

Estimation relative de la vulnérabilité urbaine à Bucarest

Samuel Rufat

*UMR 5600 - Environnement, ville et société
Université de Lyon*

Résumé.— À Bucarest, les cartes murales sont les principaux outils des urbanistes et des gestionnaires du risque. La réalisation d'un SIG et l'intégration de différentes bases de données permettent d'améliorer l'analyse spatiale et de déplacer les préoccupations des gestionnaires des aléas à la vulnérabilité. Nous proposons une solution basée sur l'analyse multivariée pour dépasser les obstacles méthodologiques à l'estimation de la vulnérabilité. Les différents profils de vulnérabilité sont cartographiés au regard des aléas et sources de danger pour réaliser une carte synthétique du risque. Cette spectroscopie de la vulnérabilité est développée dans le cas de Bucarest comme outil de gestion du risque et d'aide à la décision.

Aléas • Bucarest • Estimation • Gestion du risque • SIG • Statistiques • Vulnérabilité

Abstract.— **A relative assessment of urban vulnerability in Bucharest.**— In Bucharest, Romania, wall maps are the main tools of town planners and risk managers. Various databases were integrated into a GIS in order to improve spatial analysis. This enables risk managers and town planners to shift their focus from hazard to vulnerability. As approaches based on vulnerability raise problems of heterogeneous data, mixed units of measurement and the definition of thresholds, this paper proposes solution based on multivariate analysis. The different profiles of vulnerability are then mapped and superimposed on a hazard map, in order to produce a synthetic map of urban risk. This spectroscopy of vulnerability is designed to support planning and policymaking.

Bucharest • GIS • Hazard • Risk management • Statistics • Vulnerability • Vulnerability assessment

Résumen.— **Evaluación relativa de la vulnerabilidad urbana de Bucarest.**— Los mapas murales constituyen las principales herramientas de los urbanistas y de los profesionales del riesgo en Bucarest. La realización de un SIG y la integración de varias bases de datos facilitan el análisis espacial y la evolución de las preocupaciones de los responsables de la caracterización de la vulnerabilidad. Para superar los obstáculos metodológicos de la evaluación de la vulnerabilidad, se propone una solución basada sobre el análisis multivariado. Los distintos perfiles de vulnerabilidad se mapean tomando en cuenta las amenazas y las fuentes de peligro con el fin de dibujar un mapa sintético del riesgo. Esta espectroscopia de la vulnerabilidad en el caso de Bucarest constituye una herramienta para el manejo del riesgo y la ayuda a la decisión.

Amenazas • Bucarest • Estadísticas • Evaluación • Manejo del riesgo • SIG • Vulnerabilidad

A Bucarest, les cartes murales où sont placées des pastilles de couleur sont le principal outil de spatialisation des gestionnaires du risque. Elles permettent d'identifier la distribution des sources de danger et des services chargés des

interventions (pompiers, hôpitaux, etc.). Mais les données existantes, comme les recensements, n'ont pas été exploitées et il n'a été réalisé qu'une seule base de données en lien avec la gestion du risque : une liste des immeubles les plus fragiles en cas de séisme, qui est longtemps restée confidentielle (Trandanfir, 2005). L'informatisation des outils d'urbanisme a été menée par des ingénieurs et des architectes qui ont privilégié les hachures sur une image numérisée du cadastre, alors que les fonds topographiques restent classés « secret défense » (Rufat, 2008a). Il n'existe donc pas de SIG à Bucarest.

