

**Projet de Fin d'Etudes**

**Plan d'évacuation post-  
séisme de la population de  
Nice : Affectation sous-  
optimale de lieux sécurisés à  
des habitants en cas de  
séisme**



**2017-2018**

**Directeurs de recherche :**

**SERRHINI Kamal (DAE)**

**MONMARCHÉ Nicolas (DI)**

**BENEDI Antoine**  
**DAVID Lucien**  
**LOUARD Oumaima**



# **Plan d'évacuation post-séisme de la population de Nice : Affectation sous-optimale de lieux sécurisés à des habitants en cas de séisme**

**Antoine BENEDI  
Oumaima LOUARD  
Lucien DAVID**

**Kamal SERRHINI (DAE)  
Nicolas MONMARCHÉ (DI)**

**2018**

# AVERTISSEMENT

---

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

Les auteurs de cette recherche ont signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

# FORMATION PAR LA RECHERCHE, PROJET DE FIN D'ETUDES EN GENIE DE L'AMENAGEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT

---

La formation au Génie de l'Aménagement et de l'Environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir-faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Ingénierie du Projet d'Aménagement, Paysage et Environnement de l'UMR 6173 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

**Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.**

# REMERCIEMENTS

---

Nous tenons à remercier Monsieur SERRHINI Kamal, Directeur de Recherche de ce PFE et Enseignant-Chercheur à l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, pour son suivi, son énorme soutien et ses conseils précieux, qu'il n'a cessé de nous prodiguer tout au long de la période du projet, sans oublier l'équipe pédagogique de notre école qui nous a fourni le sujet et nous a permis de le développer au sein de notre département.

Enfin, nous remercions toutes les autres personnes qui nous ont aidées lors de notre projet.

# SOMMAIRE

---

AVERTISSEMENT .....	4
FORMATION PAR LA RECHERCHE, PROJET DE FIN D'ETUDES EN GENIE DE L'AMENAGEMENT ET DE L'ENVIRONNEMENT .....	5
REMERCIEMENTS .....	6
SOMMAIRE .....	7
TABLE DES SIGLES.....	8
QUELQUES DEFINITIONS.....	9
INTRODUCTION.....	10
PARTIE 1. PRESENTATION DU PFE .....	11
1.1 CONTEXTUALISATION.....	11
1.2 ZOOM SUR NOTRE TERRITOIRE D'ETUDE.....	12
1.3 PROBLEMATIQUE .....	13
PARTIE 2. ETAT DE L'ART .....	14
2.1 LE PROBLEME DU P-MEDIAN.....	14
2.2 PROBLEME DU <i>BIN PACKING</i> .....	16
2.3 ALGORITHME HEURISTIQUE ET METAHEURISTIQUE .....	16
2.4 UNE PROBLEMATIQUE LIEE A L'AFFECTATION OPTIMALE DU NSA AUX CARE .....	17
PARTIE 3. METHODE ET RESULTATS .....	18
3.1 MODULE « EMBLACEMENT-ALLOCATION » DE ARCGIS.....	18
3.1.1 <i>Présentation de la fonction</i> .....	18
3.1.2 <i>Algorithmes de résolution</i> .....	18
3.2 MODELISATION DU MODELE MULTI-OBJECTIF ET APPLICATION SUR LE QUARTIER DU « CENTRE » A NICE.....	19
3.2.1 <i>Minimiser l'impédance</i> .....	20
3.2.2 <i>Optimiser la couverture</i> .....	24
3.2.3 <i>Optimiser la couverture de capacité</i> .....	26
3.2.4 <i>Minimiser le nombre de ressources</i> .....	30
PARTIE 4. EXPERIMENTATIONS .....	34
4.1 CORRECTIONS DU RESEAU EXISTANT .....	34
4.2 SCENARIO 1 : REEVALUATION DE LA CAPACITE DES CARE .....	35
4.2.1 <i>Affectation des bâtiments au CARE le plus proche</i> .....	35
4.2.2 <i>Capacités théoriques et surcharge</i> .....	36
4.3 SCENARIO 2 : CREATION DE NOUVEAUX CARE .....	37
PARTIE 5. COMMUNICATION A LA POPULATION .....	40
5.1 CONTEXTUALISATION.....	40
5.2 DES DICRIM PEU INTERACTIFS.....	40
5.3 LIER GESTION DU RISQUE ET NOUVELLES TECHNOLOGIES .....	42
CONCLUSION.....	44
ANNEXES.....	45
TABLE DES ILLUSTRATIONS.....	47
REFERENCES .....	48

# TABLE DES SIGLES

---

PFE : Projet de Fin d'Etudes

DICRIM : Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs

PCS : Plan Communal de Sauvegarde

PPRS : Plan de Prévention du Risque Sismique

PNPRS : Programme National de Prévention du Risque Sismique

PPRN : Plan de Prévention des Risques Naturels

CARE : Centre d'Accueil et de Regroupement

NSA : Nombre de Sans-Abri

SA : Sans-Abri

SIG : Système d'Information Géographique

IRIS : Ilots Regroupés pour l'Information Statistique

# QUELQUES DEFINITIONS...

---

L'ensemble de ces définitions permettent de mieux définir les différents termes liés aux séismes, qui pourront être utilisés lors de ce PFE. C'est définitions sont issues d'une fiche de synthèse scientifique [BRGM, 2004] réalisée par le BRGM<sup>1</sup>.

**Aléa** : événement menaçant ou probabilité d'occurrence dans une région et au cours d'une période donnée d'un phénomène pouvant engendrer des dommages.

**Echelle de Richter** : échelle de magnitude des séismes mise au point par C.F. Richter en 1930.

**Echelle EMS 98** : échelle d'intensité des séismes admise par l'ensemble de la communauté sismologique européenne. Remplace l'ancienne échelle MSK mise au point en 1964.

**Enjeu** : population, constructions et ouvrages de génie civil, activités économiques, services et infrastructures publiques exposés à un aléa.

**Epicentre** : point de la surface situé à la verticale du foyer.

**Foyer ou hypocentre** : origine en profondeur du séisme.

**Intensité** : mesure des effets d'un séisme sur les hommes et sur les structures en un lieu donné à la surface. L'intensité en un point dépend non seulement de la taille du séisme (magnitude) mais aussi de la distance au foyer, de la géologie locale et de la topographie.

**Magnitude** : mesure de la force d'un séisme ou de son énergie libérée, déterminée à partir des enregistrements sur les sismographes.

**Réplique** : secousse plus faible succédant au séisme dit "principal", au même lieu.

**Risque** : probabilité de pertes en vies humaines, blessés, dommages aux biens et atteinte à l'activité économique au cours d'une période de référence et en une région donnée pour un aléa particulier. Le risque est la combinaison de l'aléa, de la vulnérabilité et des enjeux.

**Tsunami** : raz de marée, énorme vague causée par le séisme.

**Vulnérabilité** : pourcentage de pertes (de 0 à 100 %) en fonction de l'importance du séisme (atteintes à la population, endommagements des constructions et des infrastructures, pertes indirectes : moyens de production, conséquences sociales...).

**Zonage sismique** : classement selon 5 zones de sismicité croissante (0, Ia, Ib, II et III) quantifiant le niveau sismique à prendre en compte pour l'application des règles de constructions parasismiques.

---

<sup>1</sup> **BRGM** : Bureau de Recherches Géologiques et Minières <http://www.brgm.fr/>

# INTRODUCTION

---

Selon les statistiques, notre planète subit entre 500 000 et 1 million de tremblements de terre par an<sup>2</sup>, ce qui engendre plus de 230 000 victimes sans compter les dégâts matériels causés. D'une part, un risque sismique correspond à une association d'un aléa, qui représente la probabilité qu'un séisme se produise dans une région pendant une période donnée. Et d'une autre part, la vulnérabilité correspondant aux dommages aux bâtiments ainsi qu'aux atteintes à la population ; cette combinaison forme le risque sismique.

Le risque sismique représente un fort enjeu dans le domaine de l'aménagement et l'environnement. De ce fait, ce type de risque a été intégré dans les documents d'urbanisme ainsi que dans l'ensemble des dimensions du développement durable. En effet, le risque sismique a été inclus dans la réflexion gouvernementale car il représente aussi bien un risque physique que social. Ceci a amené l'Etat et les collectivités à mieux cerner le risque en identifiant les zones les plus exposées, et en fondant une politique de prévention du risque afin de minimiser les dégâts lors d'un séisme.

Au-delà de l'intégration du risque sismique dans l'aménagement du territoire et la création des zonages et documents de prévention du risque, ce phénomène reste, tout de même, imprévisible entraînant donc des difficultés au niveau de la prévention et de la gestion de crise. Cette propriété du séisme fait que la majorité des évacuations se font après la catastrophe, en incitant les personnes à quitter les bâtiments situés dans les zones impactées et à les rediriger vers des Centre d'Accueil et de Regroupement (CARE).

Étant en cinquième année d'ingénieur du département "Génie de l'Aménagement et de l'Environnement" de Polytech Tours, nous sommes amenés à élaborer un Projet de Fin d'Etudes (PFE) en collaboration avec le département "Génie de l'Informatique". Ce sujet est un travail qui vient à la suite d'une recherche faite par des enseignants-chercheurs de notre université [SERRHINI et al, 2017]. Le sujet de ce mémoire présente une étude de l'affectation post-séisme sur la ville de Nice et la recherche d'une solution optimale pour affecter la majorité, voire la totalité, de la population de la ville à des CARE.

Ce mémoire s'articule en cinq parties. Dans un premier temps nous commencerons par un état des lieux qui nous permettra d'évoquer notre problématique, ensuite nous présenterons notre état de l'art. Puis, nous expliquerons notre approche méthodologique, dès lors nous proposerons des scénarios d'évacuation. Finalement, nous étudierons les moyens de communication et de diffusion d'informations à la population.

---

<sup>2</sup> **Planetoscope** : <https://www.planetoscope.com/Catastrophes-naturelles/1020-nombre-de-tremblements-de-terre.html>

# PARTIE 1. PRESENTATION DU PFE

---

## 1.1 CONTEXTUALISATION

A l'inverse de plusieurs pays dans le monde qui sont considérés comme des territoires à sismicité forte, la France métropolitaine est un pays à sismicité modérée. Cette sismicité est due à un rapprochement lent entre la plaque eurasienne et la plaque africaine. En effet, chaque année, la métropole enregistre 1 500 séismes, de magnitude supérieure à 2 (sur l'échelle de Richter), dont 200 dans les Pyrénées. Ces informations sont consultables sur la base de données *SisFrance*<sup>3</sup>, ou sur le *RéNaSS*<sup>4</sup>.

Au Moyen-Age, la France a été confrontée à des aléas sismiques mortels qui ont engendré plusieurs milliers de victimes, des dommages matériels ainsi que des pertes économiques. Le pays a pu, au fur et mesure des années, développer ses moyens de surveillance sismiques, en implantant un réseau de sept stations sismologiques réparties sur l'ensemble du territoire. En plus des surveillances, le gouvernement a lancé un **Programme National de Prévention du Risque Sismique (PNPRS)** aboutissant à la mise en place d'un nouveau zonage sismique qui divise le territoire national en cinq zones de sismicité allant de 1 (sismicité faible) à 5 (sismicité forte), comme le montre la carte suivante :

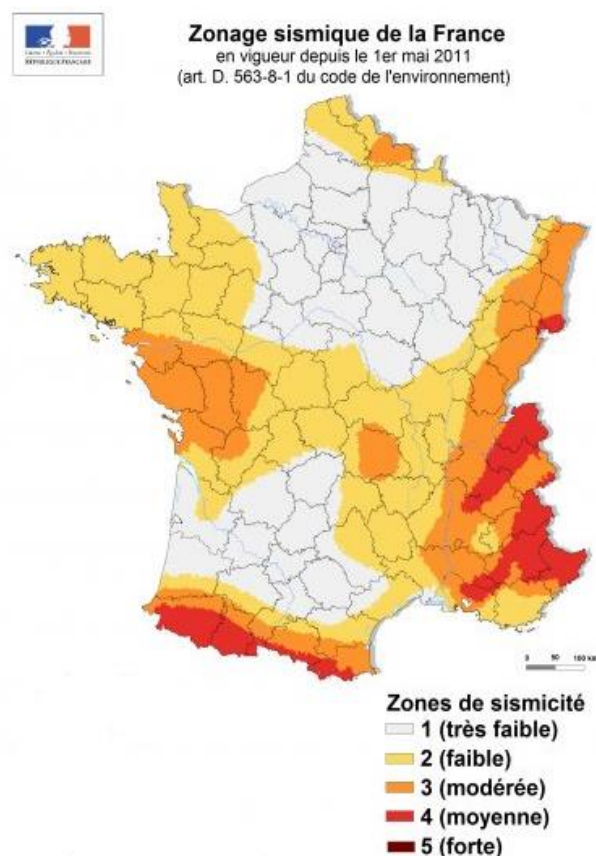


Figure 1 - Zonage sismique de la France ([www.planseisme.fr](http://www.planseisme.fr))

---

<sup>3</sup> **SisFrance** : Relevé et caractéristiques des séismes historiques et contemporains en France  
<http://www.sisfrance.net/>

<sup>4</sup> **RéNaSS** : Réseau National de Surveillance Sismique <http://renass.unistra.fr/>

## 1.2 ZOOM SUR NOTRE TERRITOIRE D'ETUDE

En France métropolitaine, la région Provence-Alpes-Côte d'Azur est la plus soumise au risque sismique. Au sein de cette région, le département des Alpes-Maritimes représente la plus grande surface exposée à l'aléa le plus fort. D'après un zonage sismique de la France réalisé en 1989 à partir de l'étude de 7 600 séismes (décret du 14 mai 1991)<sup>5</sup>, **l'agglomération de Nice est la plus exposée de la France métropolitaine**. En effet, la ville de Nice a été exposée au plus fort séisme connu de toute la métropole, qui s'est produit le 23 février 1887 et dont la magnitude est estimée entre 6.3 et 6.4 sur l'échelle de Richter. Ce dernier a touché 80 000 habitants, a causé 635 morts et 555 blessés selon *Azurseisme*<sup>6</sup>.

En considérant ce risque qui peut fortement impacter la ville de Nice (d'un point de vue probabiliste), un **Plan de Prévention du Risque Sismique (PPRS)** a été réalisé par l'Etat et en collaboration avec la commune. Ce plan est centré sur la connaissance de l'aléa, mais les futurs PPRN sismiques prendront en compte la vulnérabilité des bâtiments et des infrastructures existants.

En plus de ce plan, un **Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM)**, a été réalisé sous la responsabilité du Maire de la commune. C'est un document obligatoire destiné aux niçois afin de les informer de tous les risques naturels et technologiques pouvant impacter le territoire ainsi que les actions qui devront être menées par les habitants pour réduire les conséquences de ce risque.

La différence fondamentale entre les autres risques naturels et le risque sismique, est que ce dernier est un phénomène imprévisible qui impose donc une évacuation post-catastrophe ; ce qui oblige la population à quitter les bâtiments pour se rendre aux Centres d'Accueil et de Regroupement (CARE). Ces informations sont mentionnées dans le **Plan Communal de Sauvegarde (PCS)** de Nice qui indique un schéma de gestion de crise (*Figure 2*) suivant une évacuation post-séisme, interne et pédestre.

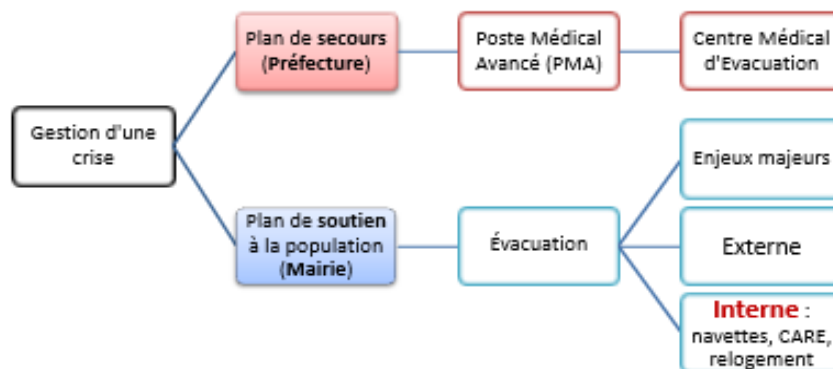


Figure 2 - Schéma de gestion de crise NICE (Source : K. Serrhini)

Comme mentionné précédemment, un zonage a été effectué sur la commune de Nice, montrant différents taux de dommages et permettant ainsi d'estimer le nombre de sans-abri par bâtiment.

	État d'habitabilité	Classe de dommages associées	Accès
	Bâtiment habitable	D1	Autorisé
	Bâtiment dangereux	D2 - D3	Restreint
	Risque d'effondrement	D4 - D5	Interdit

Figure 3 - Classes des dommages (K. Serrhini)

<sup>5</sup> **Légifrance** : <https://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=LEGITEXT000006067648&dateTexte=20180119>

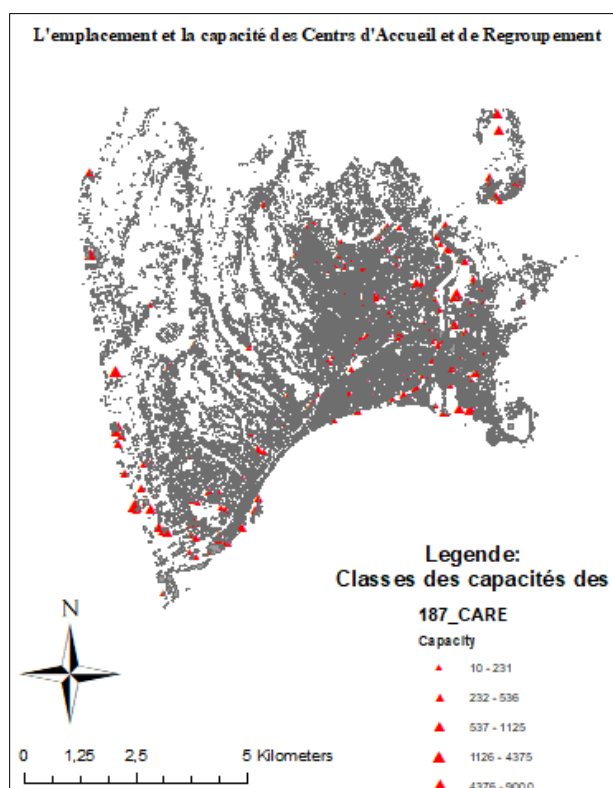
<sup>6</sup> **Azurseisme** : site internet sur la sismicité des Alpes-Maritimes et ses territoires limitrophes <https://www.azurseisme.com/-Seisme-ligure-de-1887,17-.html>

### 1.3 PROBLEMATIQUE

Dans notre étude on ne prend en compte que les bâtiments dont les dommages sont supérieurs à D3 et où le NSA est non nul. Ci-dessous notre instance de travail :

Nombre de bâtiments	50 634
NSA	99 314
Nombre de CARE	187
Capacité totale des CARE	83 731

En se basant sur le tableau ci-dessus, nous avons créé une carte qui indique l'emplacement des CARE et leurs capacités selon une symbologie basée sur la classification des seuils naturels de Jenks<sup>7</sup>. Ceci a été fait à l'aide de ArcGIS que nous introduirons dans une prochaine partie ainsi qu'une base de données contenant une couche de l'ensemble des bâtiments et une couche des différents CARE.



