



Licence Sciences et Techniques (LST)

Sciences et Techniques Pour l'obtention du Diplôme de Licence

PROJET DE FIN D'ETUDES

**Minimisation Du Temps De Parcours Des Equipes Au Bureau Des Travaux Au
Sein De La RADEEF**

Présenté par :

◆ **DOUIRAT Nissrine**

Encadré par :

- ◆ Pr ETTAOUIL Mohamed
(Faculté des Sciences et Techniques Fès-Saïs)
- ◆ Pr HADOUCH Khalid
(Ecole Supérieure de Technologie de Meknès)
- ◆ Mr Omar SAGHOUANE
(RADEEF délégation de Séfrou)

Soutenu Le 14 Juin 2013 devant le jury composé de:

- Pr. ETTAOUIL Mohamed (FST de Fès)
- Pr. EZZAKI Fatima (FST de Fès)
- Pr. LOQMAN Chakir (EST de Meknès)
- Pr. GHANOU Youssef (Est de Meknès)

Stage effectué à LA RADEEF MAROC

Année Universitaire 2012 / 2013



SOMMAIRE :

Remerciement.....	02
Décace.....	03
Introduction.....	04
Première Partie:.....	05
I. Présentation de la RADEEF.....	06
II. Activités de la RADEEF.....	06
III. Organigramme de la RADEEF.....	07
IV. Secrétariat et Bureau d'ordre.....	08
V. Service clientèle et Marketing.....	08
VI. Service technique et logistique.....	14
Deuxième Partie :.....	20
I. Introduction au problème du voyageur de commerce.....	21
II. Problème du voyageur de commerce.....	21
III. Représentation du problème.....	23
IV. Méthodes de résolution.....	24
V. La résolution du Problème du voyageur de commerce Via la procédure de séparation & évaluation.....	28
VI. Exemples de résolution	31
VII. Algorithmes génétiques.....	42
VIII. Résolution du problème PVC via les algorithmes génétiques.....	53
IX. Comparaison de complexité.....	53
X. La présentation du problème du projet.....	54
XI. Résultats expérimentaux.....	55
XII. Conclusion & perspectives.....	56
XIII. Références.....	57
Conclusion générale du Rapport.....	58



Tout d'abord, je tiens à remercier toute l'équipe de la RADEEF, pour leur accueil et leur collaboration.

Plus précisément, je tiens à remercier sincèrement :

- M.Mohamed Ezzahraoui, Délégué de la RADEEF, pour m'avoir accueilli dans son entreprise et permis de découvrir les différentes services de la régie ainsi que les mécanismes de travail ;

- M.Ettaoui, mon maître de stage pour m'avoir accueilli dans son équipe, pris en charge, fait confiance, conseillé, encouragé...

- M.Omar Seghouane, responsable du service ADM et CL, pour son aide et son soutien dans la rédaction de ce rapport

Ainsi, je congratulate tout l'ensemble du personnel de la régie qui m'a aidé pendant mon stage avec leurs précieuses directives et leurs judicieux conseils et qui ont concouru à rendre ce passage à la RADEEF agréable.

De plus j'adresse mes remerciements à :

- M.Khalid Haddouch, mon professeur tuteur, pour le suivi qu'elle a apporté à mon stage, son aide énorme au niveau de programmation, ses conseils (notamment en rédaction), ses explications...

- FST de Fès, le département Mathématique et l'ensemble des professeurs, pour ces trois heureuses années d'enseignements et de collaboration !



DEDICACES :

On a le plaisir de dédier ce travail :



Mon dieu le plus puissant :

Quim'a donné la force, le courage, le croyance, aidé avec son soutien d'être là aujourd'hui entrain de vous présenter ce modeste travail



A mes très chers parents :

Les etres les plus cheres du monde, pour qui j'exprime mon grand amour et mes respectes les plus dévoués pour leurs sacrifices et leurs amour



Aux membres de la RADEEF :

Je dédie ce travail à :tous les membres de la division commerciale et technique de la RADEEF, dans laquelle j'ai effectué un stage de fin d'étude, et dont c'était ma première expérience.

INTRODUCTION:

La période du stage est considérée comme un passage de la théorie vers la pratique, il vise à initier le stagiaire au rythme du travail au sein de la société, à respecter les règlements intérieurs et les horaires, de plus, il attribue à l'étudiant la possibilité de se doter d'une expérience professionnelle.

Du 15/04/2013 au 15/06/2013, j'ai effectué un stage au sein de la RADEEF (région de Sefrou), au cours de ce stage à la régie, j'ai pu m'intéresser au domaine de la distribution d'eau et d'électricité et comment l'activité de ce dernier joue un rôle intéressant au niveau de développement socio-économique.

Plus largement, ce stage a été l'opportunité pour moi de m'intégrer dans le domaine professionnel en posant des questions et exerçant des activités pour améliorer ma connaissance, ainsi que m'apercevoir sur comment une administration se charge de satisfaire tous les besoins de sa clientèle.

J'ai été aimablement accueilli par la régie RADEEF et dans ce rapport j'ai essayé décrire toutes les activités effectuées au sein de l'administration qui m'ont développé mon niveau administratif et juridique et bien les maîtriser au domaine professionnel tout en me basant sur mes connaissances théoriques.

Concernant le rapport de stage, on va chercher une solution optimale du problème posé par mon encadrant à la RADEEF, l'intérêt de ce problème est de trouver un chemin minimum qui doit être suivi par chaque employé de bureau des travaux pour poser, déposer, muter ou changer les compteurs des abonnés. Pour résoudre ce problème on va essayer de le modéliser sous forme d'un problème très connu qui est le problème du voyageur de commerce, puis on va le résoudre en se basant sur les algorithmes génétiques.

Première partie

Présentation générale

*de la régie intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de la
wilaya de Fès (RADEEF)*

Présentation générale de la RADEEF :

La régie autonome intercommunale de distribution d'eau et d'électricité de la WILAYA de Fès (la RADEEF) est un établissement public à caractère industriel et commercial, doté de la personnalité morale et de l'autonomie financière, placé sous la tutelle du ministère de l'intérieur.

La RADEEF a été créé par délibération du conseil municipal de la ville de Fès en date du 30 Avril au 29 Aout 1969 en vertu de Dahir N°159315 du 23 Juin 1960 relatif à l'organisation communale et c'est après l'expiration du contrat de concession dont bénéficiait la compagnie Fassie d'Electricité (CFE) au titre de la distribution de l'énergie électrique.

La RADEEF est chargé d'assurer à l'intérieur des pénètres de la commune ou elle intervient l'électricité et l'assainissement liquide.

La RADEEF a pour mission de répondre aux besoins de la population en matière d'eau potable, d'électricité et d'assainissement dans les meilleures conditions et au moindre cout.

Les activités de la RADEEF :

La régie a pour mission la distribution d'eau potable et d'électricité à tous les habitants de la Wilaya de Fès d'une manière continue, sans arrêt et dans les meilleures conditions. La régie non seulement répond aux besoins en eau et en électricité mais elle a également jeté les bases de l'infrastructure nécessaire.

Elle assure une partie du financement des projets par son autofinancement pour assurer au mieux ce service public qui lui a été confié, la régie réalise à l'intérieur de son périmètre de distribution les travaux d'extension et de renforcement du réseau.

Elle est tenue d'installer toutes les nouvelles canalisations, tous les équipements et tous les branchements qui lui sont demandés et de procéder aux investissements nécessaires pour faire face à la demande.

La RADEEF est chargé aussi de réhabiliter, d'exploiter et d'entretenir le réseau d'assainissement

Annuellement la régie établit un budget qui comporte :

Un budget d'équipement définit le programme des travaux neufs et le renouvellement du réseau que la régie compte réaliser

Un budget de fonctionnement destiné à faire ressortir les prévisions des charges et produit d'exploitation

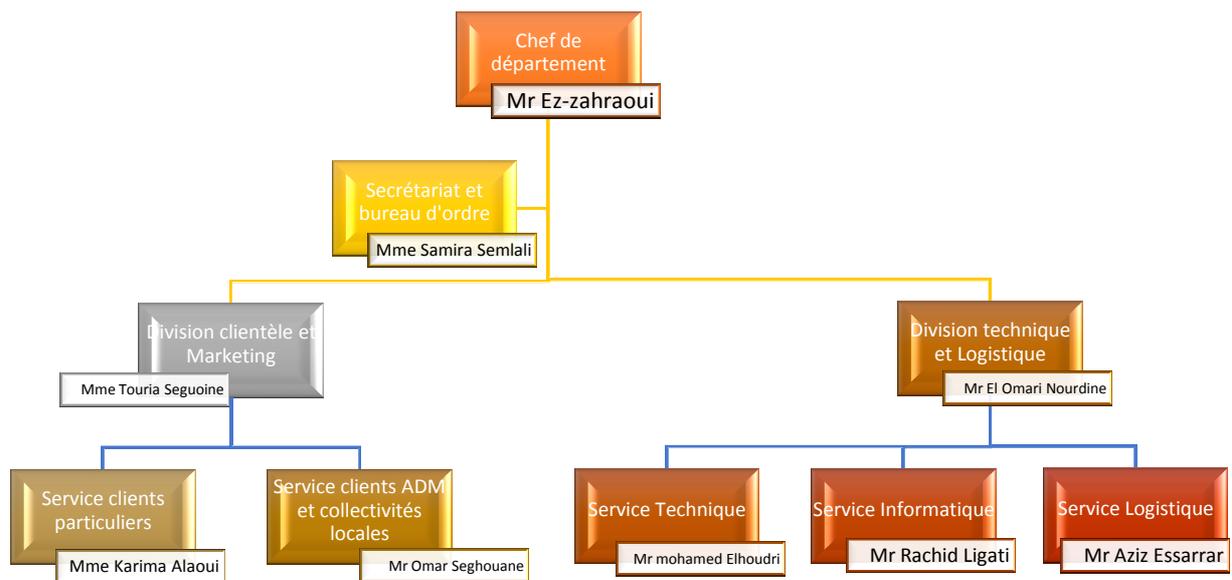
Et à la fin de chaque exercice, la régie fait ressortir les principaux éléments et fait ayant conduit aux résultats dégagés accompagnés d'une analyse financière et de compte officiel

L'ORGANIGRAMME DE LA RADEEF (délégation de Séfrou) :

Chaque entreprise ou administration se caractérise par une organisation spécifique qui se diffère selon les activités, les tâches et les responsabilités.

Donc l'organigramme joue un rôle très important puisque il exprime la manière dont les tâches sont réparties, la façon dont le pouvoir est exercé et les relations entre les différents éléments de service, ce qui facilite pour chaque lecteur de connaître de façon plus claire l'organisation interne.

L'organisation de la RADEEF se présente comme suit :

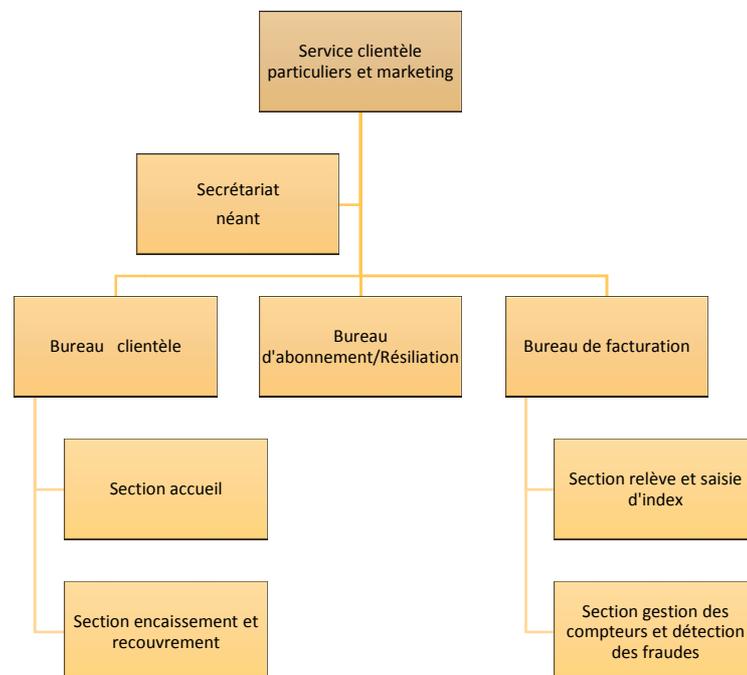


Secrétariat et bureau d'ordre :

Le responsable du secrétariat est Madame Samira Semlali, ses attributions sont les suivantes :

- ✘ Accueil des clients,
- ✘ Communication téléphonique,
- ✘ Transmission des fax,
- ✘ Frappe (appel offre, marché, rapport, correspondance, fax,...),
- ✘ Enregistrement des courriers arrivés et départ,
- ✘ Classement des archives de la délégation de Séfrou,
- ✘ Etablissement et suivi des plannings de congé du personnel de la délégation de Séfrou,
- ✘ Etablissement de la permanence hebdomadaire,
- ✘ Etablissement des ordres de mission,
- ✘ Etablissement des demandes d'absence,
- ✘ Etablissement des ventilations agent temporaire de la délégation de Séfrou et entrepris,
- ✘ Edition des rapports d'activité (mensuelle, semestrielle et annuelle),
- ✘ Enregistrement et suivi des facturations de consommations électrique, téléphonique, achat ONEP et impôts sur micro-ordinateur,
- ✘ Enregistrement et suivi de courriers avec les différents services de la RADEEF de Fès.

SERVICE CLIENTELE ET MARKETING :



Le service clientèle marketing ou service commercial est un sous-système de la régie assurant le déroulement d'une bonne gestion de la relation client comme toute fonction commerciale, la mission de ce service s'identifie à partir d'une bonne gestion des ventes, mais vu que la régie détient le monopole de distribution de son produit, cette bonne gestion va se concrétiser au niveau des services publics, c'est-à-dire la satisfaction de toutes les demandes dans les meilleures conditions .

A cet égard, ce service dispose de plusieurs bureaux ayant des activités différentes les uns des autres, mais elles sont complémentaires et ayant le même but c'est la satisfaction de la clientèle

1. Bureau clientèle

a. Section encaissement et recouvrement

- ✿ Remise à chaque mois les quittances avec bordereaux de prise en charge aux lecteur-encaisseurs,
- ✿ Vérification de la conformité du produit eau potable avec de bordereau de prise en charge par les lecteur-encaisseurs,
- ✿ Distribution des avis par les lecteur-encaisseurs,
- ✿ Arrêt du produit eau part à la fin de chaque période d'encaissement à fin de calculer le rendement des lecteur-encaisseurs,
- ✿ Edition de l'état de produit eau potable par encaisseurs et par secteur,
- ✿ Edition de listing des quittances rendues impayées,
- ✿ Inscription des quittances impayées sur les bordereaux d'inventaire permanent,
- ✿ Etablissement de la situation des impayées au portefeuille à chaque fin du mois.

2. Bureau d'abonnement

C'est un bureau où s'effectue le premier contact avec les clients pour une demande d'abonnement, ou du branchement, de déplacement de compteur ou abonnement pour compteur supplémentaire, ce bureau se charge aussi de la résiliation des contrats d'abonnement.

a) Branchement :

Vous construisez une nouvelle maison, vous avez besoin de réaliser un branchement d'eau potable.

Pour alimenter votre habitation en eau potable, il est nécessaire de mettre en place une canalisation qui va du réseau public jusqu'à la limite de votre propriété : c'est le branchement d'eau potable.

Pour une demande de branchement particulier ; il faut constituer un dossier qui comporte :

- ✓ Un plan de construction
- ✓ L'autorisation de construction
- ✓ Une copie de la carte d'identité nationale

b) L'abonnement

Une fois le raccordement du local au réseau eau est réalisé, la procédure de l'abonnement peut être entamée. Il y a trois types d'abonnement :

- Nouvel abonnement
- Abonnement par la suite
- Abonnement provisoire

✦ **Nouvel abonnement :**

Il concerne pour nouvel abonné qui se présente à la régie pour la première fois.

