

## PROPOSITION SUJETS DE THESE CONTRATS DOCTORAUX FR AGORANTIC - 2026—2029

<b>Directeur de thèse :</b>	<b>Johnny DOUVINET</b> (Professeur en Géographie)	<b>Mail :</b>	<a href="mailto:Johnny.douvinet@univ-avignon.fr">Johnny.douvinet@univ-avignon.fr</a>
<b>Laboratoire porteur :</b>	UMR ESPACE 7300 CNRS	<b>Téléphone :</b>	04 90 16 25 16
<b>Co-directeur·rice et/ou co-encadrant·e et leurs e-mails :</b>	<b>Céline LACAUX</b> (Professeur en Mathématiques), Co-Directrice, LMA, <a href="mailto:celine.lacaux@univ-avignon.fr">celine.lacaux@univ-avignon.fr</a> <b>Rachid EL AZOUZI</b> (Professeur en Informatique), Co-Directeur, <a href="mailto:Rachid.el-azouzi@univ-avignon.fr">Rachid.el-azouzi@univ-avignon.fr</a>		
<b>Laboratoires associés :</b>	<b>ESPACE / LIA / LMA</b> (Avignon Université) <b>UMR TVES</b> (Université de Lille)		
<b>Autres structures partenaires :</b>	<b>High Wind</b> , Start-up créée en 2021 par Adrien RICCI (participation aux réunions trimestrielles / contributions RH sans autre financement) <b>Un opérateur de téléphonie</b> (contacts pris avec Orange)		

**Titre en français :** *Territorialiser l’alerte par diffusion cellulaire, pour optimiser la gestion de crise (TERRALERT)*

**Titre en anglais :** *Cell Broadcast alerts in relation to Territories, for bolstering crisis management*

### **Résumé :**

Depuis juin 2022, les autorités préfectorales peuvent envoyer des notifications d’alerte (via le dispositif FR-Alert) qui s’affichent sur l’écran des téléphones portables des individus situés dans une zone de danger définie. Toutefois, les autorités n’ont aucune idée du nombre de personnes recevant réellement ces alertes (dans et dehors de cette zone). La diffusion étant perturbée par de nombreux facteurs (le nombre et la portée de diffusion des antennes, mais aussi la structure du bâti, la densité et la dynamique de déplacement des individus, la présence de plans d’eau...), des individus peuvent aussi recevoir les alertes alors qu’ils se situent à des kilomètres en dehors de la zone. En croisant des approches géographiques, mathématiques et informatiques, cette thèse vise 3 objectifs : 1) concevoir un outil de simulation pour territorialiser l’alerte par diffusion cellulaire, 2) tester et calibrer le simulateur grâce à des données empiriques (collectées en 2024 et 2025 ou qui pourront être complétées durant la thèse), 3) évaluer l’influence des caractéristiques morpho-fonctionnelles des territoires sur la qualité de la diffusion de l’alerte, entendue comme l’adéquation spatiale entre la zone théorique et celle réellement alertée.

**Mots clés :** *alerte, diffusion cellulaire, spatialisation du signal radio, France.*

### **1. Liste des disciplines concernées**

Géographie et aménagement (qui implique des membres des UMR TVES et ESPACE)

Informatique (LIA)

Mathématiques (LMA),

+ Une collaboration avec une start-(up High Wind) – temps RH apportés sur le projet

