PROPOSITIONS POUR UNE CARTOGRAPHIE DU RISQUE

Par Elisabeth CHESNEAU
Doctorante à l'IGN (Service Recherche / laboratoire COGIT) et Université Paris XII

Résumé

De nombreux risques menacent les territoires. La carte est un moyen de les représenter. Après avoir collecté un ensemble de cartes de risque sur Internet et dans des revues de géographie, il est apparu intéressant d'analyser leur diversité. Nous avons décidé de classer ces cartes selon leur finalité, pour mettre en lumière les pratiques cartographiques du risque. À la suite de cette étude, nous proposons des évolutions qui pourraient être apportées à la cartographie du risque.

Mots-clefs

Cartographie, France, Risque, Sémiologie graphique

Les catastrophes, qu'elles soient naturelles (inondations, incendies de forêts), technologiques (incidents industriels, nucléaires), urbaines (accidents de la route, criminalité) ou sanitaires et environnementales (épidémies, pollutions) causent des dommages sur les biens, les personnes et les activités. Parmi les outils mis en place pour connaître et maîtriser les risques potentiels sur un territoire, se trouve la carte, document qui « met le mieux en évidence la situation de risque [...] d'une portion de territoire » (1). Mais à quoi et à qui sert-elle ? Quelles sont ses fonctionnalités ? Pour y répondre, nous avons analysé environ deux cents cartes de risque issues d'Internet et de revues de géographie. 70% d'entre elles provenant d'organismes français, les commentaires et les cartes présentées font référence à la situation en France.

Et quelle diversité de cartes ! Nous proposons d'étudier cette diversité selon trois thèmes : le risque cartographié, les données cartographiées et le niveau de détail des cartes. En effet, les risques sont de natures différentes et se décomposent en divers paramètres. De plus, la grammaire graphique permet de cartographier diversement des données de risque. Enfin, les cartes peuvent avoir de multiples niveaux de représentation et unités spatiales de référence.Pourtant, une certaine homogénéité apparaît dans cette palette de cartes. Celles-ci représentent souvent l'extension des risques naturels selon l'aléa[1] ou le risque[2]. Les données sont majoritairement ordonnées et la couleur ou la valeur de la couleur sont appliquées en superposition. Par contre, les échelles de représentation des cartes sont très diverses puisqu'elles s'étendent de la très petite (1 : 1 000 000) à la très grande (1 : 5 000) échelle. Nous illustrons cette analyse à l'aide de huit cartes reproduites en annexe (cartes 1 à 8).

A la suite de ces constats, nous proposons une classification des cartes de risque selon leur finalité (information, action et contrôle) pour donner des éléments de réponse à cette question : « quelles cartes pour quelles actions et pour quel public ? » (1). Par finalité, des pratiques cartographiques sont mises en lumière.

Enfin, quelles évolutions pourraient être apportées à la cartographie du risque ? En particulier, les superpositions, fréquentes dans les cartes de risque, peuvent être gérées différemment. De plus, des solutions de représentation des incertitudes sont à envisager. Enfin, il paraît nécessaire de développer des cartes interactives et animées, l'interactivité[3] et l'animation[4] étant des facteurs d'enrichissement dans la conception de nouvelles solutions cartographiques du risque. Nous proposons quatre exemples de solutions cartographiques différentes en annexe (cartes ill. 1 à ill. 4).

1 Des cartes de risque diverses...

Une des caractéristiques des cartes est leur hétérogénéité. Illustrons cette diversité selon trois thèmes majeurs : le risque cartographié, les données cartographiées et le niveau de détail des cartes.

1.1 Le risque cartographié : nature et paramètres

1.1.1 Quelle nature ?

Les risques naturels englobent les inondations, les incendies de forêt, les mouvements de terrain, les avalanches, les séismes, le volcanisme, les tempêtes et les cyclones. Ils sont les plus représentés dans l'échantillon des cartes recensées (70% des cartes) du fait de leur prise en compte par l'État dans une politique de prévention depuis 1982.

Un grand déficit en documents cartographiques caractérise les risques technologiques (risques industriels, nucléaires, de transport de matières dangereuses et de rupture de barrage). Cependant, depuis le début des années 1990, leur cartographie est introduite progressivement, l'État ayant décidé de « prendre en considération l'existence de risques

1 « Incertitude quant à la réalisation d'un accident » (2).
2 « Résultat de la coïncidence de l'aléa et de la vulnérabilité de la population et des milieux exposés à un phénomène donné » (2)
3 « Teneur du rapport sensible et permanent qu'entretient l'utilisateur avec la carte » (3).
4 « Séquence d'images ou de cartes retraçant un phénomène, pour en percevoir la continuité, la dynamique » (3).

naturels prévisibles et de risques technologiques dans les documents d'urbanisme » (*loi de 1987 relative à l'organisation de la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs*).

Ensuite, on rencontre quelques cartes de risques sanitaires et environnementaux, produites principalement par des organismes travaillant dans les secteurs des pollutions (de l'air, de l'eau et des sols), des maladies ou du bruit.

Le risque urbain est, quant à lui, peu présent dans la cartographie, les données étant peu diffusées.

1.1.2 Quels paramètres ?

« Le risque encouru naît de la conjonction d'un aléa et d'enjeux divers affectés d'une certaine valeur et d'une certaine vulnérabilité » (4). Ainsi, le risque se compose d'*au maximum* trois paramètres qui sont l'aléa, la vulnérabilité[5] et les enjeux[6]. Pourquoi *au maximum* ? Parce que les acteurs du risque ont des définitions différentes pour les paramètres vulnérabilité et enjeux. Certains chercheurs comme F. Leone caractérisent le risque en intégrant les trois paramètres. Par contre, les services de l'État et des établissements publics comme le Cemagref le considèrent comme un croisement entre deux de ces paramètres : pour les services de l'État, le risque naît de la conjonction d'un aléa avec des enjeux, ceux-ci étant déterminés selon leur valeur propre et d'endommagement ; pour certains établissements publics, le risque est issu du couplage entre aléa et vulnérabilité, celle-ci se caractérisant selon les niveaux d'endommagement et les valeurs propres des entités menacées.

Par conséquent, de nombreux paramètres de risque sont cartographiables (représentation de l'aléa dans les cartes 1 et 3 en annexes et du risque dans la carte 4). De plus, un même paramètre étant défini de façon différente selon les acteurs, les cartes de même dénomination sont alors dissemblables. Par exemple, parmi les cartes présentées en annexe, le risque est parfois issu d'un croisement entre trois paramètres (carte 4), il se caractérise par un couplage entre aléa et vulnérabilité (cartes 5 et 6) ou entre aléa et enjeux (carte 8).

1.2 Les données cartographiées : niveaux et représentation

1.2.1 Quels niveaux de traitement et de mesure ?

Les trois niveaux de traitement des données établis en cartographie[7] sont utilisés pour les cartes. Quant aux quatre niveaux d'organisation des données définis par les cartographes anglo-saxons[8], l'ordinal est le plus usité (cartes 1, 3, 4 et 8) puis, celui à échelle d'intervalle (cartes 6 et 7). Quelques cartes se composent de données nominales. Elles sont alors multi-thématiques (cartes 3 et 5) ou multi-paramétriques (carte 6). Enfin, les données à échelle de rapport (carte 2) sont plus rares. Le risque étant, par définition, incertain, comment affecter à une unité géographique un figuré spécifique à la valeur qu'il représente ?

1-2-2 Quelle représentation graphique ?

Les données sont représentées par un type de symbole sur lequel sont appliquées une ou plusieurs variables visuelles. Le symbole zonal est dominant dans les cartes et parmi les douze variables visuelles statiques (7), un peu moins de la moitié est utilisée : la couleur pour 90% d'entre elles (cartes 1 à 3 et 5 à 7), puis la valeur de la couleur (cartes 1, 3, 4, 5 et 8), et enfin la taille (carte 6), la forme (carte 8) et la transparence (cartes 3 et 7).

Certaines cartes sont animées (affichage progressif d'informations selon une échelle de temps). Une carte réalisée par l'organisme « the United States Geological Survey » affiche progressivement les aléas naturels affectant les États-Unis, le résultat final étant leur visualisation en superposition (8). D'autres cartes sont interactives (couches d'informations sélectionnables par l'utilisateur, possibilités de zoom ou de déplacement dans la carte) comme la carte 2 où l'utilisateur choisit, parmi un ensemble de dalles de Paris, celle où il souhaite visualiser la carte de bruit.

1.3 Le niveau de détail des cartes

1.3.1 Quelle échelle de représentation et quel fond ?

L'échelle des cartes s'étend de la très petite échelle (mondiale ou nationale comme dans la carte 1) à la très grande (1 : 5 000 comme dans la carte 8). Mais, c'est la moyenne échelle qui est la plus employée (du 1 : 25 000 au 1 : 100 000). Suivant l'échelle de la carte, un fond peut être ajouté qui sert de complément d'information en représentant les enjeux d'un territoire (cartes 3 et 7). Les services de l'État intègrent le plan cadastral pour des cartes à très grande échelle et le fond topographique IGN à moyenne échelle. À plus petite échelle, généralement, aucun fond n'accompagne la carte mais s'il existe, il peut s'agir d'une photographie aérienne ou d'une image satellitale (spatiocarte). On peut aussi intégrer un Modèle numérique de terrain (MNT) qui sert à visualiser en trois dimensions le relief d'un territoire.

---

[5] « Niveau de conséquences prévisibles d'un phénomène sur des entités menacées » (2).

[6] « Personnes, biens, activités, moyens, patrimoine (etc.) susceptibles d'être affectés par la réalisation du phénomène redouté » (2).

