

# SPATIALITÉ ET TEMPORALITÉ DES RISQUES EN RÉSEAUX DANS LES SYSTÈMES URBAINS - ANALYSE RÉTROSPECTIVE DE LA COUPURE ÉLECTRIQUE DANS LA MÉTROPOLE DE BARCELONE, 23- 25 JUILLET 2007

## Introduction

La spatialisation, la connaissance des interdépendances territoires–réseaux–populations, en période de perturbation, et la recherche d'éventuelles règles d'organisation spatiales permettant de comprendre et d'anticiper ces événements à risques, restent des pistes de recherches assez peu explorées. Dans cette perspective, nous avons fait le choix d'analyser rétrospectivement la spatialité et la temporalité des risques en réseaux dans les systèmes urbains, en nous attachant à décrire, comprendre et spatialiser les enjeux de la coupure d'électricité dans la commune de Barcelone, durant l'été 2007.

Si cet événement a fait l'objet de retours d'expériences et de rapports techniques détaillés d'un point de vue électrique (CNE, 2007, Generalitat de Catalunya, 2007), ces études ne comportent pas de cartographies ni d'informations spatiales sur la délimitation des territoires affectés, les autres réseaux impactés, et plus largement les impacts sociétaux de la coupure électrique. A l'opposé, notre démarche est de ne pas considérer la coupure électrique comme un simple incident technique mais comme une période d'instabilité du système urbain au cours de laquelle des différenciations spatiales potentiellement porteuses de situations à risques vont apparaître, se diffuser, se combiner à d'autres, se résorber pour revenir à un état homogène du système spatial. Il s'agit, en quelque sorte, de recherche de règles et d'ordres spatiaux au cours d'un processus désorganisant.

Compte tenu de l'absence de données spatiales fines et exhaustives sur les périmètres de coupures électriques dans les rapports officiels, reconstruire *a posteriori* la dynamique spatiale de ces événements impose d'avoir recours à des sources d'informations hétérogènes, dont la fiabilité et la précision spatiale peuvent être fortement variables (presse, témoignages localisés, données quantitatives, forum internet). La fusion de données hétérogènes nous conduit à mettre en œuvre une spatialisation de l'information particulière, incluant différents niveaux de grilles imbriquées auxquelles les informations vont être rattachées en fonction de leur précision spatiale (Dutozia, 2009) et prenant en compte les localisateurs et les quantificateurs flous parfois utilisés dans les récits verbaux décrivant les lieux impactés.

Dans un second temps, ces résultats « empiriques » sur les sous-espaces affectés par la coupure électrique sont comparés à ceux obtenus à partir de modélisations géométriques des structures spatiales qui découlent de la répartition des postes électriques. Le test des méthodes présentées à la section 3.3.3. du chapitre 3, démontre une plus grande similarité avec les structures spatiales obtenues par la méthode des diagrammes de Voronoï pondérés de manière

multiplicative (DVPM) qu'avec les tessellations de Voronoï standard (DV). L'intégration de la composante temporelle vient confirmer cette observation puisque les simulations à partir des DVPM permettent de reproduire l'évolution du nombre de foyers coupés au cours des 53 heures de coupures, avec une erreur moyenne inférieure à 7% contre une erreur moyenne supérieure à 20% pour celles menées à partir des DV.

Enfin, après avoir simulé la dynamique spatiale de la coupure électrique entre le début et la fin de la crise, les impacts indirects de cette coupure seront analysés en distinguant trois périodes, d'abord les impacts indirects observés durant la coupure électrique, puis ceux apparaissant peu de temps après la crise et enfin, les effets indirects de l'évènement sur l'organisation du territoire électrique barcelonais à long terme.

## **6.1. D'UN INCIDENT TECHNIQUE, PONCTUEL ET MINUTÉ A UN ÉVÈNEMENT URBAIN, COMPLEXE, DIFFUS DANS L'ESPACE – TEMPS**

### **6.1.1 Barcelone, 23 juillet 2007, 10h53, la minute de déclenchement du système de défaillances**

Si rétrospectivement certains mécanismes d'aggravation de cette crise restent empreints d'incertitude, l'évènement à l'origine de son déclenchement est identifié, localisé et daté avec précision. La rupture d'une section de la ligne de distribution électrique 110kV à l'entrée du poste de transformation de Collblanc, le 23 juillet 2007 à 10 heures 53 minutes et 12 secondes. Cette rupture de ligne, liée à un manque de maintenance (Generalitat de Catalunya, 2007) est reconnue comme l'évènement dont découlent les défaillances en cascade qui vont affecter les réseaux et le territoire de Barcelone. Toutefois, bien qu'elles possèdent une origine commune et soient quasi-simultanées, il convient de distinguer deux chaînes de défaillances dans la diffusion de la panne électrique.

L'impact immédiat de cette rupture de ligne aurait été beaucoup plus limité dans le temps et l'espace si dans sa chute, la ligne n'était pas entrée en contact avec le poste de transformation 220kV de Collblanc, conduisant à sa perte d'approvisionnement électrique puis, 3 secondes plus tard avec la ligne Collblanc-Urgel, provoquant un court-circuit responsable de la perte d'approvisionnement pour les postes 220kV de Urgel et de Maragal (carte 48). Il est 10h53m15s, en 3 secondes la coupure électrique s'est diffusée et a atteint son « pic » avec 323 337 foyers coupés (figure 49). Moins de 15 secondes plus tard, un incendie est détecté dans le poste de transformation électrique 220kV de Maragal et détruit totalement ce dernier. Cet incendie n'a aucune incidence directe sur la coupure électrique dans le sens où il ne conduit ni à une aggravation du pic de foyers coupés (le pic reste le même que 12 secondes auparavant) ni à de nouvelles propagations dans l'espace.



**Carte 48 : L'organisation de l'approvisionnement électrique de Barcelone par le réseau de transport 220kv en vert (géré par la société Red Eléctrica Española REE) et le réseau 110 kv en bleu (géré par Endesa).**

Par contre, nous verrons en section 3 que l'effet de l'incendie sur le système de risques est essentiellement différé et se traduit par une prolongation de la crise dans le temps. Si plusieurs hypothèses ont été explorées, la cause primordiale de cet incendie semble être le mauvais état du poste de Maragal, c'est-à-dire une défaillance latente qui aurait été davantage révélée que déclenchée par la chute de la ligne et aurait permis la création de l'arc électrique à l'origine de l'incendie. Alors que l'impact initial n'aurait concerné que les zones desservies par le poste de Collblanc et que l'approvisionnement électrique aurait été restauré en l'espace d'une ou deux heures, ces défaillances électriques en cascade vont plonger en quelques secondes une des plus grandes métropoles européennes dans un état d'instabilité et de dysfonctionnement pour une durée allant de quelques minutes, à plusieurs heures, voire à plusieurs jours selon les endroits. Comme souligné dans le rapport du Comité National de l'Energie espagnol et dans celui du gouvernement catalan (CNE, 2007, Generalitat de Catalunya, 2007), les conséquences importantes d'une perturbation initiale que l'on peut qualifier de mineure mettent ici en lumière le manque d'entretien du réseau de transport et de distribution électrique.

En effet, d'une part, certaines avaries auraient pu être évitées si l'état du réseau avait été satisfaisant, d'autre part, les capacités de compensation entre les postes électriques auraient pu permettre de maintenir l'approvisionnement électrique. Pour ces raisons, les gestionnaires de réseaux ont été jugés co-responsables de la panne ; ils ont été condamnés à une amende de 21 millions d'euros et à l'indemnisation des clients affectés par la coupure. De plus, plusieurs dysfonctionnements de mécanismes de protection ont contribué à l'aggravation de la coupure

électrique (propagation dans l'espace et prolongation dans le temps), ce dernier élément peut paraître paradoxal mais est en fait assez courant, et souligné dans les travaux des spécialistes : "malfunctions in the protection system are an important contributing factor in major blackouts. Hidden failures in the protection system cause intact equipment to be unnecessarily disconnected following a fault on a neighboring component." (Dobson, *al.*, 2001). A l'heure où l'on s'interroge de plus en plus sur la vulnérabilité des infrastructures critiques face aux événements naturels extrêmes et à la réaction du système territorial soumis à l'endommagement simultané de plusieurs composantes des systèmes de réseaux, le fait qu'une perturbation mineure et unique se révèle aussi critique est un signe inquiétant de vulnérabilité et un manque de résilience du système électrique.

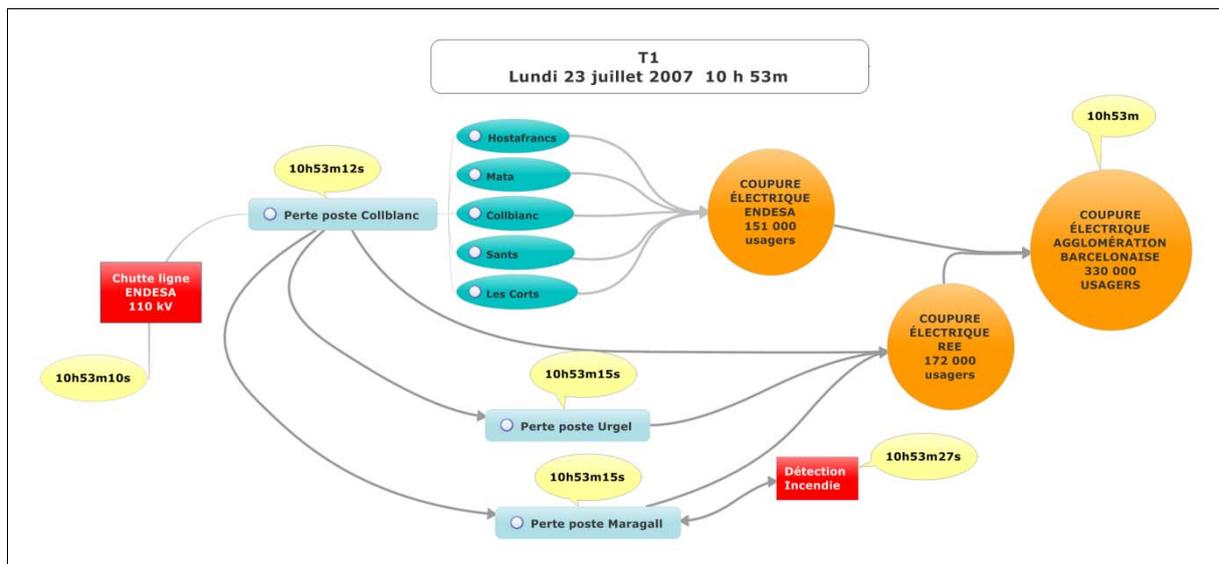


Figure 49 : Déroulement de la minute de déclenchement du système de risques.

Pour le sous-système [déclenchement de la coupure électrique], la temporalité induite par l'environnement technique est de l'ordre de la milliseconde et de la seconde, c'est pourquoi les retours d'expériences sur les grandes pannes électriques contiennent en général d'impressionnantes listes de défaillances électriques en cascade, chronométrées avec une très grande précision. En plusieurs dizaines de pages, ces rapports s'attachent à reconstituer *a posteriori* le fonctionnement du système électrique pendant les une ou deux minutes de perturbations initiales. L'intérêt et la pertinence du regard géographique pour analyser ces dynamiques très brèves ne vont pas de soi et méritent quelques éléments de précision. En effet, elles excluent *a priori* les dynamiques environnementales, sociétales et territoriales classiques dont la réalisation nécessite des temporalités plus longues. Pourtant, elles produisent des différenciations spatiales temporaires, parfois extrêmement brèves, dont l'analyse spatiale et rétrospective est porteuse de compréhension pour le fonctionnement des interactions territoires – réseaux (chapitre 2).

De plus, la connaissance du système de déclenchement pourrait permettre d'expliquer certains aspects de l'évolution de la crise et de la restauration du système (ce qui signifie qu'il existe des liens entre le système de déclenchement et le système de restauration du système électrique, et donc entre les dynamiques de diffusion spatiale observées à l'échelle des

secondes et celles de résorption spatiale observées à l'échelle des heures et des jours dans la restauration du système.)