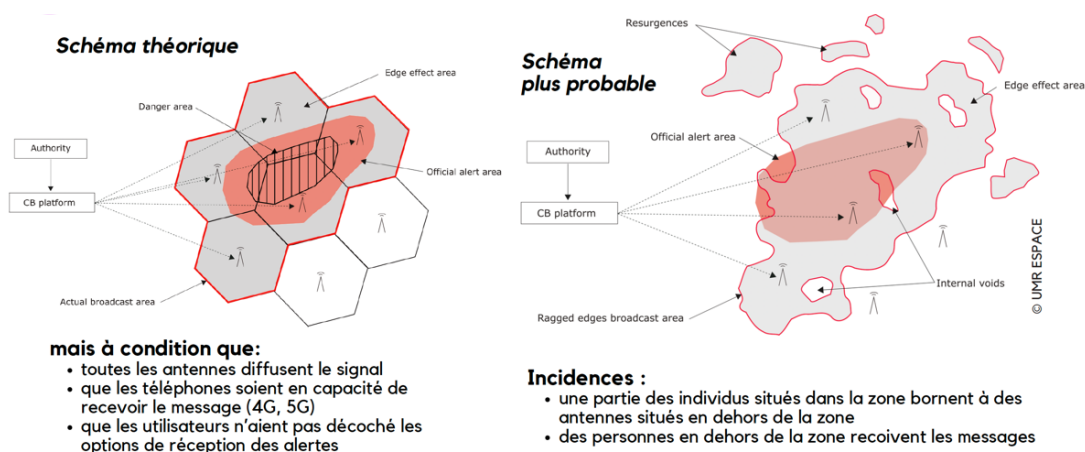
## 2. Présentation du sujet

### Éléments de contexte et enjeux

L'alerte par diffusion cellulaire est mise en œuvre en France depuis juin 2022 *via* le dispositif FR-Alert. Les autorités préfectorales peuvent ainsi, en cas de danger imminent ou en cours, envoyer des notifications qui s'affichent directement sur l'écran des téléphones des individus situés dans la zone d'alerte dessinée. Les messages contiennent différentes informations (le nom de l'émetteur, la nature du danger, les lieux concernés, les consignes à appliquer). La diffusion ultra-rapide de cette alerte (de 1 à 2 secondes) n'est pas conditionnée à la congestion sur les réseaux des opérateurs de téléphone mobile (contrairement aux SMS). Si le niveau 2 (*Urgence extrême*) est sélectionné par les autorités, un signal sonore et intrusif fait sonner le téléphone, même si celui-ci est verrouillé ou en mode silencieux, ce qui est alors source de stress ou d'interrogation du côté des usagers (Bean *et al.*, 2019 ; Bopp *et al.*, 2023 ; Douvinet *et al.*, 2025).

### Éléments de problématique

S'il est possible de connaître le nombre de cartes SIM recensées dans la zone d'alerte au moment de la diffusion et le nombre d'antennes ayant bien diffusé le signal, **deux informations manquent en cas de crise** : 1) le nombre de personnes qui ont bien reçu ces alertes (que ce soit au moment / durant la durée de la diffusion, et au sein ou en dehors de la zone), 2) les réactions des individus, qui diffèrent selon leurs situations (travail, domicile, en déplacement) et leur compréhension du danger (à titre d'illustration, lors de l'exercice tsunami organisé le 19 janvier 2023 sur l'ensemble du littoral méditerranéen, des individus ont reçu le message alors qu'ils étaient à 10km du bord de mer et ils se sont déplacés vers le littoral ; Bopp *et al.*, 2023). Ce manque de connaissances sur la réalité de la réception en temps réel, qui rend « aveugle » les autorités préfectorales, constitue la principale limite formulée à l'encontre de l'alerte par diffusion cellulaire (Bean, 2019 ; Kuligowski *et al.*, 2023). Comme la diffusion se propage par ondes radio, les effets de bord (« *effets de bavage* ») sont également connus, mais sans pour autant être cartographiés, ni connus aux échelles fines, les opérateurs refusant de donner ces informations pour des questions de responsabilité. A ce jour, nous avons schématisé cet effet de bord, au plus proche de nos connaissances (**Figure 1**), sans le décliner sur les territoires. Ce manque de connaissances est aussi préjudiciable pour les futures alertes. Des travaux récents ont démontré que les individus alertés mais non concernés (recevant l'alerte sans être dans la zone dessinée) ressentent de la défiance vis-à-vis des autorités (Bean *et al.*, 2024) et de la technologie (Olson *et al.*, 2023), et que leur réactance lors des futures alertes était très élevée. D'autres ont confirmé qu'une partie des individus prenaient plus de temps pour évacuer à force d'avoir reçu des sur-alertes (Makinoshima *et al.*, 2025). Rappelons par ailleurs que les autorités sont les seules à visualiser la zone d'alerte dessinée sur la plateforme FR-Alert, alors que les cibles finales (les individus) reçoivent les alertes sans pouvoir se situer par rapport à la zone dangereuse.