[7] Les trois niveaux de traitement des données sont (5) :
- corrélation : juxtaposition et superposition d'un certain nombre d'informations ;
- analyse : représentation d'un seul thème ;
- synthèse : représentation d'informations complexes sous une forme graphique simple.

[8] Les quatre niveaux d'organisation des données sont (6) :
- nominal : ensemble d'éléments non ordonnés et non numériques ;
- ordinal : ensemble d'éléments ordonnés et non numériques ;
- échelle d'intervalle : ensemble d'éléments numériques sans calculs de rapports possibles entre les valeurs (position du 0 arbitraire, classes de chiffres) ;
- échelle de rapport : ensemble d'éléments numériques avec rapports entre valeurs possibles (position du 0 absolu, pas de classes).

1.3.2 Quelle unité spatiale de référence ?

L'unité administrative et l'extension spatiale d'un phénomène sont les deux unités de référence dominantes dans les cartes de risque (cartes 1, 3, 5, 7 et 8). Elles sont d'ailleurs les plus classiques et les plus usitées en cartographie. L'enjeu, entité menacée par un événement, peut aussi servir d'unité de base pour quantifier et représenter le risque (cartes 2 et 6). D'autres unités spatiales de référence apparaissent en lien avec l'expansion des outils informatiques : la grille de pixels (carte 4) et des unités spatiales déterminées par modélisation (le casier hydraulique, zone de stockage d'eau (9) ; les surfaces emboîtées par krigeage (10)).

Cette diversité des cartes est cependant à relativiser. En effet, les risques naturels sont les plus cartographiés, notamment les paramètres aléa et risque. De plus, les données sont majoritairement ordinales et c'est la couleur et la valeur de la couleur qui sont principalement appliquées pour les représenter. Enfin, les cartes sont en grande majorité planes et statiques bien que le développement du numérique permette la création des cartes en trois (altitude) ou quatre dimensions (temps).

Aujourd'hui, beaucoup de cartes sont produites mais « trop de cartes tuent la carte » (1). Concevoir la « bonne » carte au « bon » moment revient à se demander au préalable : « quelles cartes pour quelles actions et pour quel public ? ». Classons maintenant les cartes selon leurs finalités et explicitons les pratiques cartographiques pour fournir des éléments de réponse à cette question.

2 ... classées pour mettre en lumière les pratiques cartographiques du risque

Trois finalités majeures caractérisent les cartes (1, 11, 12, 13) : l'information, l'action et le contrôle. Les cartes pour informer sont à information générale (« Où se situent les zones potentiellement à risque dans le territoire national ? ») ou préventive (« Ma commune est-elle exposée à un risque ? »). Les cartes d'action servent pour aider à la négociation/décision (« Quelles sont les caractéristiques du risque dans la zone que je dois aménager ? ») ou pour gérer une crise (« Quel espace est le plus touché par la catastrophe pour une intervention immédiate des secours ? »). Enfin, les cartes de contrôle sont des cartes réglementaires opposables aux tiers (« Quelles sont les zones constructibles ou inconstructibles dans ma commune ? »).

2.1 Informer

Les risques affectant de nombreux lieux de vie, informer la population est nécessaire. Le public visé est d'une part les services de l'administration centrale, pour engager des études approfondies dans les zones à risque, d'autre part les citoyens, qui ont « droit à l'information sur les risques majeurs » (loi sur l'information préventive, 1987).

Dans le cas des cartes, deux niveaux d'information apparaissent : une information générale et une information préventive.

2.1.1 Information générale

Les cartes d'information générale donnent une idée globale de la répartition des unités géographiques par rapport au risque, de l'échelle du pays jusqu'à celle du monde. Elles n'ont aucun fond. Les principales unités spatiales de référence utilisées sont l'unité administrative et l'extension d'un phénomène. La carte 1 localise les grandes zones de sismicité à l'échelle nationale, son intensité étant représentée par canton. Les données sont ordinales et c'est la couleur ou la valeur de la couleur qui sont utilisées. La variation de l'orange aurait suffi pour cartographier les différents niveaux d'intensité. En particulier, l'emploi du vert introduit un désordre visuel et il est nécessaire de se référer à la légende pour comprendre sa signification. La carte est interactive puisque l'utilisateur peut zoomer sur les zones de sismicité ce qui lui permet d'obtenir des informations plus précises sur le zonage.

2.1.2 Information préventive

La loi de 1987 a instauré le droit des citoyens à prendre connaissance des risques encourus sur leurs lieux de vie. Les services de l'État ont ainsi mis en place des Atlas départementaux sur les risques majeurs (ADRM) et des Dossiers communaux synthétiques (DCS) au service des citoyens et des autorités locales. D'autres cartes non issues de ces deux types de documents ont aussi pour finalité d'informer la population dans un objectif de sensibilisation et de prévention. Les échelles cartographiques sont plus grandes que précédemment (du 1 : 600 000 au 1.:.5.000), les cartes représentant les risques d'un territoire plus local. La présence d'un fond sert à mettre en évidence les entités menacées par un risque potentiel. Les unités spatiales de référence les plus employées sont l'extension d'un phénomène et les limites administratives.

Des outils de visualisation du risque fondés sur les technolologies SIG sont progressivement mis en place pour informer la population sur les risques présents sur leur territoire. Par exemple, en Colombie, un outil de visualisation de l'aléa volcanique en trois dimensions a pour objectif d'alerter la population sur les dangers imminents d'une éruption volcanique (14).

La carte 2 est relative au bruit, risque environnemental encore peu cartographié. Par tronçon du réseau routier, l'intensité du bruit est représentée selon une échelle de couleurs correspondant à l'ordre des couleurs du spectre visible. Pour information, cette carte appartient à deux ensembles de cartes : les cartes de bruit sur l'espace public (vue en plan de Paris) et les cartes de bruit en façades (vues en 3D et visualisables selon les quatre points cardinaux). Chaque carte est interactive puisque l'utilisateur peut sélectionner la zone de Paris qui l'intéresse.

2.2 Agir

Une autre finalité de la carte est d'être un outil de travail pour les acteurs du risque dont les actions sont soit d'aménager un territoire soit d'intervenir sur celui-ci en cas de catastrophe. Ce qui se traduit par deux catégories de cartes : les cartes d'aide à la négociation/décision et les cartes de gestion des situations de crise.

L'élaboration des cartes d'action fait appel à des techniciens experts dans le domaine du risque, qui réalisent des recherches pour une quantification et une représentation spatiale du risque les plus « exactes » possible. Des systèmes fondés sur les technologies SIG sont utilisés. Munis d'outils de modélisation et d'analyse spatiale, ils permettent de créer de véritables outils opérationnels. Citons comme exemples :

- un outil SIG mis en place par des universitaires français, utilisé pour élaborer une typologie des zones à risques technologiques majeurs et pour aider à la concertation et à la prise de décision (15) ;
- le logiciel « CrimeStat » développé aux Etats-Unis par l'Institut national de justice, permettant de visualiser les lieux d'incidents concernant la criminalité, les accidents de la route, les maladies, etc., sur une carte et de réaliser des analyses spatiales (16) ;
- un système de mise en garde contre les inondations, réalisé au Bangladesh, produisant des cartes de prédiction d'inondations qui affectent une zone pour aider à la prise de décision (17).

Les cartes de risque conçues à travers des outils SIG sont souvent limitées dans leurs choix graphiques. En effet, les SIG ne permettent pas toujours de réaliser une cartographie efficace du fait de leurs outils graphiques limités.

2.2.1 Aide à la négociation et à la décision

Planifier des actions d'aménagement sur un territoire requiert la prise en compte des risques présents. Des cartes synthétiques, représentant les effets d'accumulation et d'interaction des risques les uns par rapport aux autres, sont donc à concevoir pour aider à négocier et à prendre des décisions (13). Elles ont des échelles variables (du 1 : 500 000 au 1 : 5 000). Un fond peut accompagner les cartes pour localiser les enjeux. L'ensemble des unités spatiales est employé, en particulier celles directement dérivées des outils informatiques.

Les services de l'État élaborent des cartes techniques au 1 : 25 000 pour accompagner, voire pour aider à concevoir des documents réglementaires. La carte 3 en est un exemple. Elle représente, sur un fond topographique, trois niveaux d'aléa pour différents phénomènes naturels.

Les établissements publics de recherche proposent des méthodes de quantification et de cartographie du risque originales pour mettre en place des outils utiles à la négociation et à l'aide à la décision. La carte 4 est une carte de synthèse au 1 : 500 000. Sur un carroyage, sont représentées les intensités de risque selon la valeur de la couleur rouge. La cartographie des risques technologiques est également étudiée avec, comme illustration, la carte 5 [9] au 1 : 75 000 (18). Par établissement, les types de produits stockés sont cartographiés, leur niveau de dangerosité étant représenté par des aplats de couleurs ordonnées selon le spectre visible. Autour des établissements, les périmètres à risque sont ajoutés par des hachures. Un fond permet de visualiser l'occupation du sol du secteur. Enfin, à l'IGN, on a cartographié, à titre expérimental, les risques d'accidents de la route au 1 : 25 000 en superposant l'aléa et la vulnérabilité, différenciés par la couleur (carte 6) (19). Chaque paramètre du risque se constitue de données à échelle d'intervalle, représentées par la taille du symbole linéaire. La juxtaposition des composantes du risque ne permet pas de connaître facilement le risque sur le territoire. Par contre, la carte est efficace pour déterminer, en un lieu donné, l'aléa et la vulnérabilité.