### **6.1.2 Interdépendance des systèmes de réseaux et défaillances en cascade**

La perturbation du réseau électrique se situe en amont du système de risques ; toutefois, la relative gravité des événements de Barcelone réside aussi dans la manière dont le territoire (espace-réseau-société) réagit à ce dysfonctionnement électrique, rend possible la réalisation d'effets dominos et transforme un incident technique en événement complexe et potentiellement à risques. La diversité des impacts indirects s'explique par l'interdépendance des systèmes de réseaux et en particulier leurs dépendances au réseau électrique.

Dans le cas de Barcelone, les dysfonctionnements provoqués directement par la coupure électrique portent essentiellement sur trois composantes du système urbain (figure 50).

- La mobilité : les dysfonctionnements touchent plusieurs lignes des réseaux ferroviaires, des réseaux de métro et la majorité des feux tricolores de circulation routière. La fermeture de plusieurs rues pour permettre le passage de lignes électriques de secours complique encore davantage les déplacements des barcelonais et des services de secours.
- Les communications : la panne électrique affecte un nœud central du réseau de téléphonie mobile, provoquant la perte temporaire de 200 stations de bases et de la couverture GSM dans la majorité de la ville.
- La santé, la sécurité et le bien être des populations : la perte de l'alimentation électrique touche une grande partie des hôpitaux de la ville et contraint au report de plusieurs dizaines d'opérations chirurgicales, l'éclairage public est absent des artères principales de la ville au premier soir de la crise et les populations découvrent les nuisances sonores dues à l'installation des groupes électrogènes de secours. La persistance de la coupure électrique et du « désordre urbain » qui l'accompagne, conduisent d'ailleurs à des « caceroladas », manifestations pacifiques au cours desquelles certains habitants défilent dans la rue en frappant des casseroles, à partir du second jour de panne (montrant que l'acceptabilité des coupures électriques dans les grandes aires urbaines n'est peut être pas aussi importante que l'on pourrait le penser.)

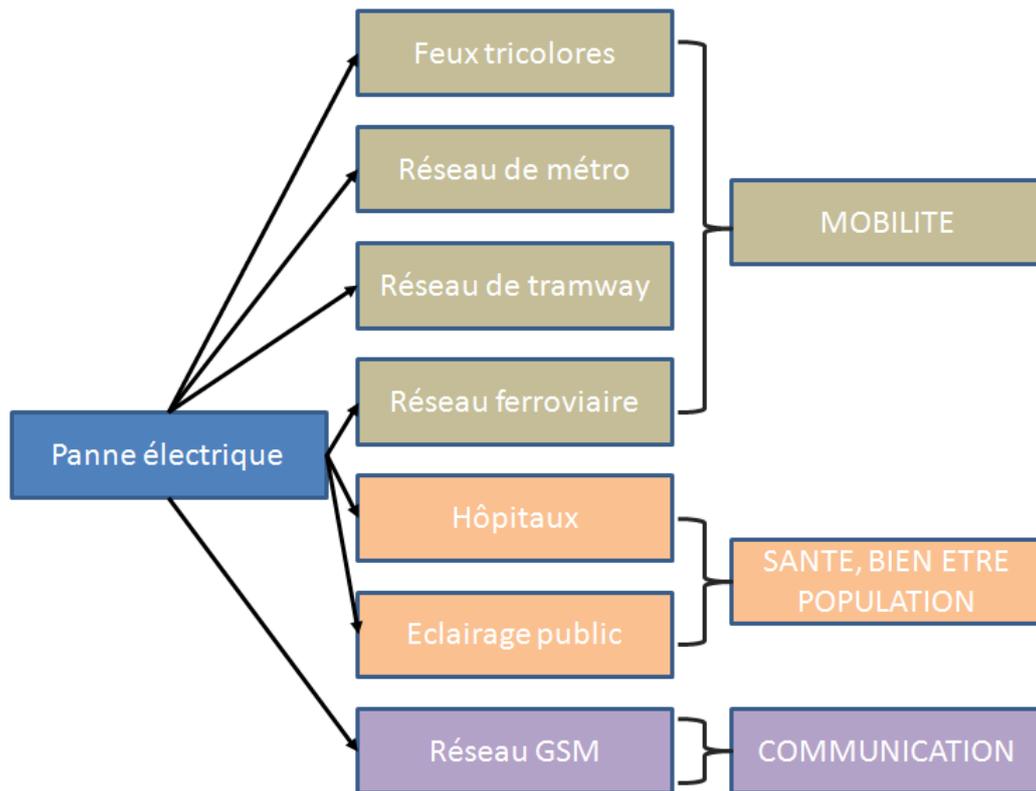


Figure 50 : Interdépendances des réseaux et effets dominos dans la perturbation du système urbain barcelonais, juillet 2007.

### 6.1.3 Instabilité du système urbain et processus de différenciation spatiale

En période de stabilité, il n'y a pas de différenciation dans l'état d'approvisionnement électrique des différents sous-espaces du système, la structuration spatiale du réseau électrique n'est pas visible, dans le sens où elle ne produit pas de différenciation spatiale. En période de perturbation, cette structuration spatiale invisible est susceptible d'apparaître partiellement à travers la différenciation entre zone coupée et zone alimentée. Au déclenchement du système de risques, correspond donc un processus de différenciation spatiale, le passage d'un état homogène du point de vue de l'approvisionnement électrique, à un état hétérogène. Ce premier changement d'état en conditionne d'autres, c'est-à-dire que dans le système de risques, l'effet domino se déclenche dans un sous-espace où il y a eu un changement d'état et peut avoir un impact sur tout ou partie d'un sous-espace affecté ou non par le changement d'état initial. L'organisation spatiale des systèmes de risques complexes peut donc être perçue comme le résultat des structurations spatiales emboîtées des différents réseaux. L'objet de la section suivante sera de produire une cartographie de la coupure électrique de Barcelone malgré l'absence de données fiables et exhaustives sur l'état d'approvisionnement électrique des territoires.

Les événements de Barcelone correspondent à un système de risques particulier dans le sens où l'aléa électrique est déclencheur des effets dominos et se place donc en amont du système de risques ; dans les autres cas envisagés dans les chapitres précédents, les défaillances et

dommages du et dus au réseau électrique sont déclenchés par un événement d'origine naturelle (inondation, tempête, ou incendie). Si l'on considère les réseaux techniques comme un sous-système du système territorial, alors on peut dire que le cas barcelonais montre que le territoire peut produire ses propres instabilités, qu'une perturbation mineure peut suffire à provoquer une cascade d'effets. Les risques à grande échelle issus de défaillances en cascades ne se posent donc pas uniquement comme un problème d'adaptation du système technique à son environnement extérieur, mais également comme un problème de dépendance et de stabilité du fonctionnement du système territorial soumis à une perturbation mineure du système technique.

D'autre part, le fait que cette perturbation initiale soit mineure, peut nous laisser penser qu'il sera plus facile de tirer des enseignements sur le fonctionnement des interdépendances réseaux-territoires. Le scénario reconstruit spatialement dans cette contribution repose sur un endommagement initial unique et ponctuel dans le réseau électrique, alors que dans le cas de dommages naturels, c'est la combinaison parfois simultanée entre plusieurs dommages au réseau électrique dont il faut étudier les combinaisons d'impacts territoriaux. Autrement dit, malgré la diversité des impacts observés, l'incertitude sur certains processus critiques dans le déroulement de la crise ou encore la difficulté à reproduire sa dynamique spatiale, l'Apagón (la panne électrique) de Barcelone reste un système de risques relativement simple.

## **6.2. CARTOGRAPHIE DE LA COUPURE ÉLECTRIQUE BARCELONAISE DU 23 JUILLET 2007 ET MÉTHODE DE FUSION DE DONNÉES MULTI-SOURCES ET IMPRÉCISES**

### **6.2.1. Construction de la base de données @PAGoN sur la panne électrique de la métropole Barcelonaise**

Notre premier objectif peut être qualifié de statique, il s'agit de connaître l'ensemble des espaces affectés par la coupure électrique quelle que soit la durée de l'absence d'approvisionnement électrique. L'absence de cartographie et de données exhaustives sur les espaces affectés par la coupure nous conduit à rechercher « partout », les données localisées qui contiennent une information partielle sur la coupure quels que soient leur échelle, leur source ou le moment de publication de l'information. L'ensemble de ces informations est rassemblé dans une base données spatialisées et temporalisées regroupant environ 300 informations citées dans la presse, des rapports officiels ou des témoignages d'habitants barcelonais issus de forums de discussions internet. Les témoignages décrivant un retour de l'électricité dans un lieu donné ont également été intégrés dans la base de données en partant de l'idée que là où l'on note un retour de l'électricité au temps  $t$ , l'électricité était absence entre 10h53 et le temps  $t$ .

La base de données @PAGON (figure 51) comprend quatre thématiques : la localisation des coupures électriques, la localisation des impacts indirects associés à cette coupure, l'évolution de la population coupée et l'évolution de l'état de la restauration des différents postes

électriques de Barcelone. La figure 4 résume les différents types d'informations utilisées pour construire la base de données @PAGON et la structuration principale de cette dernière. Pour le moment nous nous intéresserons uniquement à la construction et au traitement de la base de données SIG 1 sur les territoires affectés par une rupture d'approvisionnement électrique. Les informations temporelles sur l'évolution des pannes, et les informations spatiotemporelles sur les dommages indirects n'apparaîtront que dans la seconde partie de ce chapitre.

Parmi les sources disponibles, en dehors des références habituelles aux informations parues dans la presse, et des retours d'expériences plus orientés sur la dimension technique de l'évènement, nous avons également pu nous appuyer sur plusieurs témoignages recensés essentiellement sur internet, et plus spécifiquement dans les rubriques de commentaires associés aux articles de presse sur cette panne. On retrouve en effet dans plusieurs de ces témoignages, des informations plus ou moins précises (spatialement, temporellement et factuellement) sur l'état de l'approvisionnement électrique de la commune.



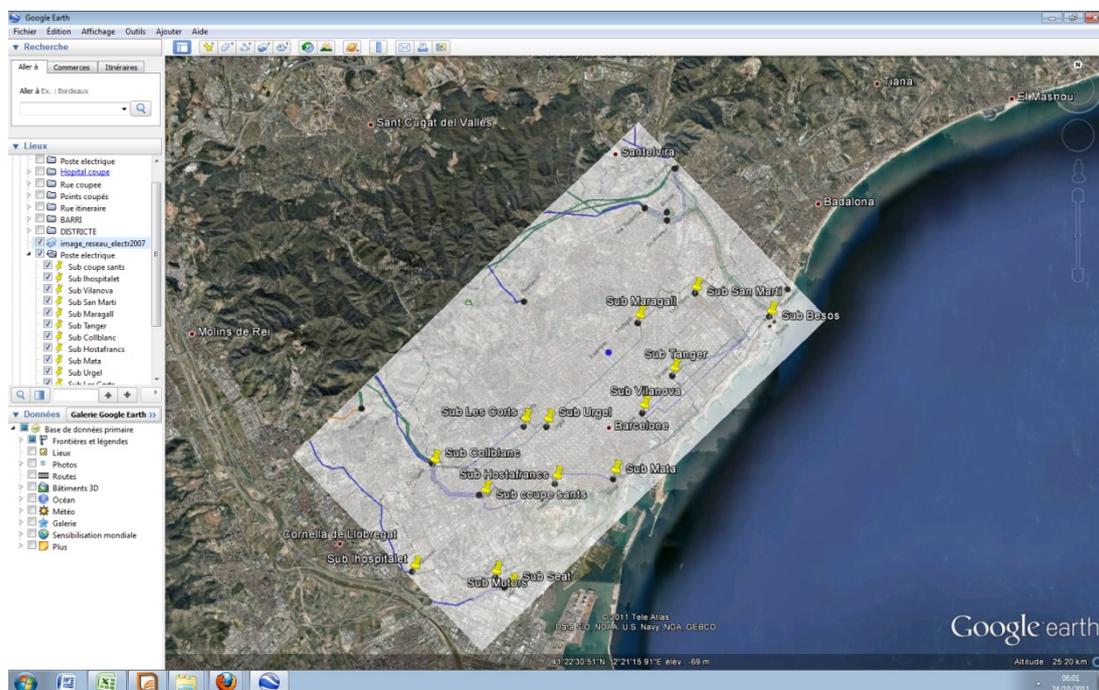
Figure 51 : Données multi-sources intégrées dans la base de données @PAGON.