Les pièces à fournir sont :

- ✦ Autorisation de propriétaire
- ✦ Permis d'habité
- ✦ Copie de la carte d'identité nationale
- ✦ Acte d'achat
- ✦ Bon de conformité (remis par le propriétaire il même)

La présence du client ou de son monétaire est indispensable pour la signature du contrat et paiement des frais d'abonnement

Le responsable se charge d'établir la demande d'abonnement, le contrat et l'attribution du tarif après signature du contrat par le chef de l'agence

Une accusée de réception du dossier d'abonnement est délivré au client, ce dernier doit signer le contrat (au verso du contrat on trouve les conditions d'abonnement) et régler les tarifs.

L'agent donne une copie originale du contrat à l'abonné et l'autre copie reste comme réservation ou justificative dans le dossier.

Un ordre de pose du compteur est alors établi et envoyé au service technico-domiciliaire celui-ci la pose attribue le numéro du compteur posé et l'index.

Les dossiers sont livrés à l'archive.

✦ **Abonnement par suite (ou par mutation) :**

C'est l'abonnement par la souscription d'un nouveau contrat d'abonnement qui se fait par succession d'un abonnement précédent en service

Pour ce type d'abonnement, le client se présente à cette section le menu des pièces suivantes :

- La dernière quittance réglée
- L'autorisation du propriétaire dans le cas d'un abonné
- Une copie CIN

Le demandeur présente les pièces suivantes, excepté N° de projet et la facture définitive

Les dossiers des abonnées par suite s'établissent en trois exemplaires :

- Au laboratoire de base tension
- Au service technique pour la vérification

- La dernière est destinée au service portefeuille, pour éviter les coupures concernant les impayés de la police précédente
 - ✦ **Abonnement provisoire :**

Il y a deux sortes de forfaits :

- Forfait mariage
- Forfait travaux éclairage

Pour ces deux forfaits, on établit d'abord un dossier pour le transmettre après au service technique pour savoir si l'installation est reconnue conforme.

⇒ Pour un compteur provisoire festivités :

Pour cette demande le compteur ne peut pas dépasser trois jours maximum et pour les jointes du dossier la régie demande juste un facture d'électricité au nom de demandeur plus une provision à payer.

⇒ Pour un compteur provisoire travaux :

Dans ce cas la durée est entre un mois jusqu'au trois mois et la régie peut prolonger cette durée en renouvelant le contrat et pour ce forfait elle demande une autorisation de voir plus une demande de forfait et des frais de raccordement et d'abonnement, une provision et enfin les frais de pose de compteur

Dans ce bureau d'abonnement, on trouve aussi la résiliation, il y en a trois sortes :

➤ **Résiliation par demande de l'abonné :**

L'abonné se présente au service d'abonnement pour arrêter son contrat d'abonnement, et le bureau reçoit les demandes de résiliation après avoir coupé et relevé la lecture du compteur.

➤ **Résiliation par suite :**

C'est une résiliation d'office, car les nouveaux abonnements par suite ne sont facturés qu'après résiliations des polices précédentes.

➤ **Résiliation par faute de paiement :**

Le service portefeuille contrôle les impayés et les transmis après au service de facturation pour faire les bulletins de coupure pour arrêter sa facturation

➤ **Résiliation suite à une fin de forfait :** (pour les alimentations provisoires)

On porte à votre connaissance également que les abonnés sont répartis selon quatre types d'usages : domestiques, préférentiels (bains maures, bornes fontaines, industriel et hôtel).

3. Bureau de facturation

Ce bureau s'occupe de la facturation des abonnés particuliers eau potable, il reçoit des relevés des encaisseurs, il procède à une vérification et correction des erreurs après il fait la saisie des indexes.

Pour chaque mois il y a une période de relève durant 10 jours, normalement de 16 du mois au 26 du même mois. Pendant cette période les releveurs de l'agence faire une sortie pour faire inscrire les indexes et les codes dans un carnet de relève de la journée des compteurs qui entrent dans leurs secteurs.

La ville de Séfrou comme toutes les villes est divisée en secteurs. La délégation de Séfrou adopte 7 releveurs affectés à 7 secteurs (les releveurs sont au même temps des encaisseurs qui ont pour mission d'encaisser le maximum possible des factures sur terrain. Au cas d'un encaisseur arrive à vendre toutes les relèves reçoit une prime)

Quand les releveurs fournissent le carnet de relève de la journée. Les responsables au bureau de facturation s'occupent de saisir ses informations.

A chaque fin de période traite les anomalies et corrige les erreurs existés.

Ce bureau est divisé en deux sections :

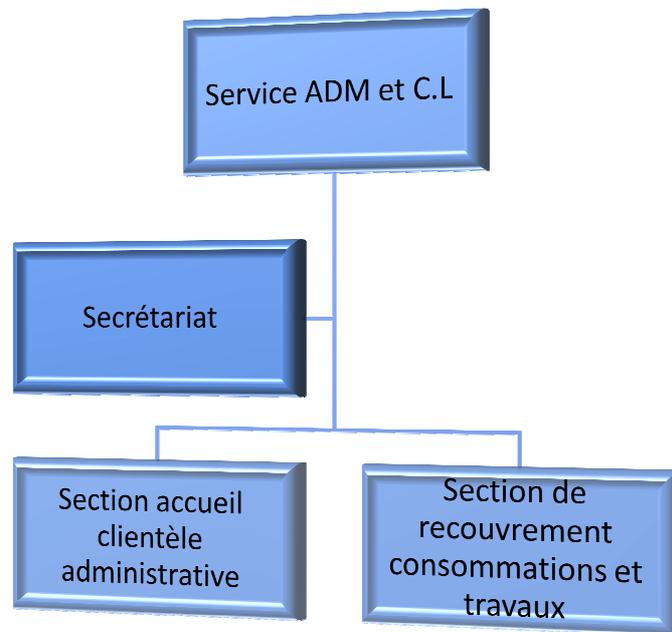
a. Section relève

- ★ Etablissement des nouvelles fiches de relève dans les bouquins suivant leurs tournées
- ★ Affectation des tournées aux nouveaux clients,
- ★ Classement des nouvelles fiches de relève dans les bouquins suivant leurs tournées,
- ★ Classement des contrats eau suivant l'ordre croissant des numéros de police,
- ★ Saisi sur micro des références des nouveaux clients,
- ★ Saisi des index relevés de différentes catégories,
- ★ Enregistrement sur les bordereaux d'augmentation et de diminution les erreurs de relève,
- ★ Gestion de réclamation des clients (fortes consommations, erreur d'adresse ou de nom, etc.),

b. Section gestion des fiches compteurs et détection des fraudes

- ★ Changement des fiches de relève après saturation,
- ★ Etablissement des avis de fuite aux intéressés,
- ★ Etablissement des factures de fraude pour règlement
- ★ Etablissement des fiches d'enquêtes des compteurs (boques, cassé, illisibles ...) pour changement,
- ★ Report des références de nouveaux compteurs changés sur bouquins et archivage des fiches d'enquête dûment remplies par la section comptage,
- ★ Suivi de l'opération d'étalonnage des compteurs suite à la demande du client.

SERVICE DES ADM ET COLLECTIVITÉS LOCALES :



C'est un service qui effectue presque les mêmes tâches effectuées par le service clientèle sauf qu'ici les clients sont des administrations et des collectivités locales qui ont des spécifications et des attentes différentes de celles des clients particuliers.

Ce service se charge de tout ce qui concerne cette catégorie de clients réception de leur demande, traitement de dossiers avant de les passer au service technique pour étude exécution des travaux après acceptation des devis par les dites clients, recouvrement des frais de devis et d'abonnement et recouvrement trimestriel des quittances de consommation par vignettes ou autres modes de paiement (chèque bancaires, espèces....)ce bureau fait sa tâche avec le recours à une releveur chargé des indexes de consommation et de distribuer les factures trimestrielles.

Ce service est organisé comme suit :

1. Section accueil clientèle administration

Les attributions de cette section sont :

- ✿ Etablissement des abonnements et résiliations,
- ✿ Ouverture des demandes de branchement,
- ✿ Relève des index,
- ✿ Report des index sur le va et le vient pour faciliter la saisie sur micro (vue le désordre des catégories ADM avec les tournées),
- ✿ Transfert du fichier de la relève à la division informatique pour édition du produit,
- ✿ Etablissement des bordereaux d'augmentation et diminutions,

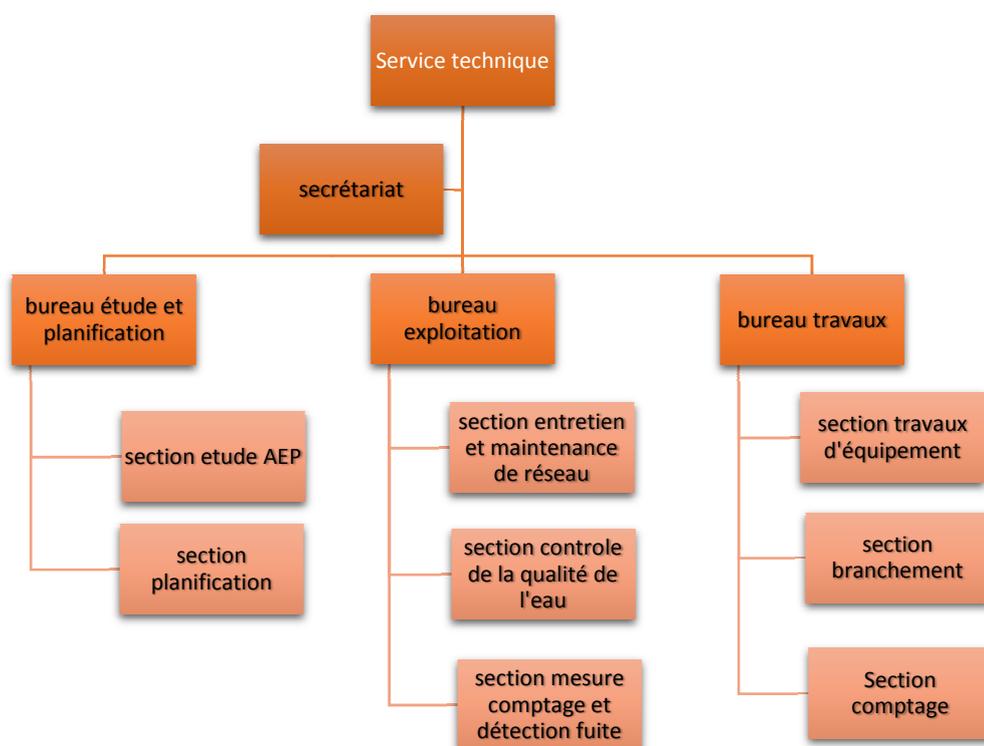
2. Section recouvrement consommations et travaux

Les attributions de cette section sont :

- ⊗ Classement des factures en six exemplaires par administration puis par police,
- ⊗ Enregistrement de la facturation sur les fiches d'inscription puis par police,
- ⊗ Distribution du produit avec accusé de réception,
- ⊗ Emargement des règlements,
- ⊗ Réception des vignettes puis transfert à la division ADM,
- ⊗ Envoi des lettres de relance et rappels au sujet des impayés,
- ⊗ Préparation des prévisions de consommation pour les collectivités locales,
- ⊗ Etablissement des situations de suivi de consommation (mensuelle et annuelle),
- ⊗ Réception des bons de commande relative aux devis des ADM puis prise en charge des factures des travaux,
- ⊗ Suivi des marchés conclus avec les services extérieurs au sujet des travaux d'alimentation en eau potable (vérification des articles du CPS, visa et enregistrement puis établissement des décomptes pour paiement),
- ⊗ Recouvrement des factures (travaux, compteurs défectueux,...),
- ⊗ Etablissement des situations de suivi des travaux (mensuelle et annuelle).

Service technique et logistique:

SERVICE TECHNIQUE :



1. Bureau des études et planification :

Dont la mission principale est de traiter les dossiers des clients, il comporte trois sections :

a) Section étude d'AEP et dessin :

L'agent responsable de cette section Mohamed El Houdri

- ❖ Suivi et supervision des études du plan directeur de distribution de l'eau dans la ville de Séfrou
- ❖ Etudes d'alimentation en eau des lotissements et des quartiers de la ville Séfrou
- ❖ Etudes des projets d'infrastructure de renforcement et d'extension du réseau de distribution d'eau potable en coordination avec le service étude de Fès
- ❖ Suivi des travaux d'infrastructure de renforcement et d'extension du réseau de distribution
- ❖ Etablissement des métrés et devis des branchements sur le réseau de distribution eau potable
- ❖ Etablissement des plans d'avant projets et récolement projets, d'extension et renforcement de réseau
- ❖ Mise à jour des plans de réseau d'adduction de distribution en coordination avec le bureau exploitation et équipement
- ❖ Tenue des dossiers techniques des travaux
- ❖ Archivage des plans de récolement des projets d'infrastructures, d'extension et de renforcement des réseaux
- ❖ Archivage des plans des réseaux d'adduction

b) Section planification

Cette section est chargé de :

- ♣ Etablissement du budget annuel d'équipement de la distribution de l'eau en collaboration avec les différents services de la délégation
- ♣ Etablissement des rapports mensuels, semestriels et annuels d'activités du service technique de la délégation
- ♣ Gestion cellule des statistiques (calcul du rendement du réseau, nombre de clients, linéaire des réseaux de branchement...)
- ♣ Assistance à la commission technique provinciale «procédure des grands projets »et de branchement d'eau

2. Bureau exploitation :

Chargé de la gestion quantitative du réseau d'eau potable distribué dans la ville ,la détection des fuites dans le réseau pour les réparer et également la gestion qualitative de l'eau distribué pour mesurer le degré du chlore et la turbidité de l'eau sans oublier qu'il doit éviter le manque d'eau, tout simplement ce bureau s'occupe de trois travaux principales :

a) Section entretien & maintenance de réseaux :

Cette section ayant les attributions suivantes :

- ✦ Assurer le contrôle et la sécurité 24h/24h des points de production des réservoirs, des stations de pompage
- ✦ Surveillance des réseaux en coordination avec les services extérieurs en vue d'éviter les dommages lors des travaux de voirie, d'assainissement ou autre
- ✦ Gardiennage et entretien des réservoirs et station, y compris les travaux de jardinage
- ✦ Entretien et maintenance des stations de pompage
- ✦ Permanence en dehors des heures normales de travail
- ✦ Gestion et analyse des réclamations enregistrées au niveau de standard
- ✦ Etablissement des rapports annuel et mensuel des activités
- ✦ Tenue des statistiques de production et de consommation d'eau au départ des réservoirs et des stations de pompage
- ✦ Analyse et traitement des réclamations relatives au manque d'eau et fuite...

b) Section contrôle de la qualité de l'eau :

Cette section ayant les attributions suivantes :

- ★ Contrôle et suivi quotidien de la qualité de l'eau au niveau des points de distribution
- ★ Désinfection des réservoirs et des réseaux en cas de pollutions accidentelles intérieures ou extérieures
- ★ Stérilisation des ouvrages et de réseau neufs avant leurs mises en service
- ★ Désinfection des réseaux après les réparations importantes

c) Section des mesures et détection des fuites :

Cette section s'occupe de :

- ★ Détection des fuites systématiques et ponctuelles sur les réseaux d'adduction et de distribution d'eau
- ★ Mise à jour des plans de réseaux
- ★ Mesure de débit nocturne sectoriel et de pression sur les réseaux
- ★ Contrôle et suivi des paramètres des réseaux tel que les rendements sectoriels et les consommations en tête de réseau
- ★ Etablissement des plannings annuels, semestriels, trimestriels, mensuels et hebdomadaires des opérateurs de détection des fuites et des mesures
- ★ Etablissement des rapports mensuels et annuels des activités du service de mesures

3. Bureau travaux

Ce bureau est chargé de suivre l'étude du premier bureau (bureau d'étude), et pour cela il est responsable de trois grandes activités :

a) Section travaux

- Etablissement des plannings de travaux annuels, semestriels, trimestriels, mensuels et hebdomadaires,
- Suivi de l'état d'avancement de programmes de travaux annuels, semestriels, trimestriels, mensuels et hebdomadaires,
- Supervision et contrôle des travaux d'équipement de lotissements, d'extensions, réhabilitations et de renforcement des réseaux d'adduction et de distribution d'eau potable,