2.2.2 Gestion de crise

Si une catastrophe a lieu sur un territoire, les secours doivent intervenir pour sauver des vies humaines et limiter les dégâts matériels. La carte constitue un outil d'aide à la gestion de crise, elle est généralement analytique, c'est-à-dire qu'elle inventorie, par type de risque, les lieux touchés par la catastrophe et où il faut agir. Peu de cartes ont été trouvées, celles-ci étant établies en temps réel via des technologies SIG par les services de l'Etat, les membres de la sécurité civile ou les policiers, au moment où une catastrophe se déroule. Celles recensées font référence à des scénarios-catastrophe et leurs échelles cartographiques sont variables (du 1 : 600 000 au 1 : 25 000). Un fond peut servir d'accompagnement. Les unités spatiales de référence sont l'extension du phénomène, la grille de pixels ou l'enjeu.

La carte 7 au 1 : 25 000 a été réalisée par la Direction départementale de l'Équipement de Gironde en concertation avec les pompiers du secteur. Elle représente des tranches de hauteur d'eau pour une crue de période de retour de 7 ans. La couleur est appliquée pour représenter des données à échelle d'intervalle. Mais, les couleurs choisies traduisent mal l'ordre réel des données, la valeur de la couleur aurait été plus appropriée. Cependant, l'emploi du rouge pour le deuxième palier est justifié car il est réservé pour attirer l'attention sur les secteurs géographiques couverts par la tranche la plus délicate à gérer. Un fond topographique accompagne la carte pour localiser les enjeux.

2.3 Contrôler

Les cartes relatives à la réglementation délimitent les zones à risque de façon officielle et spécifient les territoires de la commune à interdire à la construction à cause de risques potentiels. Le Plan de prévention des risques est élaboré pour les risques naturels et technologiques. En général, seuls les risques d'inondation et les risques de glissement de terrain sont cartographiés. Des guides méthodologiques sont fournis par le Ministère de l'Environnement et du développement durable pour aider les services de l'État à concevoir les PPR. Cependant, une carte opposable au tiers rencontre des problèmes de validité car elle ne garantit pas toujours que l'état de l'art technique soit utilisé (1). Le plan est à très grande échelle (1 : 5 000 ou 1 : 10 000) pour être compatible avec les documents d'urbanisme, et il est réservé aux citoyens et aux élus de la commune. Un fond peut accompagner le plan pour pouvoir visualiser les enjeux. Il sert de complément d'information aux zones d'extension du risque cartographiées. Si le plan est en couleur, le rouge est employé pour représenter les zones à haut risque et donc inconstructibles, l'objectif étant d'alarmer les lecteurs de la carte. La carte 8 représente trois niveaux de risque dont l'ordre est traduit par l'utilisation combinée des variables visuelles valeur et forme. Ici, la valeur aurait suffi pour différencier ces niveaux de risque.

---

[9] La carte 5 est à échelle plus petite que le 1 : 75 000, échelle originale de la carte, pour des raisons de mise en page dans les annexes.

Nos observations sur les cartes existantes peuvent être synthétisées dans le tableau suivant :

Finalité de la carte	Pratiques cartographiques
Information générale	• tout public ; • très petite échelle (monde, pays) ; • pas de fond ; • extension du phénomène, unité administrative.
Information préventive	• citoyens et élus pour sensibiliser ; • petite à moyenne échelle ; • fond possible ; • extension du phénomène, unité administrative, enjeu.
Aide à la négociation et à la décision	• public averti ; • petite à grande échelle ; • fond pour les cartes de l'Etat ; • extension du phénomène, carroyage, enjeu, casier hydraulique.
Gestion de crise	• intervenants en cas de crise ; • petite à moyenne échelle ; • fond pour cartes de l'Etat ; • extension du phénomène, carroyage, enjeu.
Réglementation	• citoyens et élus ; • très grande échelle ; • fond possible ; • extension du phénomène.

Après cet état des lieux, quelles propositions peuvent être avancées pour améliorer la représentation spatiale du risque ?

3 Quelles évolutions pourraient être proposées pour la cartographie du risque ?

Nous avons déjà mentionné la nécessité de se poser la question suivante : « Quelles cartes pour quelles actions et pour quel public ? ». Cette étape préalable est primordiale pour choisir judicieusement la méthode de quantification du risque, le niveau de « précision » à apporter dans la mesure du risque, l'échelle de représentation et l'unité spatiale de référence de la carte. Par exemple, si le risque est cartographié, il peut l'être par juxtaposition entre aléa et vulnérabilité (carte 6) mais aussi selon une typologie (carte de synthèse comme la carte 4). Les cartes obtenues diffèrent alors dans leur visualisation : la juxtaposition implique une lecture difficile du risque, mais une bonne connaissance de l'aléa et de la vulnérabilité en un lieu donné. La synthèse permet de voir le risque dans sa globalité mais sans savoir quelles sont les parts respectives de l'aléa et de la vulnérabilité. Un choix est ainsi à entreprendre entre les deux solutions et il dépend des finalités et du public de la carte.

Autre élément jouant sur l'efficacité de la carte : son habillage qui est parfois incomplet. Une légende accompagne l'ensemble des cartes de risque. Par contre, le titre et l'échelle graphique manquent régulièrement alors qu'ils sont essentiels pour que la carte ait un sens. Quant à la source et à l'auteur, ils sont souvent omis. Un inconvénient fréquent des cartes recensées est qu'on explicite rarement la méthode de quantification du risque. Or, notamment pour des cartes d'action, la signification précise des libellés sur les niveaux de risque est importante (carte 3).

Quelques orientations pour une cartographie du risque plus efficace sont présentées ci-dessous, elles concernent la représentation graphique des données. Elles ne doivent pas être considérées comme des solutions de remplacement du langage graphique des cartes existantes, mais plutôt comme des possibilités d'évolution et d'enrichissement sur le plan graphique. On trouve en annexe quatre propositions de cartes de risque (ill. 1 à 4).

3.1 Vers une meilleure gestion des superpositions et des incertitudes

3.1.1 Les données en superposition

Les superpositions d'information sont nombreuses dans les cartes multi-thématiques ou multi-paramétriques et elles peuvent affecter l'efficacité visuelle de ces cartes. Alors, comment mieux gérer les superpositions d'informations ? Une première solution est la collection de cartes. Pour la carte 3, on peut réaliser une carte par type de phénomènes et choisir la valeur pour représenter les niveaux d'aléa pour chaque carte. On conserve ainsi l'exhaustivité des données. On peut aussi alléger les données dans la carte. Les informations contenues dans la carte sont-elles toutes

indispensables par rapport à l'objectif à atteindre ? En particulier, la carte 3 a une redondance d'informations : les chiffres caractérisent le niveau d'aléa pourtant déjà renseigné avec l'intensité de la couleur. De plus, les lettres s'avèrent inutiles quand une couleur ne concerne qu'un type de sous-phénomène. Une autre solution serait de concevoir des cartes de synthèse. Par exemple, Yannick Manche propose une méthode semi-automatique pour une cartographie multirisques (20). Un outil générique de représentation de l'espace appelé Aide à la représentation spatiale pour l'environnement (ARSEN), effectue un traitement spatial de l'information en produisant automatiquement une carte de risque à partir de cartes d'aléa et de vulnérabilité. Si on intégrait la carte 6 dans le système, on obtiendrait une carte de risque et non une carte de juxtaposition de l'aléa et de la vulnérabilité. Pour un rendu papier, on peut concevoir des calques, chacun étant relatif à un type d'information. Le lecteur superpose des calques pour obtenir les renseignements voulus. Enfin, l'élaboration de cartes animées est à développer pour que les données soient visualisables progressivement ou pour que l'utilisateur sélectionne les couches d'information qui l'intéressent (cf. 3-2-).

Autre type de superposition : l'ajout d'un fond à une carte où sont localisées les entités géographiques d'un territoire. Dans ce cas, le fond doit fournir des renseignements pertinents pour une meilleure compréhension de la carte. De plus, il doit attirer l'attention du lecteur après les données de risque spatialisées. Or, le fond affecte parfois les informations en superposition : dans la carte 5, des hachures se mélangent avec la coloration du fond. De plus, le bleu de l'hydrographie et le bleu du gaz se confondent car leurs niveaux d'intensité et de saturation sont proches. De même dans la carte 3, le gris du ruissellement de versant est sensiblement le même que celui du fond. Par conséquent, il vaut mieux éviter d'utiliser des couleurs de fond trop voyantes et proches de celles des données risque (ill. 3). On peut aussi réduire au strict nécessaire les données du fond ou les représenter par de simples tracés comme c'est le cas dans les cartes 6 et 8. Enfin, les informations superposées au fond ne doivent pas le masquer : pour ce faire, on utilise habituellement la transparence de la couleur. Pourtant, elle ne permet pas de visualiser de façon optimale les composantes du fond (cartes 3 et 7). De plus, une nouvelle couleur non définie dans la légende apparaît, issue de la superposition des données en transparence avec le fond. Une solution serait de représenter les données avec une texture particulière pour voir le fond à travers. La carte 5 utilise des hachures pour les périmètres de danger autour des établissements à risque, on voit ainsi l'occupation du sol en dessous.

3.1.2 Les données d'incertitude

Le risque est, par définition, une composante incertaine car basée sur des probabilités d'occurrence de phénomènes. Ainsi, il faut envisager la représentation des zones d'incertitude dans les cartes, en particulier pour des cartes d'action et de contrôle. Or, rares sont les cartes qui intègrent cette dimension du risque. En effet, de nombreuses cartes représentent l'extension d'un phénomène, et les limites de ces zones sont plus ou moins fiables. Le Plan de prévention des risques (carte 8) est à très grande échelle et les zones de délimitation du risque sont séparées par un trait. Or, si une catastrophe se produit, elle ne suivra pas forcément cette limite : que faire si une maison classée en zone constructible est affectée par une catastrophe ?

