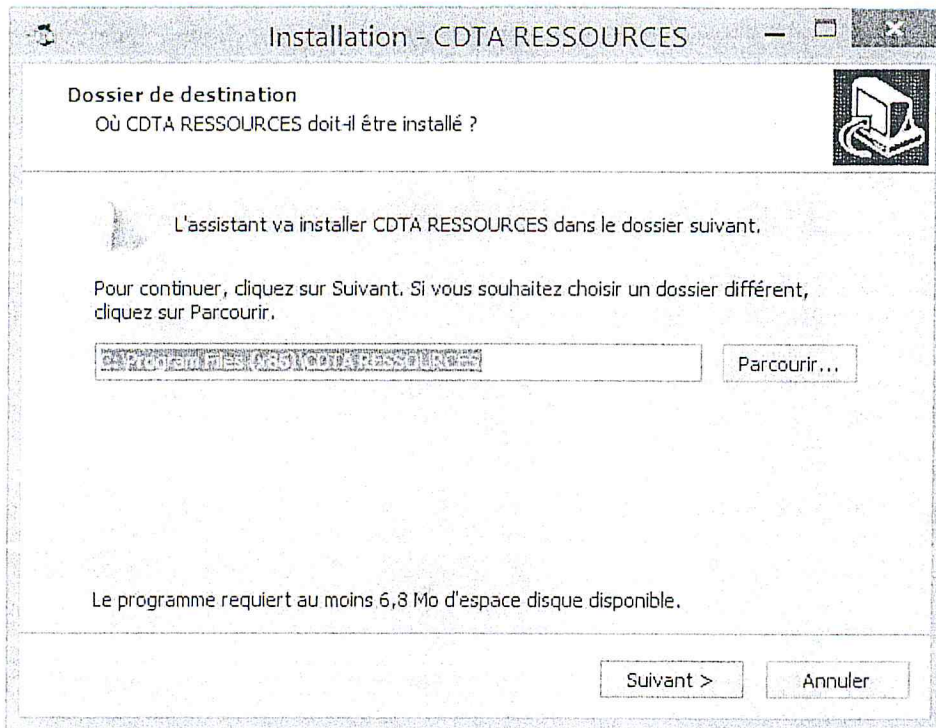


FIGURE 6.4 – Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant

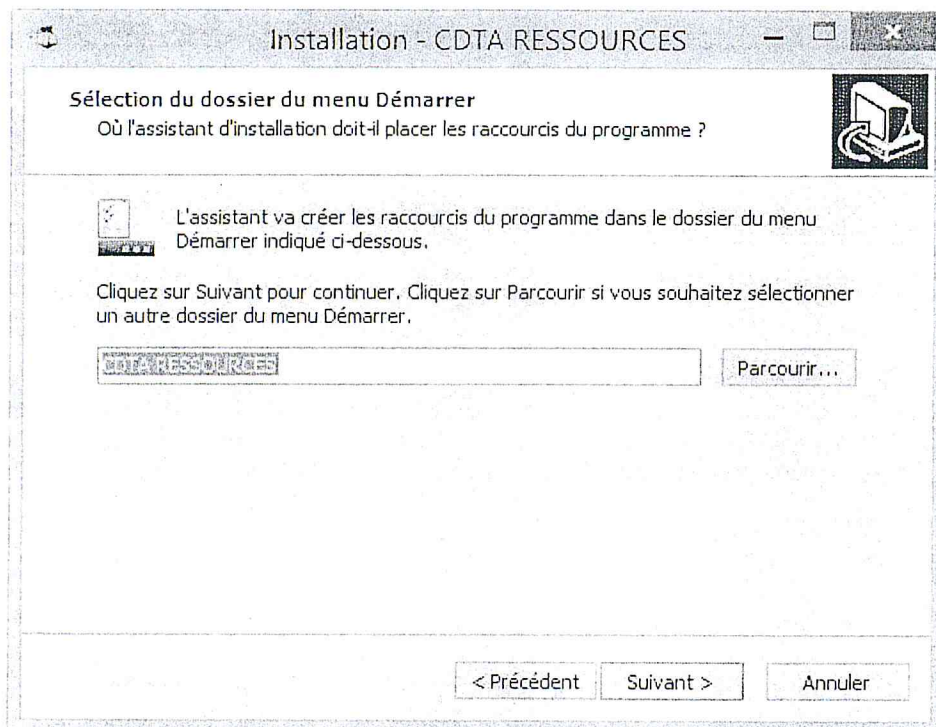


FIGURE 6.5 – Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant

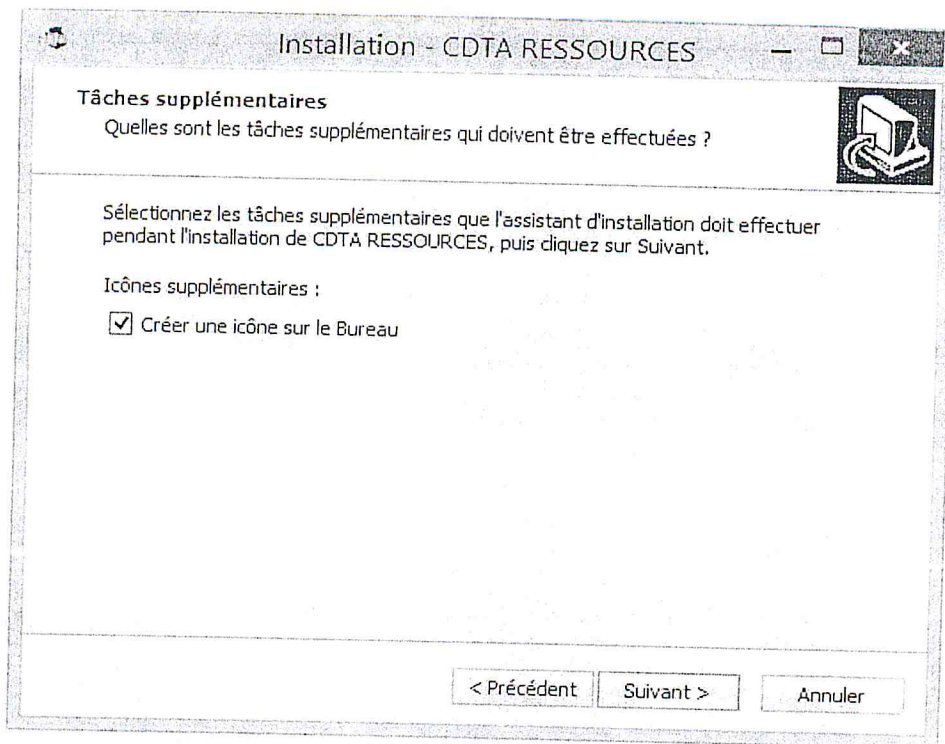


FIGURE 6.6 – Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Suivant

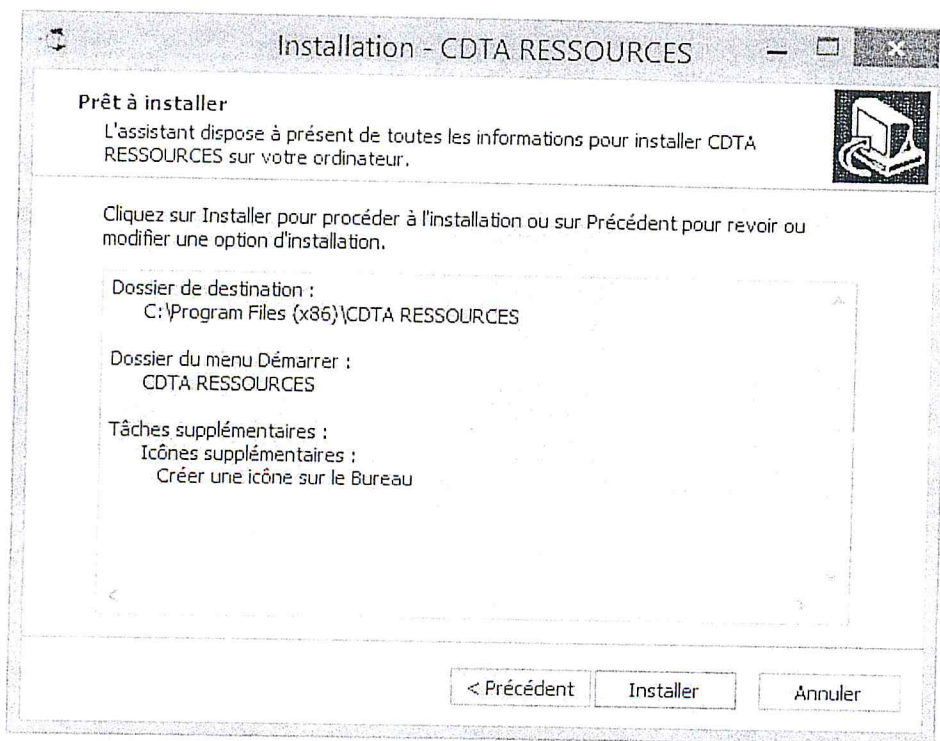


FIGURE 6.7 – Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Installer

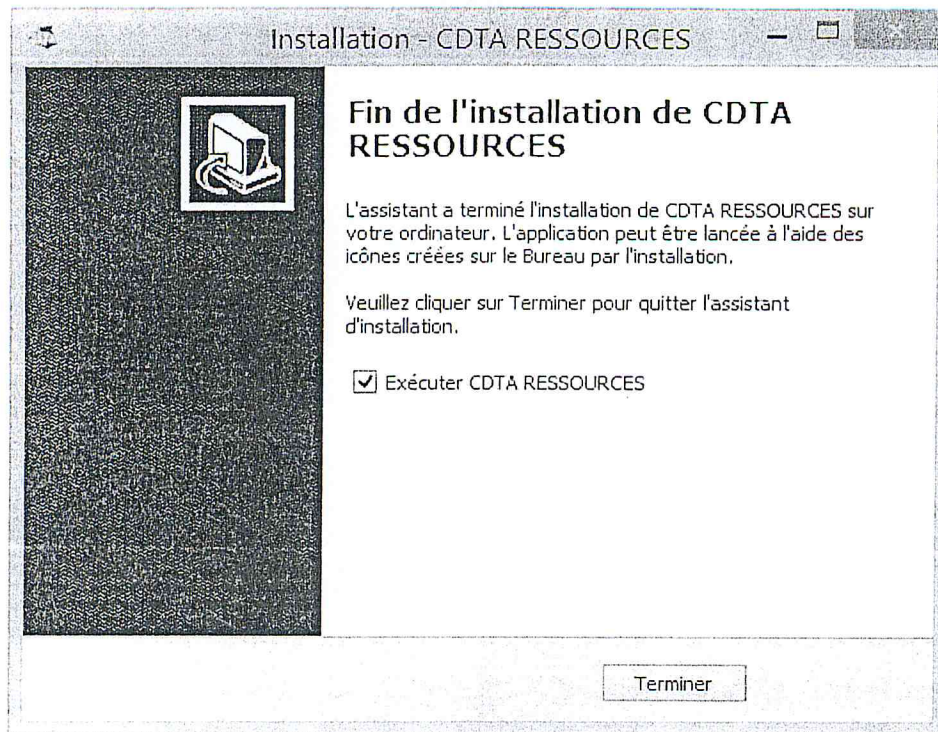