#### Statistiques concernant les CARE et leur capacité :

Capacité minimale d'un CARE	10 personnes
Capacité maximale d'un CARE	9000 personnes
Capacité totale	83731 personnes
Moyenne	447 personnes
Médiane	219 personnes
Ecart-type	889 personnes

Figure 4 – Carte représentant les emplacements des 187 CARE et leurs capacités

Après analyse de notre instance de départ, la capacité totale des CARE ne permet pas l'accueil de l'ensemble des sans-abri. Ce problème étant notre problématique de recherche.

<sup>7</sup> Une méthode de classification manuelle des données qui cherche à partitionner les données en classes basées sur des groupes naturels dans la distribution de données.

# PARTIE 2. ETAT DE L'ART

---

Le but de notre étude est de chercher une combinaison qui mènera à une affectation optimale, autrement dit, de chercher comment nous pouvons affecter le maximum de Sans-Abri (SA) voire la totalité des SA aux CARE existants tout en minimisant la distance parcourue par les SA. Nous devons ainsi chercher une solution optimale pour les différentes fonctions objectifs.

Afin de mieux cerner notre problématique, nous avons consulté différents documents qui traitent d'une façon générale ou approfondie le problème.

Notre étude repose sur une **optimisation multiobjectif**, qui est une branche de l'optimisation combinatoire, dont la spécificité est de déterminer l'optimum d'une fonction avec ou sans contraintes. Pour ce type de problème, il est impossible de trouver une solution admettant une valeur optimale, mais il existe plutôt un ensemble de valeurs optimales, formant une **frontière de Pareto** (notion initiée par *Vilfredo Pareto* [1896] et définie comme étant « un équilibre tel que l'on ne peut pas améliorer un critère sans détériorer au moins un des autres critères »).

Le problème d'optimisation multiobjectif a été analysé de façons multiples et reste l'objet d'étude de plusieurs chercheurs et scientifiques.

## 2.1 LE PROBLEME DU P-MEDIAN

Afin d'avoir une multitude de visions pour notre problématique, nous avons consulté la thèse de *Jérôme Baray* [BARAY, 2012], professeur à l'Université Paris-Est Créteil. Cette thèse est fondée sur un exemple d'étude dont le problème de base est de localiser un nombre  $p$  d'activités devant fournir  $n$  clients de façon à ce que la somme des distances séparant chaque activité aux clients les plus proches soit minimale. Cela entraîne, de façon systémique, une optimisation du nombre de points de vente et leurs emplacements en connaissant la localisation des consommateurs, les coûts de déplacements et la demande.

Dans sa thèse, J. Baray distingue deux catégories de clientèle. La première domiciliée dans une zone proche du point de vente, nommée zone de chalandise, et attirée par un point de vente jouant le rôle d'un pôle, représentant une attraction polaire. La deuxième ayant un caractère plus aléatoire, est induite par le flux de clientèle passant à proximité du point de vente interceptée par ce dernier, représentant une attraction passagère.

A l'issue de cette thèse, J. Baray présente différents moyens de résolution pour l'optimisation multiobjectif en se basant sur le principe de l'attraction polaire. L'une de ces méthodes, présentée sous le nom de **p-médian (p-MP)** « qui représente une variante de la classe des problèmes de localisation dans le domaine de l'optimisation combinatoire » [GAY, 2011], développée au début du XXème siècle par *Alfred Weber* [WEBER, 1909] qui était un économiste, sociologue, pédagogue et professeur d'université. Ce modèle peut être appliqué à une multitude de problèmes comme la localisation des services d'urgence (police, pompiers, urgences médicales), les réseaux de communication et informatique (localisation des fichiers informatiques sur une série de serveurs identifiés), les applications militaires (centres militaires stratégiques), les activités des services public ou privé (les magasins, centres commerciaux, postes), les activités de transport (arrêts de transport en commun, entrepôts), l'intelligence artificielle et les modèles statistiques (partition de nuages de points), ainsi que d'autres centres d'applications [HANDLER et al, 1979].

Le problème p-MP appartient à la classe des problèmes NP-complets, à savoir que l'algorithme devient insoluble quand le nombre de variables (activités et clients) augmente avec une progression exponentielle de la taille du problème.

La résolution du p-médian repose sur l'hypothèse qu'il existe déjà un réseau constitué de nœuds ou de points et de liens entre un point  $i$  et un point  $j$ , qui engendra un coût de déplacement représenté par la distance  $d_{ij}$ .

L'objectif est de trouver l'emplacement optimal des activités au sein des nœuds du réseau tout en minimisant la distance totale entre  $p$  activités et les clients qui leur sont associés.

La formulation du problème p-médian, qui suppose que tous les nœuds du réseau possèdent une qualité de localisation potentielle pour les activités et que les  $p$  activités seront localisées en des points distincts, se définit sous la forme suivante :

Minimiser  $\sum_i \sum_j a_i d_{ij} x_{ij}$  représente la fonction objectif,  
 avec  $\sum_i x_{ij} = 1, \forall i$ , assure que tous les clients sont assignés à une activité et une seule,  
 $x_{ij} \leq y_j, \forall i, j$  empêche d'assigner un client à une activité si elle n'est pas ouverte,  
 $\sum_j y_j = p$  le nombre total d'activités est  $p$ ,  
 $x_{ij}, y_j \in \{0,1\}, \forall i, j$  nature binaire des variables  $x_{ij}, y_j$

où

$a_i$  : la demande au nœud  $i$ ,

$d_{ij}$  : la distance du nœud  $i$  au nœud  $j$ ,

$p$  : le nombre d'activités,

$x_{ij} = 1$ , si le nœud  $i$  est assigné à l'activité  $j$  et 0 autrement,

$y_j = 1$ , si l'activité  $j$  est ouverte et 0 autrement.

Sachant que la résolution est aussi basée sur une logique d'analyse combinatoire, le nombre de solutions possibles, en fonction du nombre de nœuds  $n$  et du nombre d'activités  $p$  à placer, est de  $\frac{n!}{p!(n-p)!}$  ainsi en se positionnant sur l'instance de départ, cette analyse combinatoire est impossible à résoudre car le nombre de nœuds est beaucoup trop élevé.

Après avoir rencontré cette limite au niveau de la résolution du problème, Jérôme Baray, choisit d'améliorer le modèle existant en y introduisant d'autres moyens de résolution tels que les multiplicateurs de Lagrange, la résolution par des algorithmes génétiques, l'algorithme flou, de recherche, de voisinage, une heuristique ainsi que d'autres moyens [BARAY, 2012].

Ce problème d'optimisation multiobjectif est aussi présent dans l'ouvrage de Yann Colette, Professeur et Patrick Siarry [COLETTE et al, 2012]. D'après les auteurs, ce problème d'optimisation est en pleine « expansion » vu le nombre de conférences, publications qui s'accroît rapidement.

## 2.2 PROBLEME DU BIN PACKING

Le problème du *bin packing* est un problème algorithmique qui fait partie des problèmes d'optimisation combinatoire. Il existe diverses approches du problème *bin packing*, mais si nous nous positionnons sur la plus connue, le principe de ce problème repose sur le fait que nous disposons d'un nombre de boîtes dont la capacité  $C$  est identique, de  $n$  objets distingués par leurs poids  $w$ . Ceci est dans le but de trouver un nombre minimal de boîtes nécessaires pour ranger l'ensemble des objets présents. Nous pouvons représenter ce type de problème sous la forme suivante :

Minimiser  $f(x) = \min \sum_{j \in \{1, \dots, n\}} y_j$  représente la fonction objectif

$$\sum_{j \in \{1, \dots, n\}} x_{i,j} = 1$$

$$\sum_{i \in \{1, \dots, n\}} w_i * x_{i,j} \leq C * y_j \quad \forall j \in \{1, \dots, n\}, \text{ empêche de dépasser la capacité,}$$

où

La variable  $x_{i,j} = 1$  si l'objet  $i$  est rangé dans la boîte  $j$  et 0 autrement

La variable  $y_j = 1$  si la boîte  $j$  est utilisée et 0 autrement,

$n$  est le nombre d'objets, représente dans notre cas le nombre de bâtiments à évacuer

$m$  est le nombre de boîtes, représente dans notre cas le nombre de CARE

$w_i$  est la taille de l'objet  $i$ , représente dans notre cas le NSA dans un bâtiment

$C$  est la capacité de chaque boîte, représente dans notre cas la capacité du CARE

En se basant sur la formulation et sur le principe, la différence entre le problème du *bin packing* et notre problématique est que la capacité des CARE de notre territoire d'étude ne sont pas identiques alors qu'en théorie la taille des boîtes doit l'être.

## 2.3 ALGORITHME HEURISTIQUE ET METAHEURISTIQUE

A ce jour, les problèmes d'optimisation combinatoire, qui sont des problèmes NP-difficiles, ne possèdent pas d'algorithme apte à trouver la solution optimale en un temps raisonnable. De ce fait, les chercheurs ont réussi à développer différentes méthodes de résolution qui sont divisés en deux grandes classes : les méthodes exactes (complètes) et les méthodes approchées (incomplètes).

Les méthodes dites approchées permettent de trouver une solution admissible qui n'est pas forcément optimale dans un temps raisonnable. Ce type de résolution peut être appliqué à n'importe quelle classe de problèmes. Ces dernières peuvent être divisées en deux classes : heuristiques et métaheuristiques.

Une heuristique est une technique de résolution adaptée à un problème précis, autrement dit, c'est une règle basée sur l'expérience qui permet d'avoir rapidement une solution presque optimale de haute qualité [NINGCHUAN, 2015, p.230] d'un problème, sans promettre une solution optimale. Nous pouvons citer à titre d'exemple l'*heuristique MOMS (Maximum Occurrences in Clauses of Minimum Size)* qui permet de sélectionner la variable ayant le plus d'occurrences dans les clauses les plus courtes. L'*heuristique JW (Jeroslow-Wang)* est un autre exemple d'heuristique, basé sur la longueur des clauses et qui permet d'avoir le poids des autres apparaissant dans les clauses les plus petites.

Le terme « méta-heuristique » signifie « trouver dans un niveau supérieur ». De ce fait, les méta-heuristiques ont été créées dans le but de trouver des solutions, pas toujours optimales, mais en tout cas très proches de l'optimum. Ce type de méthodes approchées possède huit propriétés fondamentales :

- Elles sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution optimale.
- Le but de leurs utilisations est d'explorer l'espace de recherche efficacement afin de déterminer des solutions (presque) optimales.
- Les techniques qui constituent des algorithmes de type méta-heuristique vont de la simple procédure de recherche locale à des processus d'apprentissage complexes.
- Les métaheuristiques sont en général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité.
- Les méta-heuristiques peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche.
- Les concepts de base des méta-heuristiques peuvent être décrit de manière abstraite, sans faire appel à un problème spécifique.
- Les méta-heuristiques peuvent faire appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème de niveau supérieur.
- Les méta-heuristiques peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider la suite du processus de recherche.

## 2.4 UNE PROBLEMATIQUE LIEE A L'AFFECTATION OPTIMALE DU NSA AUX CARE

Cet état de l'art avait pour but de rassembler les informations nécessaires à la définition de notre problème et des différents moyens existant quant à la résolution de celui-ci. Comme indiqué précédemment, beaucoup de chercheurs se sont intéressés au sujet d'optimisation multiobjectif et ont présenté une multitude de méthodes et solutions associées, mais on s'est concentré sur le problème du p-médian qui touche directement notre sujet. Dans notre cas, le problème se traduit par la formule mathématique suivante composée de deux fonctions objectifs :

Fonction objectif 1 :  $\sum_j \sum_i (P_{ij} * Distance_{ij} * x_{ij}) \min$

Fonction objectif 2 :  $\sum_j W_j \max$

tels que :  $\sum_i (P_{ij} * x_{ij}) \leq W_j$

$$x_{ij} \in \{0,1\}, \quad 1 \leq i \leq n \text{ et } 1 \leq j \leq m$$

La première fonction objectif sert à minimiser la distance parcourue entre un bâtiment et son CARE d'attribution, et la seconde sert à maximiser la capacité des CARE.

Le problème du p-médian est en parti utilisé par le module *Emplacement-Allocation* de ArcGIS qui est un Système d'Information Géographique (SIG), soit un système de gestion, d'organisation, d'analyse, de communication et de diffusion d'informations géographiques.

La prochaine partie de ce projet est une explication de ce module utile à la résolution de notre problème. Afin de travailler sur ce logiciel, différentes couches sont nécessaires dont :

- les bâtiments de la ville (avec le nombre de personnes à évacuer),
- les CARE de Nice (avec leur capacité d'accueil),
- et le réseau routier de Nice.

# PARTIE 3. METHODE ET RESULTATS

---

## 3.1 MODULE « EMBLEMENT-ALLOCATION » DE ARCGIS

### 3.1.1 PRESENTATION DE LA FONCTION

Le module emplacement-allocation permet d'identifier des emplacements de telles manières que les ressources répondent à un ensemble d'emplacements de demandes. Ainsi, il est possible de minimiser les ressources nécessaires, d'optimiser la part de marché ou la fréquentation ou bien encore de tenter de réduire les coûts pour répondre à une demande.

L'outil de résolution de ce module choisit les meilleur(e)s emplacements ou allocations parmi un ensemble d'emplacements en entrée. Les ressources en entrée produisent des biens ou des services et les points de demandes consomment ces biens et services. L'objectif de ce module est de localiser les ressources qui permettent de répondre le plus efficacement à la demande. L'outil de résolution de problème permet d'analyser différents moyens d'allocation des ressources aux points de demande. La solution est le scénario qui permet d'allouer la plus grande demande aux ressources disponible tout en minimisant l'impédance<sup>8</sup> totale. La solution comprend les ressources, les points de demande qui leurs sont associées et les lignes reliant les points de demande à leurs ressources.

Le module d'emplacement-allocation peut être configuré pour résoudre des types de problèmes dit "courants", tels que :

- une commune souhaite trouver les meilleurs emplacements pour des casernes de pompier de telle manière à ce que chaque habitation soit à moins de 10min d'une caserne.
- en cas de séisme, une commune souhaite identifier les meilleurs emplacements afin de déployer des centres d'accueil de capacité limité, pour prendre en charge la population.
- une enseigne de la grande distribution souhaite voir quels emplacements potentiels de points de vente elle doit développer afin d'attirer 15% du marché de la région.
- une gendarmerie souhaite positionner des équipes en fonction des incidents de la journée passée.

### 3.1.2 ALGORITHMES DE RESOLUTION

Le solveur d'emplacement-allocation » de *Network Analyst* résout les problèmes à l'aide de l'heuristique (cf. 2.3. *Algorithme heuristique et métaheuristique*).

Premièrement, le solveur commence par **créer une matrice de coût origine destination (matrice OD)** du plus court chemin entre toutes les ressources et les points de demande le long du réseau. Ensuite, une version modifiée de la matrice OD est créée à l'aide d'un processus appelé « **modification de Hillsman** ». Cette modification permet à cette même heuristique de résoudre divers types de problèmes différents. Dès lors, le solveur d'emplacement-allocation, **génère un ensemble de solutions semi-aléatoires** et applique une heuristique de « **substitution de sommet** » (Teitz et Bart)

---

<sup>8</sup> **Impédance** : L'impédance représente la quantité (ou le coût) requis pour passer d'un élément du réseau à un autre. L'impédance peut être une mesure de la distance parcourue, du temps, de la vitesse de déplacement multipliée par la distance, etc.

pour perfectionner ces solutions afin de créer un sous-ensemble de bonnes solutions. Puis, **une métaheuristique effectue des combinaisons de ce sous-ensemble de bonnes solutions** pour créer de meilleures solutions. Finalement, lorsqu'aucune amélioration supplémentaire n'est possible, **la métaheuristique retourne la meilleure solution trouvée**.

« La combinaison d'une matrice modifiée, de solutions initiales semi-aléatoires, d'une heuristique de substitution de sommets et d'une métaheuristique d'affinage permet d'obtenir rapidement des résultats proches de l'optimum. » *Arcgis Desktop – ESRI*

## 3.2 MODELISATION DU MODELE MULTI-OBJECTIF ET APPLICATION SUR LE QUARTIER DU « CENTRE » A NICE

Le module emplacement allocation sous ArcGIS présenté précédemment, propose 7 types de problèmes différents afin de traiter des types de questions spécifiques. Les 4 premiers types de problèmes seront développés par la suite car ils se rapprochent le plus de notre étude, les autres traitant plutôt des problèmes de concurrence entre les ressources.

Ci-dessous la liste des différents problèmes pouvant être résolu avec le module “Emplacement-Allocation” :

- Minimiser l'impédance
- Optimiser la couverture
- Optimiser la couverture de capacité
- Minimiser les ressources
- Optimiser la fréquentation
- Optimiser la part de marché
- Part de marché cible

Afin de mieux comprendre la fonction de chaque type de problème, une approche sur un territoire réduit a été choisie. Dès lors, le territoire est défini comme étant un regroupement de 25 IRIS<sup>9</sup> sur notre territoire d'étude formant le cœur de ville. Ce contour regroupe deux quartiers : *Jean-Médecin* et la *Vieille Ville*, pour un souci de praticité nous appellerons ce groupement : « **Le Centre** ». Voici notre instance d'étude :

Nombre de bâtiments	4014
NSA	33 370
Nombre de CARE	23
Capacité totale des CARE	5846

### Contours du quartier du Centre :

Le quartier du *Centre* possède des frontières remarquables qui sont :

- à l'Ouest, par le Boulevard Gambetta,
- à l'Est, par le boulevard Carabacel,
- au Nord, par le boulevard Joseph Garnier,
- et au Sud, par la Promenade des Anglais,

Le Centre est traversé par la voie rapide Pierre Mathis ainsi que par le train dont la gare ferroviaire se trouve dans les contours du quartier.