La définition de nouvelles unités spatiales de référence peut être un moyen de représenter les données d'incertitude (cf. 3-2-). Des cartographes anglo-saxons ont réfléchi à des représentations spatiales de l'incertitude. A. MacEachren propose d'utiliser l'intensité et la saturation de la couleur pour visualiser l'incertitude. Des applications découlent de ses recherches :

- l'unité de référence spatiale étant le pixel, on représente sur une première carte les données de risque et sur une deuxième carte les données d'incertitude par des valeurs de rouge (plus le rouge est intense, plus la donnée est fiable) (21) ;
- Lee De Cola a développé un système spatial de prévision des maladies aux États-Unis et des cartes bivariées sont créées dans des surfaces à risque définies par krigeage. Une carte représente l'intensité de la maladie selon le spectre visible des couleurs qui s'étend du bleu au rouge ; une autre carte représente le niveau de fiabilité des données à travers une échelle de niveaux de gris. La carte finale est le fruit du mélange des deux cartes. Plus la couleur est claire, plus l'information est à prendre avec précaution (10).

3.2 Vers de nouvelles représentations graphiques

3.2.1 Le choix des variables visuelles

Malgré la grande richesse des signes graphiques, les représentations cartographiques se ressemblent. En effet, les données sont généralement ordinales et on les visualise par la couleur ou la valeur. Pour un grand nombre de cartes, nous proposons de suivre des règles de sémiologie graphique plus formelles. Généralement, on choisit la couleur pour sa valeur symbolique : les risques d'inondation sont en bleu, les risques de glissement de terrain en marron... (carte 3). On s'en sert aussi pour faire ressortir des zones dangereuses en priorité sur la carte ce qui met le lecteur en alerte : le rouge est généralement utilisé. Dans la carte 6, le rouge s'applique aux zones de vulnérabilité où des activités diverses sont susceptibles d'être touchées. Dans la carte 7, la zone en rouge est celle qui est la plus délicate à gérer. Pourtant, on n'utilise pas toujours la couleur judicieusement. Tout d'abord, la carte 2 utilise l'ensemble des couleurs du spectre visible pour représenter des données ordonnées à progression unique, ce que déconseille J. Bertin (exception faite pour les « courbes d'égalité, c'est-à-dire quand le plan rétablit en tout lieu le continu de la série spectrale ») (22). En effet, les couleurs de l'arc-en-ciel se structurent en deux gammes ordonnées (jaune-vert-bleu ; jaune-orange-rouge) et non en une seule. Ainsi, dans la carte 2, une des deux gammes ordonnées aurait suffi pour représenter l'intensité du bruit. Ensuite, la couleur est parfois utilisée pour représenter des données ordonnées bien qu'aucun ordre des couleurs n'existe. C'est le cas de la carte 7 où la valeur de la couleur est plus appropriée pour représenter les classes de hauteur d'eau. Pour les zones les plus délicates à gérer, on peut utiliser des hachures ou un contour spécifique (ill. 1). On peut aussi les mettre en surbrillance ou les faire clignoter via un outil de visualisation dynamique. Enfin, représenter l'associativité entre les données avec la couleur n'est pas toujours correctement réalisé. La carte 3 montre des sous-phénomènes pour l'inondation ; or, le choix des couleurs ne traduit pas leur appartenance à la même famille. Représenter en bleu l'ensemble des sous-phénomènes d'inondation (premier niveau de lecture), puis insérer des

lettres codées pour définir la nature de la menace (deuxième niveau de lecture), est une possibilité (ill. 2). Mais, pourquoi ne pas diversifier les cartes en choisissant d'autres variables visuelles que la couleur comme c'est le cas dans la carte 8 où la valeur et la forme se combinent ? Il faut d'ailleurs se méfier de la couleur car sa complexité (dans sa définition et ses possibilités d'utilisation) constitue un danger à la fois pour le concepteur et le lecteur de la carte.

3.2.2 De nouvelles solutions cartographiques

Les Systèmes de représentation cartographique (5) regroupent les cartes par maille, par anamorphose, en isolignes, en bandes alternées et de flux. Ils sont des solutions originales de représentation graphique des données qui pourraient être envisagées pour cartographier le risque. Tout d'abord, l'utilisation de la maille comme unité spatiale de référence est un moyen de représenter des données d'incertitude puisque, selon la dimension du pixel, l'espace géographique et les données de risque sont plus ou moins précis (carte 4). De même avec des gradients (selon le même principe que les courbes de niveau pour le relief ou les isothermes pour la température) où chaque isoligne correspond à une valeur d'incertitude (ill. 4). Ensuite, on peut concevoir une carte par anamorphose où la surface de chaque unité spatiale de référence est proportionnelle à sa valeur de risque. On peut aussi créer une carte en bandes alternées. Pour chaque unité spatiale, la largeur de la bande correspond à sa valeur de risque. On ramène cette valeur à 100% puis on divise cette bande en deux où une partie correspond à la valeur de l'aléa et l'autre à la valeur de la vulnérabilité (données en %). Enfin, il est possible de visualiser les déplacements d'un phénomène avec des flèches.

Le développement du numérique est aussi une source d'innovation dans la conception des cartes. En particulier, les cartes animées offrent plusieurs avantages par rapport aux cartes statiques. Tout d'abord, les données peuvent s'afficher progressivement selon une échelle de temps déterminée. C'est le cas de la carte des aléas naturels aux États-Unis. Ensuite, l'évolution dans le temps d'un phénomène est visualisable directement dans la carte avec des outils de simulation. Dans celui de H. Caetano, une inondation est simulée en milieu urbain pour montrer son impact sur l'environnement et les activités humaines (23). On peut aussi créer une carte animée par anamorphose qui représenterait, selon une échelle de temps, l'évolution d'un phénomène : plus l'intensité du phénomène s'accentue dans le temps, plus l'unité spatiale augmente en taille. De même, plus elle diminue dans le temps, plus sa surface est petite. Enfin, mettre en valeur une information dans la carte est possible à travers des fonctions de clignotement par exemple. Autre apport du numérique : l'interactivité des cartes. L'utilisateur peut sélectionner les couches d'informations qui l'intéressent, zoomer ou se déplacer dans la carte, mettre en évidence une information en faisant passer la souris dessus (24).

Il existe de nombreuses cartes de risque. Mais, « trop de cartes tuent la carte ». Il faut donc se demander systématiquement pourquoi et pour qui on fait la carte (thème du colloque Géopoint de 1986). De plus, ces cartes sont diverses mais avec des constantes, en particulier dans la représentation graphique des données. A la suite de ces constats, nous avons classé les cartes selon leur finalité pour fournir des éléments de réponse sur le pourquoi et le pour qui on fait la carte et pour mettre en évidence les pratiques cartographiques. Les cartes pour informer sont à des échelles plutôt petites et sont destinées à un large public. Les cartes pour agir sont à des échelles plus grandes et sont réservées à un public averti. Enfin, les cartes réglementaires sont des plans consultables par les citoyens et élus d'une commune. Ces cartes ont des forces incontestables mais elles ont aussi leurs limites. En effet, la richesse de la grammaire graphique n'est pas assez exploitée et l'efficacité visuelle de la carte n'est pas toujours optimale. En particulier, d'autres variables visuelles que la couleur peuvent être plus appropriées aux données à représenter. Une meilleure gestion des superpositions, parfois denses dans les cartes de risque, est nécessaire pour rendre la carte plus facile à lire. Spatialiser les incertitudes dans les données est de plus en plus recherché. Pourtant, rares sont les cartes qui les représentent. Des cartes animées et interactives sont à développer car elles sont un moyen innovant de communiquer des informations et peuvent, dans certaines situations, être plus efficaces que des cartes statiques. Par conséquent, la cartographie du risque n'a pas fini d'évoluer. De nouvelles solutions cartographiques sont à proposer pour lui permettre d'acquérir encore plus de richesse et d'efficacité.

Références bibliographiques

(1) Givone P. (1998) - Risques naturels et transcriptions cartographiques - in Ingénieries, Eau Agriculture Territoires, Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt, pp. 87-96.

(2) Gleyze J-F. (2002) – Le Risque – in Rapport interne de l'IGN, laboratoire COGIT, 256 p.

(3) Josselin D., Fabrikant S. (2003) – Editorial – in Revue Internationale de Géomatique vol. 13, n°1, 2003, pp. 7-9.

(4) Leone F. (2002) - Implications territoriales et socio-économiques des menaces naturelles en Martinique – in Annales de Géographie n°627-628, sept-déc 2002, pp. 549-573.

(5) Quodverte P. (1997) – La représentation cartographique ou l'art de concevoir des cartes – Bulletin du Comité Français de Cartographie n°153, sept 1997, pp.19-31.

(6) Rod J. K. (1997) – The third choice - Actes du colloque « 30 ans de sémiologie graphique », in http://www.cybergeo.presse.fr/semiogra/rod/rod.htm, visité le 28/04/03.

(7) Mac-Eachren A. (1995) – How maps work : Representation, Visualization and Design – Ed. The Guilford Press, 513p.

(8) United States Geological Survey (2003), in http://www.usgs.gov/themes/hazards.html, visité le 20/06/03.

(9) Gautheron A., Pignol C. (2001) – Utilisation de la cartographie des zones inondables en Loire Moyenne pour l'aide à la décision en cas de crise – in Journées Prévention Risques Naturels – SIRNAT, http://www.cindy.ensmp.fr/gautheron.pdf, visité le 20/05/03, pp. 1-12.