FIGURE 6.8 – Installation CDTA RESSOURCE 1.0 :Cliquez sur Terminer

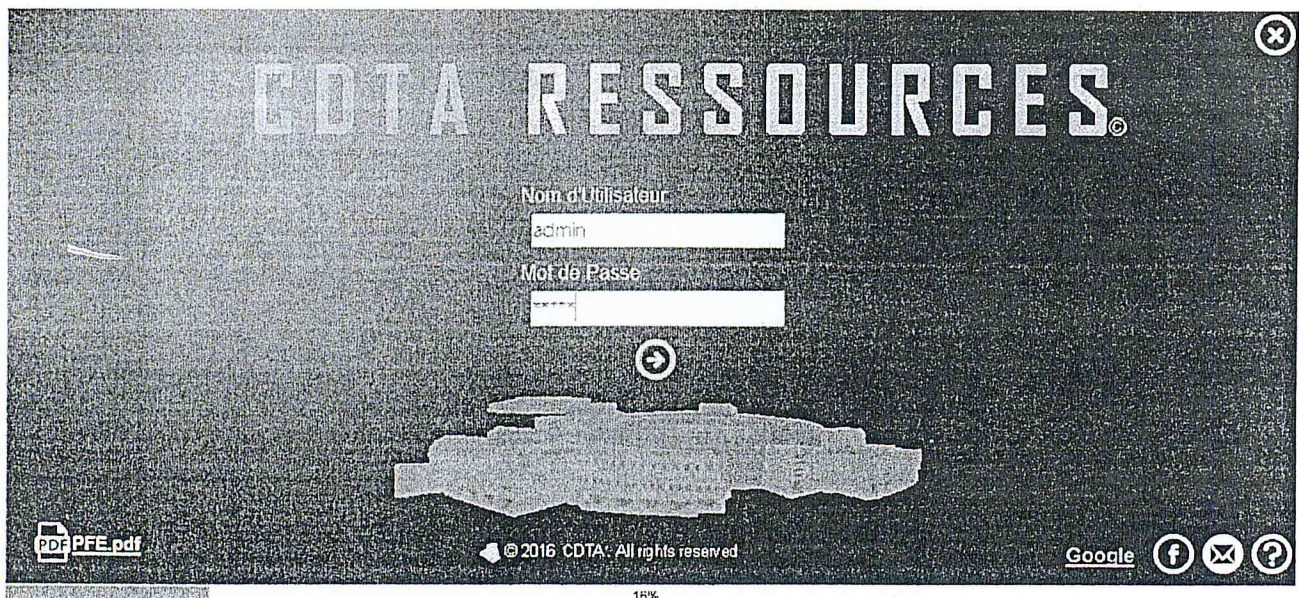


FIGURE 6.9 – Page d'Aceuil de CDTA RESSOURCE 1.0.

La fenêtre principale nous donne aussi un lien vers une fenêtre de recherche Google en cliquant sur le Google qui est en bas a droite. Voir Figure 6.11 , un Bouton vers un résumé de ce présent travail . Voir Figure 6.12 , un lien vers la page Facebook du CDTA , et en fin un lien vers une fenetre pour prendre contact . Voir Figure 6.13