Pourtant, la capitale de la Roumanie est exposée à des séismes d'une intensité supérieure à 7 sur l'échelle de Richter (environ 2 par siècle), à des inondations récurrentes, mais aussi à des accidents industriels et de transport de matières dangereuses. Les catastrophes, en particulier le séisme de mars 1977, ont d'autant plus profondément marqué les tissus qu'elles ont servi de point d'appui à de vastes opérations d'urbanisme (Rufat, 2008b ; Popa, 2005). La période de « transition », qui s'est ouverte après la chute du régime socialiste en 1989, a rendu les populations les plus vulnérables captives des quartiers les plus exposés (Rufat, 2008a). Mais le manque d'exploitation des données et la rapidité des changements font que Bucarest est aujourd'hui moins étudiée qu'avant 1989, et ne facilitent pas la prise de conscience de cette situation critique. L'exposition complexe, les interactions entre les mutations récentes et le renforcement de la vulnérabilité rendent la conception d'outils d'analyse de la vulnérabilité synthétiques et efficaces non seulement nécessaire, mais également urgente.

La décennie 1990, que l'ONU a consacrée à la réduction des catastrophes naturelles, a conduit à la redéfinition des concepts, des méthodes et des outils (Veyret, 2003 ; Dauphiné, 2001). Cette décennie a érigé la vulnérabilité comme concept clé, avec la prise en compte de ses différentes dimensions : physique, sociale et fonctionnelle (Gleyze *et al.*, 2007 ; Wisner *et al.*, 2004 ; Cutter, 2003). Cependant, si les concepts ont évolué sous l'impulsion des institutions internationales, et si les outils ont été enrichis par le développement de l'informatique (White *et al.*, 2001), les méthodes utilisées restent basées sur des modèles additifs (Barnett *et al.*, 2008 ; Kasperson, 2005). Ces modèles ne permettent pas de rendre compte des relations complexes entre les différentes dimensions de la vulnérabilité, qui nécessitent d'analyser leurs interactions (Dauphiné, 2003). Les approches systémiques, qui les abordent, se tournent vers les analyses *a posteriori* (Pigeon, 2005). Elles semblent condamnées à multiplier les études de cas sans déboucher sur des formalisations. Construire un outil d'analyse de la vulnérabilité à Bucarest ne se résume donc pas à réaliser un SIG qui fait défaut à la capitale. Il faut également se pencher sur les méthodes d'estimation et de cartographie du risque et de la vulnérabilité.

Ces méthodes ne semblent plus en adéquation avec le profond renouvellement de l'outillage conceptuel qu'a connu ce champ de recherche. L'estimation de la vulnérabilité bute sur des obstacles méthodologiques. La prise en compte des différentes dimensions de la vulnérabilité nécessite de mettre l'analyse des interactions au cœur de son estimation, ce qui débouche sur une spectroscopie de la vulnérabilité. Dans le cas de Bucarest, cette nouvelle approche est mise à l'épreuve au travers de plusieurs séries de données. Le recours à un SIG permet ensuite de cartographier la vulnérabilité au regard de l'exposition aux aléas. Enfin, il convient de s'interroger sur les limites de cette démarche et les possibilités de généralisation.

1. Dépasser les obstacles méthodologiques de l'estimation de la vulnérabilité

Les différentes dimensions de la vulnérabilité nécessitent la prise en compte d'un grand nombre de données, de sources et de nature souvent très différentes (bâti, démographie, réseaux, etc.).

Les estimations formelles intègrent les aléas d'un territoire, la fragilité des systèmes exposés (forte densité, engorgement des réseaux, etc.), ainsi que les capacités d'adaptation. Mais elles butent sur deux problèmes : le nombre de facteurs pris en compte a augmenté en même temps que les capacités de stockage et de traitement des données (Cutter, 2006), et leur hétérogénéité doit être réduite pour permettre les traitements statistiques et la cartographie (Barnett *et al.*, 2008 ; Rufat, 2007). Les études publiées ces dix dernières années sous l'impulsion des organismes internationaux ont proposé trois types de solutions pour surmonter ces obstacles, selon des approches comptable, analytique et synthétique.