(10) De Cola Lee (2002) – Spatial Forecasting of Disease Risk and Uncertainty – in Cartography and Geographic Information Science, Vol 29, n°4, pp. 363-380.

(11) Garry G. (1996) - Cartographie et prévention des risques naturels en France – in Comité Français de cartographie, n°146-147, 129-136.

(12) Propeck-Zimmermann E. (2002) – Risques Technologiques Majeurs : Concertation et décision à l'aide de la carte – in Préventique, Sécurité n°65, sept-oct 2002, pp. 36-39.

(13) Steinberg J. (1993) – Le rôle de la cartographie des risques technologiques en milieu urbain – in Annales de Géographie n°570, mars-avril 1993, pp. 175-181.

(14) Villegas H. (2002) – 3D Visualisation of Volcanic Hazards – in GIM International, vol 16, fév 2002, pp. 61-63.

(15) Propeck-Zimmermann E., Ravenel L., Saint-Gérand T. (2002) – Cartographie des risques technologiques majeurs : nouvelles perspectives avec les SIG – in Mappemonde n°65, janvier 2002, pp. 17-21.

(16) Levine N. (2003) – GIS and Crime : CrimeStat II – in GIM International, vol 17, oct 2003, pp. 12-15.

(17) Aziz F., Tripathi N.K. (2002) – Flood Warning in Bangladesh - GIM International, vol 16, dec 2002, pp.77-79.

(18) Glatron S. (1995) – Industries dangereuses et planification : cartographier les risques technologiques majeurs – in Mappemonde n°2, pp. 32-35.

(19) Dolle L. (2000) – Cartographie du risque : représentation de l'aléa et de la vulnérabilité. Exemples des accidents de la route – in rapport de stage de l'IGN, 36p.

20) Manche Y. (1998) – Cartographie multirisques : une méthode semi-automatique - in Ingénieries, Eau Agriculture Territoires, Risques naturels : avalanches, crues, inondations, laves torrentielles, incendies de forêt, p.115-119.

(21) Aerts J., Clarke K., Keuper A. (2003) – Testing Popular Techniques for Representing Model Uncertainty – in Cartography and Geographic Information Science, vol 30, n°3, pp.249-261.

(22) Bertin J. (1967) – Sémiologie graphique : Les diagrammes, les réseaux, les cartes – Ed. EHESS, 431p.

(23) Caetano H. (2003) – Le simulateur Risques Urbains – Inondation : un simulateur pour la formation et l'aide à la décision des cadres des institutions confrontées à une inondation – in Résumés des Journées Prévention Risques Naturels - SIRNAT, 29 et 30 janvier 2003, pp.1-7, visité le 16/12/03.

(24) Midtbo T. (2003) – Multivariable « seeing maps » through interactive animations – in Proceedings of the 21st International Cartographic Conference, Cartographic Renaissance, 10-16 août 2003, pp. 111-116.

Annexes* et Illustrations**

carte 1 : « Zones de sismicité en France métropolitaine » ;
in http://www.prim.net/citoyen/definition_risque_majeur/zonage_sismique_france/home.htm, visité le 15/03/03.

carte 2 : « Bruit routier moyen sur l'espace public dans le nord de Paris 11 » ;
in http://www.paris.fr/FR/Environnement/bruit/carto_bruit/11n_arrsj/a3.ASP, visité le 22/07/03.

carte 3 : « Les aléas dans la commune de Veurey-Voroize dans le département de l'Isère » ;
in http://www.irma-grenoble.com/10veurey/02risques-nat/risques/aleas.htm, visité le 21/11/02.

carte 4 : « Intensité du risque volcanique en martinique » ;
in F. Leone (2002) - Implications territoriales et socio-économiques des menaces naturelles en Martinique - Annales de Géographie N° 627-628, pp. 549-573.

carte 5 : « Les établissements industriels présentant des risques technologiques majeurs et leurs périmètres d'isolement dans un tissu urbain dense au 1 : 75 000 (extrait) » ;
Sources : S. Glatron pour la conception cartographique et l'Institut d'Aménagement et d'Urbanisme de la région d'Ile-de-France pour l'utilisation du Mode d'Occupation du Sol et du Système d'information Géographique régional;
in Sandrine Glatron (1995) - Industries dangereuses et planification : cartographier les risques technologiques majeurs - Mappemonde 2, p.32-35 .

carte 6 : « Le risque accident de la route : aléa et vulnérabilité » ;
in Lenny Dolle (2000) - cartographie du risque : représentation de l'aléa et de la vulnérabilité, exemple des accidents de la route - Rapport de stage réalisé à l'Institut Géographique National.

carte 7 : « Scénario – catastrophe dans la vallée de la Garonne » ;
in Gérald Garry (1994) - Evolution et rôle de la cartographie dans la gestion des zones inondables en France - Mappemonde 4, pp. 10-16.

carte 8 : « Le risque d'inondation – le PPR, commune de Mandelieu » ;
in Dagorne A., Castex J-M., Ottavi J-Y. (1999) - De l'analyse des inondations à la mise en route d'un Plan de Prévention des Risques prévisibles (PPR) : application à la commune de Mandelieu-la Napoule, vallée de la Siagne (Alpes-Maritimes) – Bulletin du Comité Français de Cartographie n°161, pp. 48-62.

ill. 1 : « Scénario-catastrophe dans la vallée de la Garonne » ;

ill. 2 : « Aléas de la commune de Veurez-Voroize (partie Sud-Est) » ;

ill. 3 : « Les établissements industriels présentant des risques technologiques majeurs et leurs périmètres d'isolement dans un tissu urbain dense » ; « Aléas de la commune de Veurez-Voroize (partie Sud-Est) » ;

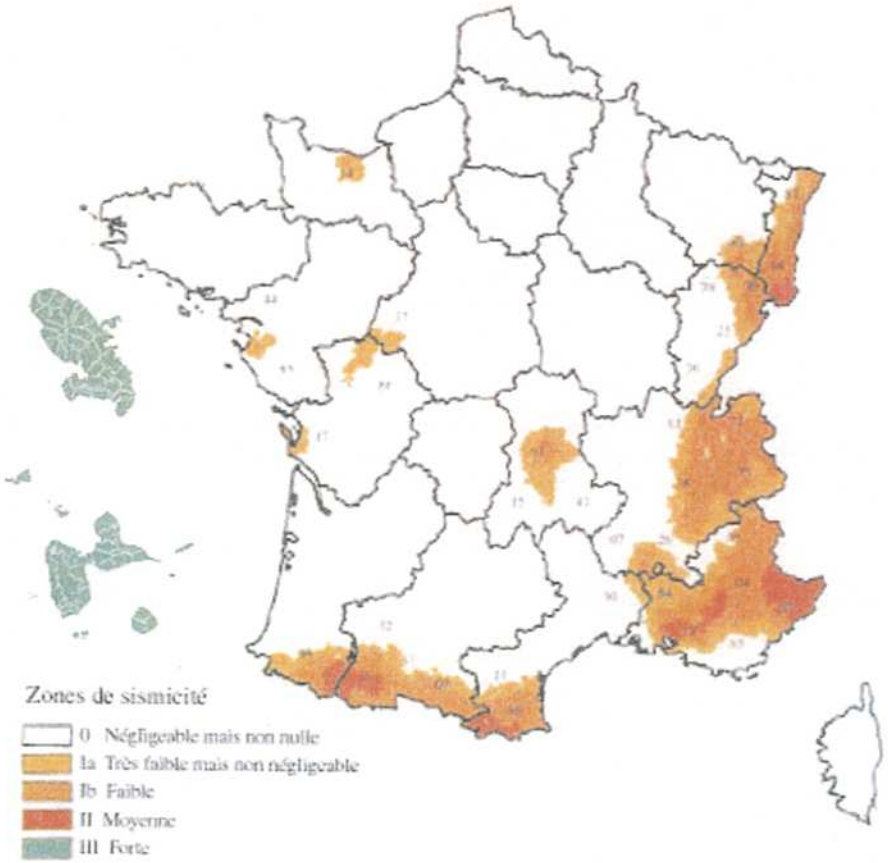
ill. 4 : « Le risque d'inondation – le PPR, commune de Mandelieu ».

* Je tiens à remercier les auteurs et les diffuseurs des cartes illustrant mes analyses.
** Les illustrations sont des propositions d'amélioration de la représentation graphique des cartes, ainsi :
leurs échelles ont été modifiées pour des raisons de mise en page ;
pour les illustrations 2, 3 et 4, des extraits de cartes ont été choisis.