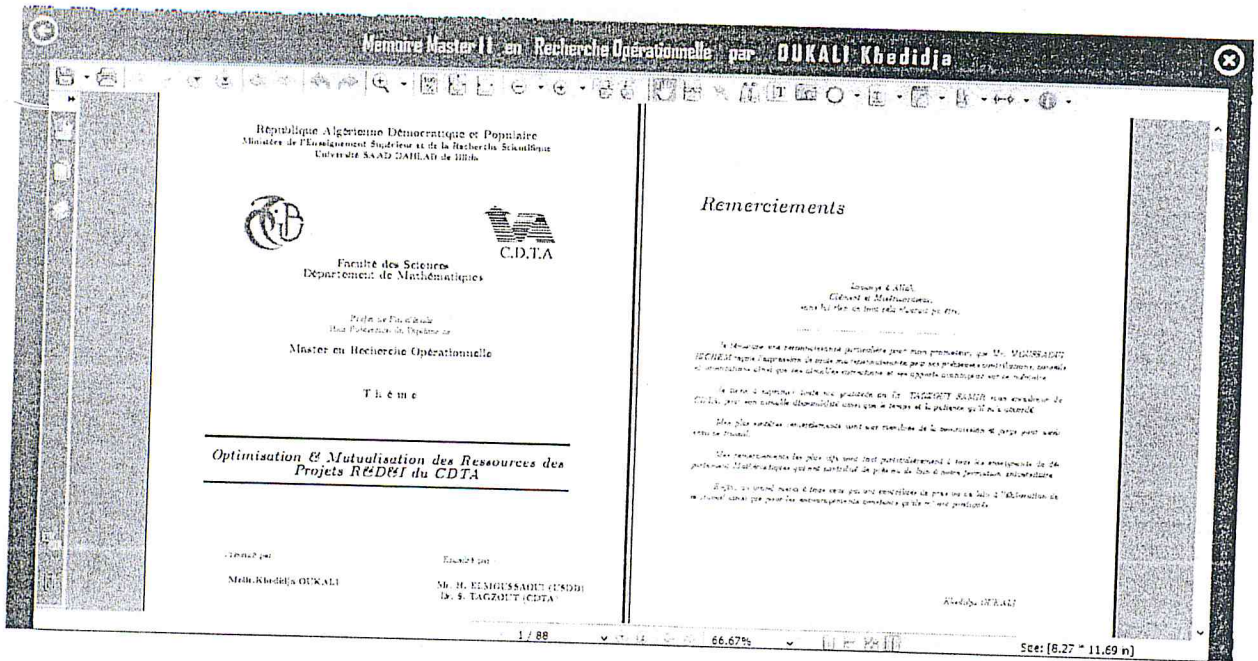


FIGURE 6.10 – Memoire Master en format PDF de CDTA RESSOURCE 1.0.



FIGURE 6.11 – Recherche Google via CDTA RESSOURCE 1.0.

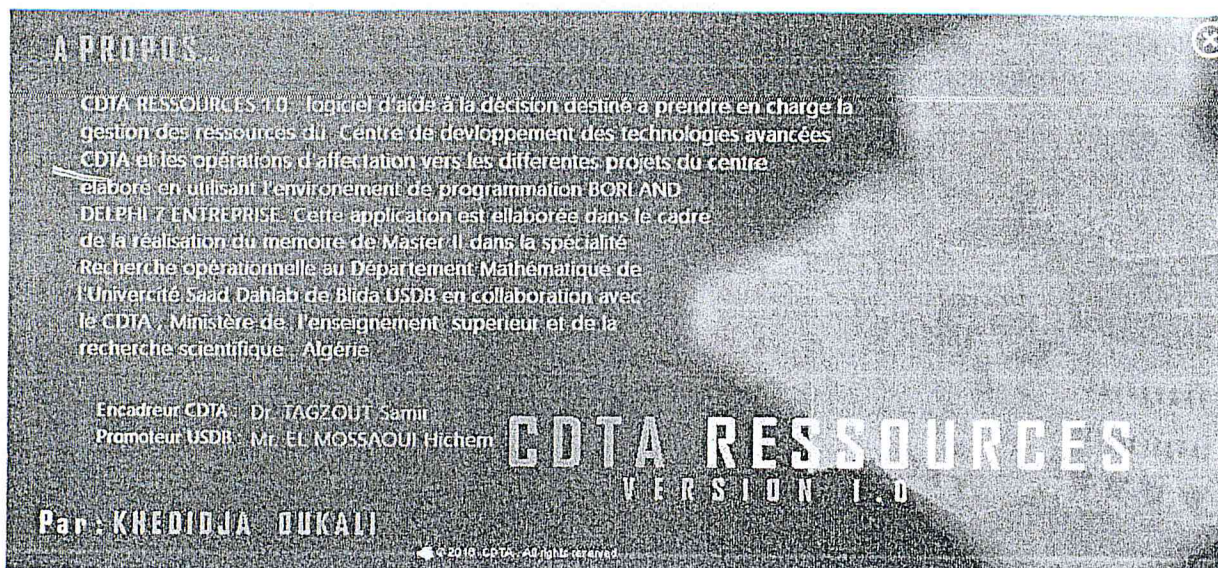


FIGURE 6.12 – Résumé du memoire CDTA RESSOURCE 1.0.



FIGURE 6.13 – Contact CDTA RESSOURCE 1.0.

En cliquant sur la flèche Entrer de la page principale le menu de l'application s'affiche en proposant ainsi différentes fonctionnalités à l'utilisateur, dont :

- L'accès à une base de données élaborée, comportant une table Équipements , une table des projets existants et enfin une table des plannings de demandes en ressources de tous les projets et pour tous les mois ; nous avons ajouté une petite table comportant la liste des types d'équipements à traiter, pour des commodités d'accès et de lecture des plannings.
- Le traitement des demandes au cours des différents mois de l'année pour déterminer une (ou plusieurs) bonnes politiques d'affectation de chacun des équipements efficaces de la base de données (les équipements réformés et à réformer seront omis de la planification) vers les projets demandeurs.

- La fenêtre principale est composée d'un menu à trois boutons donnant accès aux différentes fenêtres secondaires et d'un bouton pour quitter l'application.

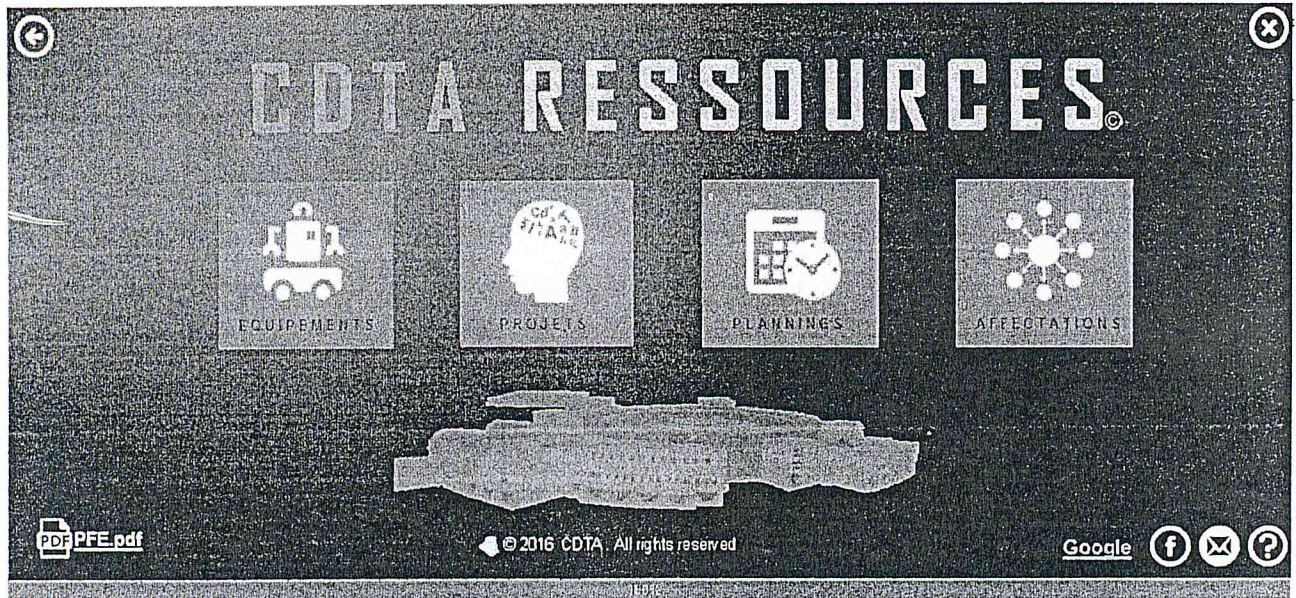


FIGURE 6.14 – Menu principal de CDTA RESSOURCES 1.0

En cliquant sur Équipements, on accède à la forme Équipements CDTA qui permet la visualisation du matériel et de ses différentes caractéristiques (code, désignation de L'équipement, marque, type, numéro de série, matricule, date d'acquisition, valeur acquise, état actuel et enfin la position courante). Cette forme offre bien entendu la possibilité d'ajouter, de supprimer et de mettre à jour les éléments de la table du Équipements, comme le montre l'image ci-dessous.