---

<sup>9</sup> **IRIS** : *Ilots Regroupés pour l'Information Statistique*, développés par l'INSEE, ils représentent un découpage du territoire en mailles de tailles homogènes. Les IRIS sont homogènes quant au type d'habitat et leurs limites s'appuient sur des grandes coupures du tissu urbain (voies principales, voies ferrées...)

Le quartier d'une superficie de 3km<sup>2</sup> et d'une population de 57314 habitants est un quartier dense. Le cœur de ville est aussi un quartier ancien, ce qui signifie que la résistance des bâtiments est plus faible que les bâtiments récents (la classe de dommages est supérieure à D4). Le NSA y est alors très élevé (33370 SA), ce qui représente 33.6% des SA de la ville de Nice alors que la superficie du « Centre » ne représente que 4.1% de la superficie totale de la ville (7,92km<sup>2</sup>).

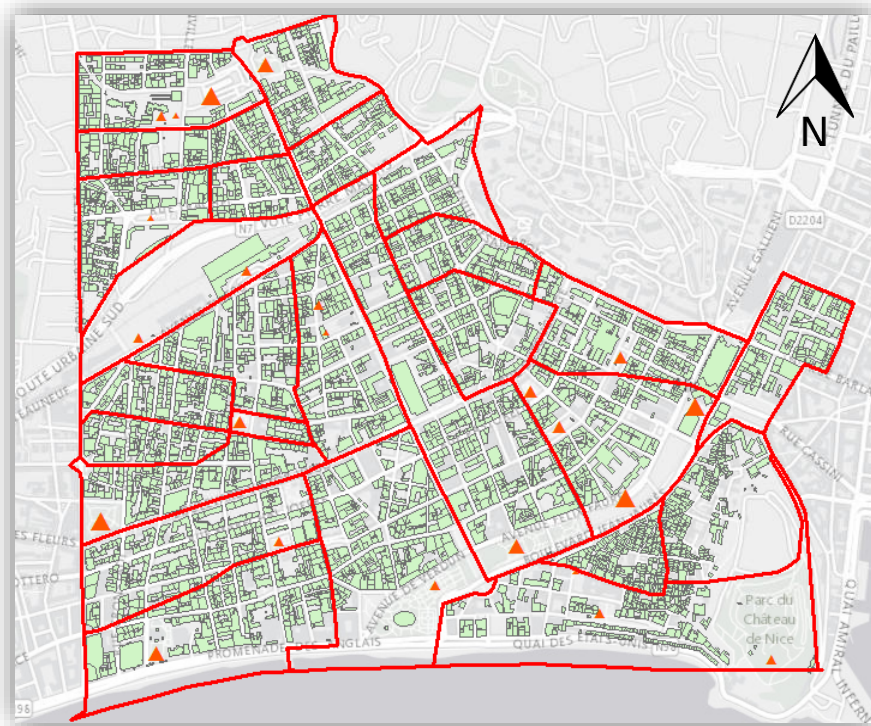


Figure 5 – Zoom sur le quartier du « Centre » (réalisation personnelle)

### 3.2.1 MINIMISER L'IMPEDANCE

#### Définition du problème :

Pour chaque bâtiment (point de demande) un CARE (ressource) lui est alloué de manière à minimiser la somme de toutes les distances (coûts unitaires) pondérées entre les bâtiments et les CARE de la solution finale.

Le type de problème "Minimiser l'impédance" sélectionne les ressources de manière à ce que la somme totale des impédances pondérées (demandes allouées à une ressource multipliées par l'impédance de la ressource) soit minimisée.

Ce type de problème est souvent utilisé pour la localisation d'entrepôts, car il permet de minimiser les distances et par conséquent de réduire les coûts de transport de livraison de marchandises à leur point de vente. L'outil est, puisqu'il permet le calcul de la distance minimale parcourue, souvent utilisé dans le secteur public pour analyser la distance d'une population à une ressource comme un aéroport, une librairie, un musée ou bien des centres de soins.

La liste ci-dessous décrit la façon dont ce type de problème gère la demande et l'attribution de celle-ci à une ressource spécifique : (la liste ci-dessous est issue de l'aide d'ArcGIS)

- Si une limite d'impédance est définie, toute demande à l'extérieur des limites d'impédance de toutes les ressources n'est pas allouée.

- Toute la pondération de demande d'un point de demande situé à l'intérieur de la limite d'impédance d'une ressource est allouée à cette ressource.
- Toute la pondération de demande d'un point de demande situé à l'intérieur de la limite d'impédance de plusieurs ressources est allouée uniquement à la ressource la plus proche

#### Application à notre quartier d'étude :

Paramètres de calcul :

Ressources à sélectionner	23
Paramètre d'impédance	<Aucun>

Remarque : Si aucun paramètre d'impédance n'est entré, l'ensemble des points de demande seront dans la solution finale.

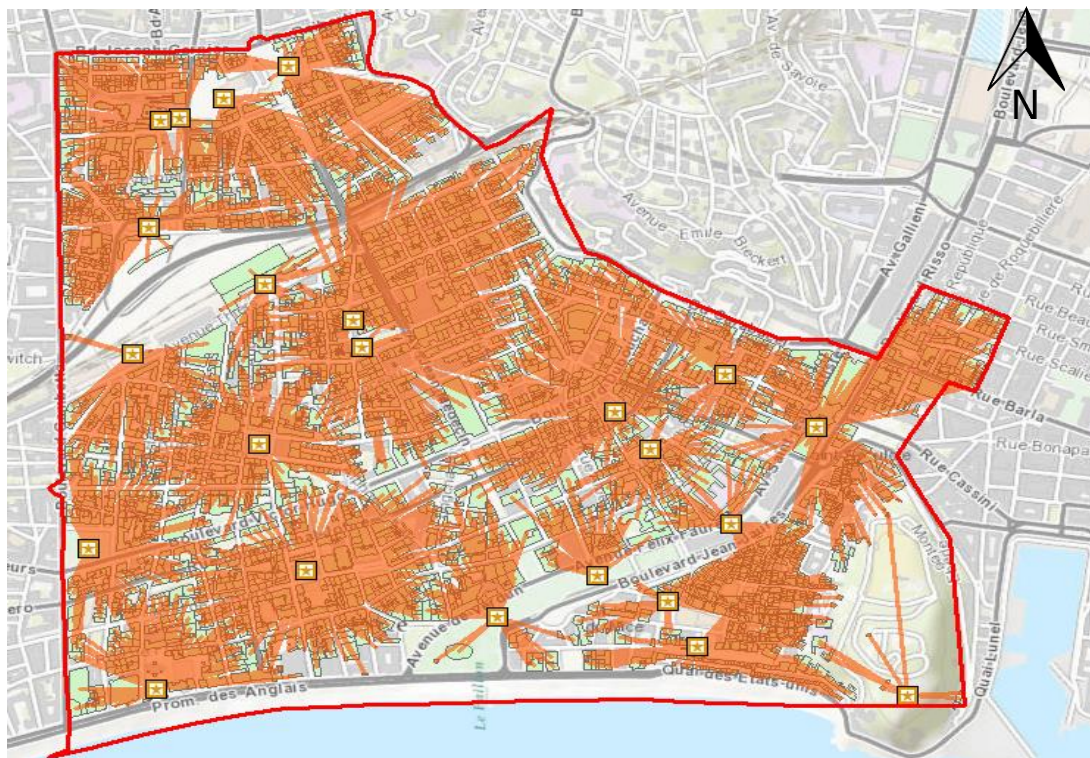


Figure 6 – Résultat de l'outil Minimiser l'impédance (réalisation personnelle)

Grâce à cet outil on peut obtenir dans la table attributaire la somme totale des distances entre les points de demande et les ressources, soit 1 084.3 kms. Ayant rentré le NSA comme poids de chaque bâtiment on obtient en résultat final le nombre total de kilomètres effectués par la population pour se rendre au CARE le plus proche. En faisant la somme de la colonne *TotalWeighted\_Meters* on arrive à un total de 9094km.personnes, donc en moyenne une personne devra faire 272.5m pour se rendre à son CARE d'attribution.

$$\frac{\text{TotalWeighted}_{\text{Meters}}}{\text{Total\_NSA}} = \frac{9\,094\,088}{33\,370} = 272.5\,m$$

- Minimum : 0.84m
- Maximum : 1025m
- Variance : 17712m

- Ecart-type : 133m

### Limites du problème :

Une limite majeure de cet outil est la non prise en compte de la capacité des CARE. Effectivement lors des calculs, chaque bâtiment est affecté au CARE le plus proche sans prise en compte de leur capacité. Si on peut considérer que ceci est une limite, cet outil est prévu à la base pour une résolution mono-objectif : la distance. Un outil vient en complément de ce premier outil et se base sur une résolution multi-objectif. (*cf. 3.2.3. Optimiser la couverture de capacité*)

On peut observer une autre limite, celle-ci étant graphique car on remarque dans les propriétés de la couche lors de la configuration des paramètres d'analyse qu'il n'est possible de choisir que 2 types de formes de sortie : soit aucune, soit des lignes. Les résultats ne sont donc pas facilement interprétables avec ces choix. Il est donc préférable d'utiliser la fonction "Ressource la plus proche" de *Network Analyst* si l'on souhaite un affichage selon le réseau. De plus, en jouant sur la symbologie on peut par exemple faire apparaître les zones où les bâtiments sont les plus loin des CARE (traits foncés) et avoir un premier aperçu des endroits idéals pour la création de nouveaux CARE.

Attention ! L'outil "Ressource la plus proche" ne permet néanmoins pas d'avoir la somme des impédances pondérées et ne permet pas par la suite un calcul des kilomètres.personnes!

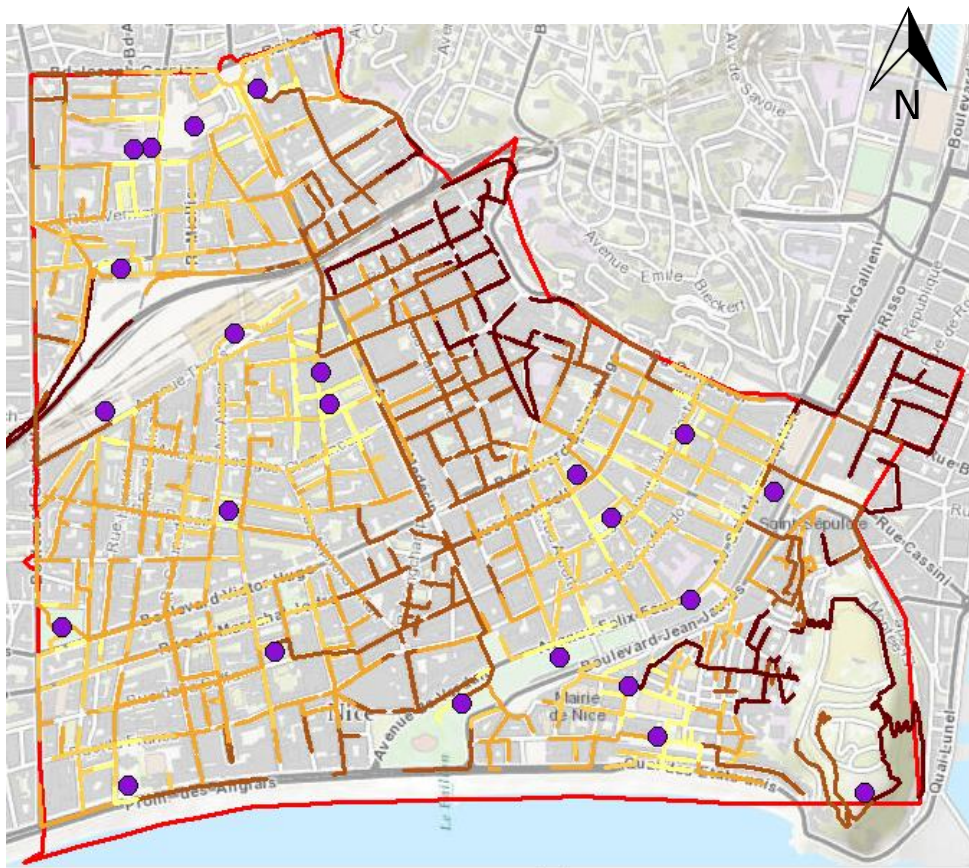


Figure 7 - Résultat de l'outil Ressource la plus proche (réalisation personnelle)

### Autres approches :

Ce problème peut aussi facilement être résolu avec Python ou Toaster<sup>10</sup>. Dès lors, si l'on détermine au préalable un fichier texte contenant l'ID<sup>11</sup> des bâtiments, l'ID des CARE et la distance. Il est facile de trouver la distance minimale d'un bâtiment vers un CARE. Ce calcul peut être fait avec la distance réseau ou la distance euclidienne.

#### Sous Python (distance euclidienne) :

Cette première approche a été effectuée par Kamal SERRHINI, et étudiée l'année dernière sur un PFE portant sur *La résolution du problème d'ordonnancement des opérations d'évacuation post-séisme* (sur le cas de NICE). Le code présent en annexe (cf. Code 1) permet de trouver le CARE d'attribution de chaque bâtiment connaissant les coordonnées des CARE et des bâtiments.

#### Sous Toaster (distance réseau) :

Pour une résolution avec un modèle Toaster, la méthode consiste à extraire de Arcgis la matrice OD (Origine-Destination) de tous les bâtiments vers tous les CARE, on obtient donc une matrice M de taille 92322x3.

Taille(M) = (23 CARE \* 4014 bâtiments) x (3 colonnes (ID bâtiment ; ID CARE ; distance)) = 92322x3

Dès lors, il suffit de rechercher pour chaque ligne la distance minimale et ainsi obtenir la colonne correspondante, colonne qui correspond au CARE d'attribution. L'étape finale consiste à réécrire ce choix dans une nouvelle matrice qui sera de taille 4014x3, les colonnes étant l'ID du bâtiment, l'ID du CARE d'attribution, la distance suivant le réseau.

#### Logigramme Toaster :

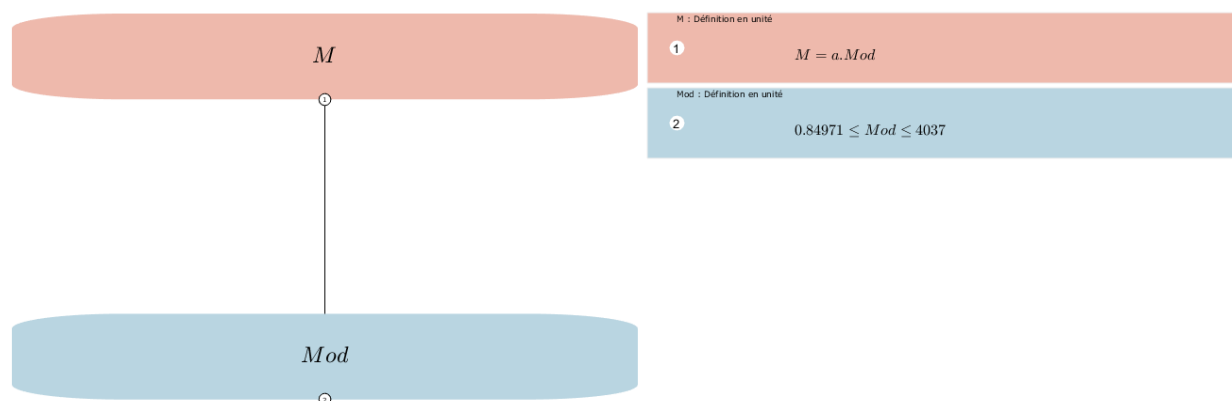


Figure 8 - Logigramme Toaster (réalisation personnelle)

Le code Matlab permettant la génération de la matrice d'affectation des bâtiments à leur CARE le plus proche est présent en annexe (cf. Code 2).

<sup>10</sup> **Toaster** : Plateforme pour l'ingénierie et la modélisation des systèmes urbains dynamiques (Mindjid Maïzia)

<sup>11</sup> **ID** = IDentifier (en anglais) : C'est un nombre qui identifie de façon unique un objet ou un enregistrement.

### 3.2.2 OPTIMISER LA COUVERTURE

#### Définition du problème :

Cette fonction permet d'allouer le plus de bâtiments (points de demande) possible aux CARE (ressources) présents dans la solution qui sont situés à l'intérieur de la limite d'impédance.

Le type de problème "Optimiser la couverture" sélectionne des ressources de manière à ce que le plus de demandes possibles soient dans la solution finale dans la limite d'impédance des ressources. Le type de problème est communément utilisé dans la localisation des casernes de pompiers et des postes de police, qui doivent souvent atteindre tous (ou un maximum) de points de demande en un temps donné. Il est alors important que les données de bases concernant le réseau soient les plus précises possible car derrière la modélisation, se trouve la population qui est bien réelle et donc possiblement des vies en danger.

Les entreprises de livraisons de pizzas utilisent ce type de problème car elles ont pour but de localiser les points de vente de manière à couvrir le plus de gens possible en un temps de trajet donné. Les gens qui commandent sont très regardant en ce qui concerne le temps de livraison de leur produit. Si l'on sait le temps de préparation d'une commande moyenne alors le problème Optimiser la couverture calcule la ressource qui aura dans sa zone de couverture le plus de clients potentiels. Dès lors, la ressource sélectionnée sera la ressource qui idéalement permettrait le meilleur rendement de l'entreprise.

Il ne faut pas confondre ce problème avec celui d'une pizzeria, dans ce cas-là les personnes doivent se déplacer jusqu'au restaurant. Ils sont par conséquent très impactés par la distance à parcourir, ce type de problème rejoint les problèmes d'optimisation de la fréquentation ou de parts de marché (ces problèmes ne seront pas traités dans ce PFE).

La liste ci-dessous décrit la façon dont ce type de problème gère la demande et l'attribution de celle-ci à une ressource spécifique : *(la liste ci-dessous est issue de l'aide d'ArcGIS)*

- Tout point de demande situé à l'extérieur des limites d'impédance de toutes les ressources n'est pas alloué.
- Toute la pondération de demande (NSA) d'un point de demande (bâtiment) situé à l'intérieur de la limite d'impédance d'une ressource est allouée à cette ressource.
- Toute la pondération de demande d'un point de demande situé à l'intérieur de la limite d'impédance de plusieurs ressources est allouée uniquement à la ressource la plus proche.