- Contrôle et suivi des stocks magasins en vue d'établir les ordres de services en temps opportun,
- Demande des besoins d'approvisionnement et matériels de chantier d'équipement en eau, pour marchés sans fourniture,
- Supervision et contrôle en coordination avec les autres services des travaux d'infrastructure (réservoirs, stations de pompage, conduites d'adduction, etc....),
- Réalisation de petites extensions de réseaux suivi des décomptes et factures en relation,
- Elaboration de document d'appel d'offre pour les marchés de terrassement y compris notes de jugement,
- Archivage aux commissions des réceptions des lotissements.

b) Section branchement :

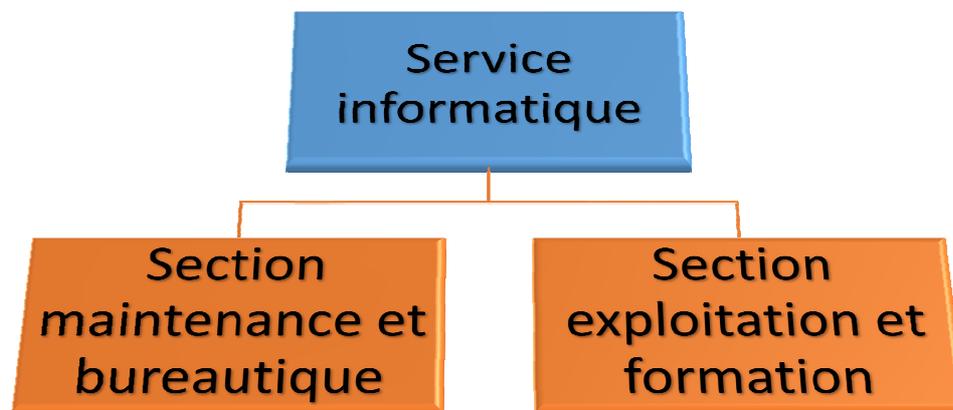
- Réalisation des branchements sur le réseau de distribution d'eau,
- Pose de compteurs des nouveaux abonnés en eau,
- Etablissement des rapports mensuels et annuels des activités du bureau d'équipement,
- Archivage des dossiers des branchements.

c) Section comptage :

Les attributions de cette section sont les suivantes :

- ✘ Surveillance, entretien et maintenance du parc de comptage comprenant les compteurs du réseau et des compteurs des abonnés,
- ✘ Remplacement systématiques et établissement des fiches d'enquête pour les compteurs défectueux pour facturation,
- ✘ Demande d'établissement d'étalonnage des compteurs à anomalie,
- ✘ Suivi de répartition des compteurs défectueux leur étalonnage et leur mise au magasin de la RADEEF,
- ✘ Etablissement des rapports mensuels et annuels des activités,
- ✘ Pose des nouveaux abonnements, et dépose des compteurs réalisés ou par faute de paiement et changement des compteurs à anomalies.

SERVICE INFORMATIQUE :



Le parc informatique de la délégation est composé de :

- ☒ Réseau local LAN

- ▣ 2 serveurs
 - Ancien système (Windows 2000 Server)
 - Nouveau système (Windows 2003 Server)
- ▣ 20 micro-ordinateurs
- ▣ 20 lasers p 2015
- ▣ 1 LEXMARK professionnel (pour éditer les factures)
- ▣ 1 répéter SISCO
- ▣ 2 SWITCH (16 ports)
- ▣ Logiciel adopté
 - Windows XP
 - Windows 98
 - Windows 95
 - Office 2003

Les tâches du bureau d'informatique :

- Formateur du projet SIGEC (système d'informatique et gestion clientèle)
- Superviseur du nouveau progiciel WATERP

Les attributions de ce service sont :

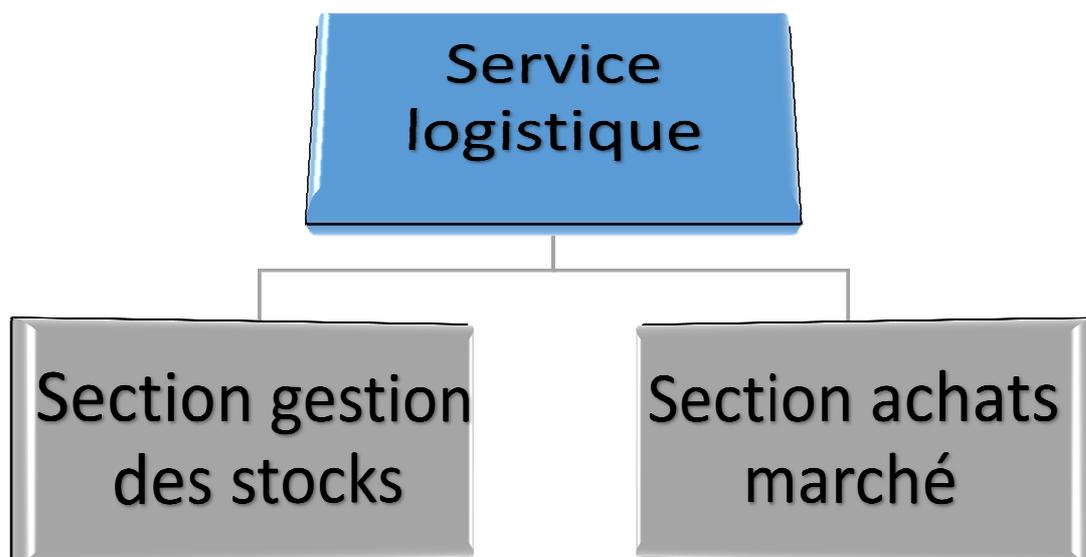
1. Section maintenance et bureautique

- ▣ Réparation du matériel informatique,
- ▣ Suivi de parc informatique,
- ▣ Installation des systèmes d'exploitation,
- ▣ Installation et mise à jour des logiciels bureautique.

2. Section exploitation et formation

- ▣ Suivi de l'exploitation du progiciel WAT.ERP,
- ▣ Superviser le progiciel WAT.ERP,
- ▣ Formation sur le progiciel WAT.ERP,
- ▣ Formation sur les logiciels de la bureautique.

SERVICE LOGISTIQUE :



Ce bureau est sous la responsabilité de Mr Aziz Essarrare dont les attributions sont comme suit :

1. Section gestion des stocks :

- * Réception du bureau matériel issu du magasin RADEEF,
- * Réception du matériel reformé avec un PV de réception,
- * Livraison du matériel aux utilisateurs de la délégation,
- * Etablissement du rapport d'activité annuel(inventaire magasin).

2. Section achat et marché

- ✦ Etablissement des demandes d'achat et de consultation,
- ✦ Jugement des consultations et suivi de livraison des achats en coordination avec les services de la division moyens généraux,
- ✦ Etablissement des fiches mensuels de pointage des agents titulaire et l'utilisation des véhicules de la délégation en coordination avec la division comptable,
- ✦ Etablissement des attachements des travaux de femme de ménage de la division comptable,
- ✦ Etablissement des attachements des travaux de femme de ménage de la société EUREST Maroc.

Deuxième partie :

THEME DU PROJET :

*MINIMISATION DU TEMPS DE PARCOURS DES
EQUIPES AU BUREAU DES TRAVAUX*

Introduction au problème du voyageur de commerce :

Le problème du voyageur de commerce, étudié depuis le 19^e siècle, est l'un des plus connus dans le domaine de la recherche opérationnelle. Jouez à trouver le meilleur parcours possible... et découvrez différentes méthodes informatiques proposées pour résoudre ce problème.

C'est déjà sous forme de jeu que William Rowan Hamilton a posé pour la première fois ce problème, dès 1859. Sous sa forme la plus classique, son énoncé est le suivant : « Un voyageur de commerce doit visiter une et une seule fois un nombre fini de villes et revenir à son point d'origine. Trouvez l'ordre de visite des villes qui minimise la distance totale parcourue par le voyageur ». Ce problème d'optimisation combinatoire appartient à la classe des problèmes NP_COMPLET.

Les domaines d'application sont nombreux : problèmes de logistique, de transport aussi bien de marchandises que de personnes, et plus largement toutes sortes de problèmes d'ordonnancement. Certains problèmes rencontrés dans l'industrie se modélisent sous la forme d'un problème de voyageur de commerce, comme l'optimisation de trajectoires de machines-outils : comment percer plusieurs points sur une carte électronique le plus vite possible ?

Problème du voyageur de commerce :

Le problème du voyageur de commerce a été évoqué pour la première fois en 1930 par le mathématicien viennois Karl Menger et il a intrigué bon nombre de chercheurs depuis ce temps : sans doute parce qu'il est facile à énoncer mais redoutable à résoudre. Ce problème, en apparence anodin et insignifiant, cache de nombreuses finesses et difficultés qui nous emmèneront dans les développements récents de la théorie des algorithmes.

Supposez que vous soyez représentant de commerce et que vous ayez à visiter un certain nombre de villes, en sachant que :

- 🌐 l'ordre dans lequel vous effectuez vos visites n'a pas d'importance, à la condition que vous les fassiez toutes ;
- 🌐 le parcours commence et finit au même point (cette condition n'est pas toujours imposée et ne change pas sur le fond ce qui suit).

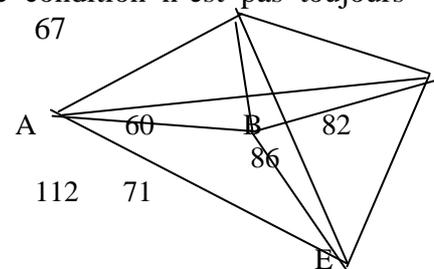
940 540 D

Votre intérêt, mais plus encore celui de l'entreprise qui vous emploie, est de choisir le parcours le plus court.

Comment allez-vous procéder ? Par exemple, quel itinéraire proposeriez-vous pour visiter les cinq villes A, B, C, D et E de la figure ci-contre

(les distances sont données en kilomètres) ?

- Supposons que l'on parte de la ville A (on doit donc y revenir). Par exemple, un chemin possible est $A \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow A$ et il peut être noté $ACBDE(A)$; sa longueur totale est 440 km $(94 + 54 + 82 + 71 + 139)$. Ce n'est certainement pas le plus court, car il a été choisi au hasard !



- Comment donc déterminer le chemin le plus court ? Ce qui importe n'est pas tant de trouver une solution pour le problème particulier ci-dessus que d'établir une démarche *générale* permettant de résoudre le problème pour n'importe quel ensemble de localités : cette démarche s'appelle un *algorithme*.

La première idée, la plus simple et la plus naturelle, consiste à se rendre systématiquement dans la localité la plus proche de celle où l'on se trouve : sans y réfléchir plus, on pourrait penser que cette méthode résout effectivement le problème posé. Quoi de plus logique en effet ?

Si l'on part par exemple de *A*, on obtient de cette façon le parcours *ABCDE(A)* de 3910 m ($600 + 540 + 670 + 710 + 1390$) : le trajet est déjà plus court que le précédent, déterminé au hasard. Or, à la question, vous en conviendrez, *essentielle*,

Cet algorithme donne-t-il la réponse au problème posé ?

Il faut bien se résoudre à répondre non ! Le chemin proposé n'est pas le plus court de ceux qui commencent et finissent en *A* : nous verrons plus bas un itinéraire plus court, obtenu de façon différente.

Comprenons bien : la méthode proposée peut donner parfois le meilleur chemin ; mais elle peut aussi donner des résultats très mauvais. Par exemple, si l'on part de la localité *C*, on obtiendrait l'itinéraire

CBADE(C) de longueur 4350 m ($540 + 600 + 1380 + 710 + 1120$). Soit à peine meilleur que le premier parcours *ACBDE(A)*, décrit à partir de *C* (*CBDEA(C)*), pourtant choisi au hasard !

Notre première idée est donc inadaptée et décevante dans ses résultats, malgré son apparence de simplicité.

La deuxième idée est basée sur une étude exhaustive de tous les parcours possibles : c'est un algorithme inélégant, fastidieux que l'on qualifie parfois de « bestial » tant il manque d'originalité.

Mais, lui, au moins, donne la bonne réponse en examinant *tous* les cas : il faut juste être patient (ou avoir un ordinateur).

Comment donc déterminer tous les parcours possibles, sans en oublier un seul ? Il suffit de remarquer qu'il existe une correspondance biunivoque entre un itinéraire respectant les conditions imposées et une permutation de l'ensemble $\{A, B, C, D, E\}$: ainsi, à la permutation (*DCBAE*) correspond l'itinéraire

DCBAE(D) et à l'itinéraire *ACEBD(A)* la permutation (*ACEBD*).

Bref $5! = 120$ itinéraires sont à examiner (autant que de permutations d'un ensemble à 5 éléments) et pour chacun, on calcule très facilement sa longueur.

Avec l'aide de MAPLE qui a l'avantage, par l'instruction *permut* ($\{A, B, C, D, E\}$), de générer la liste de toutes les permutations de l'ensemble $\{A, B, C, D, E\}$, l'ordinateur fournit en une fraction de seconde la réponse au problème posé : le parcours le plus court est *ABEDC(A)* (ou ceux équivalents comme *BEDCA(B)* ou *CDEBA(C)* obtenus en parcourant les localités dans le même ordre ou dans l'ordre inverse, avec un point de départ différent), pour une distance de 3780 m ($600 + 860 + 710 + 670 + 940$). La réponse obtenue amène deux remarques.

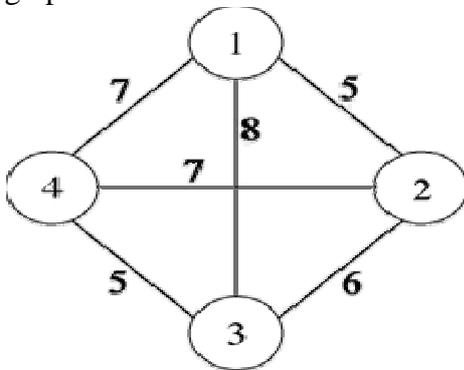
Tout d'abord, nous comprenons pourquoi notre première idée (se rendre toujours dans la localité la plus proche) échoue : dans le parcours minimal *ABEDC(A)*, arrivé en *B*, il faut aller en *E*, alors que les localités *C* et *D* sont toutes deux plus proches de *B* que *E*.

Enfin, et dans la mesure où tous les itinéraires possibles sont examinés, il est élémentaire de modifier la procédure MAPLE pour qu'elle donne le chemin le plus long : c'est *ADBCE(A)* avec 5250 mètres, soit 1470 m de plus que le parcours minimal ! Le gain est loin d'être négligeable et les différents itinéraires obtenus sont de longueurs suffisamment variables pour que les mathématiciens se soient penchés sur le problème...

Mais cela n'explique pas cependant pourquoi on dépense autant de temps pour les promenades des tels employeurs... En fait, la résolution de ce problème est utile dans de nombreux autres domaines, beaucoup plus stratégiques économiquement que la tournée de ce Monsieur (malgré tout le respect que l'on peut avoir pour son travail). Les problèmes d'optimisation sont quotidiens et essentiels dans le monde de l'industrie. Citons le cas d'une entreprise de télécommunications qui doit construire une ligne téléphonique reliant une centaine de postes : elle cherchera à en minimiser la longueur. Les exemples de cette nature sont légions...

Représentation du problème :

Le problème du voyageur de commerce peut être modélisé à l'aide d'un graphe constitué d'un ensemble de sommets et d'un ensemble d'arêtes. Chaque sommet représente une ville, une arête symbolise le passage d'une ville à une autre, et on lui associe un poids pouvant représenter une distance, un temps de parcours ou encore un coût. Ci-contre, un exemple de graphe à 4 sommets.



Résoudre le problème du voyageur de commerce revient à trouver dans ce graphe un cycle passant par tous les sommets une unique fois (un tel cycle est dit « hamiltonien ») et qui soit de longueur minimale. Pour le graphe ci-contre, une solution à ce problème serait les cycles 1, 2, 3, 4 et 1, correspondant à une distance totale de 23. Cette solution est optimale, il n'en existe pas de meilleure.