Pour des raisons de confidentialité et même le manque d'information exact sur les équipements de recherche du CDTA ,la création et le remplissage de cette table ont fait l'objet d'une proposition des données à titre d'exemple seulement, on c'est inspirer des intitulés des équipements de la plateforme technologique du site officiel du centre que nous avons consulté et exploiter pour donner des désignations pour les équipements . je cite aussi qu' à la base on a fait une proposition dans l'approche de résolution de faire le recensement des ressources bien avant la création de notre logiciel.

Un clic sur PROJETS, nous renvoie vers la fenêtre PROJETS CDTA , dans laquelle on peut, de la même manière que pour les EQUIPEMENTS, ajouter, supprimer, ou encore mettre à jour les informations sur chacun des projets actuels du centre (code de la division , type de projet, NT – codes des projets constituant la division- et enfin la localisation du projet ).

A partir de là, deux options s'offrent à nous ; on peut soit observer les différentes distances séparant les projets les uns des autres, par un simple clic sur DUREE ENTRE PROJETS , ou alors se reporter à la visualisation des plannings de chaque projet pour toute l'année considérée, en cliquant sur DUREE ACQUISITION. Le premier bouton génère donc la fiche suivante, qui est en relation avec un fichier texte dans lequel sont stockées toutes les distances entre les projets de la base de données.



**CDTA RESSOURCES**  
EQUIPEMENTS CDTA

Code Equipement: A0101 03    Type: L830 L5128LWJ    Date d'acquisition: 11/02/2015    Localisation: DCM

Désignation: PC WORKSTATION    N° Série: 0073    Valeur d'acquisition: 2700    Date d'affectation: 19/01/2004

Marque: THINKPAD    Matricule: 10 3506 09    Etat: MOYEN

Buttons: Nouvel Equipement, Supprimer Equipement

Code Equipement	Désignation	Marque	Type	N° Série	Matricule	Date d'acquisition	Valeur d'acquisition	Etat	Localisation	Date d'Affectation
A0101 03	PC WORKSTATION THINKPAD	L830	L5128LWJ	0073	10 3506 09	11/02/2015	2700	MOYEN	DCM	19/01/2004
A0101 06	PC WORKSTATION THINKPAD	L830	L5128LWJ	0076	00077 00 18	11/02/2015	2700	MOYEN	DCM	19/01/2004
A0102 09	PC WORKSTATION THINKPAD	EF05	9111	2540090	2072 09	11/02/2015	500	MEDIOCRE	DCM	23/01/1997
A0102 10	PC WORKSTATION THINKPAD	EF05	9111	2755041	2088 09	11/02/2015	500	A REFORME	DCM	27/12/1998
A0102 12	PC WORKSTATION THINKPAD	EF05	9111	2785044	2095 09	11/02/2015	500	MOYEN	B 64	27/12/2004
A0102 21	PC WORKSTATION THINKPAD	EF04	9411	205002875342	02288 889 09	11/02/2015	700	MOYEN	B 65	21/04/2004
A0102 22	PC WORKSTATION THINKPAD	EF04	9411	205003100158	10 3506 09	11/02/2015	700	REFORME	DCM	02/04/1998
A0102 25	PC WORKSTATION THINKPAD	EF04	9411	205003238941	02134 283 16	11/02/2015	700	REFORME	DCM	02/04/1998
A0102 26	PC WORKSTATION THINKPAD	EF04	9411	205003794079	00454 292 09	11/02/2015	700	MEDIOCRE	DCM	12/11/1997
A0102 28	PC WORKSTATION THINKPAD	EF04	9411	205004722884	6473 00 18	11/02/2015	700	MEDIOCRE	DCM	05/05/2000
A0102 32	PC WORKSTATION LENOVO	EF04	9411	205005783818	205002875342	11/02/2015	1000	MEDIOCRE	DCM	06/11/2000

© 2016 CDTA. All rights reserved.

FIGURE 6.15 – GESTION DES EQUIPEMENTS CDTA RESSOURCES 1.0

**CDTA RESSOURCES**  
PROJETS CDTA

Buttons: NOUVEAU PROJET, SUPPRIMER PROJET, DEMANDE DU PROJET, DUREE INTER PROJET, DUREE ACQUISITION

Code Projet: B 50    Type Projet: PTD    NT: 817/818/734    Localisation: DMN

Code Projet	Type Projet	NT	Localisation
B 50	PTD	817/818/734	DMN
B 52	PTD	817/818/734	DMIL
B 53	PTD	819	TELECOM
B 56	PRA	840	DASV
B 57	PTD	817/818/734	DMN
B 59	PTD	90/736	DASM
B 61	PRF	817/818/734	DMN
B 64	PRF	924/100	DPR
B 65	PRA	817/818/734	TELECOM
B 67	PRF	910	DMIL

© 2016 CDTA. All rights reserved.

FIGURE 6.16 – GESTION DES PROJETS CDTA RESSOURCES 1.0

L'ajout d'un projet à la base de données déclenche une procédure de rectification automatique des éléments de ce tableau (dans le cas par exemple où le code du nouveau division doit s'insérer au milieu de la liste des projets, un décalage des données de la matrice des distances se fait systématiquement). Il en est de même pour la suppression d'un projet.

pôles	B 50	B 52	B 53	B 56	B 57	B 59	B 61	B 64	B 65	B 67	B 69	B 72	B 73	B 75	B 76	B 77	B 78	DCM
B 50	0	10	313	360	41	31	162	412	26	41	13	80	0	14	9	1999	1999	22
B 52	10	0	323	351	50	40	171	421	36	50	6	90	10	5	2	4999	4999	15
B 53	313	323	0	658	274	283	170	118	288	274	326	234	313	327	322	4999	4999	330
B 56	360	351	658	0	400	389	489	766	385	400	350	436	360	346	351	4999	4999	339
B 57	41	50	274	400	0	12	131	371	15	0	52	41	41	55	50	4999	4999	61
B 59	31	40	283	389	12	0	135	284	5	12	43	49	31	45	40	4999	4999	50
B 61	162	171	170	489	131	135	0	284	140	131	175	96	162	174	170	4999	4999	174
B 64	412	421	118	766	371	381	284	0	386	371	423	332	412	426	421	4999	4999	431
B 65	26	36	288	385	15	5	140	386	0	15	38	54	26	40	35	4999	4999	47
B 67	41	50	274	400	0	12	131	371	15	0	52	41	41	55	50	4999	4999	61

FIGURE 6.17 – DUREE ENTRE PROJETS CDTA RESSOURCES1.0

On peut d'autant plus modifier ces temps d'attente, s'il s'avère par exemple qu'une erreur ait été commise lors d'un premier remplissage des données, et l'on effectue alors une sauvegarde des modifications apportées à cette matrice.

La seconde fiche engendrée à partir de la fenêtre « Gestion des projets » est la suivante :

Celle-ci présente, pour un projet sélectionné dans le petit menu défilant (en haut à gauche), toutes les demandes en ressources exprimées par ce site de construction au cours de tous les mois de la période d'exercice en question.

Il est possible de rectifier les demandes en cas de besoin (la sauvegarde est alors automatique).