#### Application à notre quartier d'étude :

Paramètres de calcul :

Ressources à sélectionner	3
Paramètre d'impédance	500 m

Remarque : Le nombre de « ressources à sélectionner » a été arbitrairement choisi et est à définir en fonction des besoins de l'utilisateur.

Dans ce calcul, on cherche à savoir quels sont les 3 ressources, qui permettent de couvrir le plus de demandes possibles dans la limite de 500m suivant le réseau topologique.

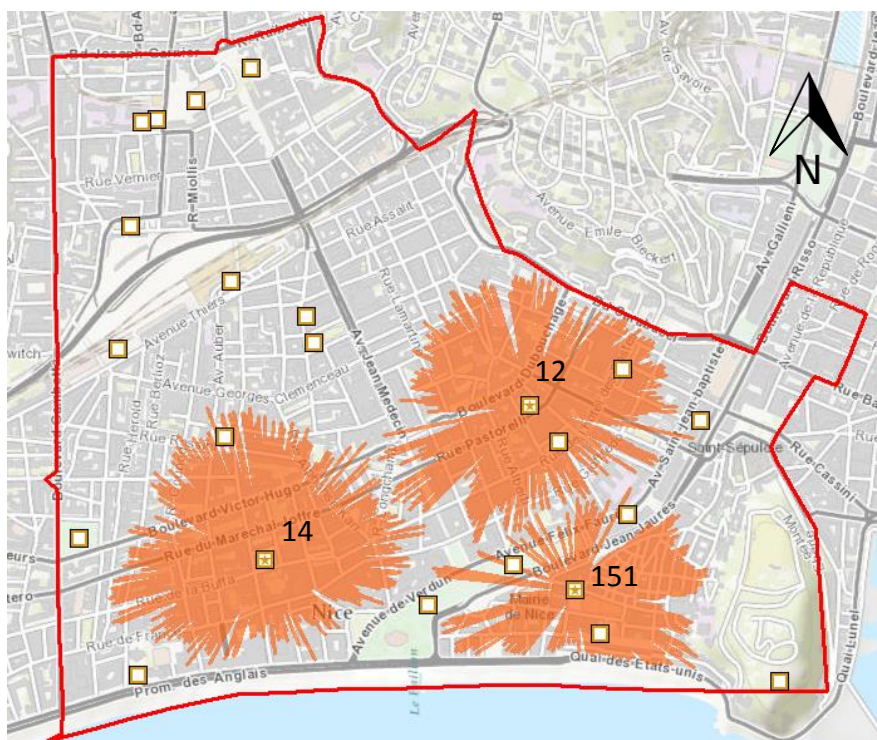


Figure 9 - Résultat de l'outil Optimiser la couverture (réalisation personnelle)

Ainsi, on observe que les CARE 14 ; 12 et 151 permettent de couvrir respectivement 643 ; 583 et 469 bâtiments soit un total de 1695 bâtiments qui représentent 42% des bâtiments de l'instance d'étude.

Si on garde la même limite d'impédance de 500m mais que l'on choisit les 23 CARE à notre disposition on ne pourrait pas couvrir tous les bâtiments. Effectivement, 271 bâtiments sont à plus de 500m de leur CARE le plus proche (cf. Figure 10). Résultat pouvant être obtenu avec l'outil "Minimiser l'impédance", en utilisant une recherche dans la table attributaire : "Total\_Meters" >= 500

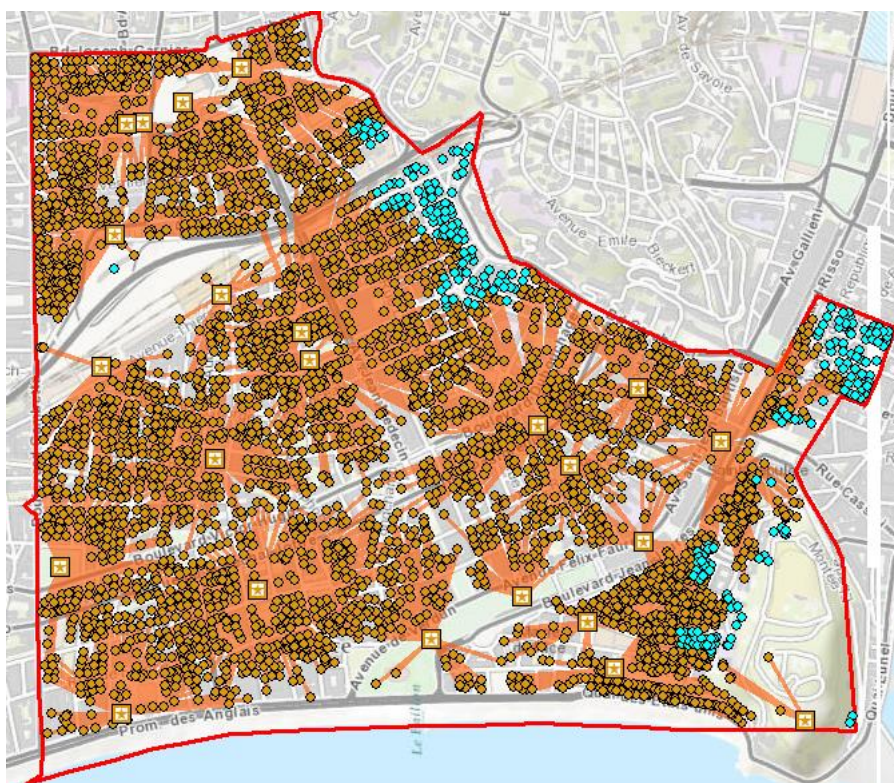


Figure 10 - Bâtiments à plus de 500m d'un CARE (réalisation personnelle)

### 3.2.3 OPTIMISER LA COUVERTURE DE CAPACITE

#### Définition du problème :

Cet outil permet d'allouer le plus de bâtiments (points de demande) possible aux CARE (ressources) présents dans la solution qui sont situés à l'intérieur de la limite d'impédance. De plus, le NSA (demande pondérée) alloué à un CARE ne peut pas dépasser la capacité de ce même CARE. Cette fonction permet une optimisation multiobjectif car elle prend en compte la distance ainsi que la capacité.

Le type de problème "Optimiser la couverture de capacité" sélectionne des ressources de manière à ce que l'intégralité ou le cas échéant une grande partie de la demande puisse être satisfaite, toutefois sans dépasser la capacité des ressources.

Ce type de problème fonctionne comme les outils précédents (Minimiser l'impédance ou Optimiser la couverture) mais avec une contrainte supplémentaire : la capacité. Si aucune limite d'impédance n'est définie dans les paramètres en entrée alors l'outil fonctionne comme une version de capacité de Minimiser l'impédance.

Remarque : Si une ressource ne présente pas de valeur numérique dans la table attributive (un CARE n'a pas de capacité prédéfinie), alors une valeur de capacité par défaut lui est attribuée (valeur pouvant être modifiée).

Le type de problème d'optimisation de la couverture de capacité peut s'utiliser dans différents cas :

- la localisation d'hôpitaux ou la capacité de chacun est limitée
- le repérage d'entrepôts dont les stocks ne sont pas illimités

Voici les principales étapes de cette fonction d'analyse

- Contrairement à Optimiser la couverture, le type de problème Optimiser la couverture de capacité n'a pas besoin d'une limite d'impédance ; toutefois, lorsqu'une limite d'impédance est spécifiée, les points de demande situés à l'extérieur des limites d'impédance de toutes les ressources ne sont pas alloués.
- La pondération de demande d'un point de demande alloué est entièrement (ou pas du tout) attribuée à une ressource. Cela signifie qu'avec ce type de problème, la demande n'est pas répartie. Il n'y a pas de subdivision possible, dans notre cas un bâtiment est affecté ou non.
- Si la demande totale comprise dans la limite d'impédance d'une ressource est supérieure à la capacité de la ressource, seuls les points de demande qui optimisent la demande capturée totale et minimisent l'impédance pondérée totale sont alloués.

#### Application à notre quartier d'étude :

Paramètres de calcul :

Ressources à sélectionner	23
Paramètre d'impédance	<aucun>

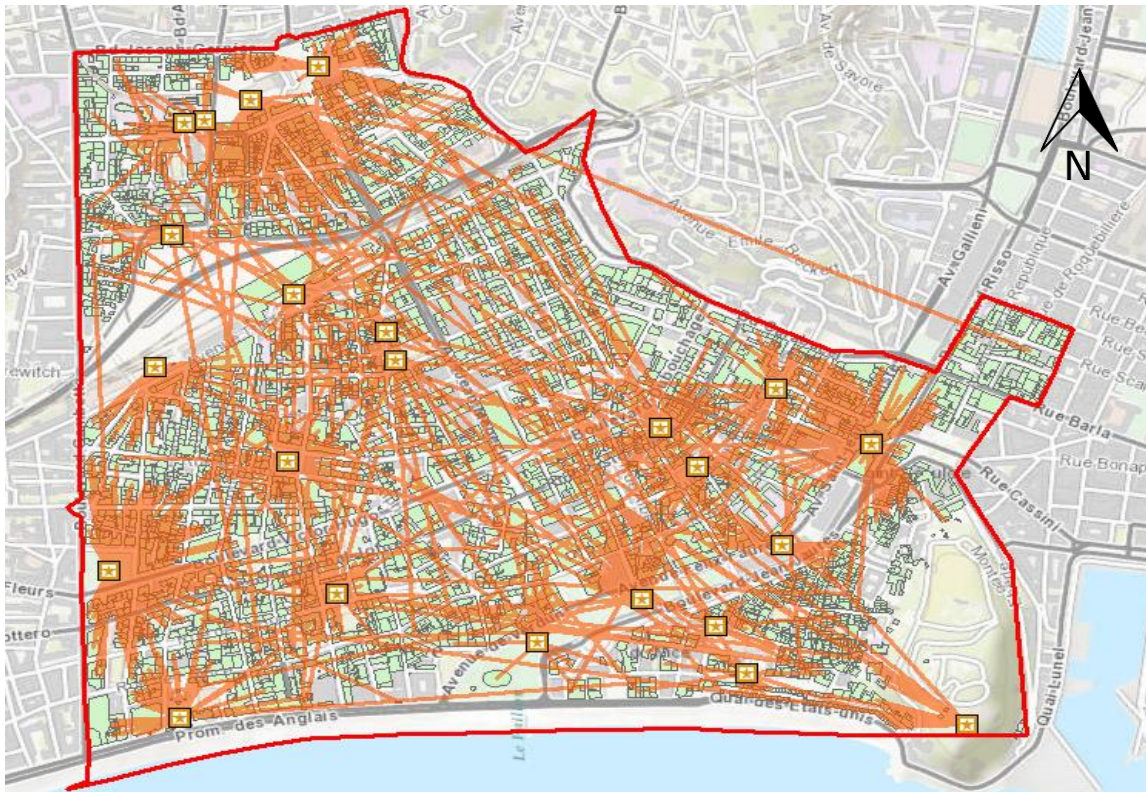


Figure 11- Résultat de l'outil Optimiser la couverture de capacité (réalisation personnelle)

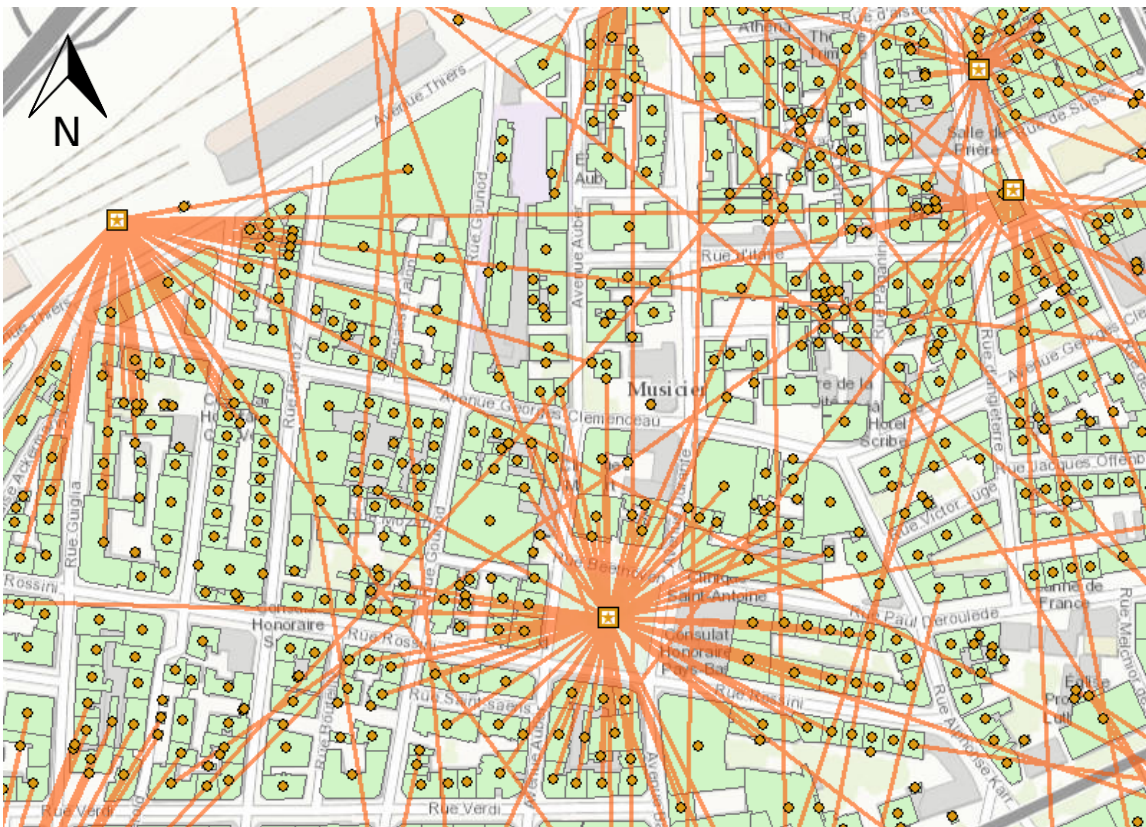


Figure 12 – Zoom du résultat de l'outil Optimiser la couverture de capacité (réalisation personnelle)

Dans notre cas si on ne saisit pas de valeur d'impédance le solveur recherchera à attribuer un maximum de bâtiments (représentés par leurs centroïdes) aux CARE dans la limite de leur capacité. La question de la création d'une limite d'impédance se pose car les NSA ne peuvent pas parcourir une distance infinie. De plus, souvent le NSA est très faible, puisque 91% des bâtiments de l'instance

ont moins de 10 personnes à évacuer (Figure 13) il est donc nécessaire d'analyser sur le taux d'occupation des CARE avec et sans limite d'impédance.

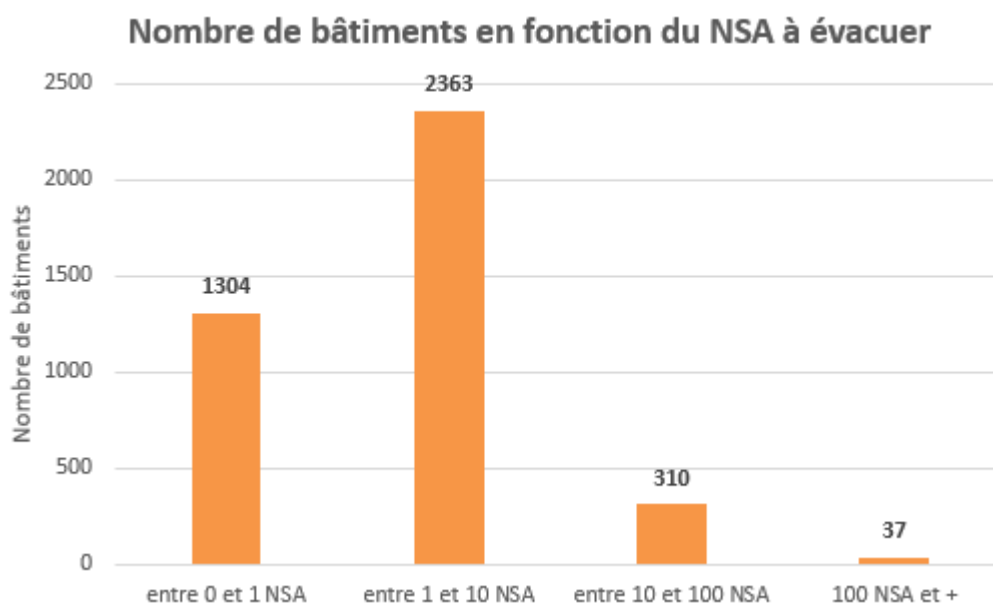


Figure 13 - Graphique du nombre de bâtiments en fonction du NSA à évacuer (réalisation personnelle)

Ainsi, sans impédance, on obtient un taux d'affectation des bâtiments de 33%, et un taux de remplissage des CARE de 99,99% soit 100%, avec un coût de 1070.5km.p.