---

carte 1 :

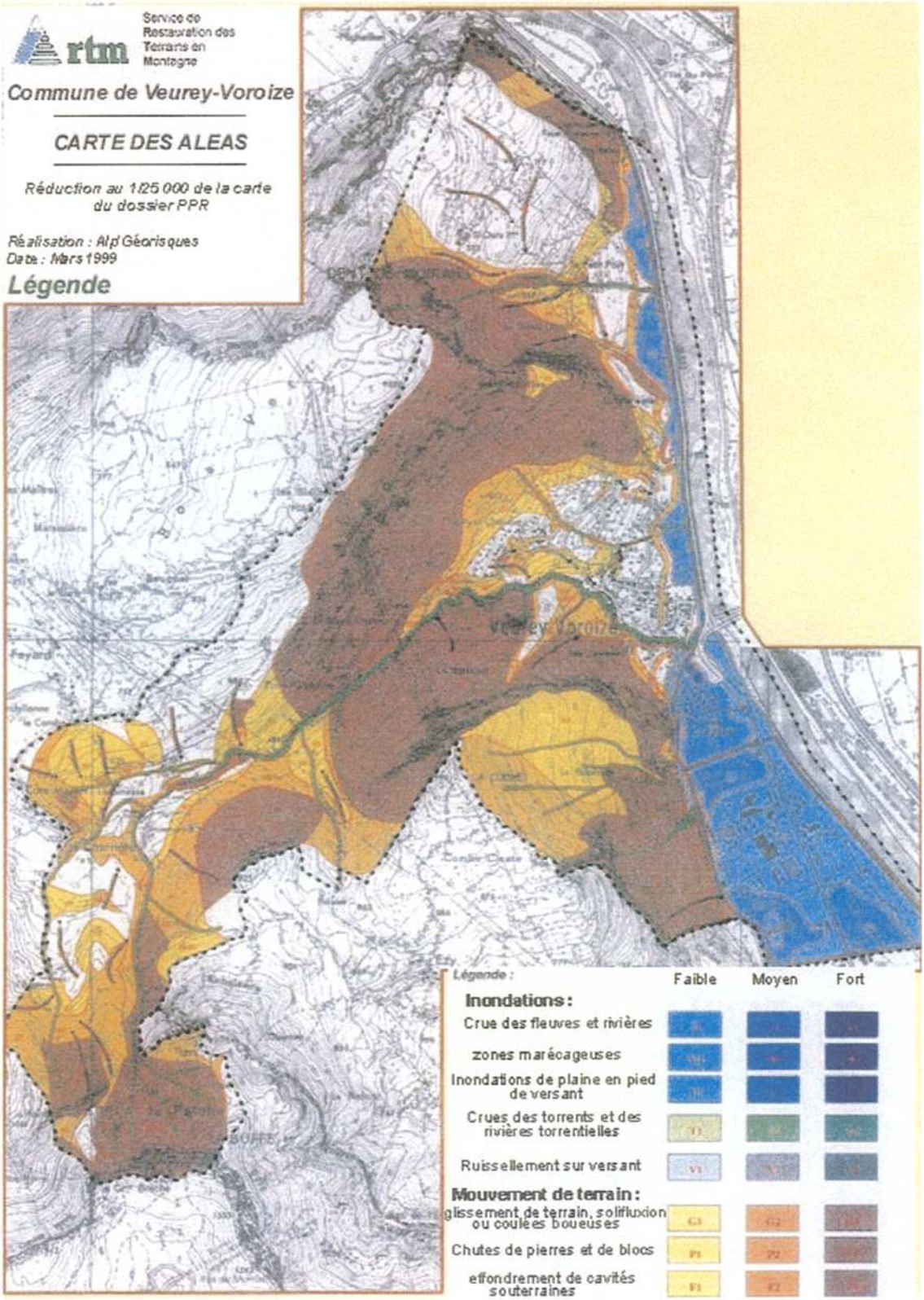
ZONE DE SISMICITÉ EN FRANCE MÉTROPOLITAINE



carte 2 :

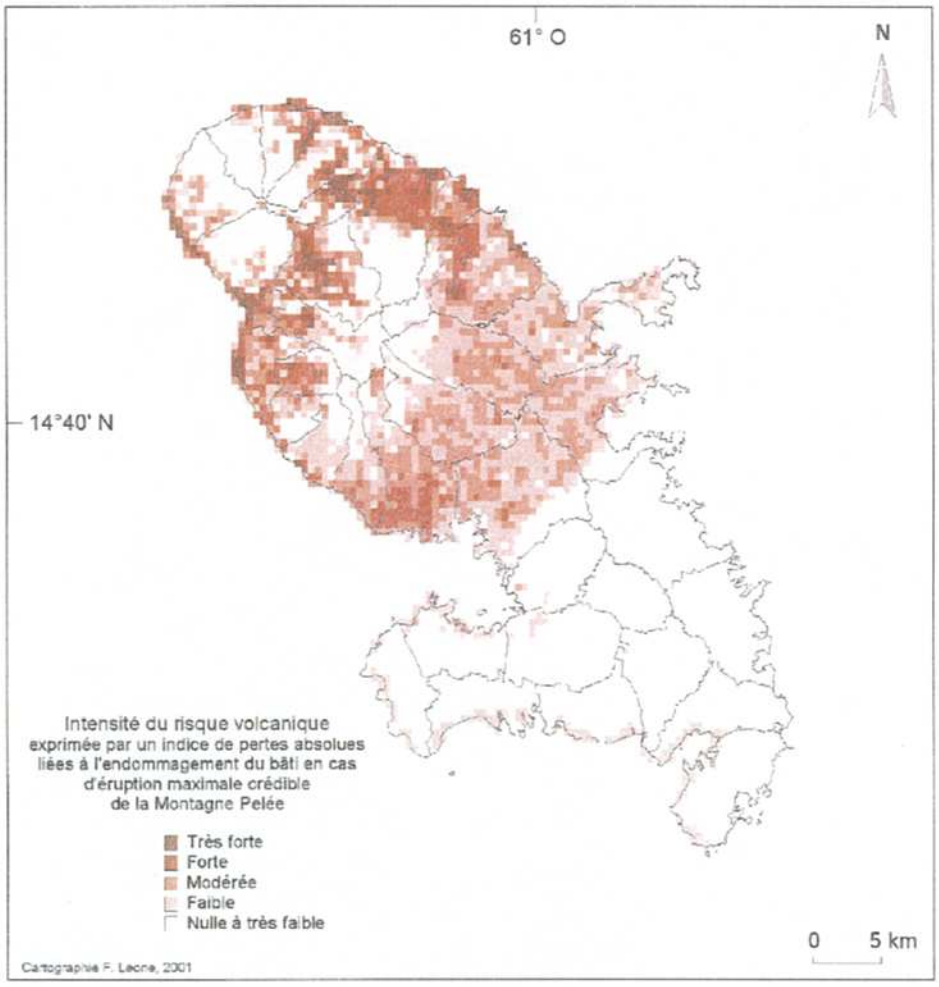
BRUIT ROUTIER MOYEN SUR L'ESPACE PUBLIC DANS LE NORD DE PARIS 11

carte 3 :


Service de Restauration des Terrains en Montagne
rtm
Commune de Veurey-Voroize
CARTE DES ALEAS
Réduction au 1/25 000 de la carte du dossier PPR
Réalisation : Alp'Géorisques
Date : Mars 1999
Légende
Légende :
Faible
Moyen
Fort
Inondations :
Crue des fleuves et rivières
zones marécageuses
Inondations de plaine en pied de versant
Crues des torrents et des rivières torrentielles
Ruissellement sur versant
Mouvement de terrain :
glissement de terrain, solifluxion ou coulées boueuses
Chutes de pierres et de blocs
effondrement de cavités souterraines

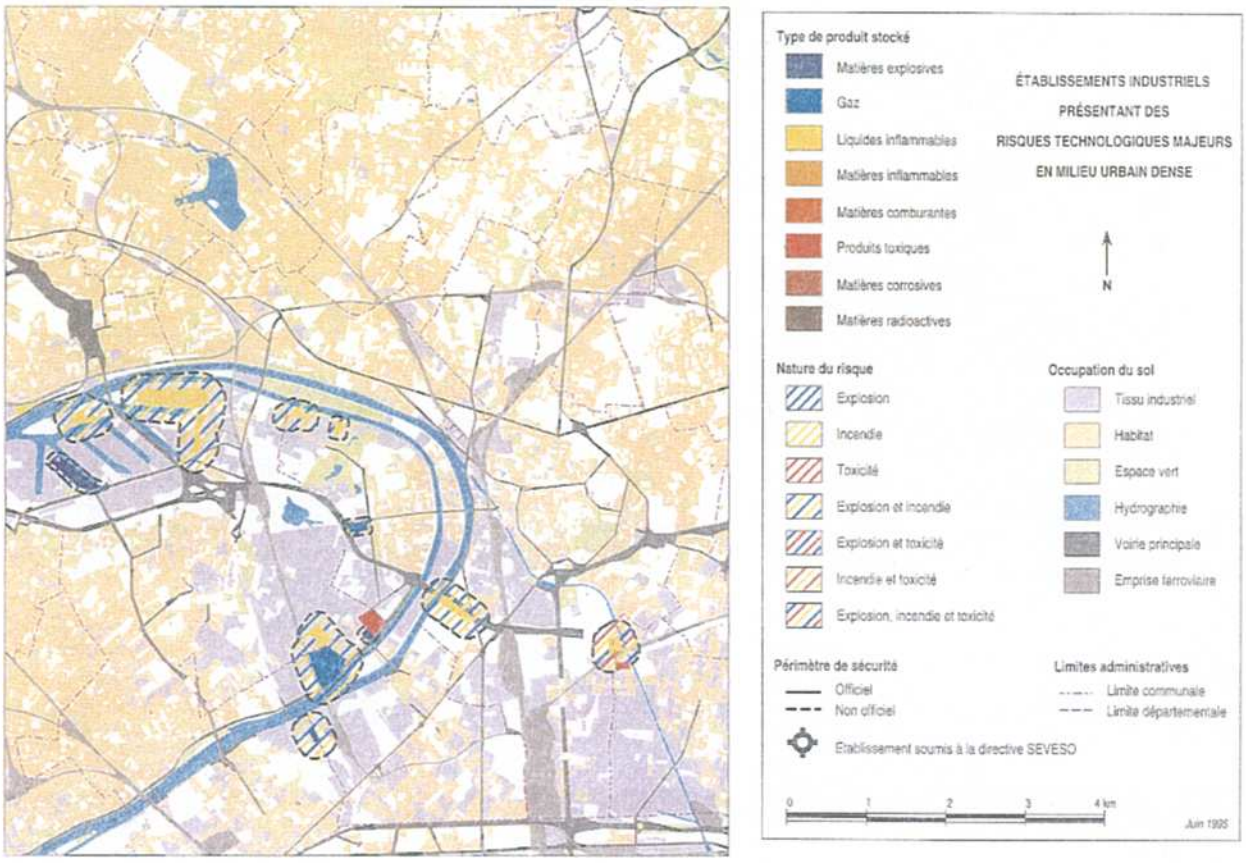
carte 4 :