Comme il existe une arête entre chaque paire de sommets, on dit que ce graphe est « complet ». Pour tout graphe, une matrice de poids peut être établie. En lignes figurent les sommets d'origine des arêtes et en colonnes les sommets de destination ; le poids sur chaque arête apparaît à l'intersection de la ligne et de la colonne correspondantes. Pour notre exemple, cette matrice est la suivante :

$$\begin{bmatrix} 0 & 5 & 8 & 7 \\ 5 & 0 & 6 & 7 \\ 8 & 6 & 0 & 5 \\ 7 & 7 & 5 & 0 \end{bmatrix}$$

Dans cet exemple, le graphe est « non orienté », c'est-à-dire qu'une arête peut être parcourue indifféremment dans les deux sens, cela explique que la matrice soit symétrique. Cette symétrie n'est pas forcément respectée dans le cas d'un graphe orienté. Il existe alors deux catégories de problèmes : le cas symétrique (le poids de l'arc du sommet X vers Y est égal au

poids de l'arc du sommet Y vers X) et le cas asymétrique (le poids de l'arc du sommet X vers Y peut être différent du poids de l'arc du sommet Y vers X).

➤ *La modélisation du problème du voyageur de commerce :*

Soit $G = (X, U)$, un graphe dans lequel l'ensemble X des sommets représente les villes à visiter, ainsi que la ville de départ de la tournée, et U , l'ensemble des arcs de G , représente les parcours possibles entre les villes. À tout arc $(i, j) \in U$, on associe la distance de parcours $d_{i,j}$ de la ville i à la ville j . La longueur d'un chemin dans G est la somme des distances associées aux arcs de ce chemin. Le TSP se ramène alors à la recherche d'un circuit hamiltonien (i.e., un chemin fermé passant exactement une fois par chacun des sommets du graphe) de longueur minimale dans G . Dans le cas où il existe certains arcs $(i, j) \in U$ pour lesquels $d_{i,j} \neq d_{j,i}$, on parle de TSP asymétrique [Nemhauser & Wolsey 88].

On peut formuler le TSP de manière équivalente en associant à chaque couple (i, j) de villes à visiter ($i = 1$ à n , $j = 1$ à n et $i \neq j$) une distance $c_{i,j}$ égale à $d_{i,j}$ s'il existe un moyen d'aller directement de i à j (i.e., $(i, j) \in U$ dans G), fixée à 1 sinon et une variable de succession, $x_{i,j}$, binaire, qui prend la valeur 1 si la ville j est visitée immédiatement après la ville i dans la tournée et qui prend la valeur 0 sinon. Le TSP est alors modélisé par :

$$\text{Min } \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} \cdot x_{ij}$$

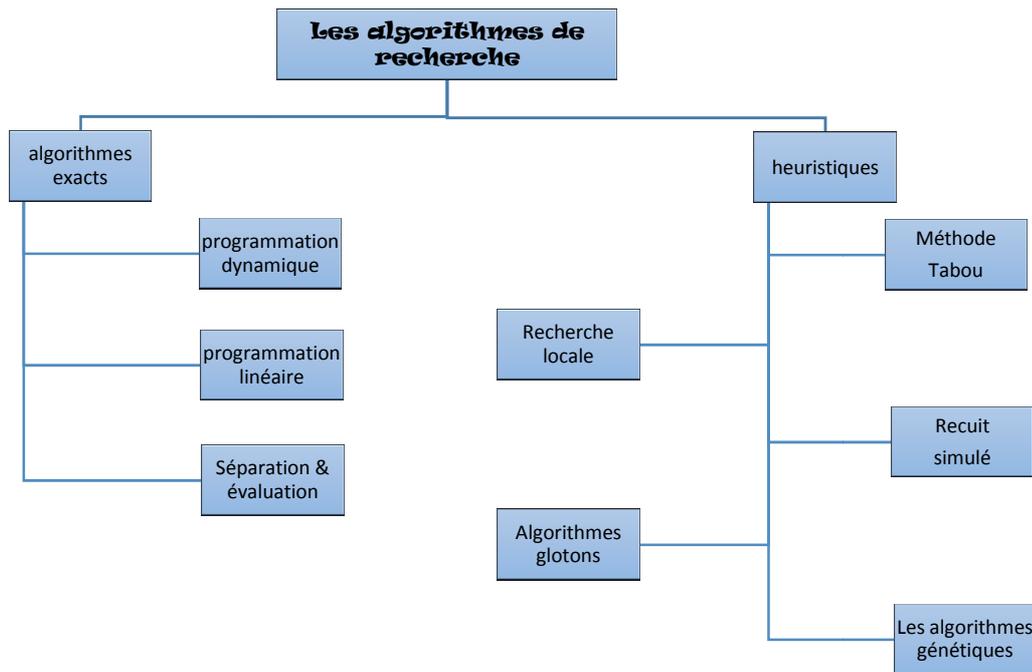
S.C :

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n x_{ij} &= 1 & \forall j = 1, \dots, n \\ \sum_{j=1}^n x_{ij} &= 1 & \forall i = 1, \dots, n \\ \sum_{i \in S, j \notin S} x_{ij} &\geq 2 & \forall S \subset X, S \neq \emptyset \\ x_{ij} &\in \{0, 1\} & \forall i = 1 \dots n, j = 1 \dots n \end{aligned}$$

Les deux premières contraintes traduisent le fait que chaque ville doit être visitée exactement une fois ; la troisième contrainte interdit les solutions composées de sous-tours disjoints, elle est généralement appelée contrainte d'élimination des sous-tours.

Les méthodes de résolution du PVC :

Les algorithmes de recherche

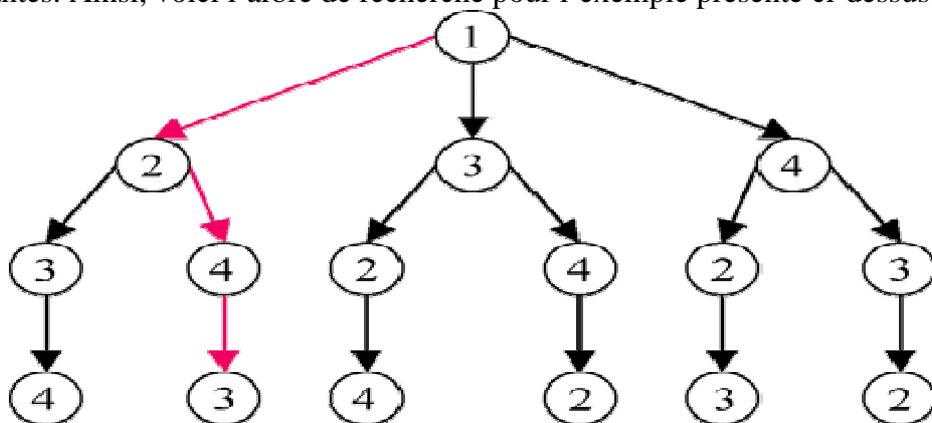


Méta-heuristique

Comme pour le problème du sac à dos (un autre des problèmes les plus connus dans le domaine de l'optimisation combinatoire et de la recherche opérationnelle), il existe deux grandes catégories de méthodes de résolution : les méthodes exactes et les méthodes approchées. Les méthodes exactes permettent d'obtenir une solution optimale à chaque fois, mais le temps de calcul peut être long si le problème est compliqué à résoudre. Les méthodes approchées, encore appelées heuristiques, permettent quant à elles d'obtenir rapidement une solution approchée, mais qui n'est donc pas toujours optimale.

Méthodes exactes :

Pour le problème du voyageur de commerce, l'une des méthodes exactes les plus classiques et les plus performantes reste la Procédure par Séparation et Evaluation (PSE). Cette méthode repose sur le parcours d'un arbre de recherche. Dans un chemin de cet arbre, le premier nœud représente la ville de départ, son successeur la deuxième ville visitée, puis la troisième ville visitée, etc. À chaque étape de l'algorithme, on crée autant de nœuds qu'il reste de villes à visiter. À chaque nœud, le choix consiste à sélectionner la prochaine ville à visiter parmi les villes restantes. Ainsi, voici l'arbre de recherche pour l'exemple présenté ci-dessus :



Solution 1, 2, 4 et 3 de longueur 25

Dans le cas du problème du voyageur de commerce, la fonction objective à minimiser est la longueur du cycle. La réduction de l'espace de recherche repose sur l'utilisation de bornes inférieures et supérieures. Rappelons que :

- une borne inférieure est une estimation par défaut de la fonction objectif. Autrement dit, c'est une valeur qui est nécessairement inférieure à la valeur de la meilleure solution possible. Dans notre cas, s'il y a un graphe avec N sommets à traverser, le cycle hamiltonien passera obligatoirement par N arêtes. Ainsi, pour avoir une borne inférieure assez intuitive, il suffit d'additionner le poids des N arêtes possédant les plus petits poids. Même si cette solution a de forts risques de ne pas être réalisable, la valeur de la fonction objective ne pourra pas être plus petite.
- une borne supérieure est une estimation par excès de la fonction objectif. Autrement dit, la meilleure solution a nécessairement une valeur plus petite. Dans notre cas, un cycle hamiltonien quelconque dans le graphe fournit une borne supérieure.

Le principe de réduction de l'arbre de recherche consiste à couper l'exploration de l'arbre à la hauteur de certains nœuds. Où faut-il couper l'arbre de recherche ? Supposons que la borne supérieure soit fournie par un algorithme approché – que nous détaillerons plus loin. On examine les nœuds sur les différentes branches, en partant du sommet, pour déterminer une borne inférieure correspondant à chacun des nœuds visités. Pour un nœud donné, on calcule cette borne inférieure en additionnant la somme des poids des arêtes déjà sélectionnées dans le cycle avec la somme des x plus petits poids parmi les arêtes restantes, x étant le nombre d'arêtes manquantes dans le cycle en cours de construction. À partir d'un nœud et de sa borne inférieure, les solutions descendantes de ce nœud ne pourront pas avoir une valeur plus petite que cette borne inférieure. Si jamais, à un nœud donné, la valeur de la borne inférieure excède la valeur de la borne supérieure, alors il est inutile d'explorer les nœuds en dessous de celui-ci. Enfin, la valeur de la borne supérieure peut être actualisée lorsqu'est trouvée une solution réalisable qui possède une valeur plus petite. Ce système de calcul de bornes demande un faible coût en temps de calcul et permet d'augmenter la rapidité de la PSE, puisqu'elle coupe les branches inutiles à explorer.

Les chercheurs ont mis au point différentes techniques pour diminuer la taille de l'arbre et augmenter la rapidité de la PSE. Certaines sont basées sur le choix de l'ordre de visite des villes. Ainsi, une stratégie de recherche qui fonctionne bien pour fixer l'ordre de visite des villes est la règle du plus proche voisin : au nœud correspondant à une ville donnée, la recherche du prochain nœud, c'est-à-dire de la prochaine ville à visiter, commencera par le nœud le plus proche de celui considéré. Elles peuvent aussi reposer sur une évaluation à chaque nœud, ou encore sur des propriétés du problème qui permettent de tirer des conclusions au sujet de certaines villes ou sur des sous-ensembles de villes. C'est une telle démarche qui a été utilisée pour la niveau expert de l'applet.

Méthodes approchées (heuristiques) :

Dans le cas d'un nombre de villes si grand que même les meilleures méthodes exactes nécessitent un temps beaucoup trop long de résolution, des méthodes approchées, ou algorithmes d'approximation, sont utilisées. Elles permettent d'obtenir en un temps très rapide de bonnes solutions, pas nécessairement optimales, mais d'une qualité suffisante.

Étant donné que le problème du voyageur de commerce a été, et continue à être largement étudié du fait de sa complexité et du nombre important de problèmes dérivés, il existe de nombreux algorithmes d'approximation. Chacun a ses avantages et ses inconvénients. La méthode retenue ne sera pas la même selon que l'on privilégie le temps de calcul, la qualité de la solution, ou encore le choix entre plusieurs solutions.

- Une famille de méthodes est celle des algorithmes gloutons, dont l'un des plus connus est la méthode *par insertion*. L'idée est la suivante : le parcours du voyageur de commerce est construit pas à pas en y insérant de nouvelles villes. À un instant donné de l'algorithme, un certain cycle de villes a été construit. L'étape suivante consiste à insérer une ville supplémentaire dans le cycle de manière optimale, c'est-à-dire qu'elle augmente au minimum la longueur totale du cycle. À l'étape initiale de l'algorithme, le parcours de voyageur est composé de deux villes, la ville de départ et celle qui en est la plus proche. L'algorithme se termine lorsque toutes les villes à visiter ont été insérées. Cependant, même si l'insertion d'une ville dans le cycle est optimale et rapide à calculer, la solution finale n'est pas nécessairement optimale, mais elle est obtenue rapidement.
- L'algorithme *du plus proche voisin*, qui peut lui aussi être considéré comme un algorithme glouton, est également simple. La première étape repose sur le choix aléatoire d'une première ville, et les étapes suivantes consistent à se déplacer de ville en ville en appliquant la règle du plus proche voisin, c'est-à-dire en sélectionnant la prochaine ville telle que le poids entre la ville courante et la prochaine ville soit minimal, et ce, jusqu'à avoir visité toutes les villes. Il faut enfin revenir à la première ville choisie, pour obtenir un cycle.
- La méthode *de l'élastique* n'est pas facile à mettre en œuvre, mais l'idée reste simple. Comme son nom l'indique, elle repose sur un élastique dont la propriété est de s'étirer tout en gardant une force l'empêchant de se détendre. Pour comprendre le principe, il suffit d'imaginer que les villes sont des points fixes distants les uns des autres en fonction des poids. Il s'agit de placer un élastique au milieu des villes et d'étirer celui-ci jusqu'à ce qu'il passe par tous ces points fixes, tout en essayant de le détendre le moins possible.
- L'algorithme de descente locale donne aussi rapidement de bons résultats. Son principe est le suivant : après la construction d'une solution initiale par l'utilisation d'un algorithme glouton, un opérateur de voisinage est appliqué à cette solution pour obtenir plusieurs nouvelles solutions voisines. Cet opérateur de voisinage consiste à modifier une solution selon une règle bien définie. Parmi cet ensemble de nouvelles solutions, l'algorithme va choisir la meilleure, celle qui a le cycle de plus petite longueur. Enfin, soit cette solution sélectionnée est meilleure que la précédente, et l'algorithme recommence à appliquer l'opérateur de voisinage sur cette nouvelle solution sélectionnée, soit la solution est moins bonne que la précédente et l'algorithme se termine. Il existe de nombreux opérateurs de voisinage d'efficacités variées. Un exemple simple est l'échange de deux villes dans le cycle. Pour obtenir l'ensemble de nouvelles solutions à partir d'une solution, il suffit de tester l'échange de chaque ville avec toutes les autres dans le cycle. Par exemple, avec une solution 1-2-3-4, en appliquant cet opérateur de voisinage, les solutions testées seraient : 2-1-3-4 (permuter 1 et 2), 3-2-1-4 (permuter 1 et 3), 4-2-3-1 (permuter 1 et 4), 1-3-2-4 (permuter 2 et 3), 1-4-3-2 (permuter 2 et 4), et 1-2-4-3 (permuter 3 et 4).
- L'algorithme du recuit simulé, inspiré du processus de refroidissement et réchauffement d'un métal pour minimiser son énergie, peut être utilisé pour améliorer l'algorithme de descente locale. En effet, ce dernier algorithme se termine assez

rapidement, puisqu'il n'autorise à explorer que les solutions améliorant les précédentes. Dans l'algorithme du recuit simulé, l'exploration de solutions autorise à explorer les solutions de moins bonne qualité. Au lieu de s'arrêter dès que la solution ne peut plus être améliorée par l'opérateur de voisinage, le recuit simulé continue l'exploration en prenant la meilleure solution parmi l'ensemble calculé, même si celle-ci est moins bonne que la solution précédente. Le critère d'arrêt est donc différent, il va dépendre du temps et de la dégradation de la solution, évaluée comme la différence de la longueur du cycle de la solution précédente et de la nouvelle solution sélectionnée. À chaque dégradation, l'algorithme s'arrête avec une probabilité dépendant de cette dégradation — plus la dégradation est grande, plus la probabilité de continuer diminue — et du temps ou du nombre d'itérations de l'algorithme — plus ce nombre est grand, plus la probabilité de continuer diminue elle aussi.