Capacité totale des CARE	5846
Nombre de NSA affectés	5845,99888
Taux de remplissage	0,999999808
Nombre de batiments affectés	1325
Total mètres.personnes	1 070 506

Avec une impédance de 500m, les résultats sont sensiblement les même le taux d'affectation des bâtiments est de 32%, le taux de remplissage des CARE de 99,35% mais avec un total de 926,8 km.p

Capacité totale des CARE	5846
Nombre de NSA affectés	5808,244415
Taux de remplissage	0,993541638
Nombre de batiments affectés	1300
Total mètres.personnes	926 801

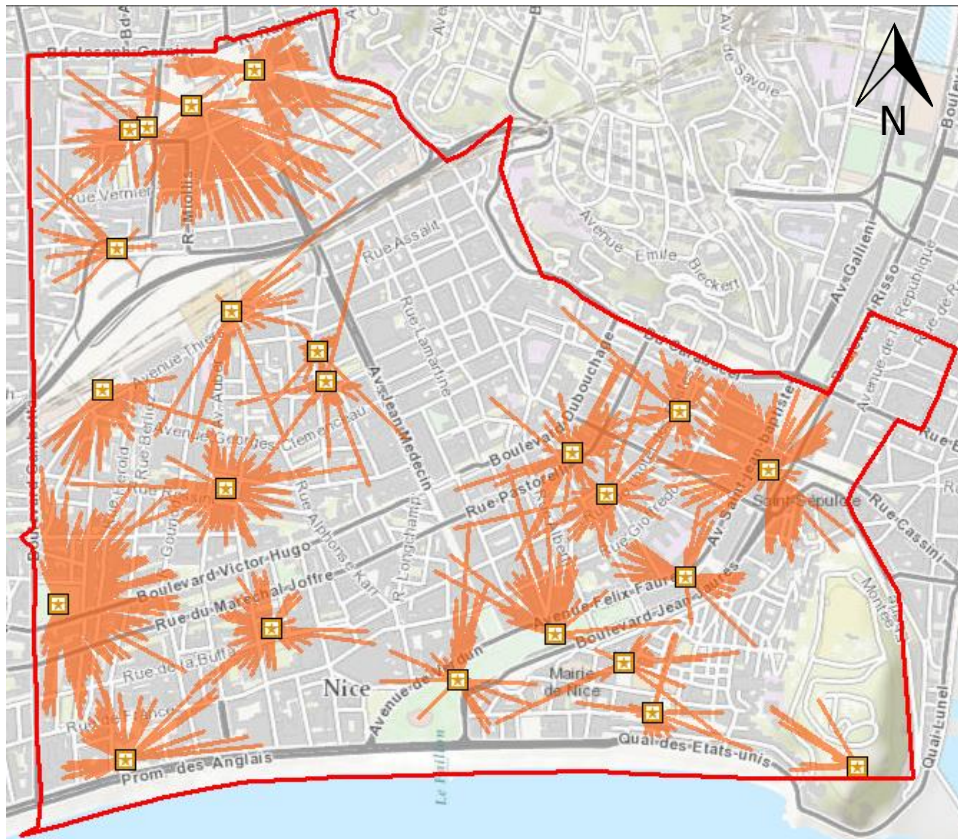


Figure 14 - Résultat de l'outil Optimiser la couverture de capacité, impédance 500m (réalisation personnelle)

En conclusion la limite d'impédance de 500m réduit le nombre de bâtiments affectés de 25 mais ne change presque pas 0.0064% le nombre de personnes affectées à des CARE. Cette légère baisse est dû au nombre très faible de NSA dans certains bâtiments. La question se pose dans notre cas : Faut-il créer une limite d'impédance sous peine de réduire le nombre de personnes pris en charge dans des CARE, ou permettre une surcharge des CARE, augmentant ainsi le nombre de personnes allouées à des CARE tout en réduisant le nombre de kilomètres.personnes ?

#### Limites du problème :

Le problème est que cette fonction repose en partie sur la fonction Minimiser l'impédance et par similitude au p-médian, c'est à dire, avec une résolution par examen exhaustif des solutions. Ainsi, plus la taille du réseau à résoudre est grande plus, il devient difficile voire impossible pour l'ordinateur de calculer toutes les possibilités.

Si l'on prend par exemple le cas de Nice dans son instance globale la taille du réseau étant de 50634 nœuds (un par bâtiment). Le nombre de combinaisons possibles à examiner s'élève à 50634! dès lors la précision de la recherche serait exacte car toutes les combinaisons possibles seraient testées.

Le problème majeur est que le temps de résolution est impossible avec les moyens actuels de calculs. Ce moyen de résolution, par examen exhaustif de chaque solution, reste donc possible et efficace pour de petites instances mais inutilisable à grande échelle.

### 3.2.4 MINIMISER LE NOMBRE DE RESSOURCES

#### Définition du problème :

Cet outil permet de sélectionner des CARE (ressources) de manière à allouer le plus de bâtiments (points de demande) aux CARE dans la limite d'impédance. De plus, le solveur cherchera à minimiser le nombre de CARE nécessaires.

Les types de problèmes Minimiser les ressources et Optimiser la couverture sont semblables quand le coût de construction d'une ressource n'est pas un facteur limitant. Ainsi, les Services Départementaux d'Incendie et de Secours (SDIS) peuvent aussi bien utiliser Optimiser la couverture (pour leurs interventions d'urgence) que Minimiser les ressources afin de couvrir un maximum de points de demande. Le type de problème Minimiser les ressources est aussi fréquemment utilisé dans la définition des emplacements des arrêts de bus scolaire car les étudiants doivent parcourir une certaine distance jusqu'à un arrêt de bus et au-delà, la définition d'un autre arrêt de bus est nécessaire.

Le type de problème est communément utilisé dans la localisation par exemple, des casernes de pompiers ou des postes de police, qui doivent souvent atteindre tous les points de demande en un temps donné. Il est alors important que les données de bases concernant le réseau soient les plus précises possible car derrière la modélisation, se trouve la population qui est bien réelle et donc possiblement des vies en danger.

La liste ci-dessous décrit la façon dont ce type de problème gère la demande et l'attribution de celle-ci à une ressource spécifique : *(la liste ci-dessous est issue de ArcGIS-Help)*

- Tout point de demande situé à l'extérieur des limites d'impédance de toutes les ressources n'est pas alloué.
- Toute la pondération de demande d'un point de demande situé à l'intérieur de la limite d'impédance d'une ressource est allouée à cette ressource.
- Toute la pondération de demande d'un point de demande situé à l'intérieur de la limite d'impédance de plusieurs ressources est allouée uniquement à la ressource la plus proche (indivisibilité des points de demande).

#### Application à notre quartier d'étude :

Paramètres de calcul :

Ressources à sélectionner	23
Paramètre d'impédance	voir les différents cas ci-dessous

Remarque : on ne peut pas changer la valeur du nombre de ressources à sélectionner étant donné que c'est le facteur que l'on cherche à minimiser qui est donc la solution de ce problème.

### Limite d'impédance 200m :

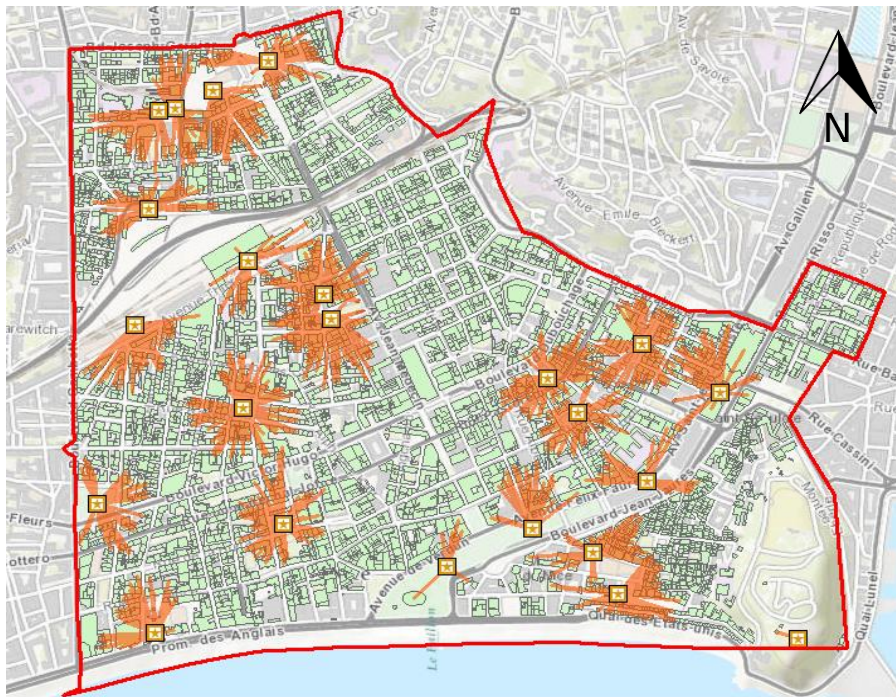


Figure 15 - Résultat de l'outil Minimiser les ressources, impédance 200m (réalisation personnelle)

La solution obtenue avec ce premier test, montre qu'avec une limite d'impédance de 200m, 23 CARE sont requis pour couvrir un maximum de bâtiments, soit 1302 parmi les 4014 bâtiments, qui représentent 32% de l'instance.

### Limite d'impédance 500m :

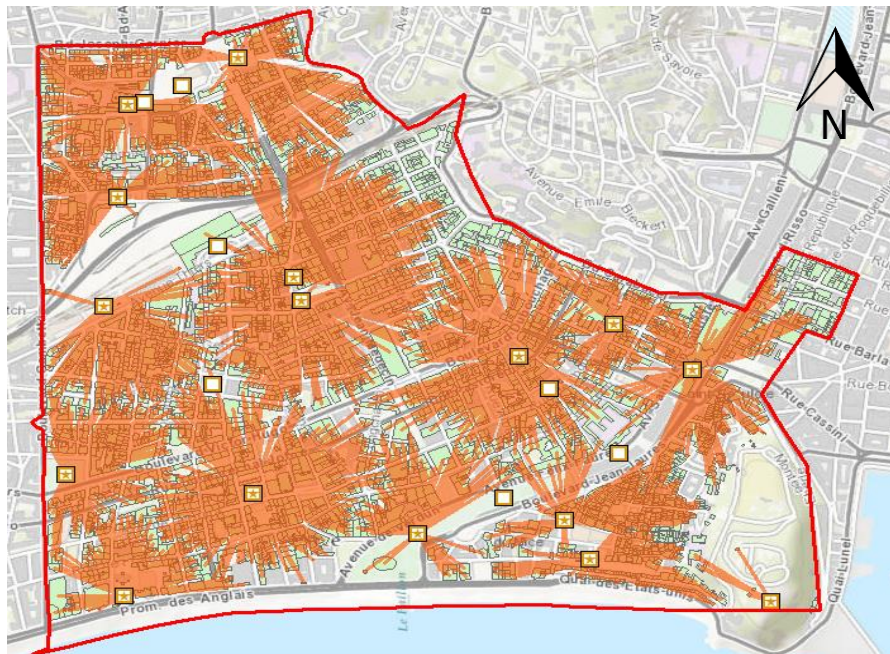


Figure 16 - Résultat de l'outil Minimiser les ressources, impédance 500m (réalisation personnelle)

Lors de ce deuxième test on a augmenté la limite d'impédance à 500m ce qui permet de minimiser les ressources et ne réquisitionner que 16 CARE parmi les 23 de départ. Les bâtiments dans la limite des 500m des 7 autres CARE étant dans la limite d'impédance de CARE avoisinant il n'est pas

nécessaire de réquisitionner la ressource. Ainsi, 3743 bâtiments sont alloués à une ressource, soit 93% des bâtiments de l'instance de départ.

### Limite d'impédance 1050m :

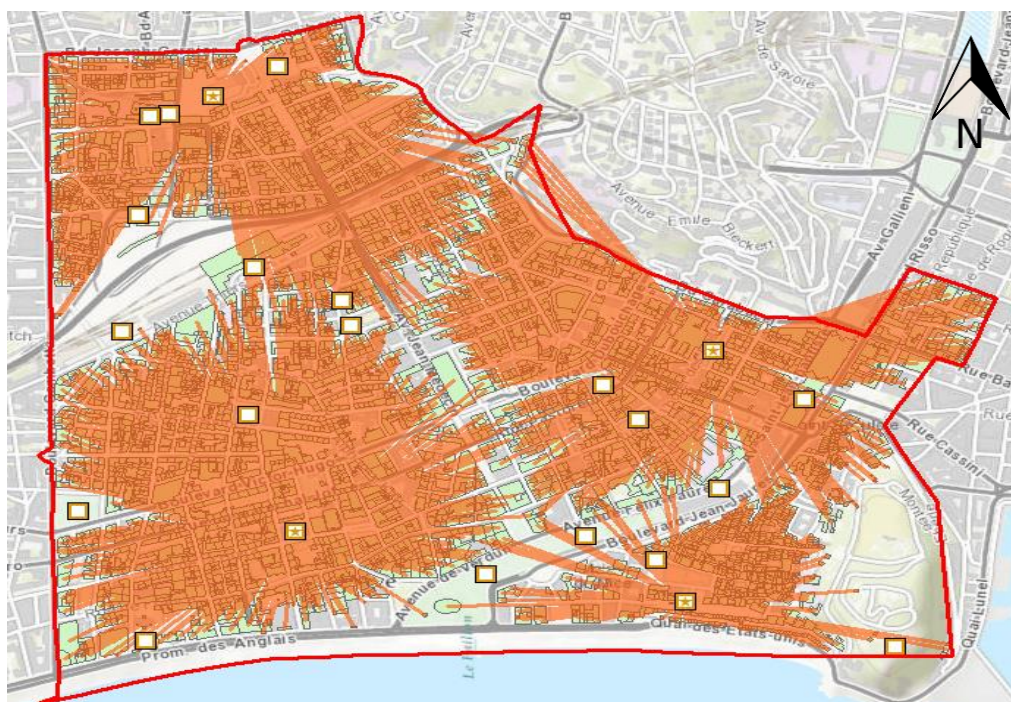


Figure 17 - Résultat de l'outil Minimiser les ressources, impédance 1050m (réalisation personnelle)

En admettant que les personnes peuvent marcher 1050m, cette impédance permet d'allouer tous les bâtiments à des CARE. Ainsi, on remarque que seulement 4 CARE sont nécessaire pour allouer toute la demande.

### Analyse du modèle :

Ce graphique permet de montrer l'évolution du nombre de bâtiments affectés à un CARE en fonction de l'impédance prise en compte dans les paramètres de calcul.

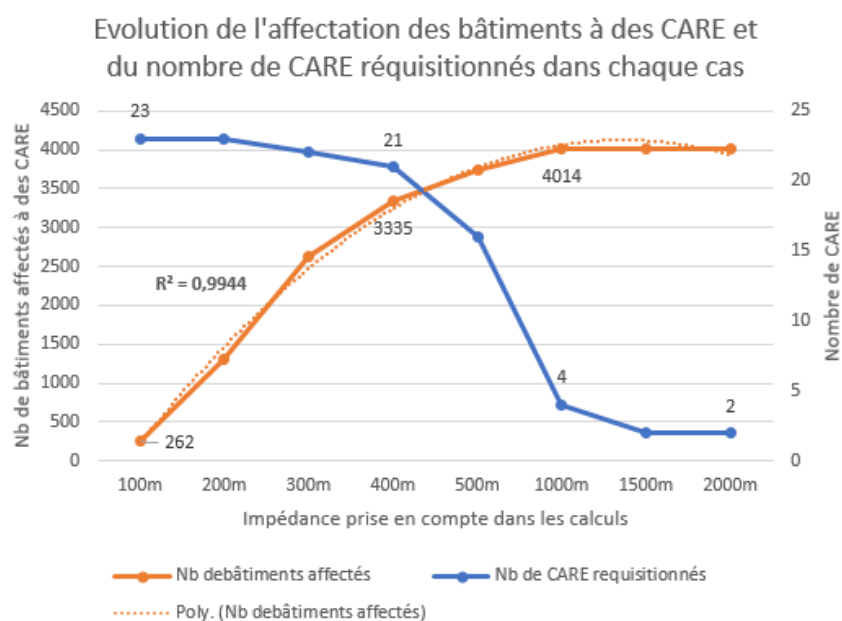


Figure 18 - Graphique de l'évolution de l'affectation des bâtiments à des CARE

On observe que la courbe du nombre de bâtiments affectés suit un modèle polynomial de degré 2 et d'équation  $y = -119,29x^2 + 1602,4x - 1256$ .

Sur le graphique on remarque 3 phases distinctes :

- entre 100 et 400m : le nombre de personnes affectées croît très rapidement tandis que le nombre de CARE, lui, décroît très peu. Cela est dû à la proximité directe (<400m) des bâtiments à son CARE le plus proche.
- entre 400 et 1km : le nombre de personnes affectées croît beaucoup moins rapidement alors que le nombre de CARE lui décroît énormément.
- 1km et plus : le nombre de personnes affectées atteint le maximum donc stagne, le nombre de CARE connaît lui aussi une stagnation mais pourrait décroître jusqu'à 1 CARE plus la limite d'impédance sera grande.

# PARTIE 4. EXPERIMENTATIONS

Cette partie expérimentale reprend notre instance de départ c'est-à-dire une évacuation de la commune entière de Nice. Comme il a été précisé dans les parties précédentes, il n'est pas possible de prendre en charge la totalité des sans-abri dans les CARE existants. Cette partie se veut expérimentale dans le sens où aucun de ces scénarios n'ont été effectués avant. Nos hypothèses se basent sur l'interprétation de notre instance, nous avons ainsi choisi d'élaborer trois scénarios permettant de répondre au mieux, à notre problématique de départ qui est : **Comment affecter tous les sans-abri de Nice à un CARE ?** Ces scénarios sont les suivants :

- Scénario 1 : Réévaluation de la capacité des CARE et permettre une surcharge qui dépend de la capacité initiale des CARE.
- Scénario 2 : Création de nouveaux CARE permettant la prise en charge totale des sans-abri.
- Scénario 3 : Ce scénario prend en compte les deux précédents c'est-à-dire, la création de nouveaux en permettant une surcharge de certains CARE.

## 4.1 CORRECTIONS DU RESEAU EXISTANT

Une première étape consiste à corriger le réseau existant. Le réseau fourni pour ce PFE comporte des erreurs, effectivement des tronçons de route sont disjoints il est donc nécessaire, pour travailler correctement sur la totalité de la commune de Nice, de résoudre ces problèmes. Comme on le constate ci-dessous 37 bâtiments ne sont pas raccordés au reste du réseau de Nice. Dès lors, une modification du réseau existant est nécessaire. En utilisant l'*Outil de mise à jour*, on peut raccorder le tronçon au reste du réseau. Le réseau est maintenant exploitable.