La vectorisation des couches SIG est réalisée d'après le protocole suivant :

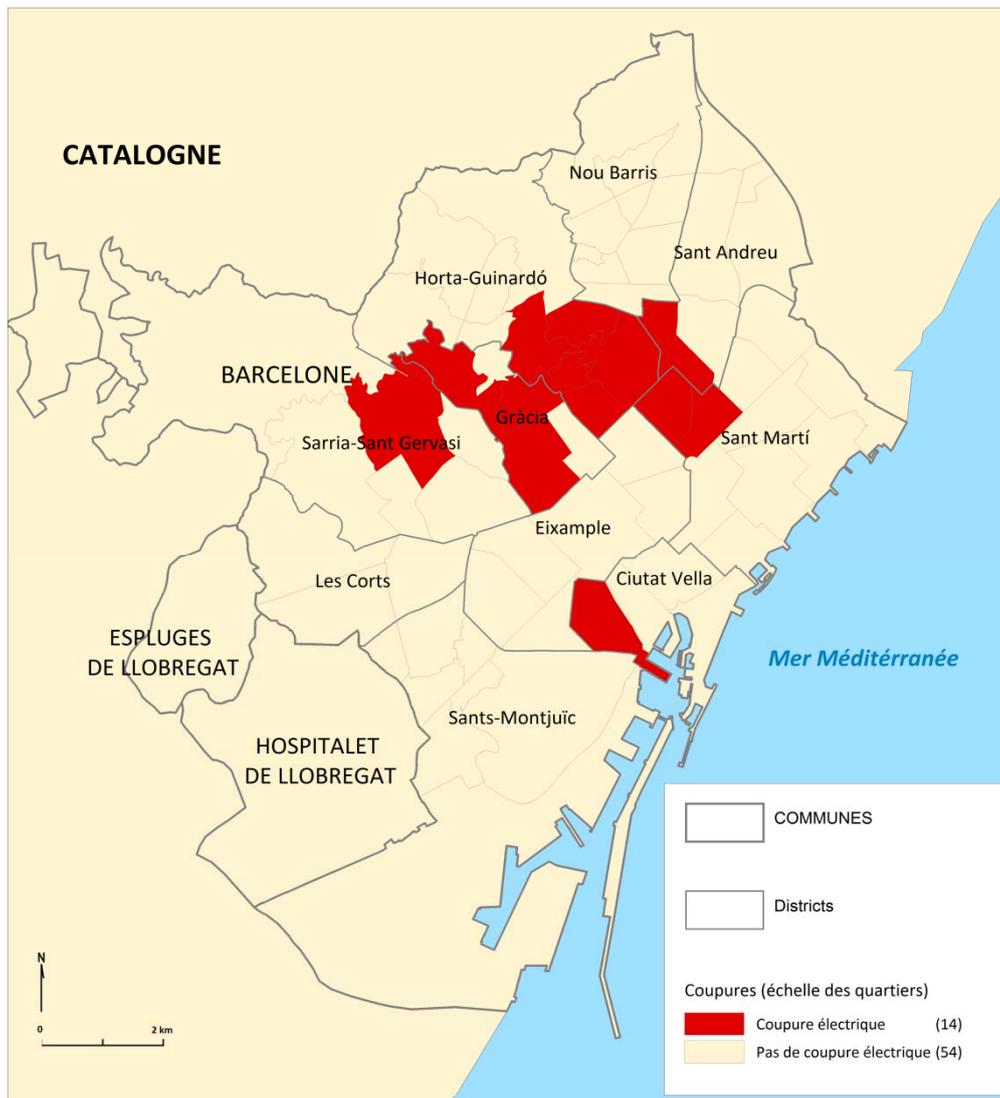
- Les informations indiquant une coupure en fonction d'un nom de communes, de districts ou de quartiers (échelles administratives, hiérarchiques et concordantes) sont spatialisées à partir du logiciel MapInfo (carte 50) en s'appuyant sur les périmètres administratifs transmis gracieusement par l'Institut Cartographique de Catalogne (ICC).
- Les témoignages citant une coupure dans un lieu précis, un dommage d'un poste électrique ou un nom de rue sont spatialisés à partir de Google Earth (carte 49), une image aérienne également fournie par l'ICC et la base de données voirie de Télé Atlas sur la région catalane.

Nous obtenons ainsi sept couches d'informations qui contiennent une information qualitative binaire sur la présence ou l'absence de la coupure électrique dans un sous-espace donné. On peut les hiérarchiser en fonction de trois niveaux de précision spatiale :

- Précision faible : les informations au niveau des communes (couche 1), des districts (couche 2) et des routes supérieures à 1 km (couche 4a) ; elles ont tendance à généraliser le périmètre de la coupure (par exemple, un titre de journal qui indique « une coupure électrique à Barcelone »).
- Précision moyenne : les informations au niveau des quartiers (couches 3) et des routes de longueur inférieure à 1 km (couche 4b)
- Précision forte : les témoignages ponctuels (couche 5) et les informations sur les hôpitaux affectés par les coupures électriques (couche 6)



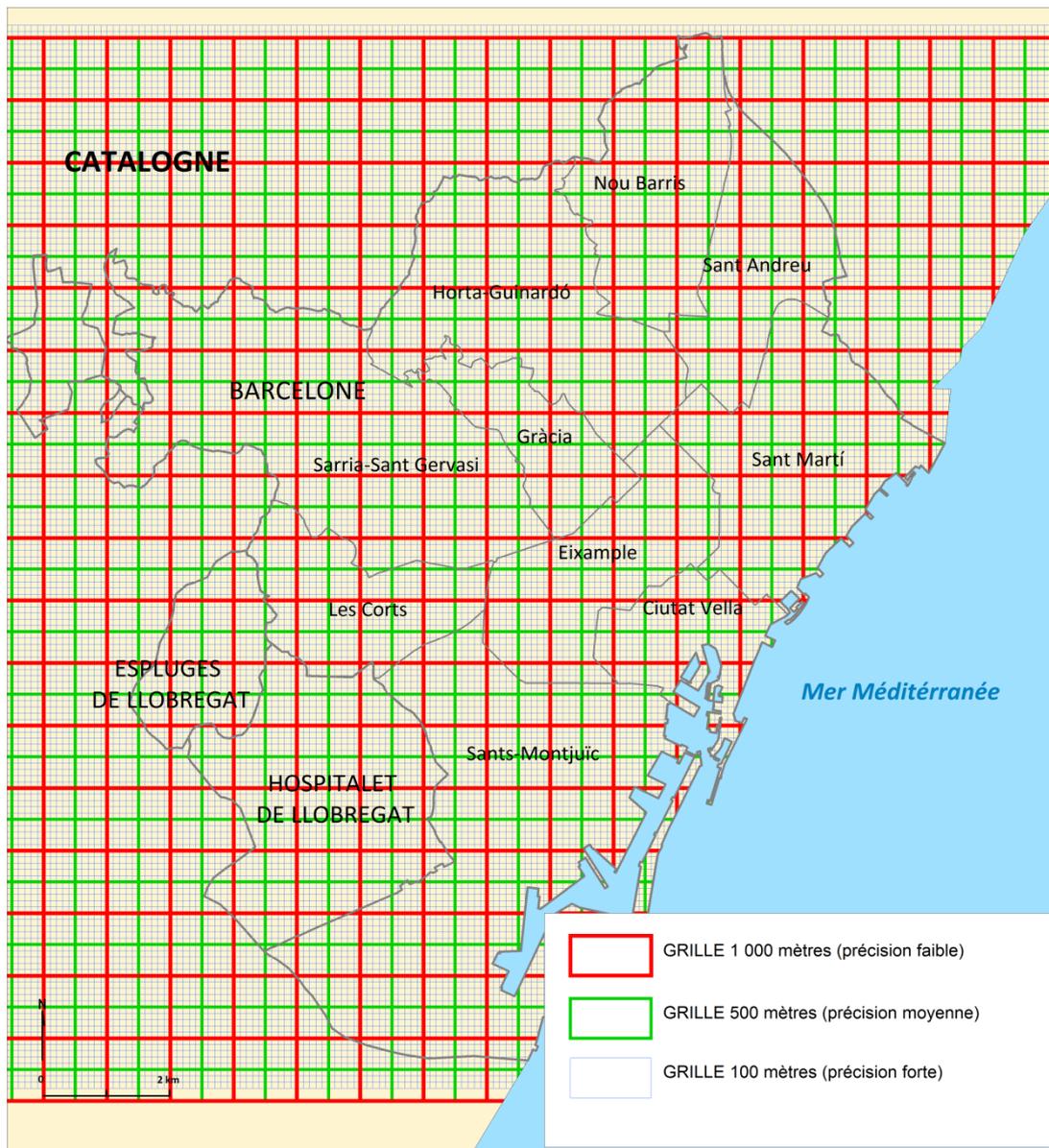
Carte 49 : Vectorisation d'informations spatiales précises de la BD @Pagon dans l'environnement Google Earth.



**Carte 50 : Vectorisation de la couche 3 sur la présence de coupure électrique à l'échelle des quartiers de l'agglomération de Barcelone.**

### **6.2.2. Transfert des bases de données SIG dans un carroyage multi niveau et méthode de fusion des informations**

L'étape suivante consiste à transférer et fusionner les informations des différentes couches d'informations. La variabilité des niveaux de précision spatiale des données nous conduit à rattacher chaque information sur une situation localisée à un seul et unique niveau de granulométrie spécifiquement prédéfini. Au total, trois niveaux de granulométries ordonnés par taille croissante sont pris en compte sous forme d'emboîtements successifs de maillages carrés de 100 mètres (34 000 cellules), 500 mètres (1360 cellules) et 1000 mètres de côté (340 cellules) (carte 51). Les données de précision faible sont rattachées à la maille de 1000 mètres, celles de précision moyenne aux mailles de 500 mètres et celles de forte précision aux mailles de 100 mètres. Les trois maillages combinent l'ensemble de l'information sur la localisation des coupures électriques.