L'approche comptable de la vulnérabilité traduit toutes les données en termes monétaires puis estime les dommages prévisibles en cas de catastrophe (Tierney *et al.*, 2007 ; Linkov *et al.*, 2004 ; Benson *et al.*, 2003 ; OCDE, 2003). Elle conduit à une confusion entre la vulnérabilité, l'exposition et les conséquences prévues d'une crise. Elle pose également de nombreux problèmes lorsque la probabilité d'occurrence des phénomènes est inconnue, lorsqu'il faut additionner vies humaines, dommages aux infrastructures et destruction du patrimoine culturel en une même unité monétaire ou parce qu'elle se contente d'additionner les facteurs sans saisir leurs interactions.

L'approche analytique repose sur l'identification de « facteurs de vulnérabilité » (Dauphiné, 2004). Elle propose ensuite des traitements algorithmiques (Schmidt-Thomé, 2006 ; Kaly *et al.*, 2004 ; Gilles, 2004) ou matriciels (Wisner, 2003 ; Cutter *et al.*, 2000 ; Puente, 1999), qui permettent de publier des indices de vulnérabilité. Mais elle se heurte à la multiplication de variables hétérogènes ou à la définition de seuils arbitraires. Là encore, les facteurs de vulnérabilité sont additionnés ou multipliés selon les auteurs, sans prendre en compte leur diversité et leurs interactions. La réduction de cette hétérogénéité des facteurs, par une traduction monétaire uniforme ou par une intégration en un indicateur unique, gomme les interactions entre les facteurs, alors qu'elles sont essentielles pour l'analyse de la vulnérabilité.

À l'inverse, l'approche synthétique s'appuie sur la systémique, d'une part, pour saisir les interactions qui sont à l'origine de la création de la vulnérabilité (Perrow, 2007 ; Cutter *et al.*, 2003) ; d'autre part, pour évaluer les politiques de gestion du risque (Pigeon, 2005 ; Quarantelli, 2003 ; Wilches-Chaux, 1998). Elle transforme l'analyse de la vulnérabilité en une « clé de lecture », mais les auteurs butent sur son estimation formelle et sa cartographie (Reghezza, 2006 ; Pigeon, 2002) : elle est condamnée à une analyse *a posteriori*. Ces méthodes posent les bases d'une estimation synthétique de la vulnérabilité reposant à la fois sur l'analyse systémique et les retours d'expérience, mais elles ne sont pas parvenues à en dépasser les obstacles méthodologiques.

2. Remettre les interactions au cœur de l'estimation de la vulnérabilité

Nous proposons de surmonter ces obstacles en deux étapes, d'abord un changement de regard; ensuite, le recours aux analyses des corrélations pour dégager les interactions entre les facteurs et des « profils » de vulnérabilité. La formule « il n'existe pas de risque zéro » peut être transposée à la vulnérabilité : il n'existe pas de territoire, d'individu ou de société invulnérable. Dès lors, l'estimation de la vulnérabilité n'est plus la tentative de quantifier un niveau absolu de fragilité ou de dommages potentiels, mais plutôt de chercher à savoir quelles sont les populations et les territoires les plus vulnérables au sein des espaces exposés à divers aléas et sources de danger. Cette analyse d'une vulnérabilité relative souligne les interactions entre les différents facteurs de vulnérabilité (Rufat, 2007). Ce qui conduit à analyser les causes du renforcement de la vulnérabilité dans certains territoires, au sein de certaines populations, et peut servir à la recherche de solutions dans une perspective de prévention.

Le recours aux analyses factorielles permet ensuite de s'affranchir de la recherche de seuils pour les différentes variables. Il est nécessaire de traiter un important volume d'informations avant de représenter la vulnérabilité. Les analyses factorielles simplifient, résument et hiérarchisent cette information (Minvielle, Souiah, 2003; Béguin Pumain, 1994; Chadule, 1994). Elles ont déjà été utilisées pour réduire l'hétérogénéité des données avant leur intégration dans un modèle additif (Cutter *et al.*, 2003). Mais elles permettent également de mettre à jour les interactions positives (marginalité sociale et habitat précaire, par exemple) ou négatives (population âgée et encadrement médical) entre les facteurs de vulnérabilité au sein des unités spatiales, à l'aide des matrices de corrélation.