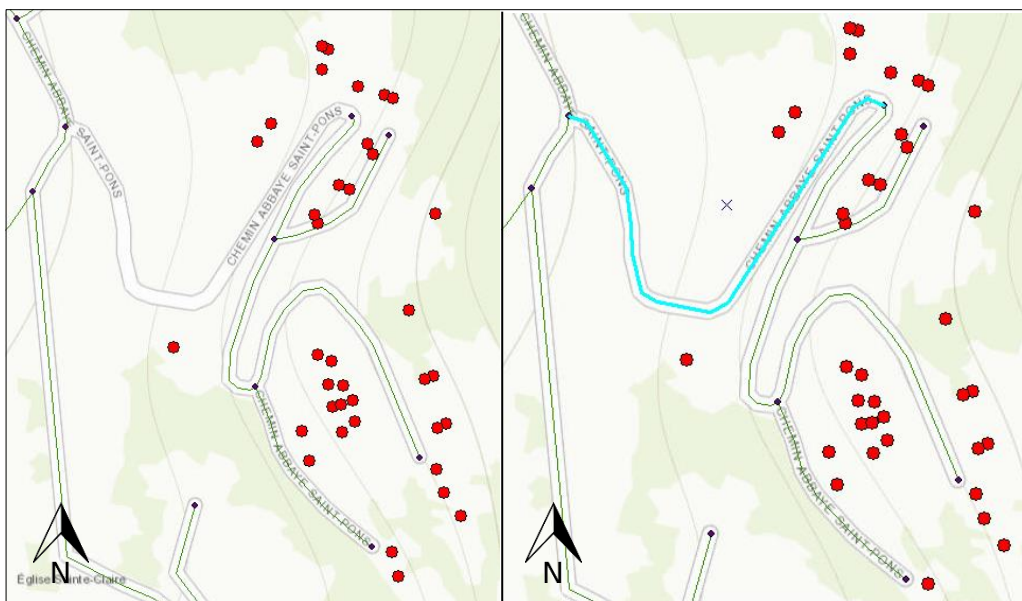


Figure 19 - Modifications du réseau avant/après (réalisation personnelle)

## 4.2 SCENARIO 1 : REEVALUATION DE LA CAPACITE DES CARE

### Définition :

Lors de ce premier scénario, les bâtiments seront affectés au CARE le plus proche. Aucune limite de capacité ne sera définie pour les CARE, ainsi on pourra connaître la capacité théorique des CARE et la comparer avec la capacité effective de chaque CARE. Dès lors, il sera possible d'évaluer la surcharge de chaque CARE. Finalement, on pourra définir une limite de surcharge en fonction de la capacité initiale des CARE.

### 4.2.1 AFFECTATION DES BATIMENTS AU CARE LE PLUS PROCHE

Pour l'affectation des bâtiments au CARE le plus proche, on a utilisé l'outil Minimiser l'impédance (3.2.1) du module *Network Analyst* de ArcGIS. On obtient donc une affectation totale des personnes sans la prise en compte de la capacité des CARE. Ainsi, l'ensemble de la population dans ce cas optimal parcourt le minimum de distance soit un total de 35 035,8 km.p, ce résultat est donc la valeur optimale de notre fonction objectif 1, qui est rappelons la :

Fonction objectif 1 :  $\sum_j \sum_i (P_{ij} * Distance_{ij} * x_{ij}) \min$

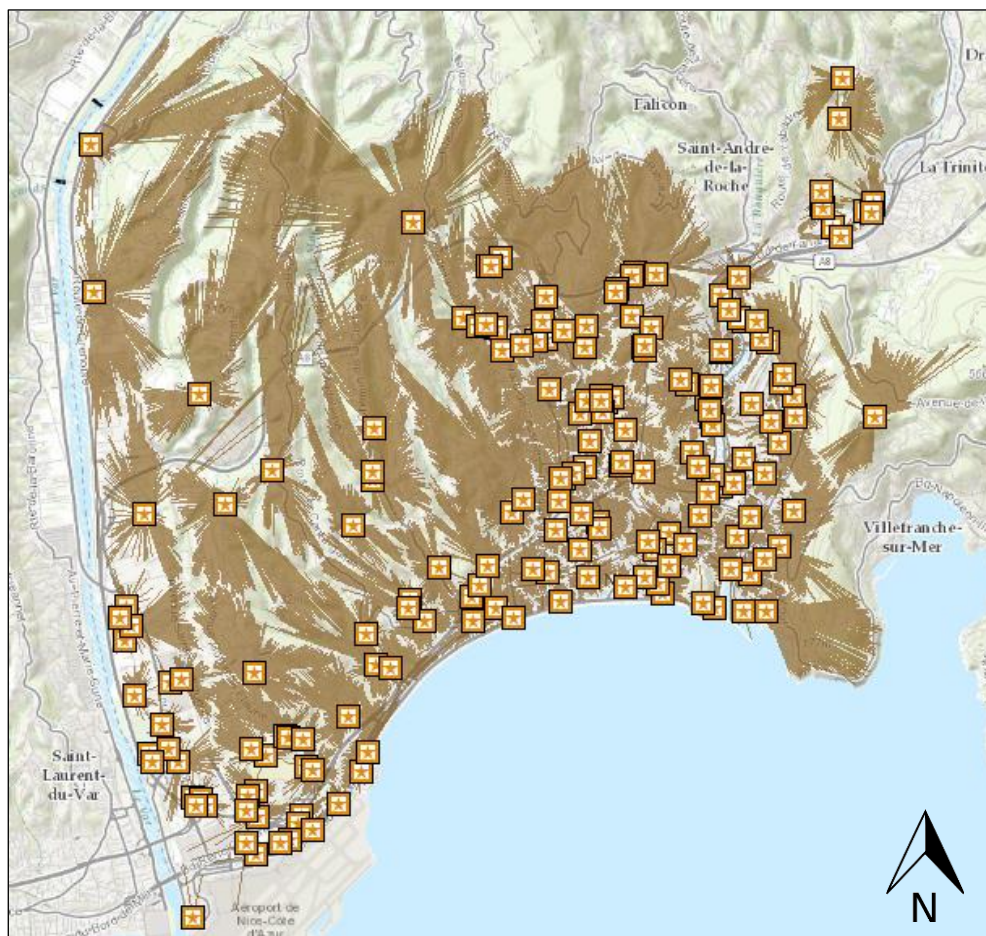


Figure 20 - Résultat Minimiser l'impédance Nice (réalisation personnelle)

## 4.2.2 CAPACITES THEORIQUES ET SURCHARGE

Dans cette seconde partie, on s'intéressera à la capacité théorique de chaque CARE résultants de l'affectation optimale (selon la distance) des bâtiments aux CARE. On a pu sortir de la table attributaire des résultats la capacité initiale de chaque CARE et la capacité nécessaire à l'accueil de la totalité des sans-abri.

Après un tri croissant des sous-charges et surcharges de l'ensemble des CARE, on remarque que pour un seul CARE la sous-charge peut atteindre -8957 sans-abri (SA) et que la surcharge peut atteindre +5451 SA.

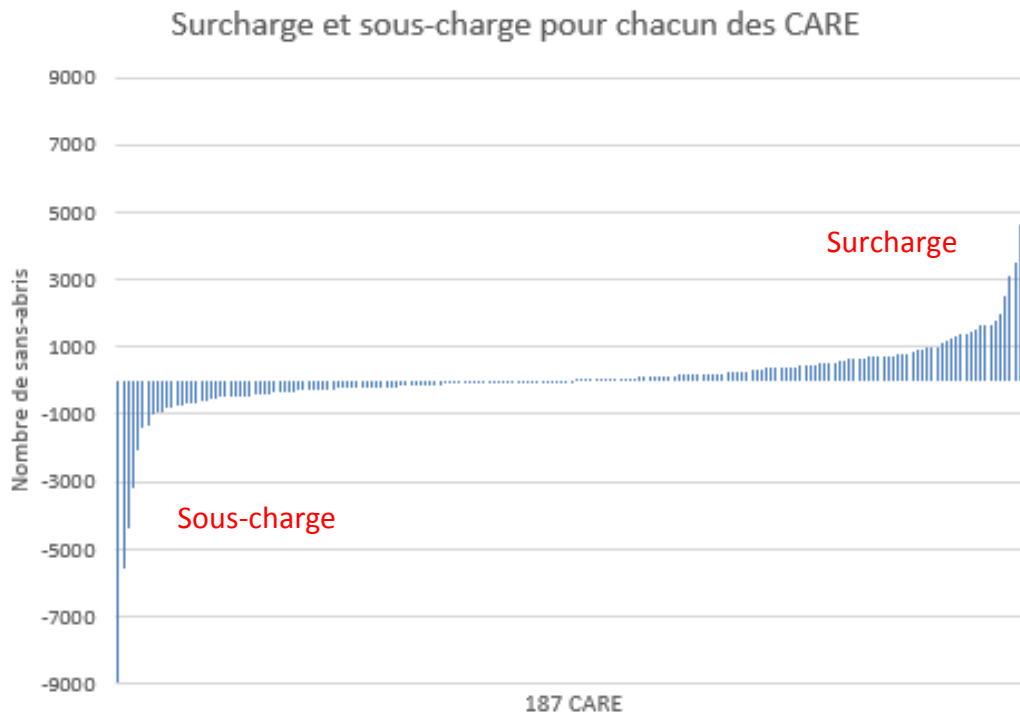


Figure 21 - Surcharge et sous-charge de chacun des CARE

Il en résulte que 94 CARE sont sous-chargés, de -51323 SA et que 93 CARE sont surchargés de +66907 SA. La différence de 15583 correspondant au NSA ne pouvant pas être affecté initialement.

Dès lors, la sous-charge ne peut pas compenser totalement la surcharge. Il est alors nécessaire de savoir comment affecter le reste des sans-abri au CARE et d'estimer la surcharge pondérée de chaque CARE. Il faut ainsi, prendre en compte un facteur important, on ne peut pas surcharger l'ensemble des CARE du même nombre de SA, car cette surcharge serait de :

$$Surcharge = \frac{15\,583}{187} = 83.3 \text{ soit } 84 \text{ SA/CARE}$$

Cette surcharge n'est donc pas applicable telle qu'elle à notre cas d'étude, car surcharger les CARE 177 et 184 dont la capacité initiale est de 10 SA, reviendrait à créer une surcharge de 840% qui est impossible dans la réalité. A l'inverse créer une surcharge de 84 SA sur le CARE n°110 dont la capacité initiale est de 9000 SA reviendrait à créer une surcharge de 0.9% !

Il est donc nécessaire d'adapter la surcharge à la capacité initiale des CARE et de créer une limite de surcharge liée à la capacité initiale des CARE, permettant l'accueil des 15583 SA restant.

### Calcul de la surcharge :

$$\text{Surcharge globale} = \frac{99\,314}{83\,731} = 1.18 \sim 1.2 \text{ soit une surcharge de 20\%}$$

Finalement, on obtient une surcharge de 20%, permettant d'accueillir au total 100 477 SA. Ce scénario permet de répondre à notre problématique initiale. Mais on peut se demander, pourquoi ne pas créer de nouveaux CARE pour effacer cette surcharge ?

## **4.3 SCENARIO 2 : CREATION DE NOUVEAUX CARE**

### Définition :

Ce second scénario, consiste à définir les emplacements optimaux pour la création de nouveaux CARE et l'évaluation de leur capacité pour la prise en charge de la totalité des sans-abri. Ce nouveau scénario doit permettre de limiter le nombre de kilomètre.personnes et ainsi augmenter la rapidité de prise en charge des SA par les services d'aide à la population.

Sur la carte ci-dessous, on peut voir les trajets depuis les bâtiments : plus la couleur est foncée, plus le bâtiment est loin de son CARE d'attribution. On constate que 8810 bâtiments sont à plus de 1500m de leur CARE le plus proche, ceci est principalement dû au relief de Nice. L'idée de ce scénario est de créer des CARE dans ces zones « creuse » pour réduire la distance aux CARE de tous ces bâtiments.

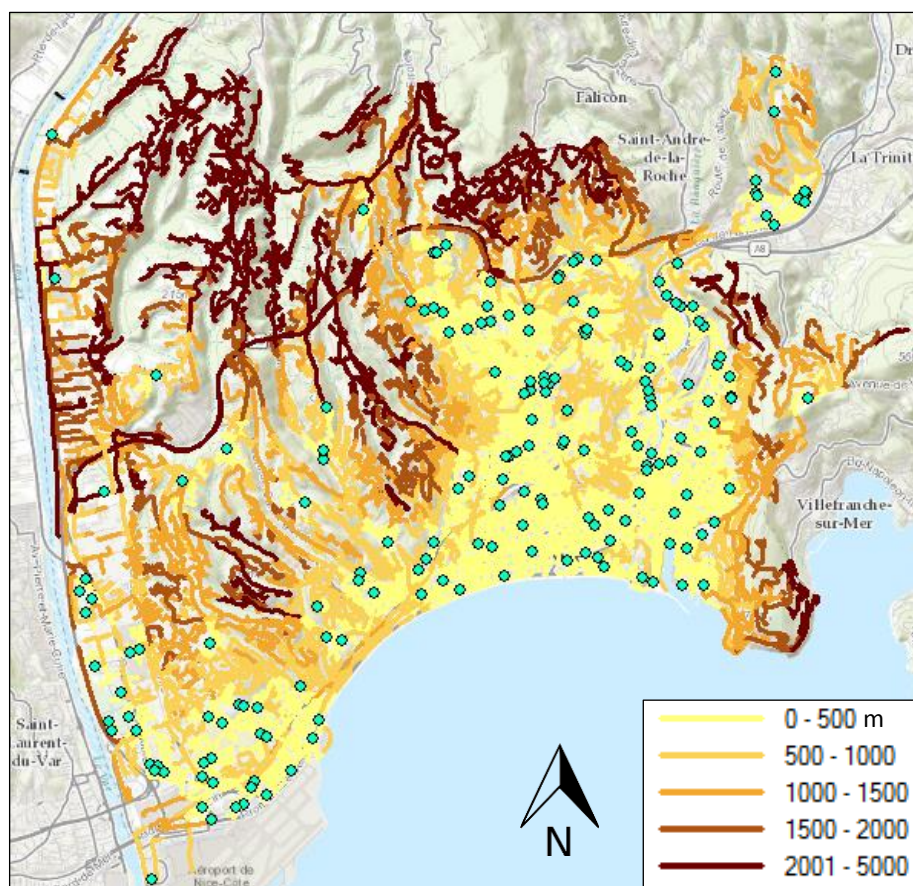


Figure 22 - Cartographie du réseau en fonction de la distance bâtiments-CARE

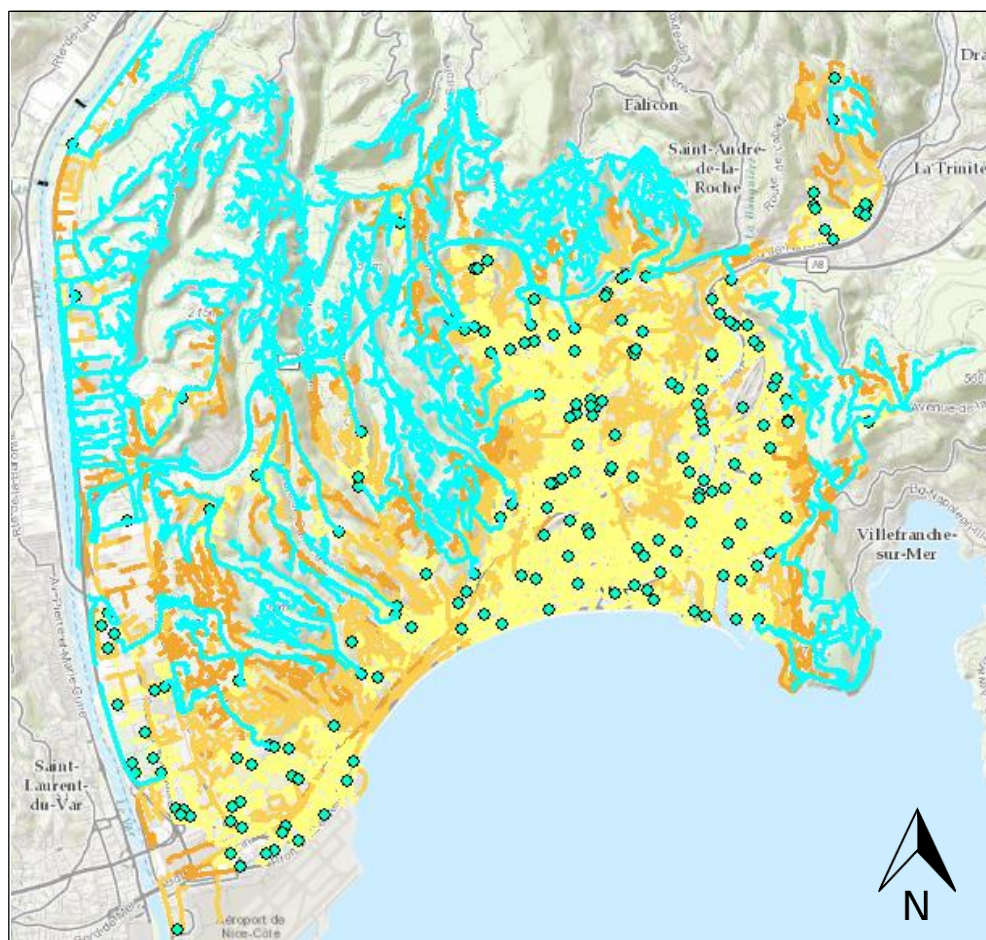


Figure 23 - Cartographie du réseau en fonction des bâtiments à plus de 1500m d'un CARE

#### Problème :

Très vite nous avons été confrontés à un problème, effectivement il est difficile, voire impossible, de créer de nouveaux CARE dans ces zones. Chaque CARE doit être défini sur le foncier public (écoles, équipements sportifs...) il est alors nécessaire si on veut pouvoir évacuer toute la population de prendre en compte le foncier privé qui offre de nombreuses possibilités de lieux sécurisés pour la prise en charge des SA.

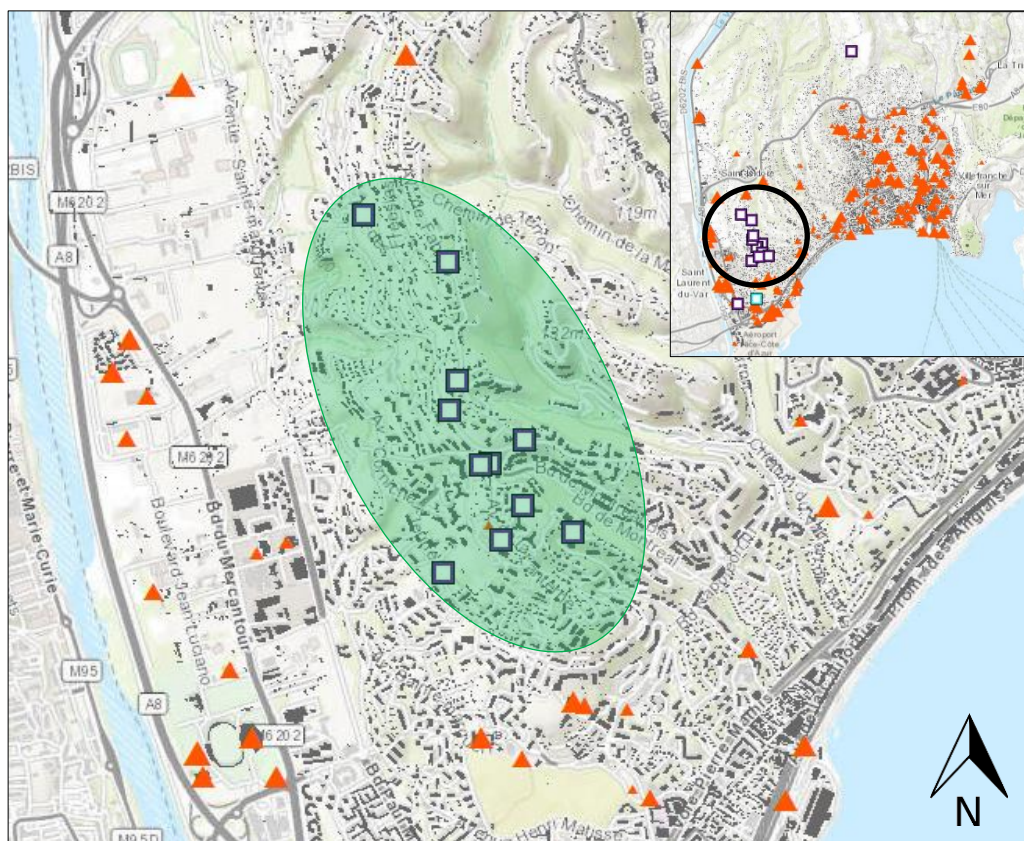


Figure 24 - Lieux potentiels pour des CARE sur le foncier privé

On remarque donc qu'il est possible d'améliorer l'évacuation de Nice si la municipalité trouvait un moyen d'exploiter des ressources privées. En vert, on constate que la zone « creuse » de CARE pourrait être plus sécurisée avec l'implantation de 11 nouveaux CARE, d'une capacité totale avoisinant les 550 personnes. Cette action est répliquable sur l'ensemble de la commune nicoise.