**Figure 1** – Différence entre le schéma théorique d'alerte par diffusion cellulaire (présenté par les prestataires) et un schéma plus probable basé sur les retours empiriques (Bopp *et al.*, 2022)

## Objectifs de cette recherche doctorale

Ancrée à l'interface de la géographie, l'informatique et les mathématiques (avec des liens attendus entre les trois disciplines durant la vie de la thèse), cette recherche vise à la fois des objectifs :

- **scientifiques** : apporter de nouvelles briques de connaissance, à la fois sur la modélisation de la diffusion cellulaire et l'émergence de « trous dans la raquette » (« *internal voids* », **Figure 1**), mais aussi sur la façon dont la structure et la dynamique des territoires viennent perturber l'empreinte spatiale de la diffusion. Jusqu'à présent, des régressions logistiques ont été utilisées pour calculer la probabilité de réception des alertes, mais d'autres méthodes (chaîne de Markov notamment) seront explorées. Les sur-alertes seraient d'ailleurs plus faibles en contexte urbain par rapport au milieu rural, et les zones non-couvertes amplifiées à l'arrière d'éléments structurants (type barrage, autoroutes), mais encore faut-il le démontrer ;
- **méthodologiques** : développer une chaîne de modélisation complète (en utilisant les prémices d'une modélisation développée sous SIG ; Cebe, 2025), tester différentes métriques de diffusion, implémenter des indicateurs traduisant la dynamique variable des territoires, voire explorer les possibilités offertes par l'IA générique pour forcer des apprentissages itératifs du simulateur ;
- **opérationnels** : en cartographie la réception de l'alerte par diffusion cellulaire, les autorités auront une meilleure connaissance de la portée de l'outil qu'ils ont à disposition, seront informées de la liste des communes couvertes, et elles devraient aussi imaginer d'autres stratégies pour les zones non couvertes.

## Méthode et données utilisées

### Nature des données collectées en amont de la thèse

Différentes données (collectées au cours des années 2024 et 2025 pour rendre ce projet de thèse réaliste) viendront alimenter de façon exclusive cette recherche (**Tableau 1**). Les scénarios et les contextes de réalisation, par définition variables, permettent de mener une analyse comparative non ciblée sur un seul jeu de données. De futurs exercices seront envisagés durant la thèse (un exercice Natech, simulant une submersion sur un site industriel, est par exemple programmé fin 2026). En parallèle, un travail réflexif sera associé pour implémenter une grille permettant de qualifier l'évolution dynamique des territoires. De cette grille dépendra ensuite la qualité de la simulation. Des enquêtes de terrain seront également été menées pour observer la réaction de certains individus situés dans des zones de sur-alertes identifiées.

Date de l'exercice	Heure de début de diffusion	Nature du danger (et durée de la diffusion)	Zone d'alerte dessinée (et numéro du département)	Nombre de points de réception géolocalisés
17/10/2024	11h15	Incident industriel (30 minutes de diffusion)	3,5km autour d'ARKEMA, usine SEVESO (La Penne-sur-Huveaune, est de Marseille)	11 214
28/01/2025	14h45	Vigilance météorologique (2h de diffusion)	Commune de Vauvert (Gard)	4 345
24/02/2025	10h35	Vigilance météorologique (30 minutes de diffusion)	Département (ensemble des Alpes de Haute Provence)	12 958
17/10/2025	10h00	Rupture de barrage Bimont (4h de diffusion)	Zone d'inondation en aval du barrage (Aix > Berre l'Etang)	121 453

**Tableau 1** – Nombre de réceptions confirmées lors de 5 exercices organisés entre 2024 et 2025.

### Nature des traitements escomptés

- 1) Si les premières bases du simulateur ont été posées, il convient d'améliorer la simulation sous SIG en intégrant encore plus de données environnementales : le relief et les milieux humides (qui entraînent une réflexion du signal radio sur l'eau) sont actuellement intégrés, mais il faut aller plus loin, notamment en dégradant la propagation du signal en fonction du nombre d'individus présents (et fluctuants en journée). D'un autre côté, la perte de propagation des ondes radio est dérivée des travaux de Okumura (1968) et Hata (1980), mais d'autres travaux plus complexes ont été menés depuis (Roche, 2007 ; Polak et al., 2024). Il faudrait alors voir si des formules plus précises peuvent être utilisées,
- 2) Des zones d'alerte ayant différents formats ainsi que des scénarios de fréquentation variables seront ensuite implémentés pour comparer les impacts pour une zone prédéfinie. Les résultats seront testés et

calibrés par rapport aux données empiriques collectées (ou acquises durant la thèse). Des indicateurs seront créés (zone couverte, non couverte selon les opérateurs) pour qualifier la pertinence, mais aussi la robustesse, la fiabilité et la précision des simulations. Les zones « grises » feront l’objet d’investigations plus fines, pour comprendre l’absence de réception dans ces secteurs (**Figure 2**).