**Carte 51 : Construction du carroyage multi niveau en fonction des trois niveaux de précision spatiale.**

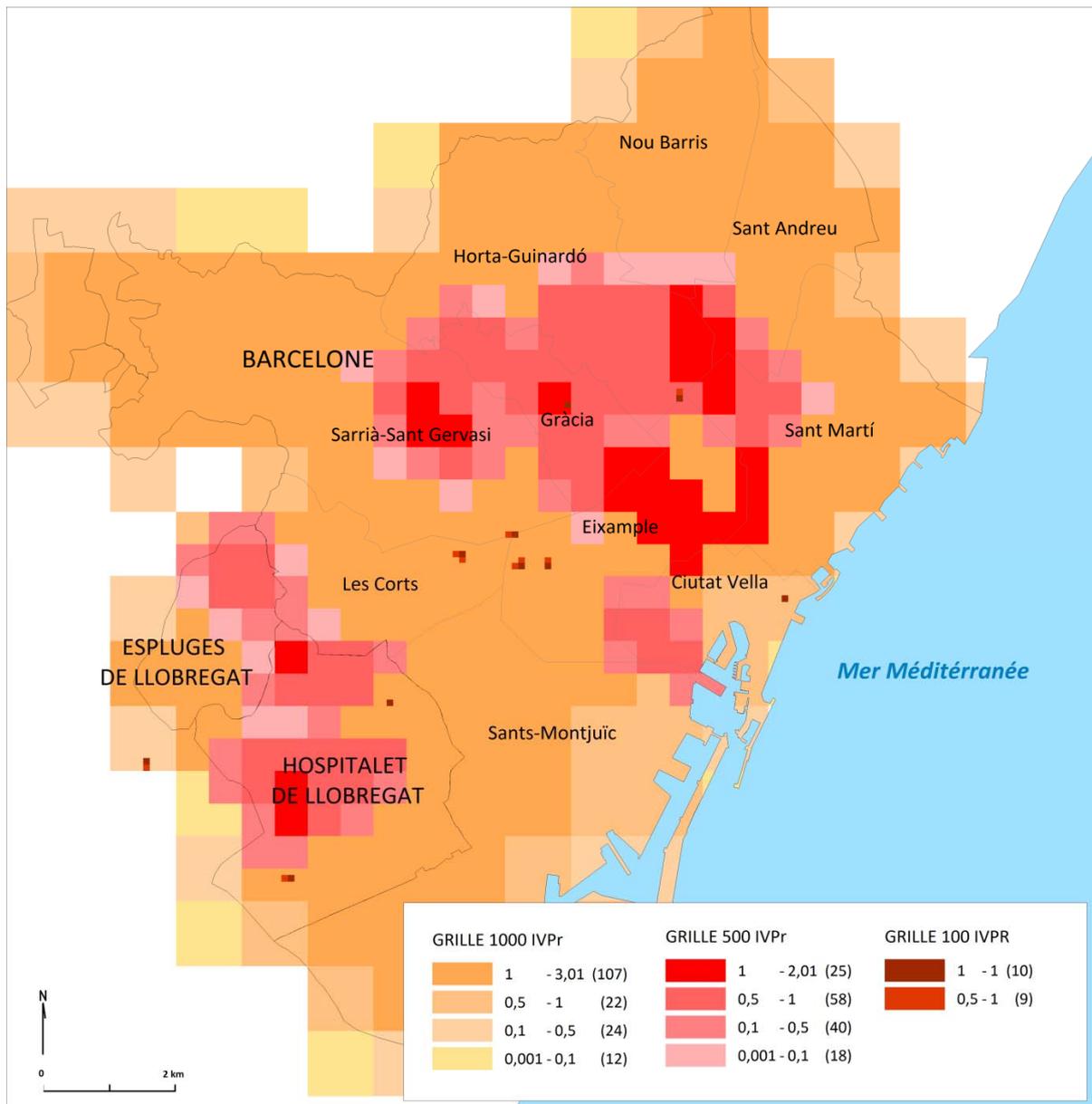
Ainsi, une information de mauvaise précision spatiale comme l'on peut en trouver dans la presse, par exemple « les communes de Barcelone, Espluges de Llobregat et Hospitalet de Llobregat n'ont plus d'électricité », sera affectée à un maillage de 1000 mètres de côté. La part de surface occupée dans chacune des cellules de 1000 mètres par le périmètre à risque approximativement délimité est ensuite calculée de manière à obtenir une valeur nécessairement comprise entre 0 et 1. Par exemple, les coupures électriques repérées à l'échelle des quartiers et représentées en carte 50 correspondent à une précision spatiale moyenne et sont donc transférées dans un maillage de 500 mètres de côté. Le transfert dans le carroyage est successivement réalisé sur les sept couches d'informations spatialisées, de manière à obtenir sept maillages contenant un indice de couverture des mailles (ICV) correspondant à la part de surface des cellules contenant un périmètre affecté par une coupure électrique.

Les indices vont de 0 (la cellule n'est pas superposée à un périmètre de coupure électrique) à 1 (100% de la surface d'une cellule est superposée à un périmètre de risque). A partir de là, différentes règles ont été testées, pour fusionner les différents maillages.

Dans la méthode 1 (carte 52), les informations appartenant à un maillage de même niveau de granulométrie sont d'abord sommées ; les informations sont donc rassemblées en fonction de leur niveau de précision spatiale, le maillage précis (100m) correspond à un indice compris entre 0 et 2 puisqu'il combine deux couches d'informations (celle sur les témoignages précis et celle sur les hôpitaux affectés par la coupure électrique), le maillage de précision intermédiaire (500m), un indice compris entre 0 et 2, et le maillage imprécis, un indice compris entre 0 et 3. Chaque niveau de grille synthétise l'information d'un niveau de précision. La méthode 1 que nous avons qualifiée de géométrique, consiste en une superposition des 3 grilles ainsi obtenues. Pour chacune des grilles, nous ne faisons apparaître que les cellules supérieures à 0, c'est-à-dire, celles pour lesquelles une coupure est déclarée ; la maille 1000 est placée en premier, puis celle de 500 et enfin celle 100 de telle sorte que l'information précise prime et remplace par superposition l'information dont la précision spatiale lui est inférieure. La méthode 1 s'apparente plus à une méthode d'affichage cartographique ordonné qu'à une méthode de fusion *stricto sensu*.

Dans la méthode 2 (carte 53 à 55), l'objectif est de fusionner les différents niveaux de granulométrie pour obtenir l'ensemble de l'information dans une seule et unique grille. Si la méthode de fusion 1 pouvait être qualifiée de superposition géométrique de l'information, la méthode de fusion 2 est essentiellement algébrique et utilise les indices de couverture des mailles (ICV) des 7 grilles initiales. Par exemple, pour fusionner l'ensemble des informations dans la maille de 100 mètres, les ICV des mailles de 500 vont être divisés par 25 et reportés aux 25 cellules de 100 mètres imbriquées dans la maille de 500. Les ICV des mailles de 1000, divisés par 100 et reportés aux 100 cellules de 100 mètres imbriquées dans la maille de 1000. Ainsi d'après la méthode proposée, une valeur initiale de 1 à l'échelle de 1000, correspond à une valeur de 0.25 à l'échelle de 500 et de 0.01 à l'échelle de 100, une valeur initiale de 1 à l'échelle de 100 correspond à une valeur de 0.04 à l'échelle de 500 et de 0.01 à l'échelle de 1000 et une valeur de 1 à l'échelle de 500 correspond à 0.25 à l'échelle de 1000 et une valeur de 0.04 à l'échelle de 100.

A partir de cette méthode de report d'indice proportionnellement à la taille de sa maille, nous avons fusionné l'ensemble des informations dans la maille de 1000, dans la maille de 500 et dans la maille de 100. Les traitements liés aux grilles et aux fusions de grilles ont été créés à partir du langage informatique *Structured Query Language (SQL)*. En effet, le caractère très particulier des techniques que nous souhaitons mettre en œuvre ne nous permettait pas de faire appel à des outils préconstruits dédiés aux traitements d'informations raster (Vertical Mapper dans l'environnement MapInfo ou SpatialAnalyst dans ArcGis). Ce choix contraint est aussi l'occasion de conserver davantage de liberté et de contrôle dans la construction et la mise en œuvre de la méthode ; de plus, il répond au souci de placer l'outil technique en réponse à la formalisation théorique et méthodologique, alors qu'un outil entièrement préconstruit aurait pu être une contrainte dans cette étape de formalisation.



**Carte 52 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone. Résultats obtenus avec la méthode de fusion 1 par superposition géométrique des maillages 1000, 500 et 100.**

L'interprétation d'une cartographie en partie construite sur des informations de faible précision spatiale n'est pas évidente dans la mesure où il arrive que persiste une part d'incertitude sur l'état de certains sous-espaces. De plus, il est difficile d'établir un seuil précis à partir duquel l'ICV indique avec certitude une coupure électrique, d'autant plus que selon la méthode de fusion utilisée, les valeurs maximales et les paramètres statistiques de la distribution des ICV vont évoluer (c'est d'ailleurs pourquoi nous utiliserons différents seuils de discrétisations en fonction des méthodes et des niveaux de granulométrie utilisés dans la fusion des données).

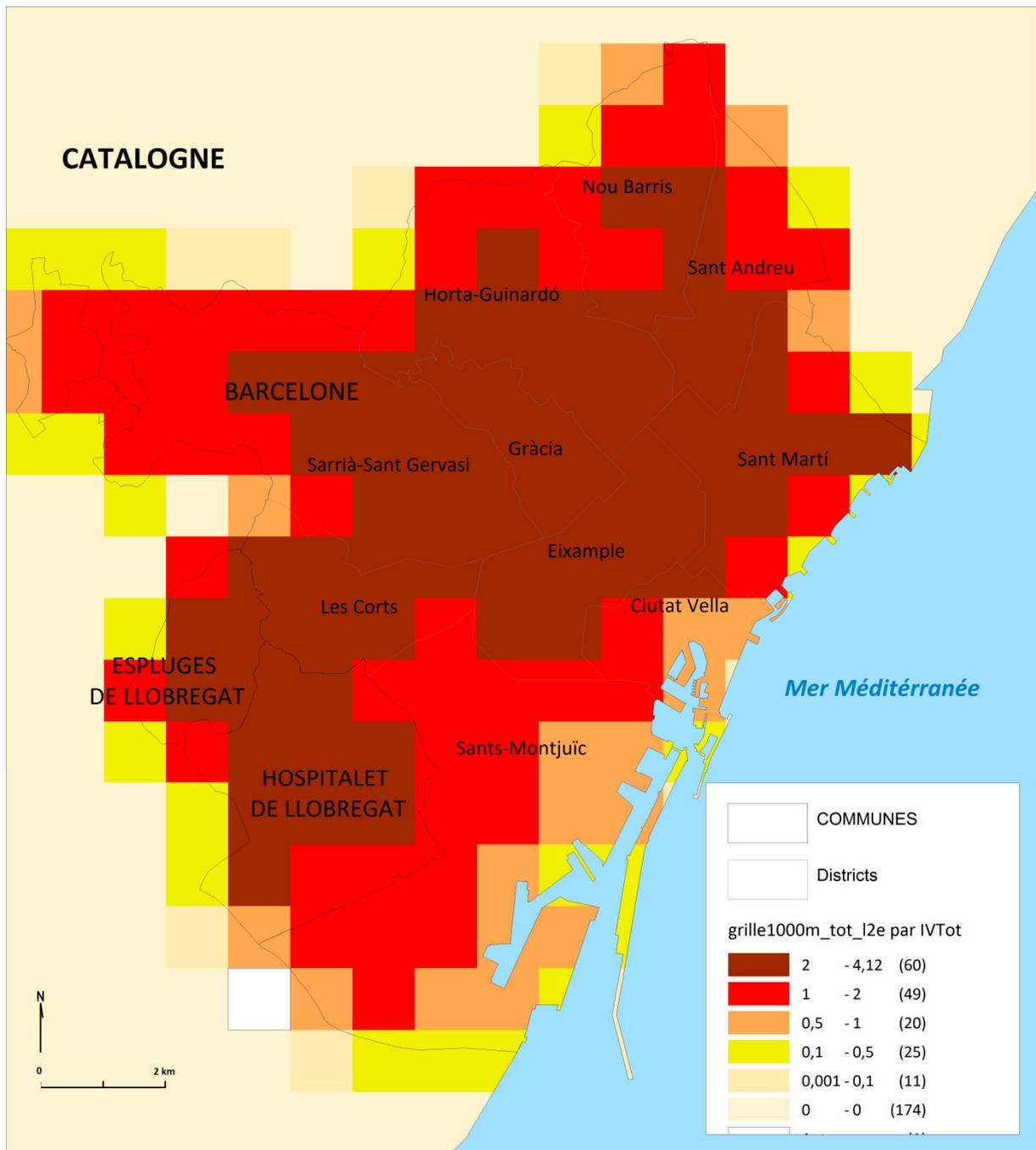
Les sous-espaces qui contiennent un indice de couverture important (supérieur à 0.5) à la fois à l'échelle des grilles de 500 et des grilles de 100, peuvent être considérés comme « sûrement » affectés par la coupure électrique (par exemple la zone centrale du district de Gracia). Néanmoins, à la vue de la carte 52, ces sous-espaces ne sont pas nombreux ; les

informations des couches précises et de précision moyenne semblent davantage complémentaires que correspondantes dans le sens où les informations précises (grille 100) ne coïncident pas nécessairement avec les informations de précision moyenne, en particulier dans la partie ouest des districts de l'Eixample et la partie est de Les Corts.