Pour optimiser l'évacuation des habitants de Nice, d'autres éléments très importants sont à prendre en compte, en termes d'aménagement du territoire, comme la communication à la population qui stagne depuis des années. La prochaine partie de ce projet traite ainsi des améliorations possibles concernant les DICRIM et l'information à la population en général.

# PARTIE 5. COMMUNICATION A LA POPULATION

---

## 5.1 CONTEXTUALISATION

Afin d'éviter l'urbanisation en zones à risques, les villes françaises soumises à des risques maîtrisent l'urbanisme et la communication. Elles mettent en place des périmètres de protection afin de limiter la constructibilité en zones à risques [LE BOURHIS, 2007] et possèdent des documents d'informations comme le PCS ou un DICRIM. Cette politique de prévention a pour but d'assurer la sécurité des personnes et des biens et de permettre un développement durable des territoires.

Depuis les événements extrêmes de 2010, les mentalités ont changé. En effet, la tempête Xynthia et les inondations dans le Var ont causé beaucoup de dégâts humains et matériels. Des problèmes de responsabilités des Maires des communes touchées par ces événements se sont créés et ont accentué les réglementations de prévention des risques. Une remise en cause des documents de préventions (PCS, DICRIM...) est primordiale afin de gérer de telles catastrophes dans les années à venir. Selon une étude de l'institut français d'Opinion Publique, moins d'une personne sur deux se sent suffisamment informée sur l'attitude à adopter en cas de risque majeur. Il y a donc un manque de communication de ces documents qui s'est illustré par des dommages importants lors des dernières catastrophes naturelles.

Dans un but d'une amélioration des méthodes de rédaction de ces documents, nous avons réalisé une comparaison de différents DICRIM existants. Nous pouvons ainsi en sortir les similarités et différences ainsi que les points forts et faibles de chaque DICRIM.

Cette analyse vient compléter le travail réalisé en amont puisque la gestion des risques passe aussi par une bonne communication. En effet, en termes d'aménagement du territoire, l'optimisation multicritères (en fonction du NSA, la distance parcourue ou même le nombre de bâtiments, etc...) est essentielle pour une meilleure gestion du risque. Mais si cette optimisation et ces nouvelles informations ne sont pas ou peu transmises aux habitants, les méthodes d'évacuations ne fonctionnent pas. Sensibiliser la population avant un risque majeur permet une meilleure adaptation lors d'une catastrophe [DOUVINET et al, 2013].

## 5.2 DES DICRIM PEU INTERACTIFS

Pour notre étude, nous avons pris un échantillon d'une dizaine de DICRIM afin de les comparer. Les DICRIM appartiennent aux villes suivantes :

- Aiguillon
- Bourges
- Carnac
- La Baule-Escoublac
- La Désirade (Guadeloupe)
- Nantes
- Nice
- Saint-Cézert

Ces DICRIM sont consultables via les références du projet (cf. Références – DICRIM)

Les méthodes utilisées pour rédiger ces DICRIM sont souvent les mêmes. Limités par des normes rédactionnelles à respecter, les contenus des différents documents sont très souvent similaires. Ces documents varient (presque) seulement en fonction du type de risque (sismique, inondations, météorologique, ...). Une alerte peut ainsi prendre la forme d'un signal, d'un message essentiel ou d'un message détaillé. Pour les deux derniers, ils doivent respecter les six contraintes suivantes : attirer l'attention, localiser les destinataires, nommer l'événement, caractériser le danger, prescrire le comportement de sauvegarde et renvoyer vers un moyen d'information.

Le DICRIM informe sur le maintien et l'enrichissement de la culture du risque (apprentissage en phase opérationnelle). « Nous considérons que la culture du risque est alimentée par 4 éléments principaux : la sensibilisation au risque, la connaissance, l'acceptation et la mémoire. » [FERRER, 2017].

La plupart des DICRIM peuvent être rébarbatif à la lecture du fait des textes trop longs ou trop complexes. En effet, des termes scientifiques peuvent s'avérer compliqués et peuvent limiter la compréhension du texte. Pour des habitants « lambda » par exemple, lire des textes de plus de 20 pages contenant du vocabulaire spécifique peut être compliqué. Des termes scientifiques comme « une crue centennale », « la houle », « aléa », .... Ou encore des acronymes comme « DICRIM », « PCS », « PPR » peuvent altérer la compréhension du texte et donc la limiter l'attention et la sensibilisation des habitants dans les mesures de préventions.

Aussi, la dimension historique et le devoir de mémoire permettent une meilleure sensibilisation des habitants [ASDOURIAN, 2010]. Ils se retrouvent plus impliqués car ils connaissent le territoire et leur histoire. À l'intérieur du DICRIM de la commune de Bourges, par exemple, on peut y retrouver les données historiques (dates, chiffres, photos) des crues et tempêtes ayant touchées la région, les lecteurs et habitants sont plus impliqués et concernés par la prévention du risque. À contrario, dans le DICRIM de la commune de Saint-Cézert, la notion historique n'est abordée que de façon succincte. Les simples dates des événements marquants ne remplissent pas réellement leur rôle de devoir de mémoire ce qui diminue la sensibilisation des habitants.

La cartographie est également importante dans ces documents. Ces cartes sont des atouts majeurs pour une bonne compréhension du DICRIM. La netteté des cartes va influencer sur la sensibilisation des lecteurs alors qu'une carte peu-lisible n'aura aucun impact sur les habitants. Par exemple, la carte « aléa houle fort » du DICRIM de la Désirade en Guadeloupe ou même la carte « d'inondabilité » de la commune de La Baule n'influent pas réellement sur la sensibilisation des lecteurs car la netteté, le choix des couleurs ou la légende sont inappropriés.

Ces documents ne présentent également aucune interactivité. Désireuse de promouvoir de façon élargie cette information préventive sur les risques majeurs, de plus en plus de collectivités ont pu poster leur DICRIM sur Internet. Cependant, beaucoup n'ont publié qu'un simple fichier figé « PDF », alors qu'un fichier plus interactif serait sûrement plus ludique et ciblerai une plus grande partie de la population, le but étant de sensibiliser un nombre maximum de personnes à ces risques majeurs. C'est dans l'optique d'inciter les collectivités à rédiger des DICRIM interactifs que l'IRMa (Institut des Risques Majeurs de Grenoble) a réalisé en 2011 un guide de recommandations pour de tels projets. [CLEMENT et al, 2011]. La ville de Saint-Étienne, avec le concours de l'université Jean Monnet de Saint-Étienne (unité de recherche ISTHME-UMR CNRS 5600 EVS) et les soutiens du Conseil régional Rhône-Alpes et de l'Etat (DREAL Rhône-Alpes), ont participé à cette étude.

Nous pouvons constater quelques éléments à améliorer dans cette communication de prévention des risques majeurs. En effet, une terminologie complexe, des cartes illisibles ou un manque

d'interactivité peuvent altérer la sensibilisation des habitants. Depuis les dernières catastrophes naturelles marquantes en France, quelques recherches ont été effectuées sur l'efficacité de cette communication. Elles ont montré, elles aussi, des lacunes dans ces domaines et quelques pistes d'améliorations. De plus, aujourd'hui, avec l'arrivée des TIC, smartphones ou réseaux sociaux, la communication peut s'avérer beaucoup plus rapides entre les utilisateurs. Un lien entre ces deux sujets pourrait grandement améliorer l'évacuation d'une ville en cas de risque majeur.

### 5.3 LIER GESTION DU RISQUE ET NOUVELLES TECHNOLOGIES

Aujourd'hui, plus d'un français sur deux possède un smartphone et environ 92% des 18-24 ans en possèdent un, soit 33 millions de français qui possèdent un smartphone en 2016, contre seulement 12 millions en 2011. Ces chiffres ont triplé en 3 ans. « Vingt ans après le lancement des premiers smartphones, les Français sont devenus « accro » et regardent leur téléphone près de 900 millions de fois par jour. » selon une étude sur les usages mobiles [\[CABINET DELOITTE, 2015\]](#) ... Comme la radio ou la télévision à d'autres époques, les smartphones changent la société.

Afin de prévenir les populations en cas de catastrophes, les SMS et les radios étaient les moyens de communication utilisés par préférence dans les années 1980. « Mais avec les avancées technologiques des années 1990 et 2000 (réseaux de télécommunications plus robustes, espaces mémoire de plus en plus grands, couplage avec l'appareil photo numérique), les téléphones sont passés du statut de simples terminaux d'appels téléphoniques à celui d'outils d'aide à la collecte et à la transmission des données. » [\[DOUVINET et al, 2017\]](#).

Des systèmes d'alertes par le biais des téléphones ou smartphones, existent déjà. Par exemple à Bourges, après une inscription sur un site internet, l'utilisateur peut être prévenu par mail, sms ou téléphone. Des systèmes ne nécessitent pas d'accès internet (3G ou 4G) pour diffuser l'information. Ce système envoie des SMS sur tous les téléphones présents sur les zones en cas de crise. Plusieurs systèmes existent déjà : Wireless Emergency Alerts, Emergency Alert System, Emergency Public Warning System, Flash Flood Guidance Systems. Cependant, comparer au réseau de télécommunications (fixes et cellulaires), le réseau internet peut rester actif lors d'un risque majeur, ce qui en fait un outil important. La possibilité de se servir de cet outil pour faire passer des messages, guider la population ou sensibiliser les habitants s'avère inévitable.

Des applications GPS comme « WAZE » ou « GéoVélo » existent déjà. Elles permettent de localiser les utilisateurs de l'application et de les diriger, mais ce sont également des « mini » réseaux sociaux puisqu'ils permettent de signaler les différents dangers de la route en temps réel (accident, voiture en panne, radar ...). « GéoVélo » est donc un « calculateur d'itinéraires adaptés au vélo et entièrement multi-objectif », utilisable par le biais d'un site internet et d'une application. [\[SAUVANET, 2011\]](#). L'évacuation des habitants de la ville de Nice en cas de séisme réalisée en amont, résulte également d'une optimisation multi-objectif mais doit impérativement être correctement communiquée afin de sensibiliser au maximum les habitants. L'idée d'une application pour aider la gestion d'une crise comme un séisme ou une inondation, semble être une bonne solution. On pourrait y trouver des informations sur les consignes de sécurité (avant, pendant et après la catastrophe), une carte avec un outil de géolocalisation pour guider l'utilisateur au CARE le plus près ou les numéros des secours. Voici un visuel de la potentielle application :

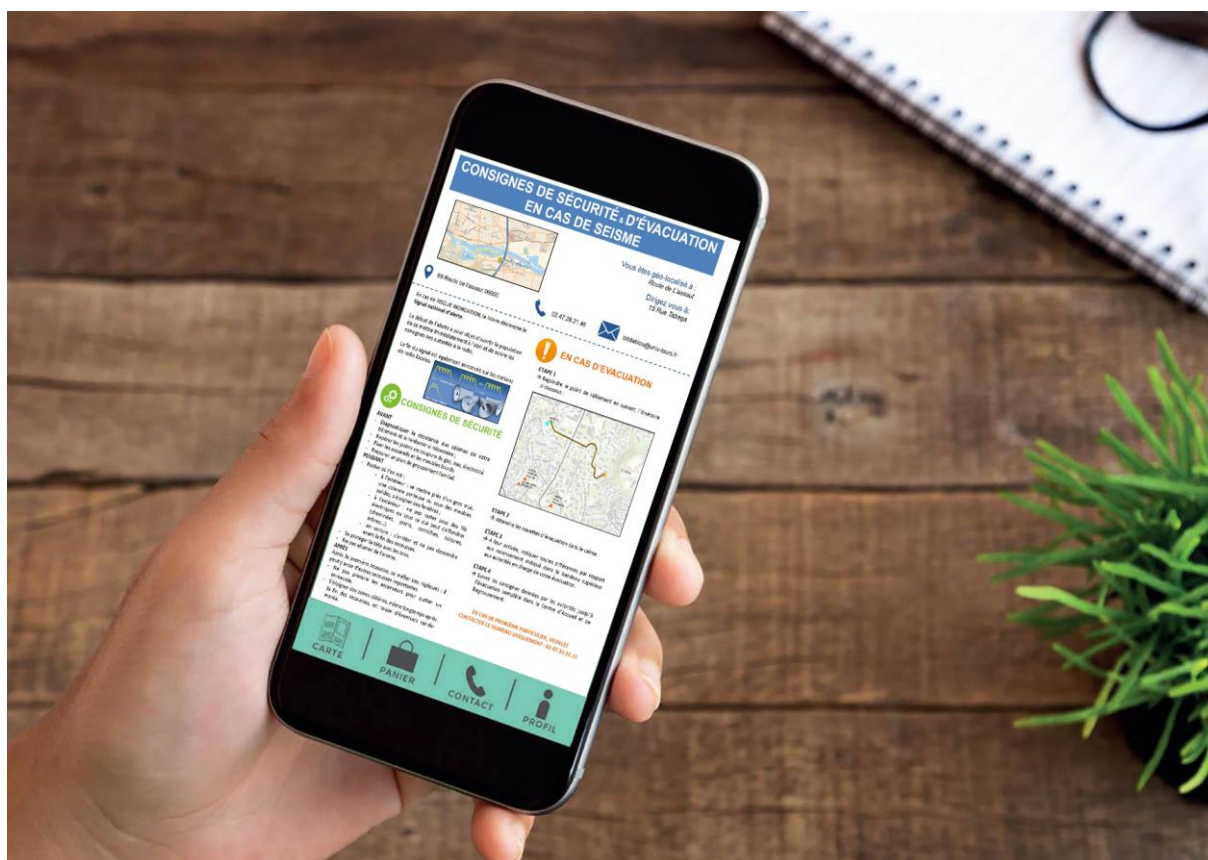


Figure 25 - Exemple d'interface d'une application (Source : Lucien DAVID - Antoine BENEDI)

# CONCLUSION

---

Dans le cadre d'un Projet de Fin d'Etudes, le département d'Aménagement et de l'Environnement ainsi que le département d'Informatique de l'école Polytechnique de l'Université de Tours, traitent la question de l'optimisation de l'affectation des niçois à des CARE. Les deux objectifs principaux étant de minimiser les distances parcourues par les habitants et de maximiser la capacité des CARE.

La problématique de cette recherche s'intéresse aux problèmes d'optimisation combinatoire multiobjectifs. De ce fait, nous avons consulté différents documents traitant ce sujet et avons essayé d'appliquer les différentes fonctions objectifs à notre problématique. De plus, notre recherche étant réalisée conjointement avec le département informatique, nous avons ainsi cherché à résoudre les problèmes d'optimisation combinatoire par le biais d'outils géomatiques et les avons comparés aux méthodes informatiques. Afin d'optimiser le plan d'évacuation de la ville de Nice, nous avons travaillé sur différents scénarios. L'amélioration de la prise en charge des personnes pourrait d'abord s'effectuer en augmentant la capacité des CARE, mais également en implantant de nouveaux CARE. Cependant la création de nouveaux espaces de regroupements s'avère complexe puisqu'elle est très règlementée et que cela demande une réévaluation des capacités de la ville pour trouver des espaces libres et accessibles.

Beaucoup de collectivités souhaitent aujourd'hui développer un DICRIM plus interactif. En s'appuyant sur les nouvelles technologies de l'information et de la communication pour traiter les éléments relatifs aux risques, à travers plusieurs formes (vidéo, cartographique, photographique, textuel...), la communication des documents de préventions de risques doit commencer leur mutation. L'utilisation des smartphones pourrait devenir un atout majeur dans la gestion d'une évacuation en cas de crise. Cependant, des problèmes de géolocalisations, de mémoire interne ou même d'accès internet peuvent altérer l'efficacité d'une communication via les smartphones ou les réseaux sociaux. Mais, ces smartphones sont en constante évolution afin de résoudre des problèmes récurrents et d'améliorer les différentes applications. Les limites techniques des smartphones sont connues, avec notamment des problèmes de réseaux en cas de catastrophe. Mais cette technologie, malheureusement n'est pas encore utilisée par toute la population. Une application pour l'évacuation d'une ville en cas de crise pour s'avérer inégale puisque tout le monde ne possède pas forcément de smartphone ... Il faut impérativement que toute la population puisse avoir la même information au même moment.

L'optimisation multiobjectifs des plans d'évacuation des villes et sa communication sont en constante évolution. C'est pourquoi notre étude vient s'ajouter à de nombreux travaux passés et pourra appuyer les recherches futures. La finalité de ces études serait de trouver une méthode infaillible pour sensibiliser, prévenir et protéger les populations des risques majeurs.