INTENSITE DU RISQUE VOLCANIQUE EN MARTINIQUE



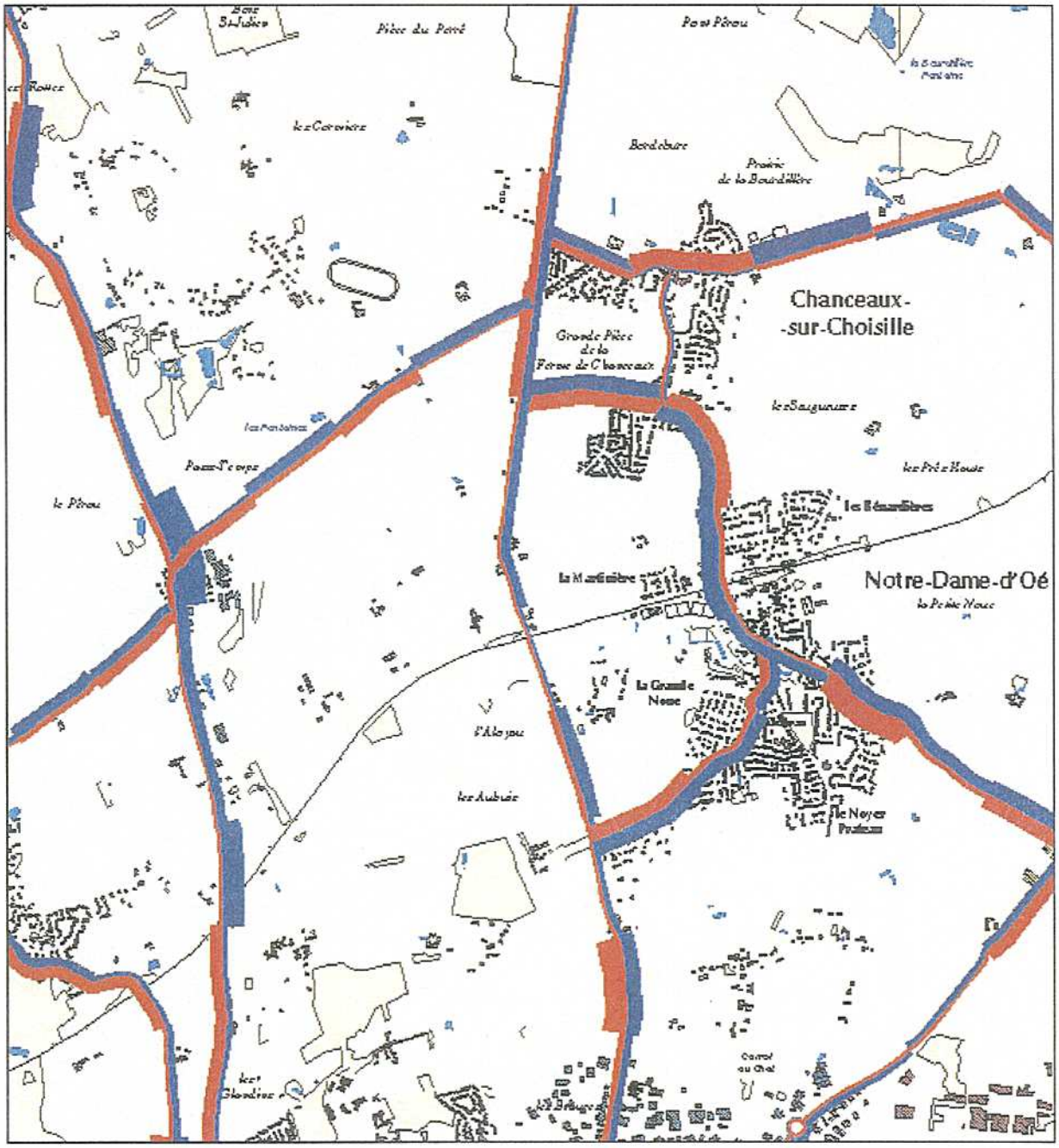
carte 5 :

LES ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS PRESENTANT DES RISQUES TECHNOLOGIQUES MAJEURS
ET LEURS PERIMETRES D'ISOLEMENT DANS UN TISSU URBAIN DENSE



Carte 6 :

Le risque accident de la route : aléa et vulnérabilité



Aléa : nombre d'accidents

0
5
10
15
30

Vulnérabilité : nombre de victimes

0
2
4
6
10

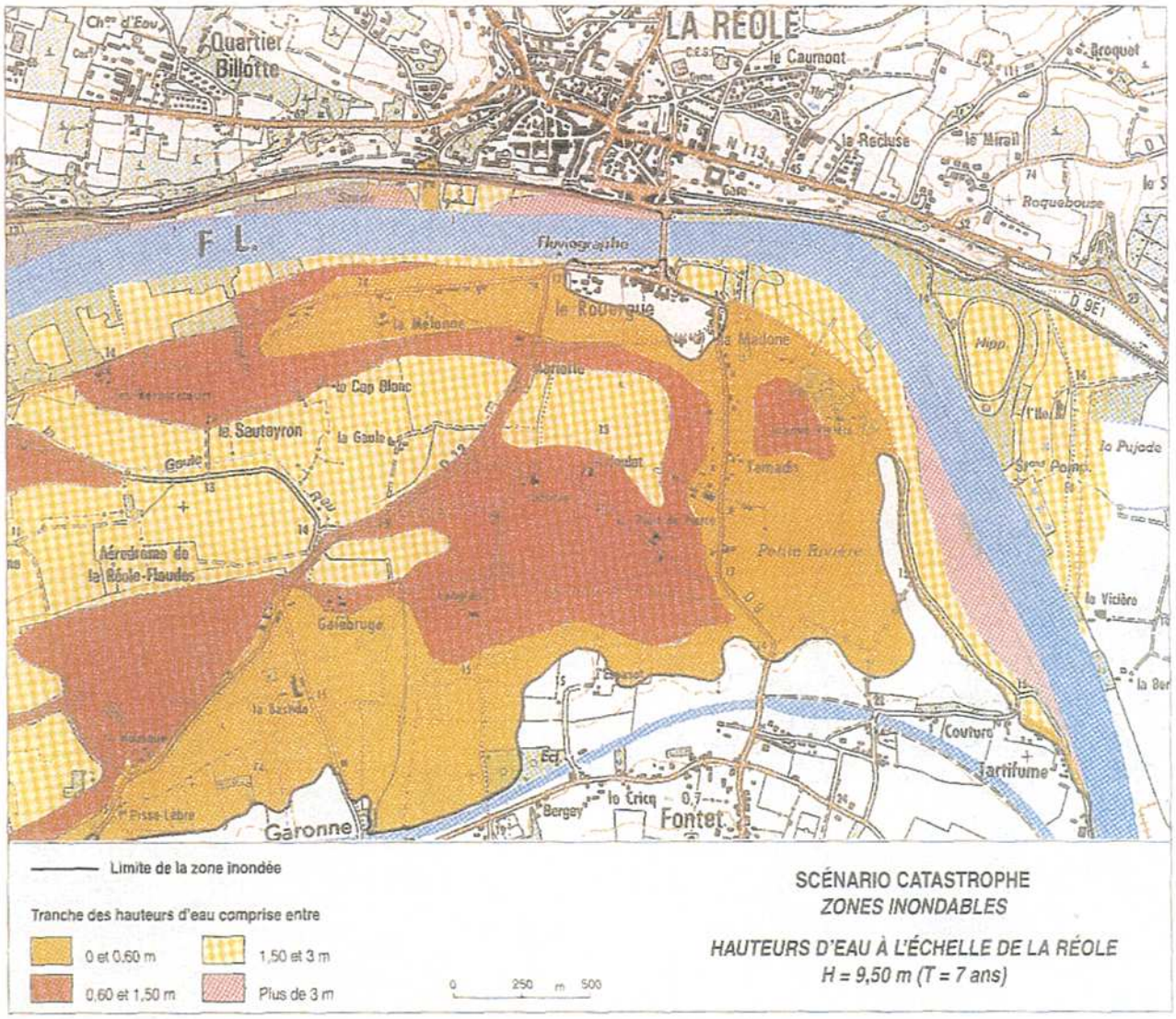
N

0 1 km

Carte thématique réalisé par L.Dollé
d'après fond de carte IGN

carte 7 :

