1. Introduction

* Motivations :
  + Evolution du besoin médical
  + Apparition du terme désert médical en 19XX
  + Définition du terme désert médical
  + Chiffres sur le désert médical français
  + Création de 1000 centres hospitaliers en France pour mailler le territoire (CPTS) (Promesse phare du plan « ma santé 2022 »)
* Problématique :
  + Où placer ces hôpitaux ?
  + Comment être sûr que la solution proposée est la meilleure ?
  + Quelle méthode d’optimisation combinatoire peut être appliquée ?

1. Modélisation formelle du problème

* La densité de population est représentée par une matrice de taille N\*N
* Les hôpitaux, H couples (x,y) sont des coordonnées de la matrice distinctes. On a x,y € [|0, N-1|]
* On appelle une famille de H points une solution
* A chaque solution est associée un score
* Le problème posé est le suivant : Quelle solution est associée au meilleur score

1. Modélisation informatique du problème

* Création d’une carte de densité :
  + Choix de N « points centraux »
  + Gaussienne de points autour de tous les points centraux
* Critique du modèle :
  + Peut créer des ilots solitaires
  + Répartition circulaire à cause de la répartition gaussienne
* Création d’une fonction d’évaluation d’une solution :
  + Prend en entrée H couples (x,y)
  + Renvoie un réel S appelé le score de la solution
* La fonction d’évaluation doit prendre en compte plusieurs critères, dont le choix est subjectif
  + Distance moyenne au point H le plus proche
  + Distance médiane au point H le plus proche
  + Pire distance à un point H
  + Pire 5% distance à un point H

1. Résolution du problème par l’optimisation combinatoire

* Idées naïves
  + Enumérer brutalement
  + Programmation dynamique (diviser pour régner) -> preuve que ca ne marche pas avec un contre exemple
* Piste de résolution
  + Algorithme glouton (naïf, très bourrin, proche de l’aléatoire)
  + Recherche locale (Solution initiale -> Tenter un changement -> Si changement positif, le conserver -> loop) : Hill climbing
  + Colonies de fourmis (Toutes les solutions sont équiprobables, mais à force que les insectes trouvent une solution optimisé, ils vont tous la prendre)
  + Hybride entre recherche locale et colonie
  + Optimisation linéaire en nombres entiers / Branch and bound (diviser pour régner aussi ?) (Semble vraiment claqué et pas adapté, à mettre dans naïf peut-être)
  + <https://homepages.laas.fr/huguet/drupal/sites/homepages.laas.fr.huguet/files/u78/cours_RL-Meta-2017-2018.pdf>
* Remplacer les heuristiques par Méta-heuristiques pour abandonner les optimums locaux
  + Recuit simulé
  + Recherche avec tabou
  + Algorithme évolutionnaire
* Optimisation multi-objectif au lieu d’une seule fonction d’évaluation

Modifications à apporter :

* Justifier le fait qu’il faille utiliser l’optimsiation combinatoire
* Déterminer que le problème est NP-Difficile (important pour justifier l’utilisation d’optimisation combinatoire), et qu’il n’admet pas d’algorithme optimal rapide
* Discuter du critère d’arret de la recherche locale (aucune amélioration en 100 essais)
* La distance ne devrait pas être le seul paramètre, le script met juste un seul hôpital sur une population très peuplée
* Multiplier la distance par le nombre de personne ??

Titre : Le placement d’hôpitaux sur une carte de densité à l’aide d’optimisation combinatoire et les métaheuristiques

Positionnement thématique : Métaheuristiques / Modélisation informatique / Mathématiques discrètes

Mots-clefs : Optimisation combinatoire / Métaheuristique / Modélisation de population / Décision multicritère / Algorithmes génétiques

Problématique : Quelle méthode d’optimisation combinatoire est la plus adaptée au placement de centres sur une carte de population

Objectifs :

* Expliquer et présenter le fonctionnement des différentes catégories de métaheuristiques, les implémenter informatiquement en python, et comparer les résultats de ces dernières
* Appliquer la métaheuristique la plus adaptée au modèle sur le cas concret d’une région réelle, à différentes échelles
* Modéliser fidèlement une carte de densité de population et déterminer quels critères sont en jeux dans la difficulté de l’accès à la santé
* Comparer le problème à d’autres problèmes d’optimisation combinatoire et déterminer sa NP-difficulté

Bibliographie :