Lorsqu'on revient au menu de la fenêtre principale et qu'on clique sur AFFECTATIONS, une nouvelle forme apparaît, donnant la possibilité de traiter un type de ressources à la fois, que l'on choisit à l'aide du menu déroulant en haut à gauche.

Une fois le type de ressource choisi, le logiciel s'occupe de trouver tous les ressources de ce type dans la base de données et de les afficher, puis de les classer selon leurs états actuels, d'en compter les nombres pour chaque état, et enfin de déterminer la demande totale en ce type de ressource pour chaque mois de l'année, tous projet confondus, et cela pour déterminer à l'avance si le besoin de location externe se pose ou pas.

A partir de là, l'utilisation du bouton PLANIFIER LES AFFECTATIONS DES RESSOURCES, nous conduit vers la forme suivante, qui propose deux méthodes pour trouver les affectations des ressources au cours de chaque mois : soit une méthode très rapide (correspondant à l'heuristique gloutonne décrite dans le chapitre 5 de ce document) menant à une solution

Code Projet	Type Materiel	Decembre-1	Janvier	Fevrier	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Decembre
B 50	SONDE ULTRASONORE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	ROBOTCAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	MATLAB 7.0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
B 50	KINECTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	ROBOT B21R	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	REACTEUR PECVD	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
B 50	MICROSCOPE A BALAYAGE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
B 50	ROBOT ATRV2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	GAZES DE PROCESS	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	TESTEUR SOUS POINT	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0	0
B 50	GENERATEUR D IMPULSION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	NANOSCRACH INTEDEUR	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
B 50	FOUR SOUS VIDE	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0
B 50	CABLES SNC	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	IMPRIMENTE	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	CARTE VIRTEX 7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
B 50	FOUR D OXYDATION	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 6.18 – PLANNING ANNUEL CDTEA RESSOURCES 1.0

Cod_mat	Désign	Marque	Type	Num_serie	Matr	Dat_acquis	Val_acquis	Etat	Pole	Dat_affect
A0301 09	ROBOTCAR	PORSHÉ	C813 DBK	77V18648	2132 09	03/12/1982	1100	MOYEN	DCM	04/07/2001
A0301 11	ROBOTCAR	PORSHÉ	K628 D155A	25685	2045 09	30/10/1983	900	MOYEN	DCM	19/07/2004
A0301 12	ROBOTCAR	PORSHÉ	K628 D155A	25686	2148 09	30/10/1983	900	MEDIOCRE	B 50	10/05/2005
A0301 14	ROBOTCAR	PORSHÉ	K628 D155A	25896	2139 09	30/10/1983	900	MEDIOCRE	DCM	21/08/2003

NBR 0    NBR 0    NBR 11    NBR 5    NBR 0    NBR 0

NOMBRE TOTAL D'EQUIPEMENT DISPONIBLE DE CE TYPE: 14  
 NOMBRE D'EQUIPEMENTS UTILISABLES DE CE TYPE: 14  
 NOMBRE D'EQUIPEMENTS INEFFICACES: 0

NOMBRE MAX DE DEMANDES SIMULTANÉES EN CE TYPE D'EQUIPEMENT: 2  
 CORRESPONDANT AU MOIS DE: AOÛT

DEMANDES MENSUELLES TOTALES EXPRIMÉES PAR LES PROJETS EN CE TYPE D'EQUIPEMENT	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
FOURNISSEMENT	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1

FIGURE 6.19 – TRI EQUIPEMENTS CDTEA RESSOURCES 1.0

relativement satisfaisante pour le décideur, ou alors une méthode de recherche plus lente d'une solution (utilisant l'approche évolutionnaire du NSGA II).

Si l'on choisit le bouton « AFFECTATION AUTOMATIQUE », on obtient une solution en quelques secondes, qui s'affiche dans le tableau comme suit :

CODE ENGIN	ETAT ACTUEL	DERNIER SITE OCCUPE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
A0301 09	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	G 91	G 91	G 91	DCM	DCM
A0301 11	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 31	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 36	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 37	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 40	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 45	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 51	MOYEN	B 69	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72	B 72
A0301 53	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 60	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 65	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM

FIGURE 6.20 – AFFECTATION AUTOMATIQUE

La seconde méthode est entamée en utilisant le bouton GENETIQUE de la fiche précédente. On aboutit alors à une nouvelle fenêtre, dans laquelle on peut déclencher le processus de recherche d'une solution par l'algorithme génétique, en appuyant sur COMPILER NSGA II.

Après quelques minutes de traitement, selon les paramètres fixés par l'utilisateur (ou le concepteur) mais aussi selon le type de ressources traité (selon leur nombre), on obtient une série de solutions non affichées mais classées par fronts de dominance et par distance de crowding (se référer au chapitre 5 portant sur le NSGA II).

Une solution peut alors être choisie par l'utilisateur et affichée dans le tableau :

**CDTA RESSOURCES**  
**PLANIFICATION GENETIQUE**

Meilleures Solutions trouvées

Solution. N°	Qualité Equipements	Durée totale
1	150	55176
2	150	55176
3	150	55176
4	150	55176
5	150	55176
6	150	55176
7	150	55176

Nombre de solutions retenues: 46

Solution numéro: [ ]

AFFICHER

Choisir un critère:  
 Meilleure Qualité  
 Temps d'Attente

PARAMETRES NSGA II

COMPILER NSGA II

© 2016 CDTA. All rights reserved

FIGURE 6.21 – AFFECTATION NSGA II

**CDTA RESSOURCES**  
**PLANIFICATION GENETIQUE**

Meilleures Solutions trouvées

Solution. N°	Qualité Equipements	Durée totale
1	150	55176
2	150	55176
3	150	55176
4	150	55176
5	150	55176
6	150	55176
7	150	55176

Nombre de solutions retenues: 46

Solution numéro: 7

AFFICHER

Choisir un critère:  
 Meilleure Qualité  
 Temps d'Attente

PARAMETRES NSGA II

COMPILER NSGA II

CODE ENGIN	ETAT ACTUEL	DERNIER SITE	JANVIER	FEVRIER	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILLET	AOÛT	SEPTEMBRE	OCTOBRE	NOVEMBRE	DECEMBRE
A0301 09	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	G 94	G 94	G 94	DCM	DCM
A0301 11	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 12	MEDIOCRE	B 50	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 14	MEDIOCRE	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 31	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 34	MEDIOCRE	G 78	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 36	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM
A0301 37	MOYEN	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM	DCM

© 2016 CDTA. All rights reserved

FIGURE 6.22 – AFFECTATION NSGA II

Quant au bouton PARAMETRES NSGA II de la fenêtre ci-dessus, il permet de régler les valeurs des différents paramètres qui régissent l'application de la méthode NSGA II.

Il est possible, une fois ces paramètres modifiés, de les rétablir aux valeurs initiales prévues par le concepteur du logiciel, en cliquant sur ACTUALISER .