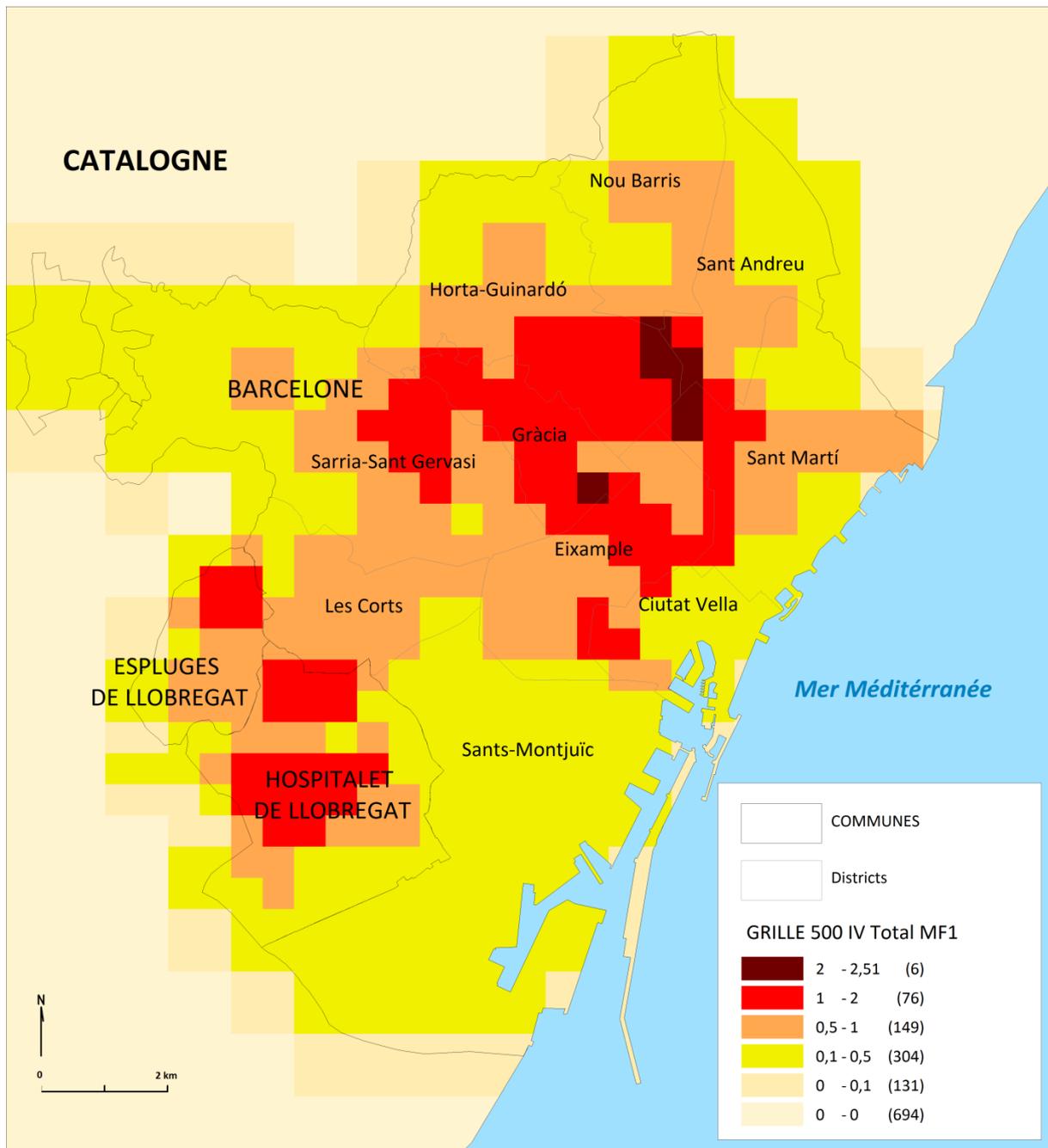
On note également que plusieurs témoignages précisément localisés se situent en bordure immédiate ou entre deux zones de concentration de cellules identifiées comme coupées à l'échelle des mailles de 500. Cette observation accrédite notre idée précédente selon laquelle, dans notre cas d'étude, les informations de précision forte et de précision moyenne possèdent une forte complémentarité : les données lacunaires dans les deux niveaux de granulométrie ne correspondent pas nécessairement aux mêmes sous-espaces. Les périmètres dessinés par les données à l'échelle de précision intermédiaire semblent dans certains espaces être prolongés par des zones d'accumulation de points (informations de la maille 100.)

La faible différenciation spatiale dans les informations de la grille 1000 est également à souligner comme une limite des résultats obtenus avec cette méthode de fusion. Au-delà du choix d'établir une seule classe pour les valeurs supérieures à 2 dans la discrétisation des ICV, cette faiblesse est essentiellement due à des informations imprécises surestimant le périmètre de la coupure ; quand on considère la phrase « la commune de Barcelone est touchée par une coupure électrique » par exemple, l'information n'est pas erronée mais imprécise, approximative et généralisante. Pourtant, les données imprécises auraient pu s'avérer indispensables si aucune information de précision moyenne ou forte n'avait été recensée pour les sous-espaces coupés à l'intérieur des communes de L'Hospitalet et Espluges de Llobregat. L'intérêt d'une méthode qui autorise l'utilisation de ces données imprécises en complément de données plus précises n'est donc pas remis en cause.

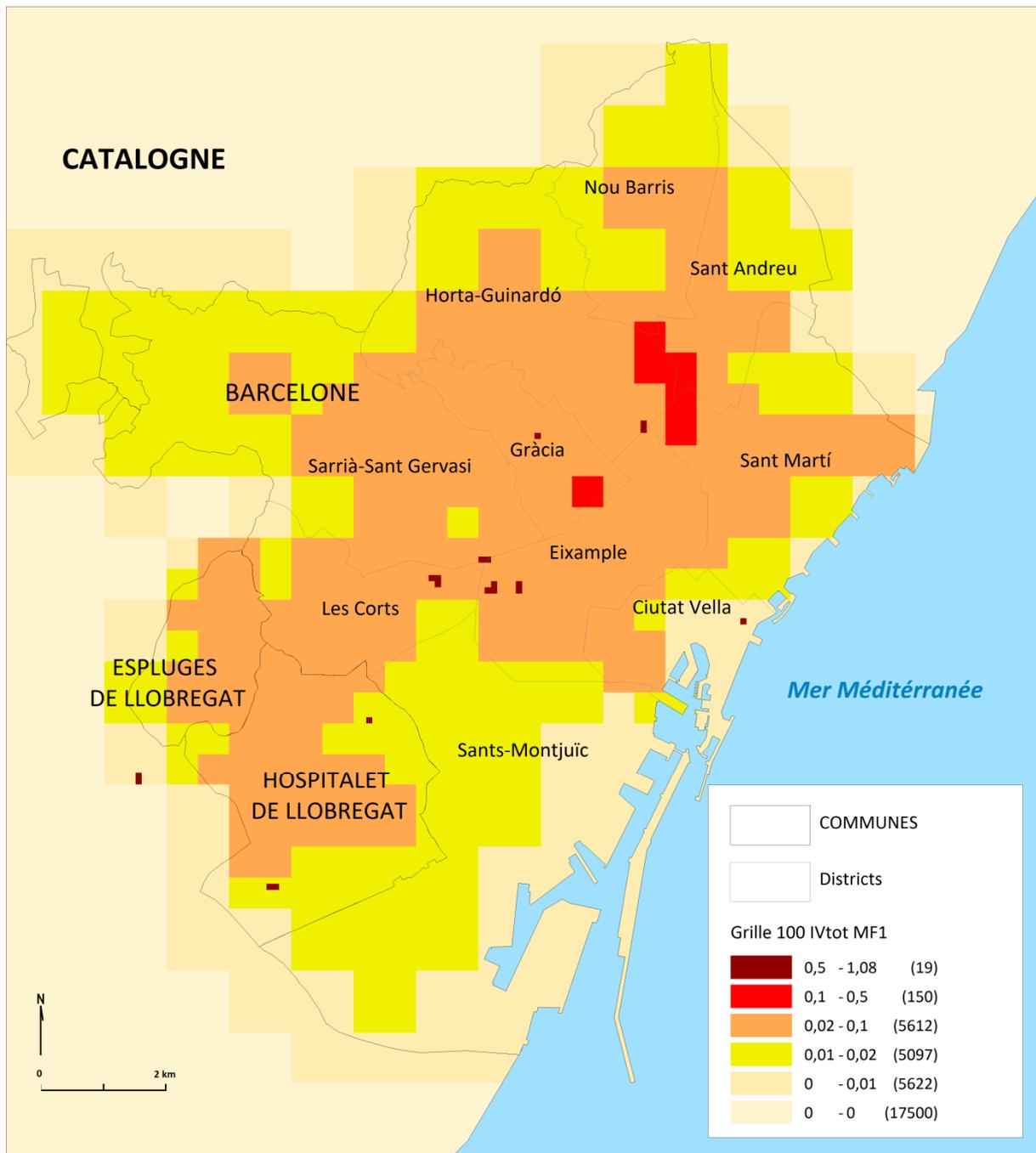
Les importants effets de bord et le caractère très brutal et rectiligne des discontinuités spatiales imbriquées de la carte 3 sont par contre identifiés comme des limites de ce mode de représentation spatiale des coupures électriques. Nous tenterons de minimiser ces effets dans la section 6.2.3 en combinant les résultats des grilles à une méthode de traitement des « péri-informations » syntaxiques comportant des localisateurs et des quantificateurs flous. Mais avant, intéressons-nous aux résultats obtenus avec la méthode de fusion 2 dans les cartes 53 à 55.



**Carte 53 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone. Méthode de fusion algébrique des 7 grilles initiales à l'échelle des cellules de 1000m. et valeurs de l'ICV.**



**Carte 54 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone. Méthode de fusion algébrique des 7 grilles initiales à l'échelle des cellules de 500m. et valeurs de l'ICV.**



**Carte 55 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone. Méthode de fusion algébrique des 7 grilles initiales à l'échelle des cellules de 100m. et valeurs de l'ICV.**

Comme nous l'avons précisé dans la section précédente, même si elles comportent plus de deux plages de valeurs, les cartographies sont sensées distinguer deux états des territoires : affectés par la coupure électrique ou pas.

Evidemment, les données fusionnées à l'échelle de 100 mètres (carte 55) conduisent à des observations plus fines que celles obtenues à l'échelle des mailles moyennes ou imprécises même si la maille imprécise (carte 53) nous permet d'observer certaines discontinuités importantes, notamment la baisse des valeurs de l'ICV pour le district de Sant MontJuic. Cette baisse se confirme d'ailleurs aux deux autres niveaux de granulométrie, ce qui nous autorise à penser que le district de Sant MontJuic n'a sans doute pas subi, ou que très partiellement, de rupture d'approvisionnement électrique. A l'inverse, les cartes 54 et 55, nous permettent de dire que les districts de la zone centre Gracia, Les Corts et l'Eixample sont certainement les plus touchés par cette coupure.

Les districts plus au nord de cette zone, comme Horta Guinardo, Nou Barris, San Andreu et San Marti semblent plus faiblement compris dans des périmètres recensant des coupures électriques. La carte fusionnée à l'échelle de 500 fait ressortir une zone qui comprend la zone de Gracia, le sud de Horta Guinardo, une partie de San Gervasi et la limite Sud de Ciutat Vela, comme des espaces très certainement touchés par la coupure ; ces espaces ressortent moins nettement dans la carte de la maille précise (100m) pour laquelle les cellules comportant des valeurs fortes d'ICV se concentrent autour de la limite des quartiers des Corts et d'Eixample. Ce décalage de zone de la plus forte certitude entre les maillages 100 et 500 s'explique par les divisions des valeurs des ICV lors des transferts entre les différents niveaux de grilles. Il ne faut pas voir là une limite de la méthode mais un de ses apports : l'intérêt de s'appuyer sur différents niveaux de granulométrie, même pour la représentation des données fusionnées.

Dans les cartes 54 et 55, le carré jaune au milieu de la zone orange dans le district de San Gervasi est sans doute dû davantage à des données lacunaires qu'à une absence de coupure dans ce sous-espace. L'état de la zone de Ciutat Vella peut être qualifié d'incertain dans la mesure où malgré des valeurs d'ICV assez faibles à l'échelle de 500 et de 1000, on note une cellule comportant une valeur précise, lorsque les données sont fusionnées à l'échelle de 100. Pour les communes de Espluges et de Hospitalet, on dispose de moins d'informations sur la différenciation intra urbaine de la coupure, ce qui conduit à davantage d'incertitude. Si aucune différenciation spatiale ne ressort à l'échelle de 1000 pour ces communes, à l'échelle de 500 et 100, il semble que les coupures ne concernent pas intégralement les deux communes.

### 6.2.3. Introduction des quantificateurs et des localisateurs flous

Cette partie présente la manière dont nous avons intégré à l'analyse, les informations qualitatives textuelles qui entourent les mots désignant les lieux dans les différentes sources d'informations de la base de données @pagon. Nous parlerons de « péri-information » pour qualifier ces expressions adjointes à l'information spatiale brute. Ainsi, certaines informations spatiales sur les territoires coupés, qui figurent dans la base de données @pagon, associées à des péri-informations, ont été ventilées en deux catégories : les quantificateurs flous et les localisateurs flous.