* <https://solidarites-sante.gouv.fr/systeme-de-sante-et-medico-social/masante2022/> (Définition d’une CPTS)
* <https://www.ameli.fr/exercice-coordonne/exercice-professionnel/organisation-d-exercice-coordonne/constitution-d-une-cpts> (Justification du role du placement d’une CPTS)
* <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00011623/document> (justifier l’utilisation des MH)
* <https://homepages.laas.fr/huguet/drupal/sites/homepages.laas.fr.huguet/files/u78/2020-2021-cours_Meta.pdf> (Cours de Marie-Jo Huguet sur les MH, prof à l’INSA)
* Précis de recherche opérationnelle - 7ème édition (Décrit les différents types de MH)
* Métaheuristiques : Recuits simulé, recherche avec tabous, recherche à voisinages variables, méthodes grasp, algorithmes évolutionnaires, fourmis artificielles, essaims particulaires et autres méthodes d'optimisation. (Mise en place concrète des MH plus en détail que [5])

Utile mais pas dans bibliographie :

* [Métaheuristiques pour l'ordonnancement multicritére et les problémes de transport](http://www.lavoisier.fr/livre/notice.asp?ouvrage=2727104) ( ?)
* A survey on optimization metaheuristics (<http://romisatriawahono.net/lecture/rm/survey/softcomputing/Boussaid%20-%20Optimization%20Metaheuristics%20-%202013.pdf>)
* LES MÉTA-HEURISTIQUES : quelques conseils pour en faire bon usage (<https://homepages.laas.fr/huguet/drupal/sites/homepages.laas.fr.huguet/files/u78/Hertz-MetaHeuristiques.pdf>)
* Metaheuristics in Combinatorial Optimization: Overview and Conceptual (<https://homepages.laas.fr/huguet/drupal/sites/homepages.laas.fr.huguet/files/u78/Metaheuristics_Overview_Blum_2003.pdf> )

Bibliographie commentée :

Les déserts médicaux sont des régions géographiques où la population présente des difficultés à accéder aux soins de santé. En 2018, le président de la République a annoncé le plan Santé 2022, qui comportait comme objectif couvrir l’ensemble du territoire Français par des CPTS (Communautés professionnelles territoriales de santé). Ces établissements ont pour but de regrouper plusieurs spécialistes de santé dans un seul lieu, afin de mailler le territoire et lutter contre les déserts médicaux [1].

La question du placement des CPTS est cruciale dans leur déploiement, car leur nombre est limité et doit permettre à chaque citoyen d’accéder aisément à ces établissements. Le placement des CPTS dépend de beaucoup de facteur, comme la proximité des médecins et le besoin des populations locales, mais aussi la population de la région, et la présence d’autres établissements médicaux déjà présents. [2] Pour se faire, on peut modéliser la situation informatiquement, et simuler les configurations possibles pour pouvoir comparer facilement deux configurations dans une fonction appelée « fonction de cout », qui prend en entrée une configuration, et renvoie un cout, que l’on cherche à minimiser. Cette méthode permet ainsi de déterminer la configuration la plus optimale. [3]

Cependant, une résolution exacte du problème soulève le problème de l’énumération des configurations [4] : si on souhaite simuler toutes les configurations possibles du placement de 10 établissements dans une région modélisée par une matrice carrée de taille 1000x1000, le nombre de configuration possible dépasse 1053. Au rythme d’une configuration toutes les millisecondes, tester toutes les configurations prendrait plus de 1043 années, ce qui est irréalisable. (C’est un calcul personnel qui n’est pas sourcé, est-ce que j’ai le droit de le mettre ?)

Par ce constat découle le besoin de l’optimisation combinatoire, qui permettra de trouver une configuration optimisée, sans pour autant tester toutes les configurations possibles. Cette branche des mathématiques repose sur le fait que la fonction de cout est très souvent continue, ou proche d’une fonction continue, et qu’ainsi une configuration qui présente un faible est entourée de configurations voisines, qui elles aussi présentent une configuration avec un faible cout [4]. Formellement, l’objectif est de trouver les minimums locaux de la fonction de cout, et de se rapprocher du minimum global.

L’optimisation combinatoire que nous allons utiliser se basera principalement sur des métaheuristiques, c’est-à-dire des algorithmes d’optimisation stochastiques itératifs, qui progressent vers le minimum global. Ces algorithmes se divisent en deux grandes familles : premièrement, les métaheuristiques distribuées, qui vont faire progressivement évoluer plusieurs configurations initiales, et ainsi créer une population de configurations optimisée ; Puis les métaheuristiques exclusives, qui vont faire évoluer progressivement une unique configuration initiale. Des hybrides de ces deux méthodes sont aussi possible. [5] [6]