- La recherche tabou, très utilisée pour de nombreux problèmes, est encore une amélioration de la descente locale. Elle converge vite vers une bonne solution. Le principe est similaire : à partir d'une solution, appelée solution courante, l'algorithme explore d'autres solutions en appliquant un opérateur de voisinage. La sélection d'une solution à partir de la solution courante doit être la meilleure parmi son voisinage. À chaque choix d'une solution parmi un voisinage, la solution choisie est stockée dans une liste tabou. Cette liste contient donc un certain nombre de solutions choisies précédemment. Le temps que la solution reste dans la liste dépend de la longueur maximale de cette liste, que l'on aura fixée au préalable. À chaque sélection, la nouvelle solution choisie ne doit pas appartenir à cette liste tabou. Contrairement à une simple descente locale, la solution sélectionnée peut être de moins bonne qualité que la solution courante, ce qui permet d'éviter d'être rapidement bloqué sur une solution et de continuer à en explorer d'autres. Après un certain nombre d'itérations, la meilleure solution trouvée, parmi toutes celles qui ont été explorées, est retournée par l'algorithme. Le nombre d'itérations maximal doit lui aussi être défini préalablement.
- Il existe encore de nombreuses améliorations des algorithmes présentés ici, ainsi que des hybridations (mélanges d'algorithmes) proposées dans le but de rendre leur résolution plus performante.

Enfin, il existe d'autres méthodes approchées, fondées sur des principes totalement différents. Nous évoquerons deux d'entre elles, assez innovantes et intéressantes puisqu'elles s'inspirent de phénomènes naturels : les algorithmes génétiques et les algorithmes de colonies de fourmis.

➤ *Les algorithmes génétiques*

Les premiers algorithmes génétiques ont fait leur apparition vers les années 1970. L'idée d'un algorithme génétique est tirée de la théorie darwinienne de l'évolution. Chaque groupe d'individus (animaux, espèces végétales...), appelé aussi population, donne lieu à une génération suivante par reproduction sexuelle. Cette génération consiste à croiser les individus entre eux pour donner des descendants possédant les caractères des deux parents. En plus de ce croisement, des mutations de caractères interviennent aléatoirement dans la génération de la population suivante. Puis, cette nouvelle population subit une sélection, métaphore de la sélection naturelle : seuls les individus les mieux adaptés à l'environnement survivent. Enfin, à son tour, cette population donnera lieu par le même processus à une nouvelle population, qui sera encore plus performante dans son environnement. Pour développer un algorithme génétique, les individus sont des solutions, la sélection se fait grâce à leur qualité (évaluée à travers la fonction objectif), les croisements entre deux solutions sont faits à l'aide d'opérateurs de croisement, etc. Pour en savoir plus sur ces algorithmes, vous pouvez voir le chapitre concernant ces algorithmes.

➤ *Algorithme de colonies de fourmis*

Le principe de l'algorithme s'appuie sur l'aptitude des fourmis à éviter les obstacles et à toujours trouver un plus court chemin entre deux points. Lorsque plusieurs fourmis effectuent des allers retours entre deux points A et B, pour rapporter de la nourriture par exemple, elles se mettent au fur et à mesure à emprunter le plus court chemin entre A et B. Ce phénomène est dû aux phéromones que chaque fourmi sécrète. En effet, chaque fourmi dépose une certaine quantité de phéromones sur le chemin qu'elle emprunte. Et une fourmi a tendance à choisir le chemin qui possède la plus grande quantité de phéromones. Un autre facteur est à prendre en compte : l'atténuation, qui exprime le fait que la quantité de phéromones sur chaque arête diminue dans le temps.

La résolution du problème du voyageur de commerce via la méthode de séparation & évaluation :

En 1963, J.D.C. Little, Lawler, E.L. et Wood, D.E. ont présente une méthode rigoureuse d'optimisation pour ce problème

Dans le problème du voyageur de commerce, on a donc un graphe connexe $G = [X, U]$ dans lequel chaque arc $u = (i, j)$ est muni d'une longueur $L(i, j)$ et ce graphe est d'ordre N où X est l'ensemble des sommets et U l'ensemble des arcs. Et on va chercher un chemin minimal passant par tous les sommets une seule et unique fois sauf pour le sommet de départ sur lequel on revient. On cherche donc à minimiser la somme des distances parcourues entre les sommets d'une chaîne élémentaire.

$$\text{Min } \sum_{i, j \in X \text{ mais tel qu'on ne prenne qu'une seule et unique fois chaque sommet.}} L(i, j)$$

Etant donné que c'est un problème d'ordonnancement, on va procéder par étape car le problème ne pourrait être résolu directement. On va donc initialiser et prendre le sommet de départ s'il est donné comme sommet initial puis on va effectuer des itérations, au nombre de N . On va donc prendre les sommets un à un et minimiser un critère à chaque étape en fonction des étapes antérieures.

On va démarrer à un sommet particulier noté t qui sera alors l'extrémité du parcours. De là pour tout ensemble de sommet $S \subset X$ et contenant t , on désigne par $F(S, k)$ la longueur d'un plus court chemin d'origine k ($k \in S$) et d'extrémité t et passant une seule et unique fois par tous les sommets de S . par convention $F(S, k) = +\infty$ si un tel chemin n'existe pas.

$$(1) \begin{cases} F(S, k) = \text{Min} \{ L(k, k') + F(S - \{k\}, k') \\ \quad \quad \quad k' \in \Gamma(k) \cap S \\ F(\{t\}, t) = 0 \\ F(\{t\}, k) = +\infty \forall k \neq t \end{cases}$$

On voit que pour tous ensemble S de cardinalité p , les valeurs $F(S, k)$ peuvent être déterminée à partir des valeurs $F(S', k')$ pour tous les ensembles S' de cardinalité $p-1$. La valeur optimale du problème est :

$$\text{Min } \{ L(k, k') + F(S - \{k\}, k') \}$$

$$k' \in \Gamma(k) \cap S$$

Le processus de résolution par programmation dynamique comporte N étapes (où N est le nombre de sommet du graphe), et l'ensemble des états à chaque étape i correspond à tous les couples (S,k) où S est un sous ensemble de X contenant t et de cardinalité i, et $k \in S$.

Le nombre d'états augmente donc exponentiellement en fonction de la taille du problème c'est à dire le nombre de sommets du graphe et c'est la raison pour laquelle le problème ne peut être généralement résolu par l'équation (1).

Pour le résoudre, il existe des techniques de réduction des calculs en programmation dynamique. Pour des problèmes conduisant à un espace d'état de cardinalité très élevée et en particulier lorsque le nombre de contraintes c'est à dire la dimension de l'espace d'état est élevée, des techniques ont été développées soit pour réduire la dimension de l'espace d'état, soit pour éliminer du calcul une fraction importante des états a priori possibles. Parmi celles-ci, il y a :

La technique des multiplicateurs de Lagrange (relaxation lagrangienne des contraintes), Bellman (1956) et Everett(1963).

Les méthodes de séparation évaluation (Branch and Bound)

Algorithme de recherche admissible utilisé pour la recherche de plus court ou de plus long chemin dans des graphes de grande dimension (Hart, Nilson et Raphael 1968, Nilson 1971, Martelli 1977)

Les méthodes de relaxation de l'espace d'état (Christofidis, Minjozzi et Toth 1979, 1981)

Voyons donc le principe de l'algorithme développé par Little, qui est une simplification du Branch And Bound algorithme permettant de déterminer un circuit hamiltonien minimal. Il se décompose de la manière suivante :

- Initialisation
 1. Réduction de la matrice (RM)
 - Réduction en ligne : soustraire le plus petit élément de chaque ligne, ce qui nous permet d'avoir pour chaque ligne au moins un 0.
 - Réduction en colonne : soustraire le plus petit élément de chaque colonne, ce qui nous permet d'avoir pour chaque colonne au moins un 0.
 2. Calcul de la borne inférieure (BI).
- Branch And Bound
 1. Calcul des coûts d'évitement (CE)
$$CE(x,y) = \min \{P_{xi} + P_{jy} \mid i \neq y \wedge j \neq x\}$$
 2. Sélection de l'arc (x,y) avec CE(x,y) maximal
 - 3.
 4. Branchement (création de l'arborescence)
 - Branche P_1 si nous passons par (x,y)
 - Branche P_2 si nous évitons de passer par (x,y)

A chaque arc (i, j) est attachée une valeur $v_{ij} \geq 0$ et pour chaque couple sans arc, est attachée la valeur ∞

Enlever à chaque ligne et / ou chaque colonne de la matrice [vij], le plus petit élément de la ligne(respectivement de la colonne) jusqu'à épuisement. Ceci

donne une nouvelle matrice $[vij']$ qui contient au moins un zéro par ligne et par colonne

Calculer la somme de tous les éléments soustraits des lignes et /ou colonnes de $[vij]$. Ceci donne une borne inférieure de la racine de l'arborescence, racine correspondant à l'ensemble de toutes les solutions

Choisir (k,l) pour réaliser une bipartition (branchement) de telle sorte que :

$$\theta(k, l) = \text{Max}_{i,j} \Omega(i, j)$$

où $\Omega(i, j)$ est la somme du plus petit éléments de la ligne i en omettant $v(i,j)$ et le plus petit éléments de la colonne j en omettant $v(i,j)$, ce $\Omega(i, j)$ étant calculé pour tous les $v_{ij}=0$

Mettre en place un sommet et un arc dans l'arborescence correspondant à la propriété P_{ij}^* : les circuits ne passent pas par (k,l) . Donner à ce sommet une borne égale à la borne du sommet antérieur plus la valeur $\theta(k, l)$

Mettre en place un sommet et un arc dans l'arborescence correspondant à la propriété P_{ij} : les circuits passent par (k,l) . supprimer de la matrice la ligne k et la colonne l . placer ∞ une valeur dans toutes les cases correspondant à un arc qui réaliserait un circuit de longueur inférieur à n où n est le nombre de sommet initialement donné.

PS : avec ∞ dans case, on empêche que la solution ne soit pas conforme à l'hypothèse : tout circuit doit être hamiltonien.

Enlever à chaque ligne et / ou chaque colonne de la matrice les plus petit éléments de la ligne(respectivement de la colonne) jusqu'à épuisement. Ceci donne une matrice qui contient au moins un zéro par ligne et par colonne.

Calculer la somme de tous les éléments soustraits des lignes et /ou colonnes de la matrice. Ajouter cette quantité à la borne obtenue au sommet antérieur de l'arborescence :on obtient alors la borne relative au sommet de l'arborescence où la propriété P_{ij} est introduite.

La matrice obtenue est-elle d'ordre $1*1$. si oui, les calculs sont terminés, c'est un circuit hamiltonien minimal. Sinon, on passe à l'étape i)

Examiner la valeur des bornes obtenues pour tous les sommets produits et sélectionner la plus petite borne (s'il existe plusieurs solutions, on réalise un choix arbitraire)

La borne choisie en i) correspond-elle à un sommet pour lequel la propriété de bipartition est une propriété P_{ij} ou une propriété P_{ij}^* (le circuit hamiltonien passe par (i,j) et P_{ij}^* la propriété contraire) ?

Si sommet possède propriété P_{ij} , on passe en c)

Si sommet possède propriété P_{ij}^* , on passe en k

Dans la matrice équivalent à ce sommet, mettre une valeur dans la case (i,j) , où i et j sont ceux de la propriété P_{ij}^* . Enlever à la ligne i et à la colonne j leurs plus petits éléments respectifs. Passer maintenant en c)

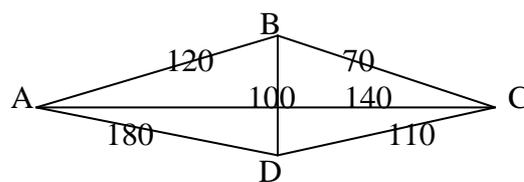
Exemples de résolution du problème du voyageur de commerce

Exercice : un voyageur de commerce vit dans une ville A et doit visiter B,C et D. et on a les données suivantes :

AB=120 AC=140 AD=180
BC=70 BD=100 CD=110

On cherche donc le trajet le plus court qui part de A et y revient après avoir passé les 3 autres points. On a donc la matrice suivante :

	A	B	C	D
A	∞	120	140	180
B	120	∞	70	100
C	140	70	∞	110
D	180	100	110	∞



Ce graphe est 3-connexe donc une CN est vérifiée. Mais ce graphe est également complet et aucun arc ne comporte de valeurs négatives donc plusieurs CN sont vérifiées. Vérifions maintenant des CS.

On retire donc 120 à la première ligne, 70 à la seconde et à la troisième et 100 à la dernière mais comme chaque colonne ne contient pas au moins un zéro, on retire alors 50 à la première colonne et 30 à la dernière. Et on obtient la matrice suivante :

	A	B	C	D	
A	∞	0	20	30	120
B	0 ²⁰	∞	0 ¹⁰	0 ¹⁰	70
C	20	0 ²⁰	∞	10	70
D	30	0 ¹⁰	10	∞	100
element soustrait	50	0	0	30	440
somme					

Dans cette matrice, on a également effectué la somme des plus petits éléments de chaque ligne et colonne pour toutes les cases où sont inscrits des zéros. 440 est donc la borne inférieure pour l'ensemble X.

On cherche donc le maximum parmi ces éléments c'est à dire que l'on cherche :

$\text{Max } \Omega(i, j)$ où est la somme du plus petit éléments de la colonne j en omettant $v(i, j)$ et le plus petit éléments i de la ligne en omettant $v(i, j)$ et on a :

$\text{Max } \Omega(i, j) = 20$ et je choisis AB* dont la borne vaut $440+20=460$

On supprime la ligne A et la colonne B

	A	C	D
B	0	0	0
C	20	∞	10
D	30	10	∞

Puis on enlève à chaque ligne et/ou colonne le plus petit éléments et on obtient la matrice suivante, et ce après avoir inscrit un ∞ dans la case BA car ce chemin AB serait de longueur inférieure à 4 étant le nombre de sommet. On enlève donc 10 à la deuxième ligne ainsi qu'à la troisième et à la première colonne:

	A	C	D	
B	∞	0	0	0
C	0	∞	0	10
D	10	0	∞	10
element soustrait	10	0	0	30
somme				

La borne de AB vaut $440+30 = 470$ et on débute par ce sommet car il est imposé de débiter par A. on inscrit ceci dans l'arborescence.



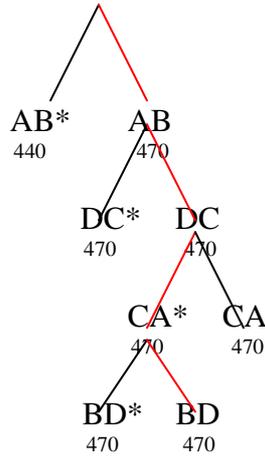
A

C

D

La matrice n'est pas 1*1 donc on reprend l'algorithme à la recherche du $\text{Max } \Omega(i, j)$ où est la somme du plus petit élément de la colonne j en omettant $v(i, j)$ et le plus petit éléments i de la ligne en omettant $v(i, j)$.