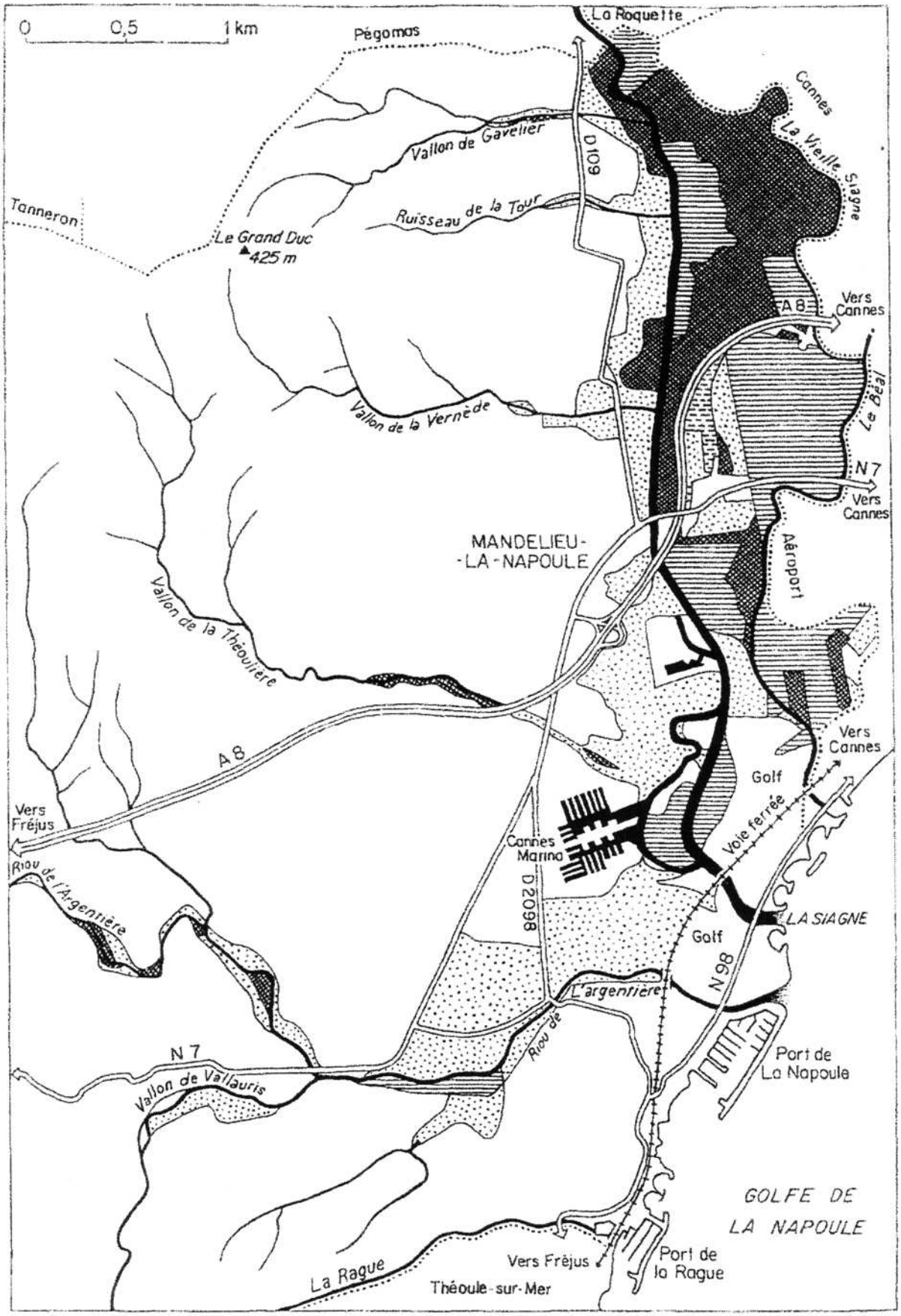
SCENARIO - CATASTROPHE DANS LA VALLEE DE LA GARONNE



carte 8 :

LE RISQUE D'INONDATION - LE PPR
COMMUNE DE MANDELIEU

(d'après le dossier PPR, Préfecture 06, simplifié)



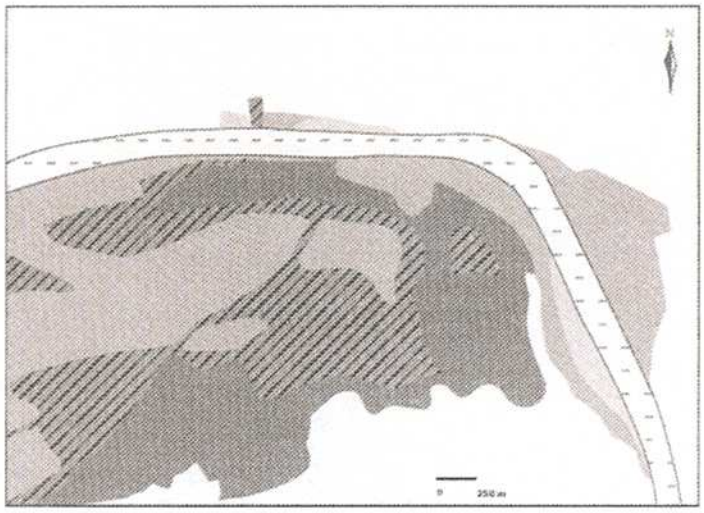
Risque fort (R)

Risque modéré (enclavement, inaccessibilité) (B_2)

Secteur concerné par une décision de justice

Risque modéré (B_1)

ill.1 :
SCENARIO CATASTROPHE DANS LA VALLEE DE LA GARONNE



Cours d'eau

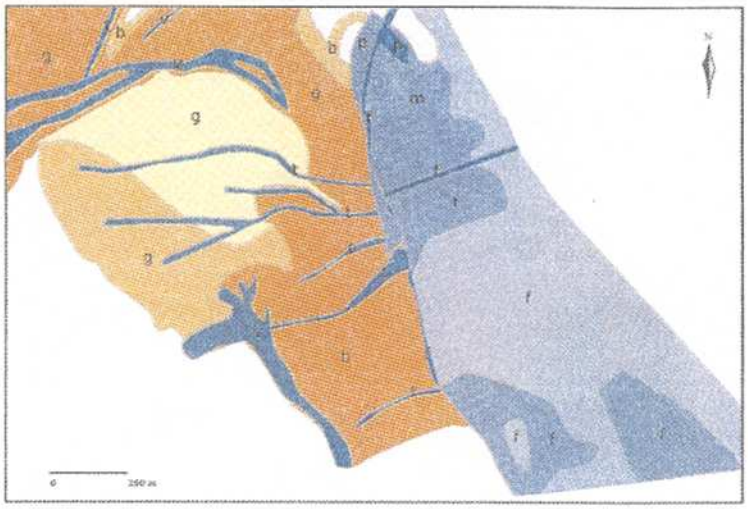
Tranches de hauteurs d'eau (en mètres) :

- >= 3
- 1,50 - 2,99
- 0,60 - 1,49
- 0 - 0,59

Zone d'intervention prioritaire

Auteur : Elisabeth CHESNEAU, janvier 2004
Source : Carte 7 des annexes

ill. 2 :
ALEAS DE LA COMMUNE DE VEUREY-VOROIZE (partie Sud-Est)



Inondations	*Mouvements de terrain*	*Niveaux d'aléa*
		faible
		moyen
		fort

Nature des phénomènes :

f : crue des fleuves et rivières
m : zones marécageuses
p : inondations des plaines en pied de versant
v : ruissellement sur versant
g : glissement de terrain, solifluxion ou coulées boueuses
b : chutes de pierres et de blocs
c : effondrement de cavités souterraines

Auteur : Elisabeth CHESNEAU, janvier 2004
Source : Carte 3 des annexes

ill. 3 :
ETABLISSEMENTS INDUSTRIELS AVEC RTM ET LEURS PERIMETRES D'ISOLEMENT

Type de produit stocké :

- produits explosifs
- produits inflammables
- produits toxiques

Nature du risque :

- Explosion
- Explosion et incendie

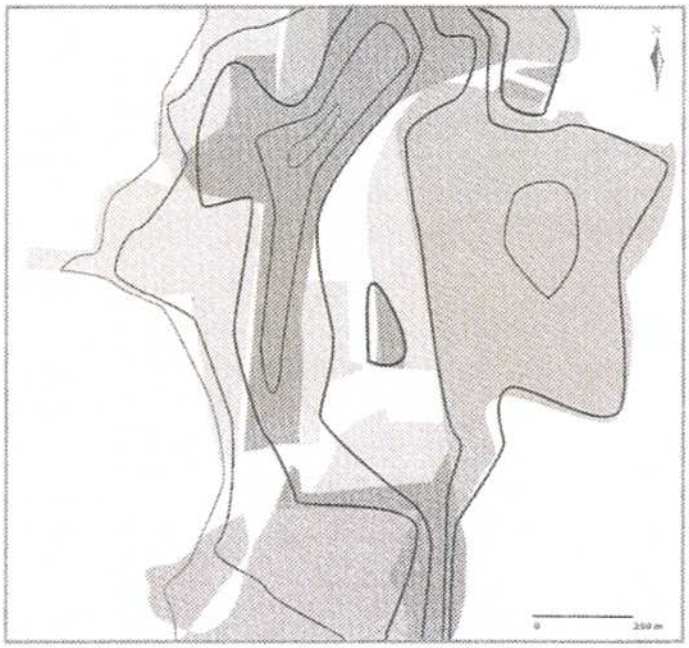
Périmètre non officiel

Occupation du sol :

- Hydrographie
- Espace vert
- Habitat
- Tissu industriel
- Emprise ferroviaire
- voirie

Auteur : Elisabeth CHESNEAU, janvier 2004
Source : Carte 5 des annexes

ill. 4 :
LE RISQUE D'INONDATION - LE PPR COMMUNE DE MANDELIEU



Niveau de risque :

- fort
- modéré (b1)
- modéré (b2)

Niveau d'incertitude :

- très fort
- fort
- moyen
- faible

Auteur : Elisabeth CHESNEAU, janvier 2004
Source : Carte 8 des annexes