# ANNEXES

---

Code 1 - Affectation des bâtiments aux CARE les plus proche selon la distance euclidienne, code Python (Kamal Serrhini 2017)

```
"""
FONCTIONNE BIEN : affectation des bâtiments aux CARE les plus proches sans prise
(iso-distances à vol d'oiseau ! )
https://docs.python.org/2/library/math.html
"""
import time
import numpy as np
from math import sqrt
import Lit_fich_bati
import Lit_fich_care

debut = time.time();print()
print("Le temps du début de calculs en secondes :",debut);print()

fich_bati = "C:/Users/coadmin/Desktop/EvacNice3A/DataTXT/51760_Batiments2.txt"
m_b,b = Lit_fich_bati.lit_fich_bati(fich_bati)

fich_care = "C:/Users/coadmin/Desktop/EvacNice3A/DataTXT/187_Care2.txt"
m_c,c = Lit_fich_care.lit_fich_care(fich_care)

nom_f = "Affect_" + str(b) + "_" + str(c) + ".txt"
fichier3 = open(nom_f, "w")
ligne = "#FID_1" + "\t" + "IdCare" + "\t" + "DistEucl"
fichier3.writelines(ligne)

d = 0
m_d = np.array([[0.0 for e in range(0,3)] for f in range(0,c)])

for i in range(b):
    j = 0
    for j in range(c):
        d = d + 1
        dist_eucl = 0
        dist_eucl = sqrt((m_b[i,1] - m_c[j,1])**2 + (m_b[i,2] - m_c[j,2])**2)

        m_d[j,0] = m_b[i,0]          # ID Batiment
        m_d[j,1] = m_c[j,0]          # ID Care
        m_d[j,2] = dist_eucl          # OU distance RESO # m_od[i,j+1]

    # Tri avec sorted et lambda
    lambda colonnes: colonnes[2]
    m_d2 = sorted(m_d, key=lambda colonnes: colonnes[2])    # on obtient une liste
    m_d3 = np.asarray(m_d2)    # on retrouve une structure/matrice numpy

    ligne = ""
    ligne = str(int(m_d3[0,0])) + "\t" + str(int(m_d3[0,1])) + "\t" + str(float(m_d3[0,2])) + "\n"
    fichier3.writelines(ligne)

fichier3.close()

fin = time.time()
temps_sec = fin - debut
print("La durée en seconde pour ",1," simulation-s est : ",temps_sec);print()
temps_min = temps_sec / 60
print("La durée en minutes pour ",1," simulation-s est : ",temps_min)
```

Code 2 - Affectation des bâtiments aux CARE les plus proche selon la distance réseau, code Matlab (Antoine Benedi 2017)

```
Mod = importdata('C:\Users\Antoine\Desktop\PFE_DI_DAE\Toaster\matrice_OD_Nice.mat')
[m,n] = size(Mod)      #détermine la taille de la matrice OD
M=[]                   #créer une matrice M pour le stockage des résultats
k=1
for k = 1:m             #boucle pour le calcul de chaque ligne
    y=find(Mod==k)      #cherche toutes les valeur de k dans la matrice
    Ex=(Mod(y,:))       #écrit une matrice contenant les données pour la valeur précédente
    affec=sortrows(Ex,3) #range par ordre croissant la 3ème colonne contenant la distance
    CARE=affec(1,2)      #choisit le CARE le plus proche
    M(k,1)=k             #écrit dans la matrice M l'ID du bâtiment
    M(k,2)=CARE          #écrit le CARE d'attribution
    M(k,3)=affec(1,3)    #écrit la distance à parcourir
    k=k+1               #implémentation pour passer au bâtiment suivant
end
save('MatriceOD.mat',M) #sauvegarde des résultats
```

# TABLE DES ILLUSTRATIONS

---

FIGURE 1 - ZONAGE SISMIQUE DE LA FRANCE (WWW.PLANSEISME.FR) .....	11
FIGURE 2 - SCHEMA DE GESTION DE CRISE NICE (SOURCE : K. SERRHINI).....	12
FIGURE 3 - CLASSES DES DOMMAGES (K. SERRHINI).....	12
FIGURE 4 – CARTE REPRESENTANT LES EMPLACEMENTS DES 187 CARE ET LEURS CAPACITES .....	13
FIGURE 5 – ZOOM SUR LE QUARTIER DU « CENTRE » (REALISATION PERSONNELLE) .....	20
FIGURE 6 – RESULTAT DE L’OUTIL MINIMISER L'IMPEDANCE (REALISATION PERSONNELLE) .....	21
FIGURE 7 - RESULTAT DE L’OUTIL RESSOURCE LA PLUS PROCHE (REALISATION PERSONNELLE) .....	22
FIGURE 8 - LOGIGRAMME TOASTER (REALISATION PERSONNELLE).....	23
FIGURE 9 - RESULTAT DE L’OUTIL OPTIMISER LA COUVERTURE (REALISATION PERSONNELLE) .....	25
FIGURE 10 - BATIMENTS A PLUS DE 500M D'UN CARE (REALISATION PERSONNELLE).....	25
FIGURE 11- RESULTAT DE L’OUTIL OPTIMISER LA COUVERTURE DE CAPACITE (REALISATION PERSONNELLE) .....	27
FIGURE 12 – ZOOM DU RESULTAT DE L’OUTIL OPTIMISER LA COUVERTURE DE CAPACITE (REALISATION PERSONNELLE) .....	27
FIGURE 13 - GRAPHIQUE DU NOMBRE DE BATIMENTS EN FONCTION DU NSA A EVACUER (REALISATION PERSONNELLE).....	28
FIGURE 14 - RESULTAT DE L’OUTIL OPTIMISER LA COUVERTURE DE CAPACITE, IMPEDANCE 500M (REALISATION PERSONNELLE).....	29
FIGURE 15 - RESULTAT DE L’OUTIL MINIMISER LES RESSOURCES, IMPEDANCE 200M (REALISATION PERSONNELLE).....	31
FIGURE 16 - RESULTAT DE L’OUTIL MINIMISER LES RESSOURCES, IMPEDANCE 500M (REALISATION PERSONNELLE).....	31
FIGURE 17 - RESULTAT DE L’OUTIL MINIMISER LES RESSOURCES, IMPEDANCE 1050M (REALISATION PERSONNELLE).....	32
FIGURE 18 - GRAPHIQUE DE L'EVOLUTION DE L'AFFECTATION DES BATIMENTS A DES CARE .....	32
FIGURE 19 - MODIFICATIONS DU RESEAU AVANT/APRES (REALISATION PERSONNELLE).....	34
FIGURE 20 - RESULTAT MINIMISER L'IMPEDANCE NICE (REALISATION PERSONNELLE) .....	35
FIGURE 21 - SURCHARGE ET SOUS-CHARGE DE CHACUN DES CARE .....	36
FIGURE 22 - CARTOGRAPHIE DU RESEAU EN FONCTION DE LA DISTANCE BATIMENTS-CARE .....	37
FIGURE 23 - CARTOGRAPHIE DU RESEAU EN FONCTION DES BATIMENTS A PLUS DE 1500M D'UN CARE .....	38
FIGURE 24 - LIEUX POTENTIELS POUR DES CARE SUR LE FONCIER PRIVE .....	39
FIGURE 25 - EXEMPLE D'INTERFACE D'UNE APPLICATION (SOURCE : LUCIEN DAVID - ANTOINE BENEDI) .....	43
CODE 1 - AFFECTATION DES BATIMENTS AUX CARE LES PLUS PROCHE SELON LA DISTANCE EUCLIDIENNE, CODE PYTHON (KAMAL SERRHINI 2017) .....	45
CODE 2 - AFFECTATION DES BATIMENTS AUX CARE LES PLUS PROCHE SELON LA DISTANCE RESEAU, CODE MATLAB (ANTOINE BENEDI 2017).....	46

# REFERENCES

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- 1 ASDOURIAN B. (2010), COMMUNICATION RELATION ET MÉDIAS SOCIAUX Étude du cas de la sensibilisation aux feux de forêt. Sciences de l'Homme et Société. Université de la Méditerranée - Aix-Marseille II, 2010. Français. <tel-00573962>
- 2 BARAY J. (2012), *Localisation commerciale multiple : une application du traitement du signal et du modèle p-médian au développement d'un réseau de magasins de produits biologiques*. Sciences de l'Homme et Société. Université de Rennes 1, 388p.
- 3 BRGM (2004), *Les Enjeux des Géosciences, Fiche de synthèse scientifique n°7*, 4p.
- 4 CLEMENT A., CELLE G. (2011), Elaboration d'un Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs (DICRIM) interactif, Ville de Saint-Etienne, IMRa, 87p. Disponible sur : <https://legifrance.gouv.fr/>
- 5 CABINET DELOITTE (2015), *Usages Mobiles 2015 A Game of Phones Technologies, Médias et Télécommunications*, Deloitte SAS, 30p
- 6 COLLETTE Y., SIARRY P. (2002), *Optimisation Multiobjectif*. Eyrolles, 328p.
- 7 DOUVINET J., PALLARES R., GENRE-GRANDPIERRE C., GRALEPOIS M., RODE S., SERVAIN-COURANT S. (2013), *L'information sur les risques majeurs à l'échelle communale*. Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 658, mis en ligne le 04 décembre 2013, consulté le 16 mars 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/26112>
- 8 DOUVINET J., GISCLARD B., SEKEDOUA KOUADIO J., SAINT-MARTIN C., MARTIN G. (2017), *Une place pour les technologies smartphones et les Réseaux Sociaux Numériques (RSN) dans les dispositifs institutionnels de l'alerte aux inondations en France ?*, Cybergeog : European Journal of Geography [En ligne], Espace, Société, Territoire, document 801, mis en ligne le 05 janvier 2017, consulté le 16 mars 2018. URL : <http://journals.openedition.org/cybergeog/27875> ; DOI : 10.4000/cybergeog.27875
- 9 FERRER L. (2017), *Analysis of a risk prevention document using dependability techniques: a first step towards an effectiveness model*, Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss, 34p.
- 10 GAY J.-C. (2011), *Résolution du problème p-médian, application à la restructuration de bases de données semi-structurées*. Autres [cq. OH]. Université Blaise Pascal – Clermont-Ferrand II, 133p.
- 11 HANDLER G.Y., MIRCHANDANI P.B. (1979), *Locations on Networks*, MIT Press, Cambridge, MA.
- 12 JOZEFOWIEZ N. (2013), *Optimisation combinatoire multiobjectif : des méthodes aux problèmes, de la Terre à (presque) la Lune*. Automatique/Robotique. Institut National Polytechnique de Toulouse (INP Toulouse).
- 13 KHANAFER A. (2010). *Algorithmes pour des problèmes de bin packing mono et multi-objectif*. Université des Sciences et Technologies de Lille, Institut national de Recherche et Informatique et Automatique (INRIA), 158p.

- 14 LALAMI M.E. (2012). *Contribution à la résolution de problèmes d'optimisation combinatoire : méthodes heuristiques et parallèles*, Projet de mémoire pour l'obtention du titre de Docteur en Systèmes Informatiques et Automatiques de l'Ecole Doctorale EDSYS, Université Toulouse 3 Paul Sabatier, 158p.
- 15 LE BOURHIS J.-P. (2007), *Du savoir cartographique au pouvoir bureaucratique. Les cartes des zones inondables dans la politique des risques (1970-2000)*, *Genèses* 2007/3 (n° 68), p. 75-96. DOI 10.3917/gen.068.0075.
- 16 NINGCHUAN X. (2015), *GIS Algorithms*. SAGE Publications, 336p.
- 17 SAADATSERESHT M., MANSOURIAN A., TALEAI M. (2008), *Evacuation planning using multiobjective evolutionary optimization approach*. Elsevier, 10p.
- 18 SAUVANET G. (2011), *Recherche de chemins multiobjectifs pour la conception et la réalisation d'une centrale de mobilité destinée aux cyclistes. Modélisation et simulation*. Université François Rabelais - Tours, 2011. Français. <tel-00603891>
- 19 SERRHINI K., PALKA G., MAIZIA M., NERON E. (2017). *Optimisation combinatoire de l'affectation interne de la population de Nice aux centres d'accueil en cas de séisme*. Spatial Analysis and GEOmatics 2017, Rouen, France. <hal-01650670>.
- 20 WEBER A. (1909), *Über den Standort der Industrien*, Erster Teil : *Reine Theorie des Standorts*, Tübingen, J. C. B. Mohr, 223 p., trad. angl. de C. J. Friedrich, *Alfred Weber's Theory of Location of Industries*, Chicago, University of Chicago Press, 1929, 256 p.

## REFERENCES SITOGRAPHIQUES

Ministère de l'Écologie et du Développement durable (2004), *Les séismes : Dossier d'information – risques naturels majeurs*. Conception et Source Alp'Géorisques, Graphies, 20 p.  
Disponible sur : [http://rme.ac-rouen.fr/2007\\_seismes.pdf](http://rme.ac-rouen.fr/2007_seismes.pdf).

Région PACA, BRGM, DREAL PACA avec la collaboration du CETE Méditerranée (2006, mis à jour en 2009), *Le risque sismique en PACA*.  
Disponible sur : [http://observatoire-regional-risques-paca.fr/sites/default/files/classeur\\_seisme.pdf](http://observatoire-regional-risques-paca.fr/sites/default/files/classeur_seisme.pdf).

Département Alpes-Maritimes (2012). *Le risque sismique dans les Alpes-Maritimes*.  
Disponible sur : [www.alpes-maritimes.gouv.fr/content/download/5546/33348/file/Sismique\\_RM.pdf](http://www.alpes-maritimes.gouv.fr/content/download/5546/33348/file/Sismique_RM.pdf)

Ville de Nice (2013), *Plan Communal de Sauvegarde*, volet Séisme.  
Disponible sur : <https://www.nice.fr/uploads/media/default/0001/15/Synthèse%20du%20PCS.pdf>

Euro décision, Algorithmes heuristiques et méta-heuristiques.  
Disponible sur : <https://www.eurodecision.com/savoir-faire/recherche-operationnelle/optimisation/heuristiques-meta-heuristiques>

Gérard, Introduction aux métaheuristiques, Ecole Polytechnique de Montréal  
Disponible sur : [https://www.gerad.ca/Sebastien.Le.Digabel/MTH6311/5\\_Introduction\\_Metaheuristiques.pdf](https://www.gerad.ca/Sebastien.Le.Digabel/MTH6311/5_Introduction_Metaheuristiques.pdf)

Iri, le problème du Bin Packing (remplissage de sacs), Laboratoire LORIA  
Disponible sur : <https://www.lri.fr/~jcohen/documents/enseignement/binpacking.pdf>

Interstices, le problème du sac à dos

Disponible sur : [https://interstices.info/jcms/c\\_19213/le-probleme-du-sac-a-dos](https://interstices.info/jcms/c_19213/le-probleme-du-sac-a-dos)

## DICRIM

Commune d'Aiguillon.

Disponible sur : [http://www.ville-aiguillon.eu/fileadmin/Collectivites/ville\\_Aiguillon\\_47190/documents/pdf/sonia/commune/DICRIM\\_Aiguillon\\_juillet11.pdf](http://www.ville-aiguillon.eu/fileadmin/Collectivites/ville_Aiguillon_47190/documents/pdf/sonia/commune/DICRIM_Aiguillon_juillet11.pdf)

Commune de Bourges.

Disponible sur : [http://www.ville-bourges.fr/\\_medias\\_/files/pdfs/dicrim.pdf](http://www.ville-bourges.fr/_medias_/files/pdfs/dicrim.pdf)

Commune de Carnac.

Disponible sur : <http://docplayer.fr/53222766-Risques-majeurs-prevenir-s-info-me-agir-adoptons-les-bons-reflexes-dicrim.html>

Commune de La Baule-Escoubiac.

Disponible sur : [http://www.loire-atlantique.gouv.fr/content/download/3195/24403/file/PAC\\_la\\_baule\\_28\\_03\\_2011.pdf](http://www.loire-atlantique.gouv.fr/content/download/3195/24403/file/PAC_la_baule_28_03_2011.pdf)

Commune de La Désirade.

Disponible sur : [http://www.mairie-ladesirade.fr/sites/d/desirade/www/mairieladesirade.fr/IMG/pdf/le\\_livret\\_dicrim\\_omt\\_downloaded\\_with\\_1stbrowser.pdf](http://www.mairie-ladesirade.fr/sites/d/desirade/www/mairieladesirade.fr/IMG/pdf/le_livret_dicrim_omt_downloaded_with_1stbrowser.pdf)

Commune de Nantes.

Disponible sur : <https://www.nantes.fr/files/live/sites/nantesfr/files/PDF/Guides-pratiques/risques-majeurs-16.pdf>

Commune de Nice.

Disponible sur : <https://www.nice.fr/uploads/media/default/0001/15/DICRIM.pdf>

Commune de Saint-Cézert.

Disponible sur : [http://www.mairie-saintcezert.fr/\\_resources/documents%2520PDF/Divers/DICRiM.pdf?download=true](http://www.mairie-saintcezert.fr/_resources/documents%2520PDF/Divers/DICRiM.pdf?download=true)

CITERES

UMR 7324  
Cités, Territoires,  
Environnement et  
Sociétés

Equipe IPA-PE  
Ingénierie du Projet  
d'Aménagement,  
Paysage,  
Environnement



35 allée Ferdinand de Lesseps  
BP 30553  
37205 TOURS cedex 3

Directeurs de recherche :  
Kamal SERRHINI (DAE)  
Nicolas MONMARCHE (DI)

Antoine BENEDI  
Lucien DAVID  
Oumaima LOUARD

Projet de Fin d'Etudes  
DA5  
2017-2018

## **Plan d'évacuation post-séisme de la population de Nice : Affectation sous-optimale de lieux sécurisés à des habitants en cas de séisme**

### **Résumé :**

La ville de Nice est l'une des communes les plus confrontées au risque sismique en France. Cependant, l'Etat et la commune ont mis en place un plan d'évacuation post-séisme afin d'évacuer les habitants des zones endommagées vers des Centres d'Accueil et de Regroupement (CARE). Nous verrons qu'il est cependant impossible d'évacuer toute la population vers les CARE faute de place.

Ce projet de fin d'études, réalisé au sein de l'école Polytech Tours, a été mené afin d'optimiser cette affectation et de trouver un moyen d'affecter la totalité de la population à un CARE.

Grâce à une documentation riche et approfondie sur le sujet d'optimisation multiobjectif, nous avons pu définir le cadre de notre sujet, et pu émettre une problématique. Différents scénarios d'affectations, réalisés avec des outils informatiques tels que ArcGIS, Python ou bien Toaster, permettent de répondre à la problématique initiale, dans le but de présenter ces scénarios à la ville de Nice pour améliorer la démarche d'évacuation.

**Mots Clés :** risque sismique, évacuation post-séisme, CARE, optimisation multiobjectif, affectation, Nice, p-Médian, Arcgis