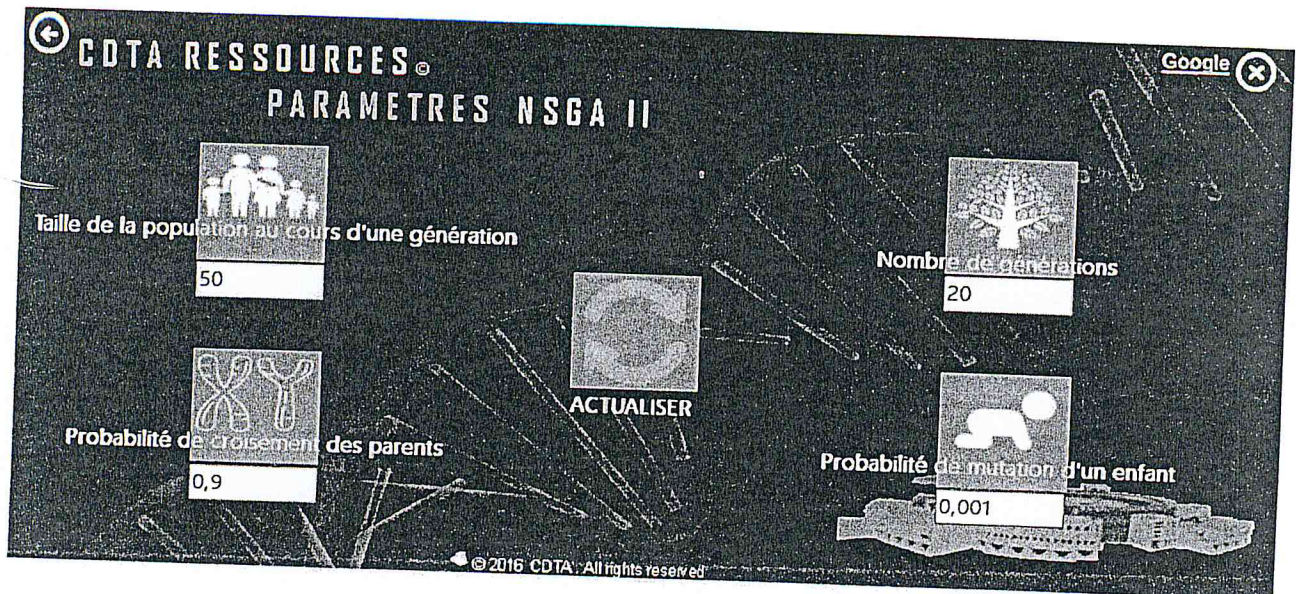


FIGURE 6.23 – PARAMETRES NSGA II

Enfin, toute fenêtre peut être fermée en passant par les boutons « RETOUR », et on quitte l'application à travers le bouton QUITTER de la fenêtre mère.

### §.3 Les résultats du logiciel CDTA REEOURCES 1.0

Une heuristique gloutonne est une métaheuristique basée sur l'évolution étaient l'objet de résolution du problème proposé,. Ceci nous a permis de pouvoir comparer les résultats que donnent ces deux méthodes. C'est toujours intéressant de savoir si l'une des deux approches est plus avantageuse que l'autre,

Il se trouve que cette propriété des algorithmes génétiques à pouvoir atteindre plusieurs parties plus ou moins dispersées du domaine de réalisabilité est étroitement liée aux valeurs des paramètres de l'algorithme.

nous avons remarqué que, pour certains types d'équipements traités par notre logiciel, l'heuristique peut aussi donner de très bons résultats, qui peuvent même surpasser ceux que donne l'approche génétique. Ceci s'explique par le fait que certains types d'équipement ne sont pas très nombreux dans la base de données donc leur affectation n'exige pas de combiner et recombinaison des solutions initiales quelconques, du fait que leurs affectations possibles sont peu variées . L'algorithme génétique peut être considéré comme inutile pour ces cas de figure. Voir Annexe

# Conclusion Générale

Se trouvant dans un environnement concurrentiel à grande échelle à un niveau international, le CDTA, l'établissement accueillant, envisage l'adaptation d'une stratégie de mutualisation des ses ressources, et au cours de notre travail, il nous a été confié d'aborder la problématique des affectations des ressources aux différents projets pour une période d'exercice fixée pour une année.

Nous avons commencé par présenter l'historique du CDTA ainsi que ces axes de recherche, nous avons ensuite clairement défini notre problématique, en posant bien les clauses à satisfaire dès le départ pour envisager une approche scientifique de résolution. Nous avons ainsi proposé une modélisation mathématique et nous en avons évalué la taille des données en termes de nombre de contraintes et fonctions objectifs.

Nous avons entamé, par la suite, la proposition des méthodes de résolution les plus adéquates (heuristiques et métaheuristiques) et avons opté pour deux approches différentes parmi ces deux catégories pour la recherche de solution(s) acceptables.

la première approche est construite rigoureusement, L'heuristique gloutonne qui est susceptible de donner d'assez bons résultats au problème posé sans pour autant nécessiter un traitement long des informations de départ ; ceci lui donne une efficacité non négligeable. Son objectif est la recherche d'un planning des affectations relativement bon, en un temps d'exécution acceptable d'une séquence d'instructions bien structurée.

La seconde est une méthode par exploration distribuée de l'ensemble des solutions réalisables, fondée sur les algorithmes génétiques, considérés comme un outil méta heuristique puissant pour la recherche « pseudo aléatoire », mais possédant quelques inconvénients dont la nécessité d'un espace mémoire important pour le stockage d'informations générationnelles intéressantes. Plus on voudrait converger vers les meilleures solutions possibles, plus les paramètres de l'application devraient être augmentés (taille des populations et nombre d'itérations surtout), mais celle-ci mettrait un temps d'exécution croissant en fonction de cette modification.

En implémentant ces deux approches, nous observons, à travers la réalisation de quelques tests, certaines différences dans les résultats numériques, dont nous faisons un petit constat explicatif tel le manque de données réelles du centre . Ainsi, le logiciel proposé répond-il correctement aux attentes de l'entreprise d'accueil quant à la problématique soulevée ?

la réponse à cette question reste relative, d'abord à la vision de chaque décideur et ses espérances, mais aussi à l'amélioration éventuelle de notre logiciel d'un point de vue technique, ce qui exige pourtant un apport supplémentaire de données et l'implantation de nouveaux systèmes dans l'entreprise. Dès lors, il semblerait intéressant d'ouvrir un volet de communication entre « décideurs » et « concepteurs » afin de permettre un échange d'informations et un champ de

discussion pour bien cerner les clauses de travail et les maîtriser.

A notre niveau, cette étude a attiré notre attention sur des méthodes mathématiques diverses pour la résolution de différents problèmes d'optimisation multi-objectif et nous trouvons que c'est une bonne expérience pour nous, en particulier les problèmes d'affectation à plusieurs fonctions objectifs. Nous avons, en effet, pu acquérir davantage de connaissances dans le milieu de l'aide à la décision, mais nous avons aussi profité, dans la partie « logiciel », d'une familiarisation avec le latex le géant de la rédaction des grandes revues scientifiques. L'accès et la gestion des bases de données via DELPHI, environnement de programmation orienté objet dont nous avons fort apprécié l'utilisation .

## Perspectives :

Comme perspective, plusieurs éléments pourraient être revus et auxquels un tel outil doit répondre :

Que faire face à une perturbation quelconque qui viendrait entraver le déroulement du planning à un moment de la période d'exercice (exemples : pannes , retards dans l'exécution des travaux ou dans la restitution du matériel, mauvaise estimation des besoins matériels en termes de durées, etc.) ?

Pourquoi ne pas prendre les ressources, tous types confondus, dans un même modèle mathématique, et cela pour garantir la bonne utilisation des équipements dépendants les uns des autres à titre d'exemple : le Robucar est rarement affecter à un projet sans être accompagné d'un PC puissant pour le faire fonctionner ?

C'est en ces deux questions que résident sans doute les faiblesses de notre approche, et nous laissons le soin à d'autres études, dans le même cadre que notre projet, d'y faire face.

On vous propose de revoir le traitement de ce sujet, dans l'objectif de concevoir un logiciel d'aide à la décision encore meilleur.

Dans un autre contexte, et en vue de maîtriser encore mieux les difficultés de travail qui en découlent. Nous proposons au CDTA de réaliser d'autres études et enquêtes statistiques régulières, portant de façon générale sur les occurrences des pannes, des fuites de la ressource humaine et voir les causes, des études prévisionnelles des demandes des ressources se basant sur un historique fiables à concevoir et l'entreprendre soigneusement pour l'avenir puisque en fait les chiffres peuvent parler même en dépassant leurs temps, ou encore sur les écarts entre estimations des besoins et besoins réels des projets en ressources.