4) la spatialisation des données dans un SIG (Système d’Information Géographique) permettra de se projeter sur différents scénarios, pour voir si les scénarios imaginés (en termes d’éléments déclencheurs ou aggravants) remettraient en cause la pertinence de la diffusion cellulaire. L’idée est aussi de mesurer les effets d’éventuelles coupures de courant, qui empêcheraient la diffusion du signal radio.

### 1) Choix du périmètre de la zone d’alerte

Exemple : Zone Inondation en cas de rupture du barrage de Bimont (13)



### 2) Simulation de la zone d’alerte théorique

Utilisation du modèle Hata-Okumura (2004) et formule utilisée pour calibrer la perte de propagation,  $L_p$ , du signal en milieu rural

Environnement rural

$$L_p = 69,55 + 26,16 * \log(f) - 13,82 * \log(h_t) - a(h_m) + (44,9 - 6,55 * \log(h_t)) * \log(d) - 4,78 * \log(f)^2 + 18,33 * \log(f) - 40,94$$

$$\leftrightarrow L_p = 69,55 + 26,16 * \log(f) - 13,82 * \log(h_t) - ((1,1 * \log(f) - 0,7) * h_m - (1,56 * \log(f) - 0,8)) + (44,9 - 6,55 * \log(h_t)) * \log(d) - 4,78 * \log(f)^2 + 18,33 * \log(f) - 40,94$$

$$\leftrightarrow L_p = 69,55 - 26,16 * \log(f) + 13,82 * \log(h_t) + ((1,1 * \log(f) - 0,7) * h_m - (1,56 * \log(f) - 0,8)) + 4,78 * \log(f)^2 - 18,33 * \log(f) + 40,94 = (44,9 - 6,55 * \log(h_t)) * \log(d)$$

$$\leftrightarrow \log(d) = \frac{L_p - 69,55 - 26,16 * \log(f) + 13,82 * \log(h_t) + ((1,1 * \log(f) - 0,7) * h_m - (1,56 * \log(f) - 0,8)) + 4,78 * \log(f)^2 - 18,33 * \log(f) + 40,94}{(44,9 - 6,55 * \log(h_t))}$$

### 3) Croisement avec des données empiriques

Cartographie de la réception confirmée en temps réel lors d’un exercice menée le 17 octobre 2025, de 10h13 à 10h46

- Réception déclarée des notifications (diffusion cellulaire)
- Réception déclarée des SMS géolocalisés (LB-SMS)

### 4) Phénomènes d’émergence

Identification d’une zone « non couverte » (non simulée par la simulation et avec une absence de réception lors de l’exercice), alors qu’en cas de rupture, cette zone serait submergée en moins de 10 minutes !

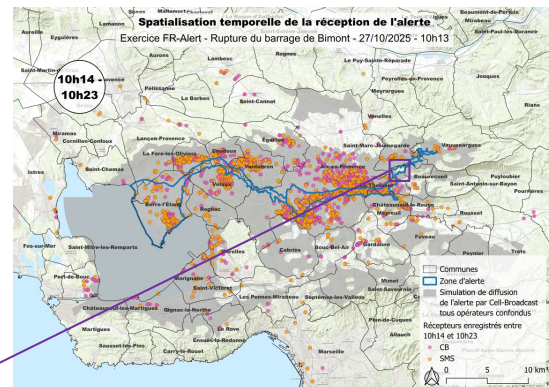


Figure 2 – Comparaison de plusieurs zonages suite à l’exercice PPI Bimont du 17 octobre 2025

## Résultats attendus

Jusqu’à présent, aucun outil simulant l’alerte par diffusion cellulaire ne permet d’appréhender l’influence des structures et des dynamiques territoriales. Le simulateur servira aussi de support pour réaliser tout un ensemble de tests, de scénarios ou d’explorations sans avoir besoin d’organiser des exercices. Un des autres résultats attendus est une meilleure prise en compte de la mobilité des individus : alerter à l’échelle d’un bassin d’emploi pourrait accentuer les effets de bord, mais être plus pertinent pour assurer une mise en sécurité (si c’est le cas, il faudra alors communiquer sur ce point). Les sorties du simulateur seront aussi expérimentées lors d’exercices, pour jouer un scénario prévu puis être en mesure de mesurer les conséquences au plus près du temps réel. Pour permettre de tirer des enseignements suffisamment généralisables pour se préparer à de prochaines crises, cette **thèse pluridisciplinaire** vise par ailleurs à développer des méthodes qui pourront apporter une plus-value au sein de chaque discipline.