Les quantificateurs flous sont une formalisation mathématique assez ancienne (Mostowski, 1957) qui consiste à établir « des systèmes de déductions fondés sur des appréciations linguistiques correspondant à des intervalles de valeurs » (Gacogne, 1995). Les applications possibles de cette formalisation sont très diverses, un exemple classique de la méthode est celui de la vitesse d'une automobile (figure 52) ; si l'on considère la vitesse 70km.h elle co-appartient à l'intervalle vitesse faible (à un degré de 0.25) et à l'intervalle vitesse moyenne (à un degré de 0.75).

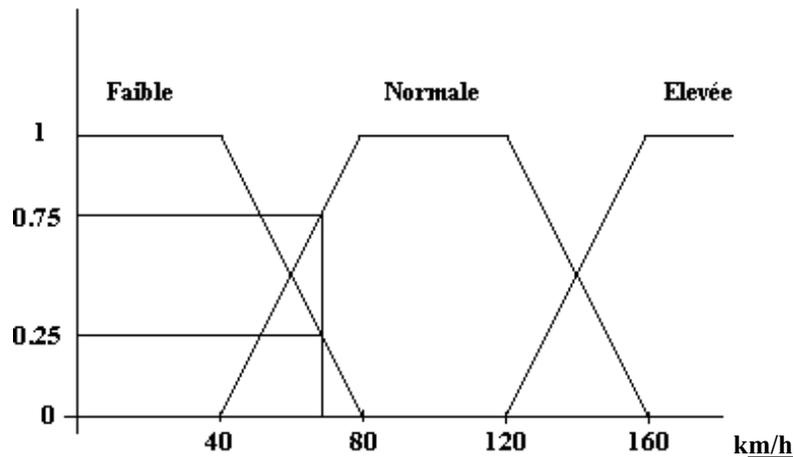


Figure 52 : Les vitesses automobiles, application des intervalles flous. (POBOT, Unice, 2003).

Dans la base de données @pagon, les quantificateurs flous sont issus des expressions qui désignent la gravité ou le niveau de complétude du périmètre affecté par la coupure électrique. Exemples de la BD @pagon « considerablemente » (considérablement), « el mas » (le plus), « excepto » (sauf), « menor medida » (moindre mesure), «casi todo el barrio» (Presque tout le quartier), « buena parte » (grande partie). Une particularité de notre approche vient du fait qu'elle consiste à gérer le flou textuel par la spatialisation, c'est-à-dire que les intervalles flous désignant un périmètre donné vont être traduits dans l'espace en délimitant des marges d'incertitudes en bordure de ces formes (carte 56 à 58). Par exemple, si l'on considère les informations textuelles simples renvoyant à l'absence du phénomène dans un sous espace ou l'exclusion d'un sous espace d'un périmètre impacté (pas, sauf, mise à part...), on attribue la valeur (-2), si l'information renvoie à une intensité plutôt faible du phénomène sans être absente (moins, faible, partiel peu...), on attribue la valeur (1), alors que si l'expression renvoie à une importance forte du phénomène ou une couverture importante du sous espace (fortement, considérablement, presque tout...) on attribue la valeur 2. La valeur 3 renvoie aux expressions les plus superlatives (très fortement, le plus grave.)

A ce stade, il ne s'agit donc pas d'intervalles flous mais d'une échelle de valeurs précises associées à des expressions qualitatives ; pour introduire le flou, on va s'appuyer sur la morphologie des objets spatiaux associés aux informations textuelles, de telle sorte que dans la première bordure (par exemple dans les 100 mètres à l'intérieur du périmètre pour les districts), la valeur de l'information textuelle soit réduite de 50% ; dans la seconde bordure (500 mètres à l'intérieur du périmètre à partir de la limite de la bordure), la valeur est réduite de 20% de telle sorte que nous obtenons des zones de flous en fonction de la distance, considérant que l'information sur les marges d'un périmètre déclaré est plus incertaine que celle portant sur le cœur de ce périmètre. Ainsi, l'on considère que lorsqu'une personne indique « il y a une coupure dans une zone », il y a davantage de fiabilité de l'information sur le cœur de la zone désignée que sur ses bordures. L'expression « tout » par exemple, n'est pas associée à une valeur précise de 1 mais à un intervalle allant de 0.5 à 1 en fonction de la position de la cellule par rapport à la géométrie de l'objet signalé pour une coupure électrique.

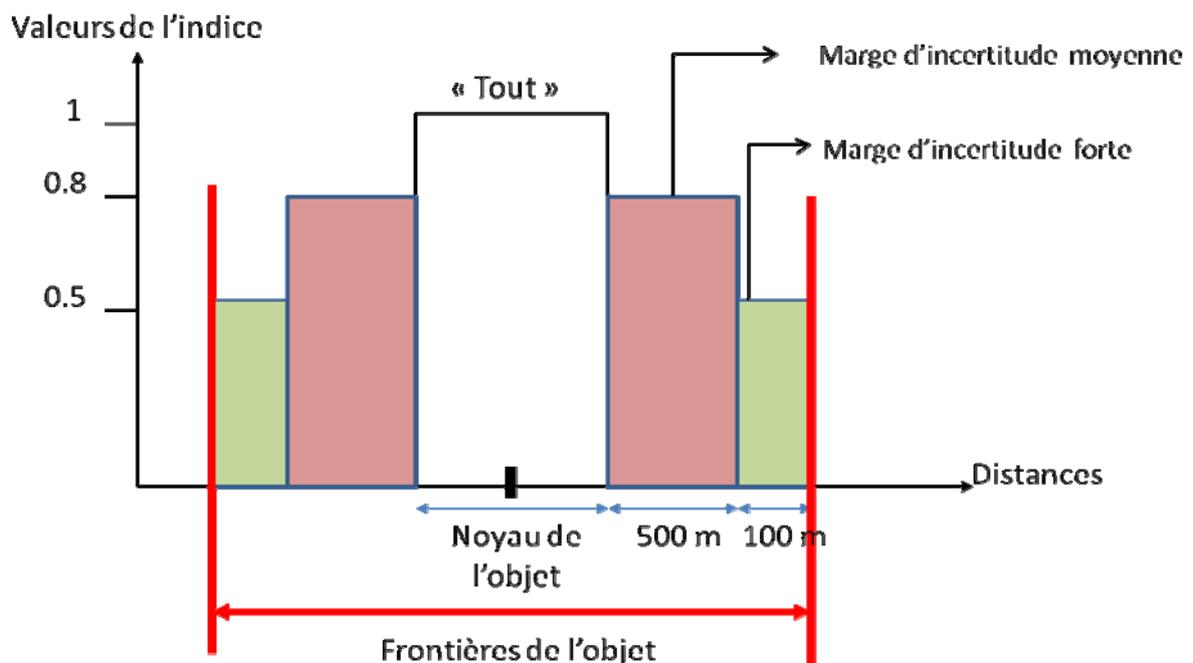
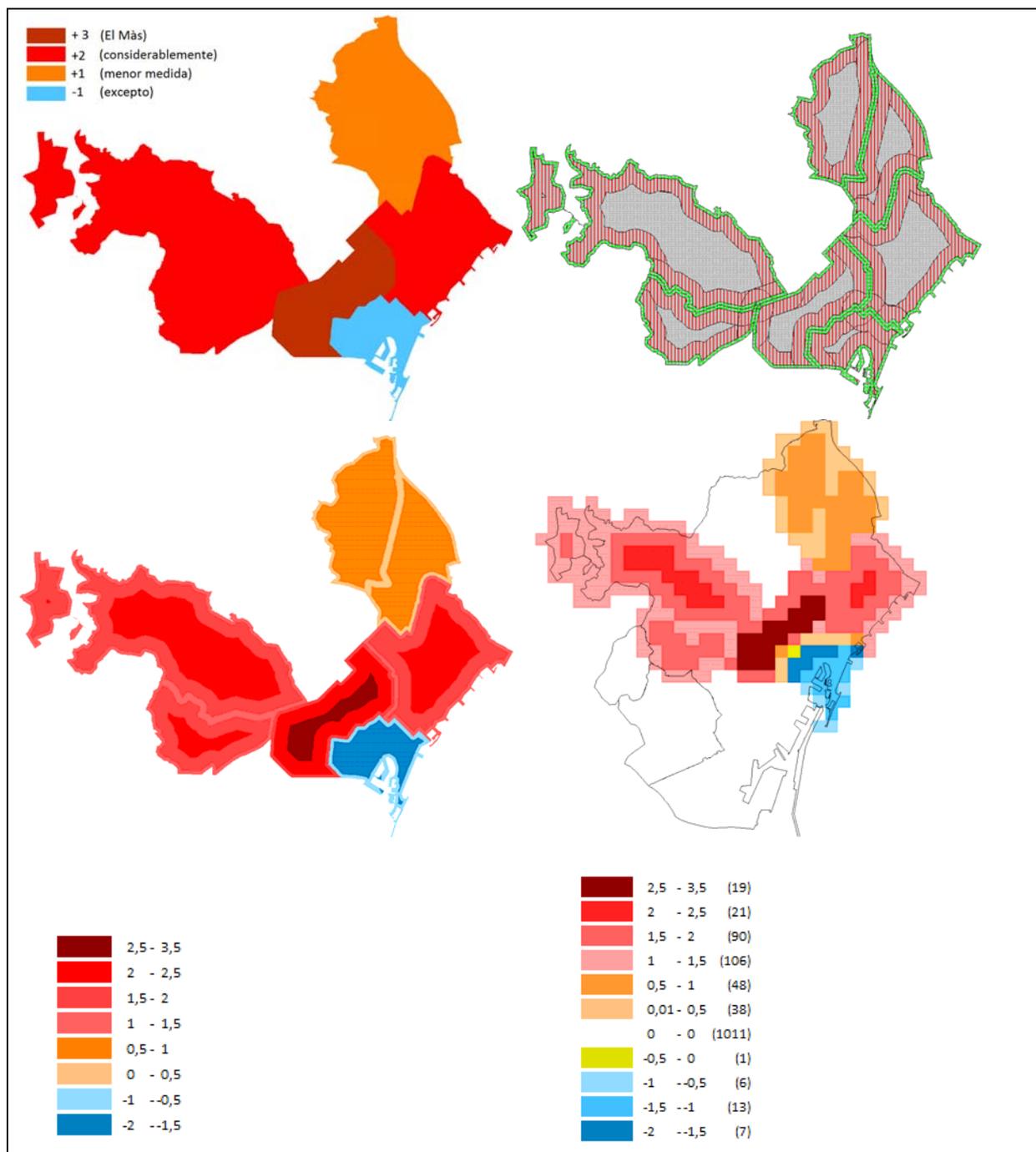


Figure 53 : Méthode de délimitation des zones d'approximations pour les objets « districts » appliquée à l'expression « tout ».

Dans l'exemple présenté en carte 56, les informations ont été spatialisées à partir de cette méthode, les valeurs entre parenthèses correspondent à l'indice associé à l'expression qualitative. Les valeurs sont ensuite « fuzzyfiées » et transférées à l'échelle des cellules.