Arborescence :



	A	C	D
B	∞	0 ⁰	0 ⁰
C	0 ¹⁰	∞	0 ⁰
D	10	0 ¹⁰	∞

element
soustrait

0

0

0

somme

element
soustrait

0

0

0

0

$\text{Max } \Omega(i, j) = 10$ donc je choisis DC* dont la borne vaut $470+10 = 480$

On supprime la ligne D et la colonne C puis on enlève à chaque ligne et/ou colonne le plus petit éléments et on obtient :

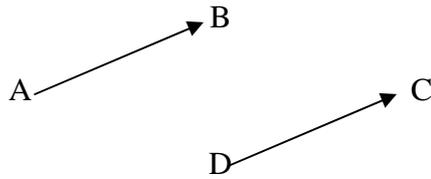
	A	D
B	∞	0
C	0	∞

0

somme

0

La borne de DC vaut 470 donc on choisit DC qui a la propriété P_{ij} . On enlève de ce fait à chaque ligne et/ou colonne le plus petit éléments ce qui revient à garder la matrice telle qu'elle est .

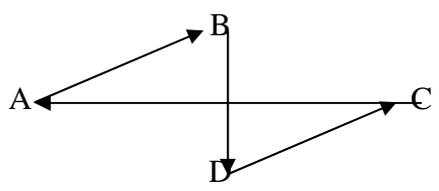


	A	D
B	∞	0
C	0	∞

0
somme
0

Je choisis CA* car pour chacun des deux sommets, la valeur maximale est la même et à CA* est associé la borne $470+0=470$ et je choisis le sommet associé à la propriété P_{ij}^* car il faut retourner en A. Je supprime la colonne A et la ligne C et on obtient une matrice 1×1 . c'est fini et la solution du plus court chemin est alors :

	D
B	0



{A,B,D,C,A) dont la valeur est de 470 km

	A	B	C	D
A	∞	120	140	180
B	120	∞	70	100
C	140	70	∞	110
D	180	100	110	∞

prenons un second exemple :
soit la matrice :

	A	B	C	D	E	F	G
A	∞	5	9	6	3	5	9
B	8	∞	8	8	5	9	2
C	6	9	∞	1	6	7	3
D	7	11	4	∞	4	2	9
E	4	6	3	2	∞	2	8
F	5	2	2	8	4	∞	3
G	8	1	3	16	5	3	∞

Le graphe associé à cette matrice est un graphe orienté qui est h-connexe ($h \geq 2$) et fortement connexe. En effet, dans ce graphe on peut trouver une chaîne allant de n'importe quel sommet à n'importe quel autre et il existe un chemin entre chacun des sommets et ce dans les deux sens. Donc la CN est vérifiée de même que la CS. Le graphe associé possède donc un circuit hamiltonien.

On retire donc 3 à la première ligne, 2 à la seconde, à la quatrième, la cinquième et la sixième et 1 à la troisième et à la dernière mais comme chaque colonne ne contient pas au moins un zéro, on retire alors 2 à la première colonne. Et on obtient la matrice suivante :

	A	B	C	D	E	F	G		
A	∞	2	6	3	0	4	2	6	3
B	4	∞	6	6	3	7	0	4	2
C	3	8	∞	0	2	5	6	2	1
D	3	9	2	∞	2	0	2	7	2
E	0	1	4	1	0	0	∞	0	2
F	1	0	2	0	1	6	2	∞	2
G	5	0	2	2	15	4	2	∞	1
	2	0	0	0	0	0	0	0	15

Dans cette matrice, on a également effectué la somme des plus petits éléments de chaque ligne et colonne pour toutes les cases où sont inscrits des zéros. 15 est donc la borne inférieure pour l'ensemble X.

On cherche donc le maximum parmi ces éléments c'est à dire que l'on cherche :

$\text{Max } \Omega(i, j)$ où est la somme du plus petit éléments de la colonne j en omettant $v(i, j)$ et le plus petit éléments i de la ligne en omettant $v(i, j)$ et on a :

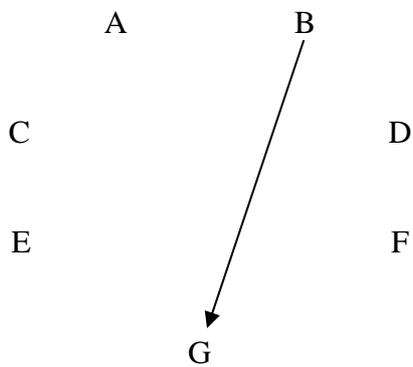
$\text{Max } \Omega(i, j) = 4$ et je choisis BG* dont la borne vaut $15+4=19$

On supprime la ligne B et la colonne G et on obtient la matrice suivante, et ce après avoir inscrit un ∞ dans la case GB car ce chemin serait de longueur inférieur à 7 étant le nombre de sommet.

	A	B	C	D	E	F	
A	∞	2	6	3	0	2	0
C	3	8	∞	0	5	6	0
D	3	9	2	∞	2	0	0
E	0	4	1	0	∞	0	0
F	1	0	0	6	2	∞	0
G	3	∞	0	13	2	0	2
	0	0	0	0	0	0	2

La borne relative à BG est $15+2=17$

L'ordre de la matrice n'est pas $1*1$ donc on prend la plus petite borne soit 17 ce qui correspond à BG qui a la propriété P_{ij} .



	A	B	C	D	E	F	
A	∞	2	6	3	0	2	0
C	3	8	∞	0	5	6	0
D	3	9	2	∞	2	0	0
E	0	4	1	0	∞	0	0
F	1	0	0	6	2	∞	0
G	3	∞	0	13	2	0	0
	0	0	0	0	0	0	0

Max $\Omega(i, j) = 4$ et je choisis AE^* dont la borne vaut $17+4=21$

On supprime la ligne A et la colonne E et on obtient la matrice suivante, et ce après avoir inscrit un ∞ dans la case EA car ce chemin serait de longueur inférieure à 7 étant le nombre de sommet.

	A	B	C	D	F	
C	2	8	∞	0	6	0
D	2	9	2	∞	0	0
E	∞	4	1	0	0	0
F	0	0	0	6	∞	0
G	2	∞	0	13	0	0
	1	0	0	0	0	1

La borne relative à AE est $17+1=18$

	A	B	C	D	E	F
A	∞	2	6	3	0	4
C	3	8	∞	0	3	5
D	3	9	2	∞	2	0
E	0	1	4	1	0	0
F	1	0	2	0	0	6
G	3	∞	0	0	13	2

0
0
0
0
0
0
0
somme
0

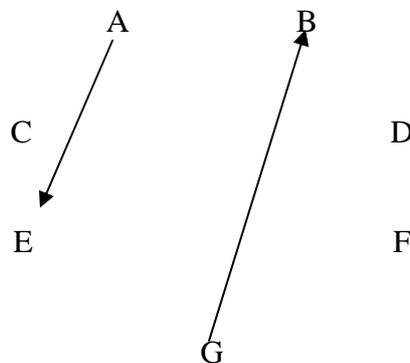
0 0 0 0 0 0
 $\text{Max } \Omega(i, j) = 4$ et je choisis EA* dont la borne vaut $19+4=23$

On supprime la ligne E et la colonne A et on obtient la matrice suivante et ce après avoir mis une valeur ∞ à AE car sinon ce chemin serait de longueur inférieure à 7 étant le nombre de sommet.

	B	C	D	E	F
A	0	4	1	∞	0
C	8	∞	0	5	6
D	9	2	∞	2	0
F	0	0	6	2	∞
G	∞	0	13	2	0

2
0
0
0
0
0
somme
2

0 0 0 0 0
 La borne relative à EA est $19+2=21$



L'ordre de la matrice n'est pas 1*1 donc on prend la plus petite borne soit 20 et le sommet associé est FB qui a la propriété Pij.

	A	C	D	F
C	0	0	∞	0
D	0	0	2	∞
E	∞	1	0	0
G	0	0	0	1

0
0
0
0
0
somme
0

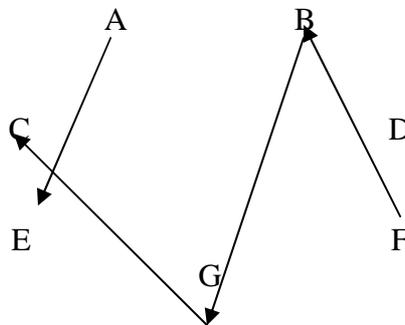
0 0 0 0
 $\text{Max } \Omega(i, j) = 1$ soit GC* dont la borne vaut $20+2=22$

On supprime la ligne G et la colonne C et on obtient la matrice suivante et ce après avoir inscrit un ∞ dans la case CF car ce chemin serait de longueur inférieure à 7 étant le nombre de sommet:

	A	D	F	
C	0	0	∞	0
D	0	∞	0	0
E	∞	0	0	0
	0	0	0	somme 0

La borne relative à GC est $20+0=20$

L'ordre de la matrice n'est pas 1×1 donc on prend la plus petite borne soit 20 et le sommet associé est GC qui a la propriété Pij.



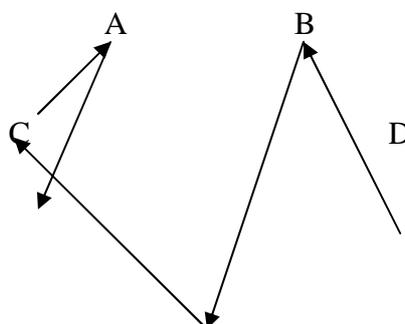
	A	D	F	
C	0 0	0 0	∞	0
D	0 0	∞	0 0	0
E	∞	0 0	0 0	0
	0	0	0	somme 0

Max $\Omega(i, j) = 0$ et je choisis CA^* dont la borne vaut $20+0=20$

On supprime la ligne C et la colonne A et on obtient la matrice suivante

	D	F	
D	∞	0	0
E	0	0	0
	0	0	somme 0

La borne relative à CA est $20+0=20$



E

F

G

L'ordre de la matrice n'est pas 1×1 donc on prend la plus petite borne soit 20 et je choisis le sommet associé est CA qui a la propriété P_{ij} .

	D	F	
D	∞	0	0
E	0	0	0
	0	0	0

somme

Max $\Omega(i, j) = 0$ et je choisis DF^* dont la borne vaut $20+0=20$

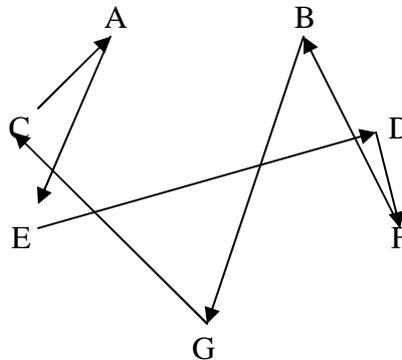
On supprime la ligne D et la colonne F et on obtient la matrice suivante

	D	
E	0	0
	0	0

somme

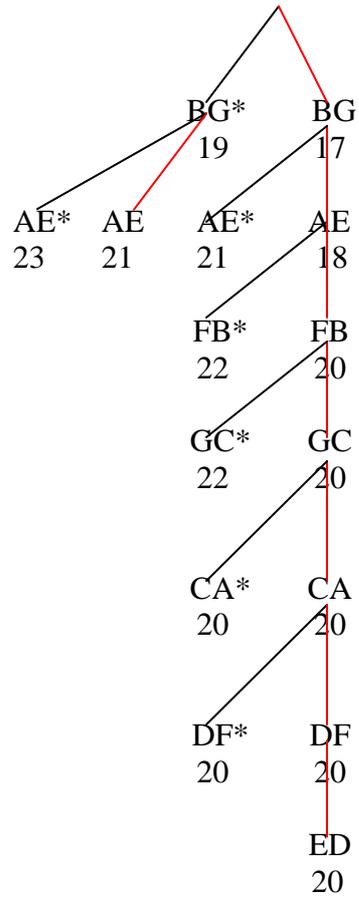
La borne relative à DF est $20+0=20$

L'ordre de la matrice est d'ordre 1×1 donc c'est fini et on prend la plus petite borne soit 20 et je choisis le sommet associé est DF qui a la propriété P_{ij} .



	A	B	C	D	E	F	G	
A	∞	5	9	6	3	5	9	
B	8	∞	8	8	5	9	2	
C	6	9	∞	1	6	7	3	
D	7	11	4	∞	4	2	9	
E	4	6	3	2	∞	2	8	
F	5	2	2	8	4	∞	3	
G	8	1	3	16	5	3	∞	
	6	2	3	2	3	2	2	somme 20

Arborescence :



Les algorithmes génétiques :

1. Introduction

Les algorithmes génétiques appartiennent à la famille des algorithmes évolutionnistes. Leur but est d'obtenir une solution approchée, en un temps correct, à un problème d'optimisation, lorsqu'il n'existe pas ou qu'on ne connaît pas de méthodes exactes pour le résoudre en un temps raisonnable. Une application de l'algorithme génétique est la résolution du problème du voyageur de commerce. Celui-ci consiste à parcourir un certain nombre de villes par le chemin le plus court possible. Pour donner un ordre d'idée : pour 70 villes, il y a plus d'itinéraires possibles que d'atomes dans l'univers ! Les algorithmes génétiques utilisent la notion de sélection naturelle identifiée au XIXe siècle par le scientifique Darwin et l'appliquent à une population de solutions potentielles au problème donné. On se rapproche par "bonds" successifs d'une solution de plus en plus adéquate.

Comment l'algorithme génétique inspiré du modèle biologique peut-il être utilisé dans différents domaines ?

2. Histoire de l'algorithme génétique :

Les algorithmes évolutionnistes sont une famille d'algorithmes s'inspirant de la théorie de l'évolution pour résoudre des problèmes divers. Ils font ainsi évoluer un ensemble de solutions à un problème donné, dans l'optique de trouver les meilleurs résultats. Ce sont des algorithmes stochastiques, car ils utilisent des processus aléatoires. La grande majorité de ces méthodes sont utilisées pour résoudre des problèmes d'optimisation.

Dans la famille des [algorithmes stochastiques](#) on retrouve :

- Algorithme de colonies de fourmis,
- Algorithme génétique,
- Algorithme à estimation de distribution,
- Algorithme à évolution différentielle.

L'utilisation d'algorithmes génétiques, dans la résolution de problèmes, 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 recombinaison en complément des mutations.

Cet opérateur 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 Systems ».

3. Inspiré du modèle Biologique :

A. Terminologie

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

Les organismes vivants sont constitués de cellules, dont les noyaux comportent des [chromosomes](#) qui contiennent des chaînes d'ADN (plus précisément une molécule d'ADN par [chromatide](#)). Un [gène](#) est un fragment d'ADN caractérisé par sa localisation (chromosome et position sur celui-ci appelée locus) et par sa séquence de [nucléotides](#). Chaque chromosome porte un grand nombre de gènes qui n'occupent toutefois que 2% de l'ADN. Les gènes codent les caractères de l'organisme (le groupe sanguin, la couleur des yeux, de la peau, la forme du visage...). 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 d'un même gène sont appelées [allèles](#) (même locus mais séquence différente).

A tout instant, différents allèles d'un même gène coexistent dans une population sous l'effet contraire de tendances diversifiantes et homogénéisantes : mutations et migrations sont sources de diversité alors que sélection et dérive génétique tendent à diminuer la diversité.

Dans l'algorithme génétique, seules la mutation et la sélection sont modélisées.

B. Les éléments d'algorithme inspirés de la biologie

Un brassage (diapo) génétique a lieu lors de la reproduction sexuée. Ce brassage est imité par les algorithmes génétiques afin de faire évoluer les populations de solutions de manière progressive.

* Les sélections

La sélection naturelle correspond à la survie des plus aptes dans un environnement donné : les individus les plus adaptés se reproduisent davantage que la moyenne, ce qui améliore globalement l'adaptation. De même l'espèce humaine pratique, dans le cadre de l'élevage et de l'agriculture, une sélection artificielle en faveur des génotypes les plus productifs. Enfin les algorithmes génétiques appliquent des critères sélectifs programmables dont les principaux sont :

- **Sélection par rang**

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

- **Probabilité de sélection proportionnelle à l'adaptation (par roulette)**

Pour chaque individu, la probabilité d'être sélectionné est proportionnelle à son adaptation au problème. Afin de sélectionner un individu, on utilise le principe de la roue de la fortune biaisée. Il s'agit d'un disque décomposé en secteurs sur lequel chaque individu est représenté par une part proportionnelle à son adaptation. On effectue ensuite un tirage au sort homogène sur cette roue. C'est cette sélection que nous avons utilisé dans le PVC.