## Valorisation prévue

En construisant un cadre d’analyse généralisable, il sera possible de quantifier le rôle du territoire dans la propagation spatiale de l’alerte par diffusion cellulaire. Outre la rédaction écrite de la thèse, différentes actions de valorisation (articles scientifiques dans des comités de lecture) ou de médiations (fiches action à destination des autorités préfectorales, incidences dans la doctrine opérationnelle) seront attendues. Des synthèses (au fil du temps) seront rendues publiques pour que l’ensemble de la société civile (d’autant plus importante au nom de la Science Ouverte) ait conscience des enjeux liés à la spatialisation de l’alerte par diffusion cellulaire. Rappelons pour finir que cette thèse s’inscrit dans la suite de plusieurs

projets de recherche menés sur l'alerte à la population et sur le déploiement d'une nouvelle technologie, FR-Alert®. Ces projets ont été financés par l'IHEMI (2019-2020, l'ANR et le SGDSN (projet Cap-4-Multi-Can'Alert, 2020-2021), la Direction du Numérique (DNUM, 2022-2023) ou la Fondation MAIF (2023-2025).

### 3. Profil du candidat

Ce sujet de thèse a été **rédigé avec Yoan Cebe**, qui a mené son Mémoire de Master 1 sur ce sujet (17/20) et qui est actuellement en Master II *Géomatique et Conduite de projets territoriaux* (GEOTER) à Avignon Université. Son appétence pour croiser des données géomatiques, mathématiques et informatiques est un atout majeur, qui n'a fait que se renforcer au fur-et-à-mesure des réflexions menées. Yoan Cebe ira en stage dans un bureau d'études pour compléter sa connaissance sur la gestion de crises (et de l'alerte), et pour voir si une suite est donnée à cette candidature. Le cas échéant, un profil en géographie et ouvert à l'informatique et aux mathématiques sera recherché si le sujet est retenu par la FR Agorantic.

### 4. Opportunités de mobilité de la personne doctorante

Des discussions ont été engagées avec Paula DOOTSON (Professeure en Communication à l'University of Queensland, Canberra, Australia), pour questionner les incidences des sur-alertes lors des alertes qui sont diffusées suite à l'apparition de feux virulents dans le « bush ». Si la personne doctorante accepte d'aller faire une mobilité sur ce sujet, ce sera idéal pour tester d'autres configurations et appréhender d'autres phénomènes associés au déclenchement de notifications arrivant sur les téléphones portables.

### 5. Références bibliographiques

- Bean, H. (2019). *Mobile technology and the transformation of public alert and warning* (First edition). Praeger Security International. Santa Barbara, CA: ABC-CLIO.
- Bopp E., **Douvinet J.**, Carles N., Péroche M. Foulquier P. (2024). Spatial (in)accuracy of cell broadcast alerts in urban context: feedback from the April 2023 Cannes tsunami trial, *Computers, Environment and Urban systems*, 102055, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0198971523001187>
- Cebe Y.** (2025). *Spatialiser l'alerte par diffusion cellulaire : une approche géographique des effets de bord*, Mémoire de Master 1, Avignon Université, 115 pages (dépôt sur DUMAS en cours de validation)
- Douvinet J.**, Rakoto, M., Grancher, D., Daudé, E., Moutard, R. (2023). Évaluer le contenu des notifications d'alerte diffusées en France via FR-Alert® : enjeux scientifiques et retombées opérationnelles, *Netcom*, 37 (3-4). <https://journals.openedition.org/netcom/8740>
- Douvinet J.**, Bopp E., **Ricci A.**, **Haus C.**, **Cebe Y.**, Alawad H. (2025). Spatialiser la réception des notifications d'alerte envoyées par diffusion cellulaire et ses effets de bord : un enjeu opérationnel, mais aussi un défi scientifique, *Actes du colloque SAGEO*, Avignon, 22-24 mai 2025, 8 p.
- Polak, L., Kufa, J., Sotner R., Fryza T., (2024). Measurement and Analysis of 4G/5G Mobile Signal Coverage in a Heavy Industry Environment. *Sensors*, 24 (8), art. 2538.

---

**X J'ai informé le/la directeur·rice de mon unité du dépôt de cette proposition de sujet de thèse**

Les sujets devront être adressés **avant le 12 décembre 2025 midi** à [fr-agorantic@univ-avignon.fr](mailto:fr-agorantic@univ-avignon.fr)

Maximum 5 pages, titre du fichier : acronymesujet-labo-Dirthèse-AGORANTIC.pdf