# Bibliographie

- [1] Ines Alaya, Christine Solnon, and Khaled Ghedira. Algorithme fourni avec différentes stratégies phéromonales pour le sac à dos multidimensionnel. *rapport de recherche, Institut Supérieur de Gestion de Tunis*, 2005.
- [2] Inès Alaya, Christine Solnon, and Khaled Ghédira. Optimisation par colonies de fourmis pour le problème du sac à dos multidimensionnel. *TSI-Technique et Science Informatiques*, 26(3-4) :371–390, 2007.
- [3] APS. Journal officiel radp. <http://www.joradp.dz/FTP/Jo-Francais/2002/F2002067.pdf>, October 2002.
- [4] APS. Algérie développement de la recherche scientifique 6.000 chercheurs d’ici 2014. <http://archives.maghrebemergent.info/actualite/>, October 2012.
- [5] Thomas Bäck. *Evolutionary algorithms in theory and practice : evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms*. Oxford university press, 1996.
- [6] RC Bansal, TS Bhatti, and DP Kothari. Artificial intelligence techniques for reactive power/voltage control in power systems : a review. *International journal of power & energy systems*, 23(2) :81–89, 2003.
- [7] Nathalie Bartoli and Pierre Del Moral. Simulation et algorithmes stochastiques. *Cépaduès éditions*, page 5, 2001.
- [8] C Bonnemoy and SB Hamma. La méthode du recuit simulé : optimisation globale dans rn. *Automatique-productique informatique industrielle*, 25(5) :477–496, 1991.
- [9] Christophe Caux, Henri Pierreval, and M-C Portmann. Les algorithmes génétiques et leur application aux problèmes d’ordonnancement. *Automatique-productique informatique industrielle*, 29(4-5) :409–443, 1995.
- [10] DZ CDTA. Plateforme cdta\_pdp\_sharepoint. <https://pdp.cdta.dz/default.aspx>, October 2016.
- [11] Yann Collette and Patrick Siarry. *Optimisation multiobjectif : Algorithmes*. Editions Eyrolles, 2011.
- [12] Kalyanmoy Deb, Samir Agrawal, Amrit Pratap, and Tanaka Meyarivan. A fast elitist non-dominated sorting genetic algorithm for multi-objective optimization : Nsga-ii. *Lecture notes in computer science*, 1917 :849–858, 2000.
- [13] Kalyanmoy Deb, Amrit Pratap, Sameer Agarwal, and TAMT Meyarivan. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm : Nsga-ii. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 6(2) :182–197, 2002.
- [14] Jean-Paul Delahaye. Information, complexité et hasard. 1999.
- [15] Johann Dréo, Alain Pétrowski, Éric D Taillard, and Patrick Siarry. Métaheuristiques pour l’optimisation difficile. 2003.
- [16] CDTA Dz. Bibliothèque. <http://bibliotheque.cdta.net/>, January 2016.

- [17] CDTA Dz. Jem euso algérie. <http://jemeuso.riken.jp/en/members.html>, January 2016.
- [18] CDTA Dz. Plateforme technologique. <http://www.cdta.dz/category/plateforme-technologique/>, January 2016.
- [19] Gérard Fleury. *Méthodes stochastiques et déterministes pour les problèmes NP-difficiles*. PhD thesis, 1993.
- [20] Fred Glover. Future paths for integer programming and links to artificial intelligence. *Computers & operations research*, 13(5) :533–549, 1986.
- [21] Mikkel T Jensen. Reducing the run-time complexity of multiobjective eas : The nsga-ii and other algorithms. *Evolutionary Computation, IEEE Transactions on*, 7(5) :503–515, 2003.
- [22] Scott Kirkpatrick, C Daniel Gelatt, Mario P Vecchi, et al. Optimization by simulated annealing. *science*, 220(4598) :671–680, 1983.
- [23] Bartnik Marie. La chine, au premier rang des dépenses de r&d en 2019. <http://www.lefigaro.fr>, October 2014.
- [24] M Minoux. Algorithmes gloutons et algorithmes gloutons accelérés pour la résolution des grands problèmes combinatoires. *Bull. Dir. Etud. Rech. EDF. Série C*, (1) :59–68, 1977.
- [25] Frans Moyson and Bernard Manderick. *The collective behavior of ants : an example of self-organization in massive parallelism*. Artificial Intelligence Laboratory, Vrije Universiteit Brussel, 1988.
- [26] Redaction. Hafid aourag, directeur général de la recherche scientifique au mers : nécessité d'impliquer les chercheurs dans la dynamique du développement. <http://algerieactu.com/2015/10/07/>, January 2016.
- [27] Olga Roudenko. *Application des algorithmes évolutionnaires aux problèmes d'optimisation multi-objectif avec contraintes*. PhD thesis, Ecole Polytechnique X, 2004.
- [28] Olivier Roux. *La mémoire dans les algorithmes à colonie de fourmis : applications à l'optimisation et à la programmation automatique*. PhD thesis, 2001.
- [29] Michel Sakarovitch. *Optimisation combinatoire : Programmation discrète*, volume 2. Editions Hermann, 1984.
- [30] Patrick Soriano and Michel Gendreau. Fondements et applications des méthodes de recherche avec tabous. *Revue française d'automatique, d'informatique et de recherche opérationnelle. Recherche opérationnelle*, 31(2) :133–159, 1997.
- [31] EG Talbi, T Muntean, and I Samarandache. Hybridation des algorithmes génétiques avec la recherche tabou. *Evolution Artificielle (EA '94)*, 1994.
- [32] Josef Tvrđik and I Krivy. Simple evolutionary heuristics for global optimization. *Computational statistics & data analysis*, 30(3) :345–352, 1999.

## Annexe A : Etat de la ressource humaine du CDTA entre 2008 et 2014

Grade	Démissions						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Directeurs de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Maitres de Recherche A	0	1	1	1	0	0	0
Maitre de Recherche B	0	0	0	1	1	0	3
Chargé de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Attachés de Recherche	5	4	2	2	9	16	3
Chargé d'Etude	9	6	2	4	1	3	2
Ingénieurs de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Ingénieurs (tous les corps)	0	2	0	4	9	5	5
Autres Personnel de soutien Technique	0	1	1	0	2	1	2
Administrateurs	2	3	0	2	0	1	0
Autres Personnel de Soutien Administratif	1	2	0	0	0	0	1
Agents d'Entretiens et de Services	5	15	1	3	2	4	1

FIGURE 6.24 – les démissions du CDTA entre 2008 et 2014

Grade	Détachements						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Directeurs de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Maitres de Recherche A	0	0	0	0	0	0	0
Maitre de Recherche B	0	0	0	0	0	0	0
Chargé de Recherche	1	1	3	0	0	0	0
Attachés de Recherche	0	3	3	2	2	0	3
Chargé d'Etude	1	7	1	0	0	3	
Ingénieurs de Recherche	0	0	0	0	1		1
Ingénieurs (tous les corps)	0	0	0	1	1	1	1
Autres Personnel de soutien Technique	0	0	0	0	0	0	0
Administrateurs	1	0	0	0	0	0	0
Autres Personnel de Soutien Administratif	0	0	0	0	0	0	0
Agents d'Entretiens et de Services	0	0	0	0	0	0	0