- « afectaron **considerablemente** (2) a los distritos de Sant Martí, Corts, Sarria-Sant Gervasi,
- y en **menor medida** (1) a Sant Andréu, y Nou Barris.
- El distrito del Eixample, **el más** (3) afectado por el apagón.
- Sin luz **exopto** Ciutat Vela (-2)



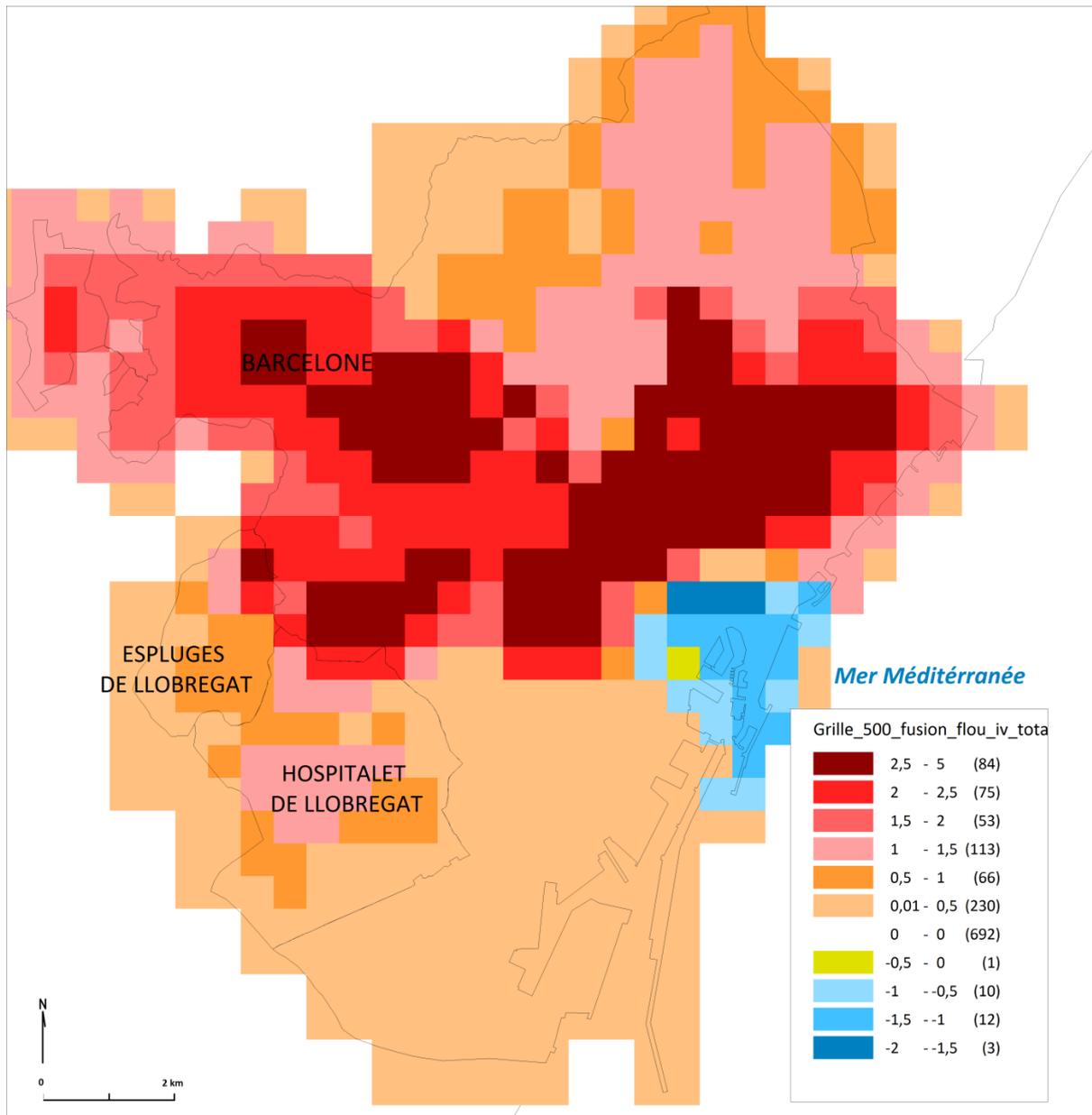
**Carte 56 : Traitement de l'information qualitative par une méthode de spatialisation floue. Carte Haut-Gauche : l'information brute extraite des expressions qualitatives précédentes, carte Haut-Droit : distinction entre le noyau de certitude et les marges plus incertaines (la valeur en vert correspond à la marge d'incertitude forte décrite en figure 53, carte Bas-Gauche : croisement des couches des 2 cartes précédentes et carte Bas-Droit : passage à des valeurs dans les grilles de 500.**

Les valeurs négatives (en bleu sur la carte 56) se situent dans le district de la vieille ville, pour lequel nous disposons d'une information indiquant la présence d'électricité. Néanmoins, cette information est datée de 4 heures après le début de la panne ce qui ne permet pas d'exclure l'hypothèse selon laquelle le quartier aurait pu être coupé dans ce laps de temps. Comme souhaité, la méthode permet de valoriser l'information au cœur des périmètres explicitement

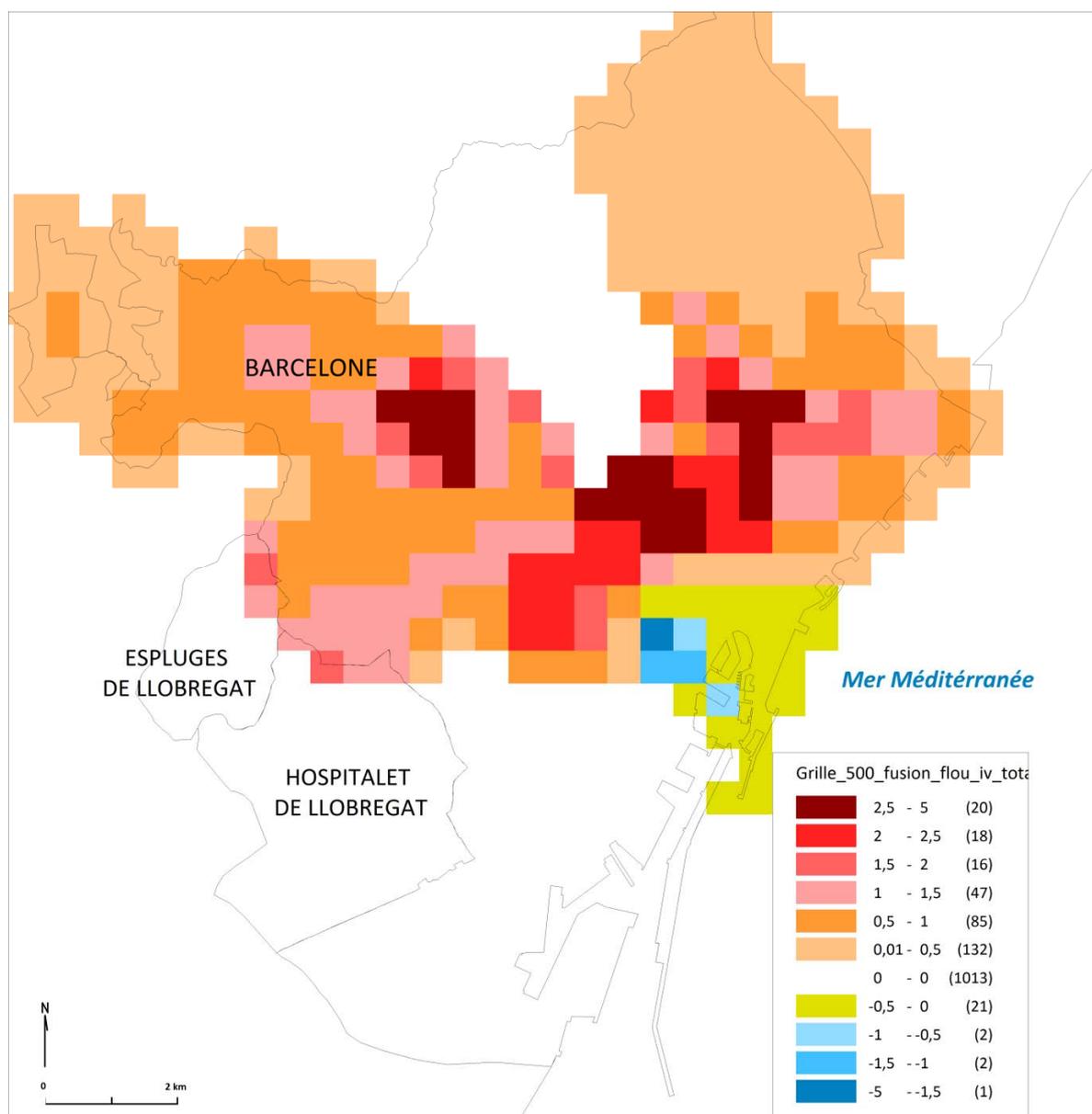
cités dans la source, alors que celle sur les marges est plus incertaine. Dans un second temps, les localisateurs flous sont intégrés dans l'analyse. On considère cette fois, les expressions spatiales qui vont préciser ou qualifier le degré d'approximation d'une localisation : « aux environs de, voisine de, près de, loin de, à partir de, jusqu'à, au Nord de, au Sud de... ». Ces « péri-informations » sont assez peu nombreuses dans la base de données @pagon, nous les avons traitées à l'aide de buffers pour l'information autour de (acerca de) ou en rattachant l'information à une maille différente que celle choisie dans la section précédente.

#### **6.2.4 Fusion des données**

Les résultats obtenus à partir des informations qualitatives sont ensuite fusionnés avec ceux des indices de couverture des mailles imbriquées (sous partie 6.1.3). La méthode a été réalisée en synthétisant l'ensemble de l'information dans le maillage intermédiaire (500m) ; deux techniques ont été testées, la première consiste à additionner les deux indices pour chaque cellule de 500 alors que dans la seconde méthode, sera introduite la contrainte : seules les cellules renseignées dans les deux bases de données ont un résultat différent de 0, en multipliant les deux indices. Dans ce cas, à l'échelle d'une cellule, si une des deux valeurs (ICV ou indice des informations qualitatives) est nul, alors l'indice fusionné l'est également.



**Carte 57 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone. Fusion additive des résultats des indices de couverture des mailles (cartes 54 \* 56) et des quantificateurs-localisateurs flous.**



**Carte 58 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone. Fusion multiplicative des résultats des indices de couverture des mailles et des quantificateurs-localisateurs flous.**

Nous avons indiqué précédemment, qu'il n'y avait pas de seuil précis pour distinguer, à partir des indices construits, une valeur de transition entre l'état « approvisionné en électricité » et l'état « non approvisionné en électricité ». Pour cette raison, nous avons décidé d'appliquer la technique des intervalles flous pour mieux appréhender les résultats obtenus (carte 57 et 58). Les intervalles sont construits de manière à dissocier 4 types d'états des cellules : approvisionné en électricité, coupure inférieure à 4 heures, non approvisionné en électricité et des zones d'incertitudes. La figure 54 présente les intervalles proposés pour la distribution statistique des indices fusionnés de manière additive.