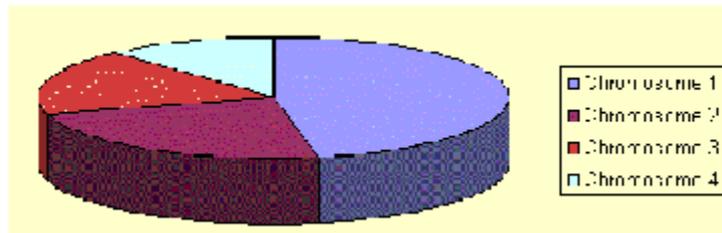


Figure1 : sélection par roulette

- **Sélection par tournoi**

Cette technique utilise la sélection proportionnelle sur des paires d'individus, jusqu'à la finale.

- **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.

- *** Les recombinaisons ou crossing-over**

Lors de cette opération, deux chromosomes s'échangent des parties homologues de chromatides, pour donner de nouveaux chromosomes chimériques. Ces recombinaisons peuvent être simples ou multiples. Dans le premier cas, les deux chromosomes se croisent et s'échangent des portions d'ADN délimitées par un seul point (cas généralement simulé). Dans le deuxième cas, il y a plusieurs points de croisement. Dans la pratique, cette opération est codée sous forme binaire ou alphanumérique. La recombinaison est l'étape clé de l'algorithme génétique.

- *** Les mutations**

En biologie, une mutation génique correspond à une modification de la séquence de nucléotides d'un gène. Cette modification peut être ponctuelle (un seul nucléotide affecté) ou plus étendue. Il existe également des mutations chromosomiques qui affectent de nombreux gènes à la fois. Les inversions chromosomiques en sont un exemple. Notre algorithme simule ce dernier type de mutation.

De façon aléatoire, un gène peut, au sein d'un chromosome être substitué à un autre. De la même manière que pour les recombinaisons, on définit ici un taux de mutation lors des changements de population qui est 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. La mutation sert à éviter une convergence prématurée de l'algorithme.

- *** Les fitness ou évaluations**

C'est lors de cette opération que l'individu est évalué suivant son génotype. De manière générale, plus sa fitness est élevée, plus l'individu a de chances de survivre dans son environnement. En algorithme génétique, ceci est représenté par le fait que l'individu aura plus de chance d'être sélectionné lors de la prochaine étape de sélection.

Les "Mantes" constituent environ 2000 espèces réparties dans le monde : une huitaine en France dont la célèbre "Mante religieuse" et le "Diablotin" de Provence. Ces 2000 espèces se différencient par leurs couleurs et leurs formes diverses et variées.

4. Domaines d'applications

A. Les conditions du problème

Comme cela a été dit plus haut, les algorithmes génétiques peuvent être une bonne solution pour résoudre un problème d'optimisation. Néanmoins, leur utilisation doit être conditionnée par certaines caractéristiques du problème.

Les caractéristiques à prendre en compte sont les suivantes :

- Nombre de solutions important : les performances des algorithmes génétiques par rapport aux algorithmes classiques sont plus marquées lorsque les espaces de recherches sont importants. En effet, 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 somme toute correct. Au contraire, utiliser un algorithme génétique engendrera le risque d'obtenir une solution non optimale (voir Limites) 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.

B. Exemples d'applications

a. Applications dans la recherche

Le problème du voyageur de commerce : Ce problème est un classique d'algorithmique. Son sujet concerne les trajets d'un voyageur de commerce. Celui-ci dispose de plusieurs points où s'arrêter et le but de l'algorithme est d'optimiser le trajet de façon à ce que celui-ci soit le plus court possible. Dans le cas où huit villes existent, cela est encore possible par énumération (2520 possibilités [pour n villes, n supérieur ou égal à 3, il y a $(n-1)!/2$ chemins possibles]) mais ensuite, l'augmentation du nombre d'arrêts fait suivre au nombre de possibilités une croissance exponentielle.

Pour notre exemple de l'introduction, soit pour 70 villes on a : $(70-1)!/2 = 8,556122621e+97$ solutions possibles...

Lors de l'opérationsa sélection avec une probabilité de sélection proportionnelle à l'adaptation de chaque individu (chemin), on effectue le calcul suivant : `selectionArray[i] = (int) (Math.sqrt ((i + 1.0) / (allFits.size())) * (100));`

Par le biais d'algorithmes génétiques, il est possible de trouver des chemins relativement corrects. De plus, ce type de problèmes est assez facile à coder sous forme d'algorithme génétique. L'idée de base est de prendre comme fonction d'adaptation d'un chemin sa longueur. Pour effectuer le croisement de deux chemins:

- On recopie le premier chemin jusqu'à une "cassure".
- On recopie ensuite les villes du second chemin. Si la ville est déjà utilisée, on passe à la ville suivante.

Chemin	Codage
A	1 2 3 4 : 5 6 7 8 9
B	4 1 6 3 : 9 8 2 5 7
fil	1 2 3 4 : 6 9 8 5 7

Soit un itinéraire qui contient 9 villes, on suppose que l'on croise les deux chemins suivants (un chiffre représente une ville). On croise ces deux chemins après le locus 4: on obtient le chemin fils.

En partant de ce principe, de nombreux algorithmes génétiques ont été développés, chacun utilisant différentes variantes afin de se rapprocher le plus possible du maximum dans tous les cas. Il existe d'ailleurs un concours sur internet qui propose de développer un algorithme à même de trouver le meilleur chemin sur un problème de voyageur de commerce de 250 villes.

Nous avons donc programmé cet algorithme en Java, langage informatique orienté objet. Pour voir le programme :

b. Applications industrielles

Un premier exemple est une réalisation effectuée au sein de l'entreprise Motorola. Le problème pour lequel Motorola a utilisé les algorithmes génétiques concerne les tests des applications informatiques. En effet, lors de chaque changement apporté à une application, il convient de retenter l'application afin de voir si les modifications apportées n'ont pas eu d'influence négative sur le reste de l'application. Pour cela, la méthode classique est de définir manuellement des plans de test permettant un passage dans toutes les fonctions de l'application.

Finalement, l'outil développé permet, à l'aide d'un algorithme génétique, de faire évoluer ces programmes de test pour maximiser les zones testées de façon à ce que lors de modifications apportées à l'application on puisse soumettre celle-ci à des tests efficaces. D'autres domaines industriels utilisent aujourd'hui les algorithmes génétiques. On peut retenir entre autres l'aérodynamique où des optimisations sont mises au point à l'aide de ces outils, l'optimisation structurelle, qui consiste à minimiser le poids d'une structure en tenant compte des contraintes de tension admissibles pour les différents éléments, et la recherche d'itinéraires : ces algorithmes ont été utilisés par la NASA pour la mission d'exploration de Mars, dans la gestion des déplacements du robot Pathfinder.

La société Sony les a aussi utilisés dans son robot Aibo. En effet, ce robot a « appris » à marcher dans un dispositif expérimental où son système de commande a été soumis à une évolution artificielle. Différents modes de commandes ont été testés, les plus performants ont été croisés et le résultat a été très positif. De génération en génération, le robot s'est redressé, puis a commencé à marcher en chutant souvent et a fini par marcher d'un pas assuré.

c. Informatique décisionnelle

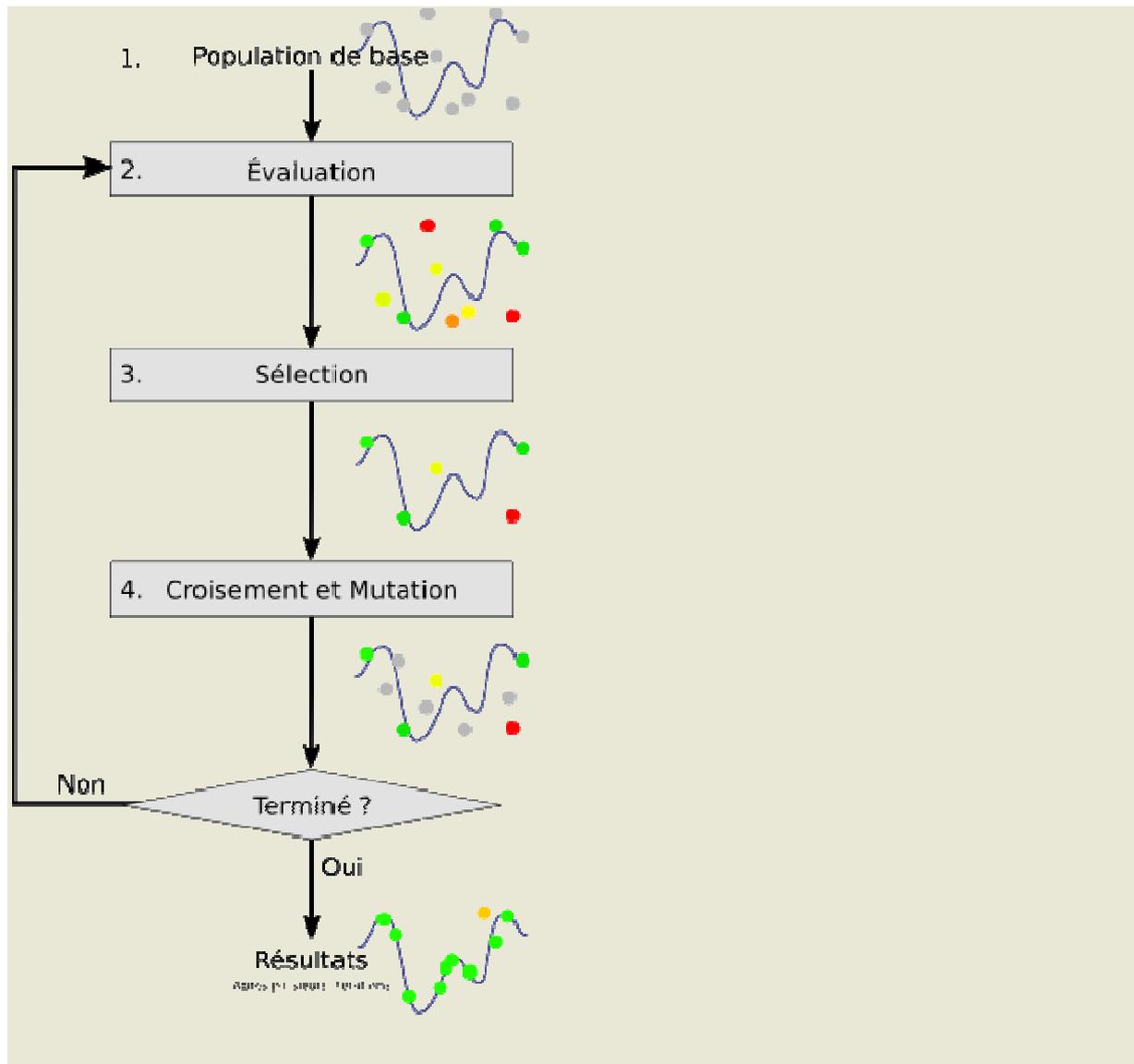
Les algorithmes génétiques sont mis en œuvre dans certains outils d'informatique décisionnelle ou de data mining par exemple pour rechercher une solution d'optimum à un problème par mutation des attributs (des variables) de la population étudiée.

Ils sont utilisés par exemple dans une étude d'optimisation d'un réseau de points de vente ou d'agences (banque, assurance, ...) pour tenter de répondre aux questions :

- quelles sont les variables (superficie, effectif, ...) qui expliquent la réussite commerciale de telle ou telle agence ?
- en modifiant telle variable (mutation) de telle agence améliore-t-on son résultat ?

5. Conclusion :

A. Schéma récapitulatif :



1. Population de n individu générés aléatoirement

m chaînes de caractères ou de bits.
1 chaîne correspond à 1 chromosome.

2. Évaluation

A chaque chaîne, une note correspondant à son adaptation au problème (sa fitness).

3. Sélection

Tirage au sort d'un couple de chaînes sur une roue biaisée.
Chaque chaîne a une probabilité d'être tirée proportionnelle à son adaptation au problème.

4. Croisement et mutation

Chaque couple donne 1 chaîne fille.

- Enjambement systématique. Emplacement de l'enjambement choisi aléatoirement.
- Mutations de la chaîne fille. Probabilité : de 0,1 à 1%. Inversion de la chaîne entre 2 emplacements choisis aléatoirement.

5. Optimisation

Inversion un à un chaque élément de la chaîne fille. Evaluation de sa fitness entre chaque inversion. Si le résultat est meilleur qu'avant, arrêt de la boucle et ajout de la chaîne fille dans la population pour la prochaine génération, sinon continu jusqu'à avoir parcouru tous les éléments de la chaîne.

B. Conclusion finale

Ainsi, les algorithmes génétiques sont des algorithmes évolutionnistes inspirés de la biologie. Ils reprennent la théorie de Darwin, selon laquelle les individus les plus adaptés tendent à survivre plus longtemps et à se reproduire aisément.

Appliqués dans des domaines divers et variés, ils représentent une solution rapide et très performante pour le traitement des problèmes d'optimisation, quels qu'ils soient.

En ce qui nous concerne, ils permettent de trouver un itinéraire correct pour un voyageur du commerce en un temps optimisé.

[La résolution du problème posé commerce via les algorithmes génétiques :](#)

On ne sait résoudre le PVC que par une étude exhaustive de tous les circuits possibles, qui sont au nombre de $n!$, ce qui en fait un problème de type NP-hard impossible à résoudre concrètement dès que n dépasse quelques dizaines. La recherche d'heuristiques pour résoudre le PVC de manière approchée a conduit à s'intéresser aux Algorithmes Génétiques : une méta-heuristique surprenante permettant de résoudre de nombreux problèmes d'optimisation complexes et de natures différentes.

Les algorithmes génétiques sont nés de l'étude du processus d'évolution des espèces découvert par Darwin. On peut résumer leur fonctionnement comme suit :

Algorithme Génétique

Au départ

on génère aléatoirement une **Population** = un ensemble de solutions au problème

A chaque étape

- on opère une sélection des meilleurs individus de cette **Population** (roulette) suivant le critère qu'on veut optimiser
- on génère une nouvelle **Population** par Croisement des membres de roulette
- on modifie 50% des individus de la nouvelle **Population** par Mutation

A la fin

on ne garde que la meilleure solution de la **Population**

Nous allons maintenant appliquer les algorithmes génétiques à la résolution du problème posé par la RADEEF.

Avant commencer une résolution par les algorithmes génétiques il faut caractériser les points suivants :

- une instance du problème
- un espace de recherche
- le codage des points de l'espace de recherche (par un chromosome)

Nous allons préciser pour chacun de ces points les options choisies pour l'implantation du problème du voyageur de commerce.

Une instance du problème

Une instance de ce problème est un graphe complet de n sommets dont les arêtes sont pondérées par un coût strictement positif. L'instance sera alors implantée comme une matrice $M_{n \times n}$ dont les coefficients sont strictement positifs sauf sur la première diagonale où ils sont tous infinis. M est appelé matrice de coût. Ainsi la distance entre le sommet j et le sommet i est M_{ij} . On n'a pas forcément $M_{ij}=M_{ji}$ et on n'a pas non plus l'inégalité triangulaire dans le cas général. Cependant, pour l'implantation de l'algorithme, nous avons choisi le cas d'une distance euclidienne sur n points du plan, pour construire la matrice de coût.

L'espace de recherche

C'est l'ensemble S_n des permutations de $\{1,2, \dots, n\}$ Un point de l'espace de recherche est une permutation.

Codage des points de l'espace de recherche

Chaque point de l'espace de recherche est une permutation de $\{1,2, \dots, n\}$

Par exemple, pour $n=8$:

Codage direct d'une permutation :

3 7 0 4 1 2 5 6.

Le déroulement d'un algorithme génétique peut être découpé en cinq parties :

1. La création de la population initiale :

La population initiale sera créée de manière aléatoire à condition que chaque individu dans les populations crée soit une solution du problème. La taille de la population initiale doit être raisonnablement grande en tenant compte à la fois de la qualité des solutions trouvées et du temps d'exécution de notre algorithme.