FIGURE 6.25 – les détachements du CDTA entre 2008 et 2014

Grade	Départs en retraite						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Directeurs de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Maitres de Recherche A	0	0	0	0	0	0	0
Maitre de Recherche B	0	0	0	0	0	0	0
Chargé de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Attachés de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Chargé d'Etude	0	0	0	0	0	0	0
Ingénieurs de Recherche	0	0	0	0	0	0	0
Ingénieurs (tous les corps)	0	0	0	2	0	1	2
Autres Personnel de soutien Technique	0	0	0	2	0	0	0
Administrateurs	0	0	0	0	0	0	1
Autres Personnel de Soutien Administratif	0	0	1	5	2	1	4
Agents d'Entretiens et de Services	0	3	0	0	0	0	0

FIGURE 6.26 – les departs en retraite du CDTA entre 2008 et 2014

Grade	Effectifs						
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Directeurs de Recherche	3	3	5	5	6	7	10
Maitres de Recherche A	10	10	8	9	9	12	9
Maitre de Recherche B	2	5	10	15	17	36	39
Chargé de Recherche	24	20	17	15	14	11	11
Attachés de Recherche	37	38	41	56	122	117	142
Chargé d'Etude	69	69	50	55	41	26	22
Ingénieurs de Recherche	0	0	0	0	0	24	29
Ingénieurs (tous les corps)	32	45	58	51	64	48	82
Autres Personnel de soutien Technique	29	26	31	39	38	33	44
Administrateurs	20	20	22	22	24	23	43
Autres Personnel de Soutien Administratif	31	30	30	42	45	38	46
Agents d'Entretiens et de Services	85	74	79	62	85	74	74

FIGURE 6.27 – l'effectifs du CDTA entre 2008 et 2014

## Annexe B : Exemple d'heuristique gloutonne (Problème de sac à dos)

Voici donc un exemple descriptif de l'application d'une heuristique gloutonne (i.e : heuristique sans retour) au problème classique du « sac à dos » :

Soient  $n$  objets ,  $O_i, i = 1 \dots n$  de volumes respectifs  $V_i \leq 0, i = 1 \dots n$  et d'utilités respectives ,  $U_i \leq 0, i = 1 \dots n$  parmi lesquels on voudrait emporter quelques uns dans un volume donné (un sac à dos) de contenance  $v \leq 0$  de manière à maximiser l'objectif de l'utilité totale (somme des utilités des objets emportés) sans pour autant dépasser le volume toléré dans le sac.

Ce paragraphe énonce un problème courant d'optimisation combinatoire, à savoir celui du « sac à dos », qui n'est à priori pas simple à résoudre, vu le nombre important de combinaisons (solutions) possibles.

Le but étant d'arriver à un « compromis » entre « utilité maximale » et « volume limité », on peut penser que la solution engendrée par :

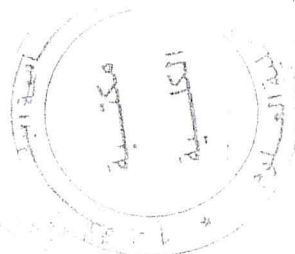
- classement des objets dans l'ordre décroissant de leurs utilités ;
- sélection, dans l'ordre, des objets de meilleures utilités jusqu'à saturation du volume  $V$  ;

mènerait à une solution optimale, alors que l'application d'une méthode ordonnant les objets suivant l'ordre décroissant des rapports « utilité/volume »  $\frac{U_i}{V_i}$  et la sélection de ceux qui ont les valeurs les plus grandes de cette mesure jusqu'à saturation du volume  $V$ , donnerait un résultat nettement meilleur de l'objectif visé ; ceci peut être vérifié bien entendu sur différentes occurrences numériques.

# Annexe C : Quelques résultats d'implémentation de CDTA RESSOURCES 1.0

Equipement	Heuristique		Génétique	
	Critère 1(Max)	Critère 2(min)	Critère 1(Max)	Critère 2(min)
ROBOTCAR	88200	3005	8233	5151
			7756	5117
			6235	5115
			5956	4995
CAMERA IP	236	3041	236	3121
			227	2398
			218	2324
TESTEUR SOUS POINT	105578	6159	48750	8905
			48678	8900
			47769	8897
			47751	8748
			47679	8743
			46770	8740
PC WORKSTATION	63000	1281	42300	11623
			40500	6588
			35190	1604
			24300	1602
ROBUTER ULM	570	1290	440	674

FIGURE 6.28 – RESULTATS CDTA RESSOURCES 1.0



## Résumé

Le Centre de Développement des Technologies Avancées (CDTA), un des pionniers de la recherche en Algérie, dirigeant actuellement une série de projets R&D&I, possédant à son actif des équipements de recherche (ARTV Robot, reacteur de plasma ... etc.) et une masse de chercheurs importante. La gestion de ces ressources devient de plus en plus délicate; Il est donc intéressant d'introduire, grâce aux approches scientifiques d'optimisation que propose la Recherche Opérationnelle, un système de gestion des affectations de ces ressources en vue de satisfaire au mieux les demandes en matériel et exprimées par les différents projets pour une période d'exercice donnée. L'objectif de notre étude est de proposer un modèle mathématique adéquat pour résoudre cette problématique, et de concevoir un logiciel d'aide à la décision qui donne des plannings d'affectations répondant aux attentes des décideurs en termes de coûts de temps et surtout en termes de qualité des ressources affectées aux demandes. Ceci revient à traiter un problème d'optimisation bi-objectif, que nous abordons grâce à une heuristique spécifique et un méta heuristique basé sur les algorithmes génétiques.

**Mots clés :** Affectation sous contraintes, Heuristique gloutonne, méthaheuristiques, Algorithmes évolutionnaires, Algorithme génétique NSGA II.

## ملخص

مركز تنمية تكنولوجيات متطورة (م ت ت م)، احد رواد البحث في الجزائر، يدير حاليا سلسلة من مشاريع البحث، يمتلك مجموعة هامة من معدات البحث و فئة هامة من الباحثين. ادارة هذه الموارد اصبحت جد دقيقة و بالتالي من المهم ادراج، بفضل المناهج العلمية التحسينية التي تقترحها الابحاث العملية، نظام ادارة تعيينات هذه الموارد لتلبية مطالب هذه الاجهزة و المطلوبة من طرف مختلف المشاريع خلال فترة معينة. و الهدف من الدراسة تصميم برامج لتقديم المساعدة الى متخذي القرار الذي يمنح جداول التعيينات الذي يخدم توقعات صناع القرار بشأن تكلفة الوقت وخاصة فيما يتعلق بنوعية الموارد المخصصة للطلبات قامت على اساس نموذج حسابي كافي لحل هذه المشكلة. كل هذا يؤدي الى معالجة تحسين مشكلة ثنائي الهدف و التي تحل بفضل الاستدلال على خوارزميات وراثية الكلمات المفتاحية: تعيين بالعراقيل، الاستدلالات، الخوارزميات المتطورة، الخوارزمية الوراثة NSGA II

## Abstract

Center of development of the advanced technologies (CDTA), one of the pioneers of the search in Algeria, managing at present a series of projects R&D&I, possessing to its credit equipment of search (ARTV2 robot, reactor of plasma etc.) and an important mass of researchers. The management of these resources becomes more and more delicate; it is thus interesting to introduce, thanks to the scientific approaches of optimization which proposes the Operational research, a management system of the appointments of these resources to satisfy at best the requests in material and expressed by the various projects for a given period of exercise. The objective of our study is to conceive a help software for the decision which gives schedules of appointments meeting the expectations of decision-makers in terms of costs of time and especially in quality terms of the resources allocated to the requests; by basing itself on an adequate mathematical model to solve this problem. This means handling a bi-objective problem of optimization, which we approach thanks to a specific heuristics and a metaheuristics based on the genetic algorithms.

**Key wordes :** Appointment under constraints, greedy Heuristics, methaheuristics, evolutionary Algorithms, genetic Algorithm NSGA II.