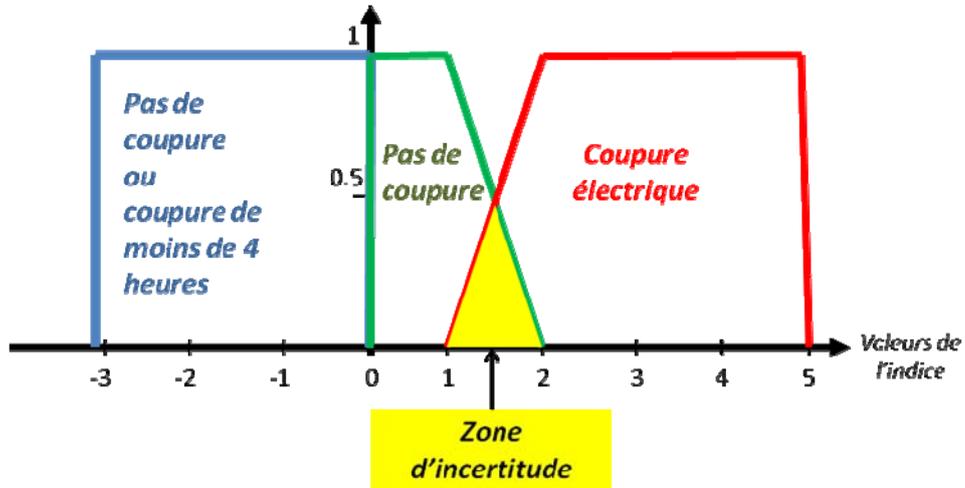
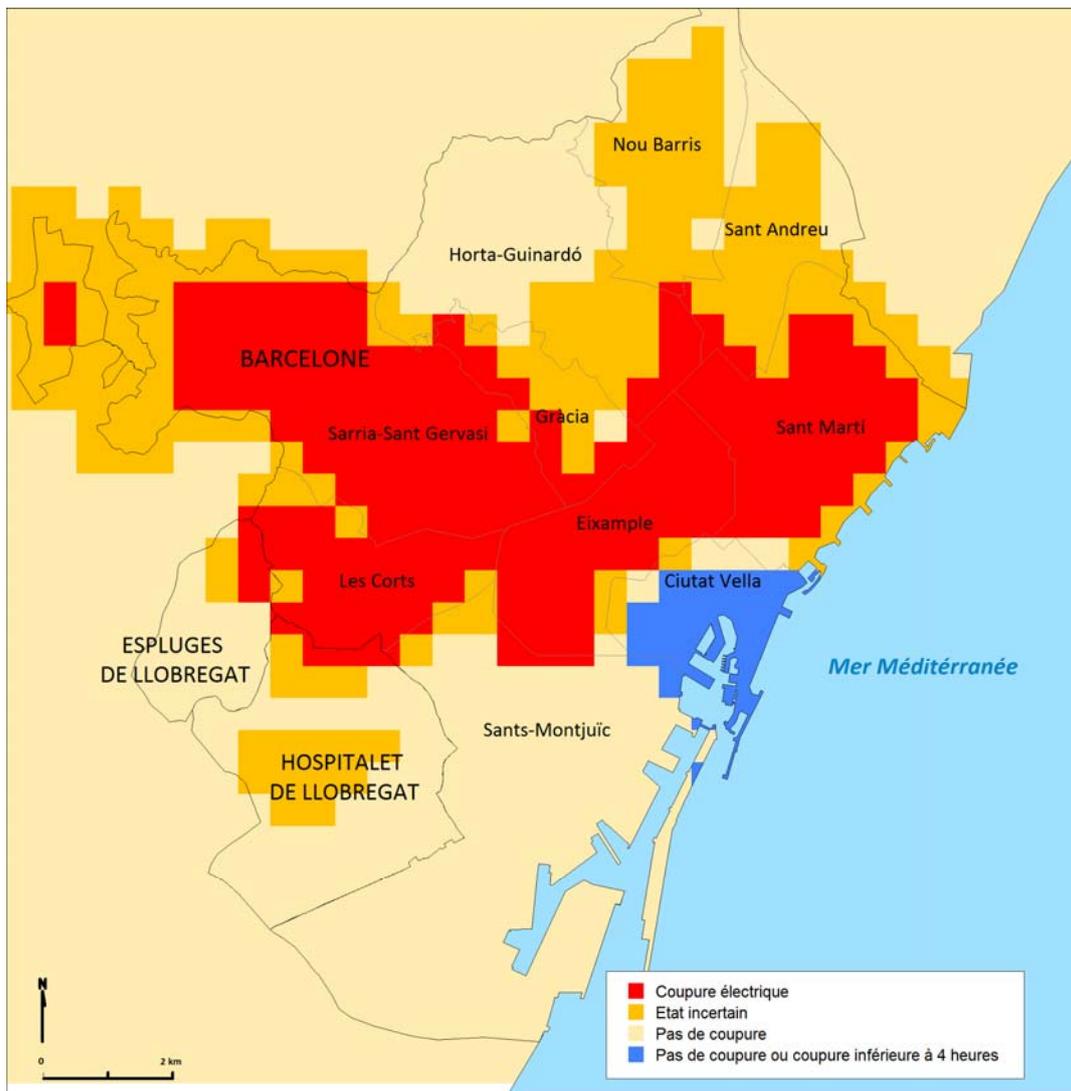


Figure 54 : Définition des intervalles flous pour déterminer l'état des cellules spatiales en termes d'approvisionnement électrique à partir des indices fusionnés de manière additive.



Carte 59 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone selon la méthode de fusion additive.

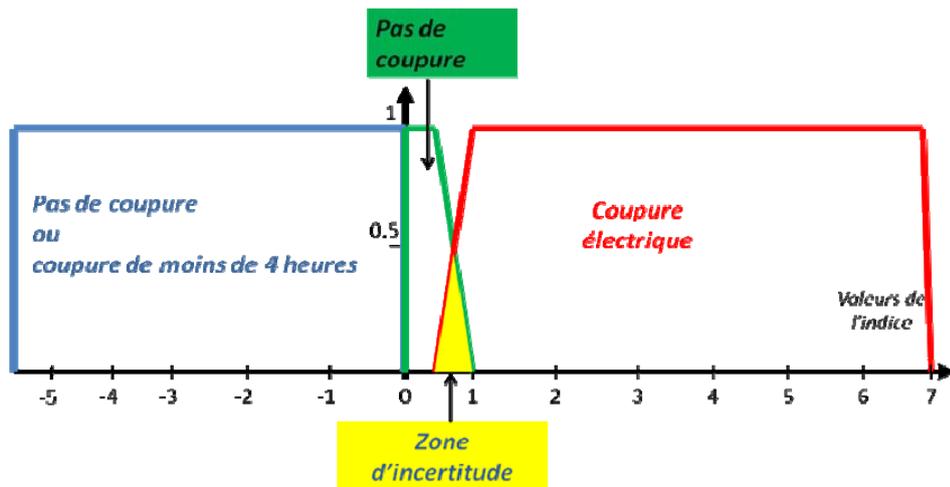
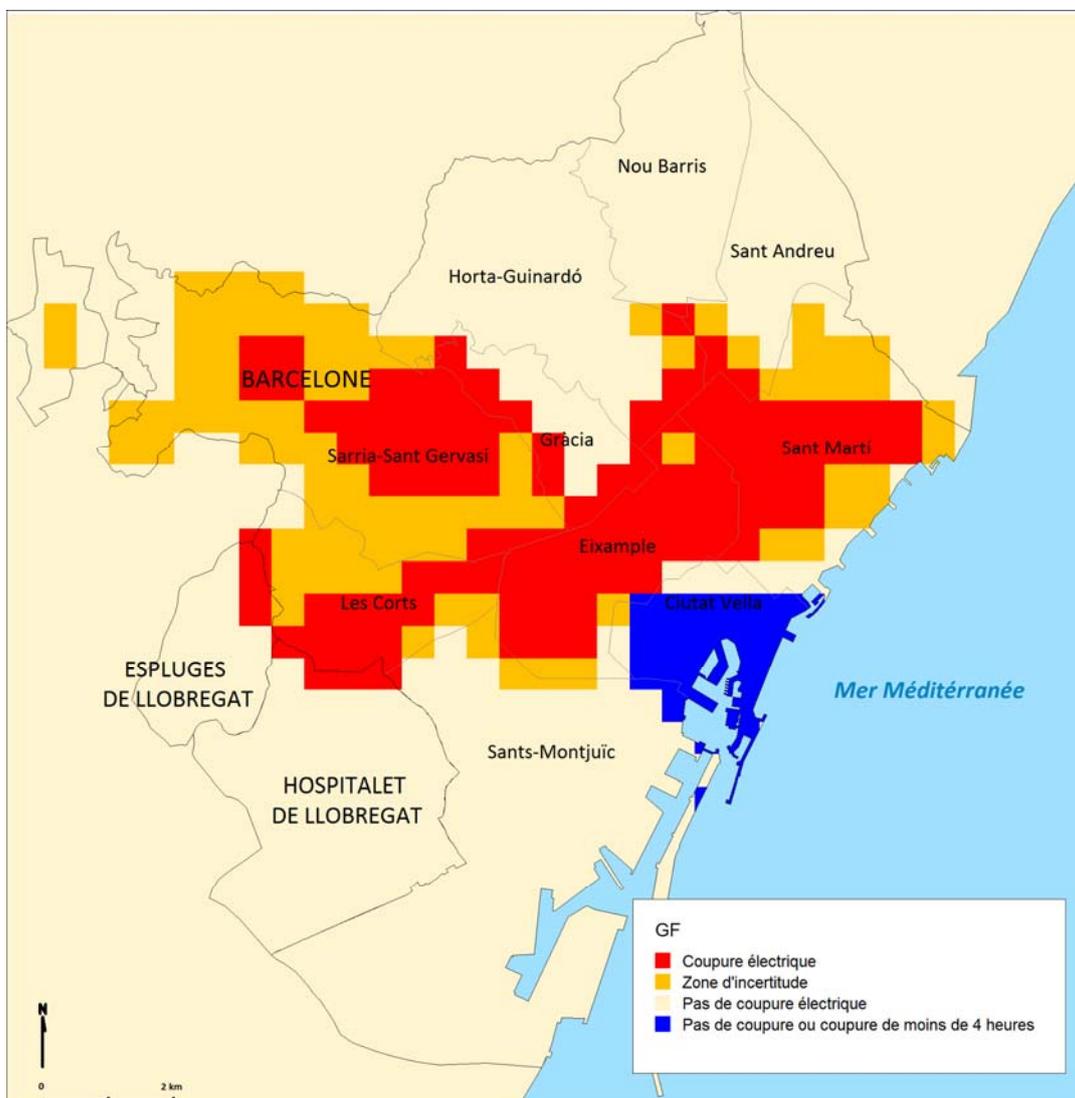


Figure 55 : Définition des intervalles flous pour déterminer l'état des cellules spatiales en termes d'approvisionnement électrique à partir des indices fusionnés de manière multiplicative.



Carte 60 : Estimation des sous-espaces affectés par la coupure électrique de Barcelone selon la méthode de fusion multiplicative.

Avant d'interpréter les résultats obtenus en carte 59 et 60, il nous faut justifier l'adaptation des intervalles flous entre la méthode additive et la méthode multiplicative (figure 54 et 55), qui, au même titre que la définition des intervalles, contient une part de subjectivité et peut nécessiter plusieurs tests. Dans la méthode additive, l'intervalle de la zone d'incertitude est par exemple entre [1 ; 2] alors qu'il se situe entre [0.5 ; 1] dans le cas de la méthode multiplicative (figure 54 et 55). Cette adaptation vient du fait que la multiplication des valeurs d'ICV compris entre 0.1 et 0.5 (qui correspondent à un état d'incomplétude) par des entiers compris entre 2 et 5, aboutit à de nombreux résultats compris entre 0.5 et 1. Si nous utilisons les mêmes intervalles que dans la méthode additive, ces résultats ne seraient donc pas considérés comme «état incertain» alors qu'ils correspondent à la fusion d'une valeur d'incertitude avec une autre valeur d'incertitude ou même une valeur de certitude de coupure. Si l'on considère par exemple, une cellule possédant un indice de couverture de maille ICV = 0.4 (état d'incomplétude) fusionné à l'information qualitative (considérablement)  $V = 2$ , on obtient un indice total de 0.8 avec la méthode multiplicative alors qu'il est de 2.4 avec la méthode additive. On comprend alors que l'utilisation de seuils similaires pour les deux méthodes n'était pas adaptée.

D'autre part, le caractère plus restrictif du périmètre obtenu avec la méthode multiplicative de la coupure électrique est dû au caractère contraignant qu'instaure ce mode de fusion. En effet, les données ne sont sans doute pas suffisamment exhaustives pour que l'absence de données dans une des deux bases (base sur les indices de couverture des mailles et base de données obtenue à partir du traitement des expressions qualitatives) conduise systématiquement à la déclaration de cette cellule comme « non atteint par la coupure électrique ». Si l'on s'intéresse aux zones de discordances et de concordances entre les deux résultats obtenus en carte 59 et 60, l'on peut noter :

- Une structure spatiale proche (noyau de certitude entouré d'une zone d'incertitude). Les grandes lignes du périmètre de coupure sont assez proches même si la zone de certitude de coupure électrique semble plus étendue dans les résultats avec la fusion additive.
- Certaines discordances assez nettes apparaissent néanmoins dans la catégorie « état incertain ». Les districts de Nou Barris, San Andréu, la partie sud de Horta Guinardo ou encore la commune de Espluges sont déclarés en état incertain dans la carte 59 alors qu'ils apparaissent en zones non affectées dans la carte 60.

Malgré les incertitudes qui persistent dans les résultats, il nous semble que le chaînage de méthodes mises en œuvre pour reconstruire la spatialité de la coupure électrique de Barcelone optimise les quelques informations spatiales disponibles et permet une représentation cartographique de la coupure électrique *a priori* assez cohérente. L'objet de la section suivante sera de valider ces résultats. Nous devrions toutefois parler de co-validation ou de comparaison, car, bien que la méthode employée dans la partie 6.3, n'aboutisse pas à des résultats certains, elle est nettement moins empirique que la précédente et repose sur l'hypothèse d'un déterminisme spatial fort pour expliquer la répartition des territoires affectés par la coupure électrique.