2. L'évaluation des individus :

Après avoir créé la population initiale, nous attribuons une valeur d'adaptation ou une 'note' à chaque individu selon leur performance par rapport le coût de distance totale.

Il faudrait donc créer une fonction d'évaluation pour évaluer la qualité de chaque individu. Cette fonction s'appelle fitness elle s'écrit comme suit :

La fonction d'évaluation :

C'est ici le coût total d'une permutation. A savoir pour une permutation σ :

$$f(\sigma) = \sum_{i=0}^{n-2} M_{\sigma(i)\sigma(i+1)} + M_{\sigma(n)\sigma(0)}.$$

Le dernier terme de la somme permettant de revenir au sommet initial (localité initiale). C'est cette fonction là que nous cherchons à minimiser.

3. La création de nouveaux individus.

Une fois que nous avons fini d'évaluer nos individus, nous allons créer de nouveaux individus qui seront la nouvelle génération de notre population, et nous espérons que certain entre eux seront de meilleurs solutions à notre problème.

Dans notre programme, nous allons utiliser des différents opérateurs pour créer notre nouvelle génération.

Opérateurs génétiques classiques

*** Sélection :**

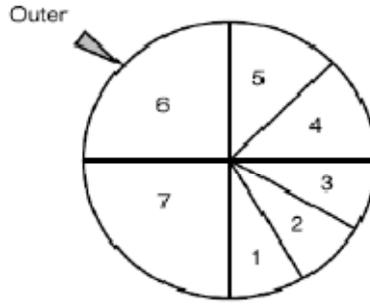
Nous utilisons ici la méthode de sélection par roulette. On calcule d'abord la valeur moyenne de la fonction d'évaluation dans la population :

$$\bar{f} = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} f(P_i),$$

Où P_i est l'individu i de la population et m la taille de la population. La place d'un

individu P_i dans la roulette est proportionnel à $\frac{f}{f(P_i)}$. Il faut imaginer une sorte de roulette de casino sur laquelle sont placés tous les chromosomes de la population, la place accordée à chacun des chromosomes étant en relation avec sa valeur d'adaptation.

Ensuite, la bille est lancée et s'arrête sur un chromosome. Les meilleurs chromosomes peuvent ainsi être tirés plusieurs fois et les plus mauvais ne jamais être sélectionnés. Cela peut être simulé par l'algorithme suivant : Il y a aussi la possibilité d'avoir une politique d'«élitisme». C'est à dire qu'à chaque étape de sélection le meilleur chromosome est automatiquement sélectionné.



a) Roulette selection

Figure n° 2 Schéma d'une roulette

*** Le Croisement 1X :**

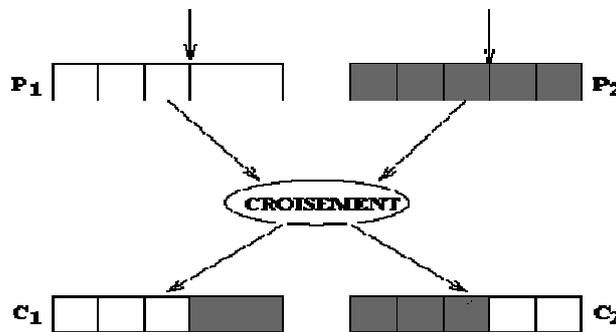


Figure n °3:Type de croisement utilisé.

Il est désigné par le sigle 1X(ou 1 rappelle qu'il s'agit d'un croisement en 1 point, X symbolise les croisements ; en toute rigueur, il faudrait le designer par 1OX pour croisement d'ordre a 1 point). Il commence comme l'opérateur simple a un point par une recopie du début du père (resp. de la mère) et il complète la fin du chromosome avec les valeurs numériques manquantes dans l'ordre de la mère (resp. du père). En échangeant «début» et «fin» dans la description de ce croisement, on peut obtenir un autre fils et une autre fille selon un principe similaire ; ceci peut permettre, par exemple, de garder les deux meilleurs enfants obtenus, ce qui améliore la qualité de ce croisement. Le tableau illustre les étapes du croisement 1X.

Exemple :

$p1 = (123 456789)$	$p2 = (452 187693)$
$e1 = (123 8xxxxx)$	$e2 = (456 7xxxxx)$
$e1 = (123 87xxxx)$	$e2 = (456 78xxxx)$
$e1 = (123 876xxx)$	$e2 = (456 789xxx)$
$e1 = (123 8769xx)$	$e2 = (456 7891xx)$
$e1 = (123 87694x)$	$e2 = (456 78912x)$
$e1 = (123 876945)$	$e2 = (456 789123)$

*** La Mutation :**

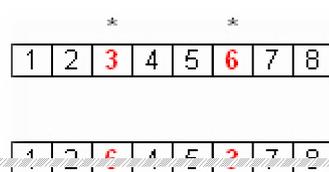


Figure n° 4: la mutation

La mutation génère des "erreurs" de recopie, afin de créer un nouvel individu qui n'existait pas auparavant. Le but est d'éviter à l'AG de converger vers des extrema locaux de la fonction et de permettre de créer des éléments originaux. Si elle génère un individu plus faible l'individu est éliminé.

La probabilité de mutation représente la fréquence à laquelle les gènes d'un chromosome sont mutés.

- S'il n'y a pas de mutation, le fils est inséré dans la nouvelle population sans changement.
- Si la mutation est appliquée, une partie du chromosome est changée.

La mutation est prévue pour éviter au AG de s'enliser dans des optima locaux.

Mais si elle est trop fréquente, le AG est orientée vers une recherche aléatoire de la bonne solution.

Généralement, La méthode de mutation consiste en une permutation de deux villes. Nous sommes certains que les individus mutés auront toujours la forme d'une solution potentielle car nous ne changeons que l'ordre des villes. Par exemple : {A,B,C,D,E,F,G,H,I,J} pourra être muté en {A,B,H,D,E,F,G,C,I,J}.

4. L'insertion des nouveaux individus dans la population.

Une fois que nous avons créé de nouveaux individus que ce soit par croisement ou par mutation, il nous faut sélectionner ceux qui vont continuer à participer à l'amélioration de notre population.

Une méthode relativement efficace consiste à insérer les nouveaux individus dans la population, à trier cette population selon le score (la valeur d'adaptation) de ses membres, et à ne conserver que les N meilleurs individus. Ici, dans notre programme, nous allons considérer que N soit la taille de la population.

5. Répétition du processus.

Au fait, nous ferons les quatre étapes précédentes en incrémentant le nombre de génération, tant que le nombre de génération est inférieur au nombre maximum de génération. Et le nombre maximum de génération peut être fixé avec un nombre assez grand selon le problème à résoudre.

Une fois le nombre maximum de générations atteint, vous obtenez une population de solutions. Mais rien ne vous dit que la solution théorique optimale aura été trouvée. Les solutions se rapprochent des bonnes solutions, mais sans plus. Ce n'est pas une méthode exacte.

Conclusion :

Les algorithmes génétiques seuls ne sont pas très efficaces dans la résolution du PVC. Ils apportent cependant assez rapidement une solution acceptable, même dans le cas d'une instance du problème non-euclidienne. Néanmoins, il est possible de l'améliorer assez

efficacement en le combinant avec un algorithme déterministe sur les chromosomes de la population.

Comparaison de complexité :

Les algorithmes pour résoudre le problème du voyageur de commerce peuvent être répartis en deux classes :

- les algorithmes déterministes qui trouvent la solution optimale
- les algorithmes d'approximation qui fournissent une solution presque optimale

Complexité via une méthode de résolution classique (méthode déterministe) :

Un calcul rapide de la complexité montre qu'elle est en $O(n!)$ où n est le nombre de villes. En supposant que le temps pour effectuer un trajet est d'1 μ s, le tableau 1 témoigne de l'explosion combinatoire.

<i>NB VILLES</i>	<i>NB POSSIBILITES</i>	<i>TEMPS DE CALCUL</i>
5	120	120 μ s
10	181440	0.18 ms
15	43 MILLIARDS	12 h
20	60 E +15	1928 ans
25	310 E + 21	9,8 Milliards A.

Figure 5 : Nombre de possibilités de chemins et temps de calcul en fonction du nombre de villes

Complexité via une méthode de résolution avec algorithmes génétiques (méthode approximative) :

Un calcul de complexité de l'algorithme abstrait nous montre qu'elle est en $O(n^2)$ ou n est le nombre de villes.

$$\begin{aligned} \text{Détail du calcul : } O(\text{Algo Gene}) &= O(n^2) + O(\text{Muter}) + O(\text{Croiser}) + O(\text{Selection Naturelle}) \\ &= O(n^2) + O(n) + O(2n) + O(n) \\ &= O(n^2) \end{aligned}$$

<i>NB VILLES</i>	<i>NB POSSIBILITES</i>	<i>TEMPS DE CALCUL</i>
5	25	25 μ s
10	100	100 μ s
15	225	225 μ s
20	400	400 μ s

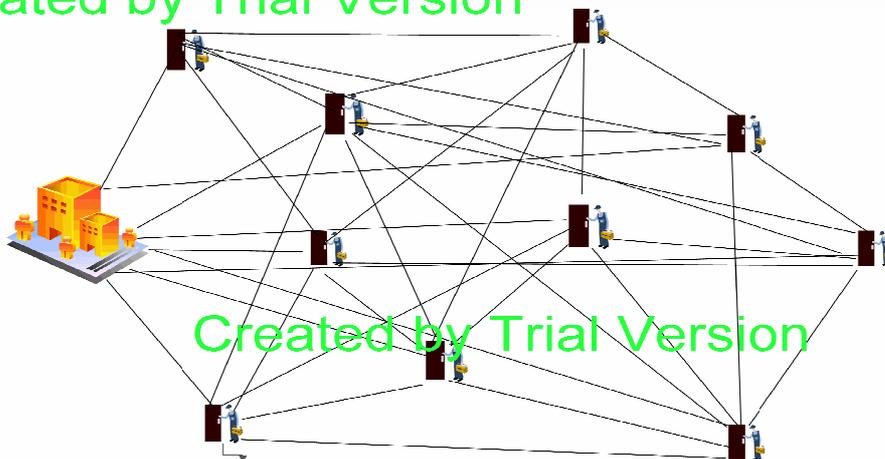
Figure 6 : Nombre de possibilités de chemins et temps de calcul en fonction du nombre de villes

Les résultats entre la méthode déterministe et approximative ne sont pas comparables en soi, elles utilisent des méthodes différentes pour arriver à des résultats différents. Comme dis précédemment, dans un cas, on cherche la solution optimale, dans le second (cf. tableau 2), une solution presque optimale.

La présentation du problème du projet :

Le bureau des travaux (bureau d'équipement) se constitue de deux équipes :
La première équipe a pour mission : pose des nouveaux abonnements, dépose des compteurs réinitialisés ou par faute de paiement et mutation des compteurs
La deuxième équipe sa mission est le changement des compteurs à anomalies
Sachant que la première équipe comporte trois employés à chacun sa tâche (soit le pose, dépose ou mutation des compteurs) alors que le deuxième équipe se constitue d'un seul employé, sa tâche est le changement des compteurs
L'objectif : minimiser la distance parcourue (ou le temps de parcours) par chaque employé pour une journée en revenant au point de départ.

Created by Trial Version



Created by Trial Version

Created by Trial Version

Figure n°7 : Schéma du problème

On constate qu'il est de même type que le problème de voyageur de commerce, en remplaçant les villes par des maisons, des magasins, des écoles....

Trouver le chemin optimale du problème de voyageur de commerce revient à trouver le plus court parcours que doit être suivi par chaque employé, et ceci en passant une et une seule fois par chaque localité

Résultats expérimentaux :

Matrice des distances (en Km)	Algorithme utilisé	Succès	Le plus court parcours suivi	La distance de ce parcours
DIST={0,3,1,5,2,6,4,7,4,2,9,5}, {3,0,4,7,1,5,6,8,3,5,6,9}, {1,4,0,2,3,1,2,3,9,8,7,5}, {5,7,2,0,1,6,4,8,3,9,1,5}, {2,1,3,1,0,7,5,9,2,3,6,3}, {6,3,1,5,2,0,9,6,4,5,3,1}, {4,3,6,5,2,7,0,4,9,1,3,6}, {5,5,1,3,4,6,7,0,9,2,7,8}, {4,3,1,5,2,7,1,2,0,4,9,7}, {3,3,1,5,2,4,5,8,6,0,1,9}, {2,3,1,5,2,8,9,6,5,4,0,4}, {1,3,1,5,2,7,8,3,4,8,9,0},	Les algorithmes génétiques	5	3.10.4.11.9.5.8.6.2.7.0.1	23 Km

Commentaire :

Il se peut que cette solution (le parcours suivi) ne soit pas exacte, mais quand même on peut la considérer suffisante et mieux qu'un parcours pris au hasard qu'il peut arriver dans ce cas à une distance de 64 Km, en suivant le parcours suivant :



On constate bien que cette dernière presque triple la distance du parcours trouvée en utilisant les algorithmes génétiques.

Conclusion & perspectives:

Le problème du voyageur de commerce est toujours d'actualité dans la recherche en informatique, étant donné le nombre important de problèmes réels auxquels il correspond. Les problèmes dérivés et les extensions en sont très nombreux. Par exemple, des fenêtres de temps peuvent y être ajoutées. Ce concept consiste à imposer des contraintes de temps pour la traversée de chaque sommet. Autre exemple, il peut y avoir plusieurs voyageurs de commerce partant d'un même sommet, ou de sommets différents. Il suffit alors de considérer que les voyageurs de commerce sont des véhicules pour arriver à des problèmes de tournées de véhicules : étant donnée une flotte de véhicules, le problème consiste à déterminer les trajets de chacun pour livrer à moindre coût des clients en marchandise (chaque client est représenté par un sommet dans le graphe). Le nombre de véhicules peut être fixe ou non, les capacités des véhicules peuvent être les mêmes ou non, des fenêtres de temps peuvent être définies... Pour chacune de ces variantes, de nouvelles méthodes peuvent être explorées.

Nous avons arrivé à modéliser le problème de positionnement, de positionnement, mutation et changement des compteurs dans la régie RADEEF en termes d'un problème de voyageur de commerce : par la suite ce dernier problème a été résolu par les algorithmes génétiques

Dans les prochains travaux, nous allons améliorer ces résultats en faisant une hybridation entre les algorithmes génétiques et une méthode exacte

Référence :

Site Web

- Algorithme génétique : <http://sis.univ-tln.fr/~tollari/TER/AlgoGen1/node5.html>
- _ www.sc-eco.univ-nantes.fr/~tvallee/.../agpresf42
- _ <http://produ.chez.com/badro/>
- _ *Le problème du voyageur de commerce* : http://interstices.info/jcms/c_37686
- _ <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/iwr/comopt/software/TSPLIB95> Février 2005
- _ www.lacim.ugam.ca/~chauve/.../A04/.../GUY-TSP
- _ http://fr.wikipedia.org/wiki/Probl%C3%A8me_P_%3D_NP



Conclusion générale :

Mon stage m'a beaucoup intéressée, j'ai pu découvrir les différents postes de la régie et avoir un aperçu global de son fonctionnement. Il m'a permis de me familiariser avec les différents services et d'avoir une approche réelle du monde du travail. J'ai pu faire le rapprochement entre ce que j'avais appris en cours et ce qui se passe vraiment dans la régie, ce qui n'a pas toujours été facile car chaque entreprise est un cas particulier.

La période du stage était un peu limitée pour avoir une très large connaissance dans ce domaine mais malgré ça, j'ai appris des choses très importantes pour mon avenir professionnel

J'ai également acquis des connaissances pratiques qui me seront utiles dans la poursuite de mes études voire dans l'exercice de ma future profession.

Je suis très contente de mon stage dans la régie de la RADEEF. Ces deux mois de stage m'ont été très bénéfiques, du point de vue professionnel vue le travail intéressant que j'ai élaboré au sein de la régie, que du point de vue social. Aussi ces deux mois ont été bénéfiques pour la régie, vue les apports que j'ai apporté.