Nous proposons un enchaînement de méthodes pour spatialiser les interactions à l'origine de la création et du renforcement local de la vulnérabilité. Notre démarche commence par dégager des groupes de facteurs de vulnérabilité en veillant à leur équilibre et en étudiant leurs corrélations. Les variables retenues sont ensuite traitées par une analyse factorielle (Analyse en Composantes Principales normée), dont les axes servent de base à une classification automatique (CAH), qui débouche sur des typologies des unités spatiales. À la différence du recours à un modèle additif, il est donc possible tout au long de l'analyse d'examiner les valeurs prises dans chaque unité spatiale et de les rapporter au profil moyen (1). Ces typologies sont ensuite cartographiées à l'aide d'un SIG. Les différents profils sont présentés sous forme de graphiques en bâtons par des écarts au profil moyen. Chaque profil est donc identifié par une série de barres, comme en spectroscopie. L'assemblage de ces spectres ou profils de vulnérabilité, de leur spatialisation et de la cartographie des aléas fait émerger leurs interactions locales spécifiques et le renforcement de la vulnérabilité.

Cet enchaînement de méthodes, ou « spectroscopie de la vulnérabilité », s'appuie donc sur des outils désormais courants et débouche sur une démarche classique de typologie puis de cartographie. Son originalité réside dans le passage des modèles additifs, qui sont de plus en plus critiqués (Barnett *et al.*, 2008; Kergomard, 2006), à une démarche relative, centrée sur l'analyse des corrélations statistiques et des interactions spatiales. De plus, la cartographie en fin d'analyse est l'occasion de dépasser les liens statistiques pour dégager le sens à donner à ces corrélations et à ces interactions spatiales, mais aussi entre les facteurs de vulnérabilité.

3. Le recours à un SIG pour l'estimation de la vulnérabilité

Le recours aux Systèmes d'Information Géographique (SIG) n'est pas seulement un outil de cartographie. Il permet d'intégrer des bases de données de natures et de sources différentes, de révéler les interactions renforçant la vulnérabilité et de matérialiser des situations potentielles. Nous avons choisi comme base statistique les 151 circonscriptions de recensement de Bucarest : les principales caractéristiques de vulnérabilité que nous avons présentées (densité, âge, bâtiments, logements, etc.) sont dénombrées lors des recensements. Le dernier recensement, réalisé le 18 mars 2002, est notre principale source. La qualité de ces données a été mise en cause : il existe une erreur aléatoire interne variant entre 0,7 et 2,3 % entre les stocks par circonscriptions et les totaux pour l'ensemble de Bucarest. Mais il s'agit des données les plus fiables et les plus complètes à l'échelle de la capitale. Nous les traitons en termes de corrélations et non de stock, ces erreurs ne sont donc pas rédhibitoires.

Pour tenir compte de la vulnérabilité fonctionnelle, d'autres données sur les infrastructures et les réseaux ont été recueillies auprès des administrations gestionnaires (ministères, maires d'arrondissement, régies, entreprises, etc.) et complétées sur le terrain. Ce sont les chiffres de 2002 qui ont été privilégiés, afin de correspondre aux données issues du dernier recensement. Les infrastructures ont été réparties en 6 classes, selon le type et l'horaire de fréquentation : institutions, infrastructures de santé, d'éducation, sportives, culturelles et commerciales. Les réseaux de transport et de viabilité (eau potable, évacuation, électricité, gaz) ont été transformés en informations zonales en s'appuyant sur le recensement (connexion des logements) et en additionnant les nœuds (nombre de montées descentes dans les gares, stations, etc.) par circonscription de recensement. Ces données ne sont pas de meilleure qualité que le recensement, mais les biais introduits par cette transformation sont limités par le nombre important de circonscriptions (plus de 150 unités spatiales).

Enfin, l'extension des effets prévisibles des aléas et des dangers a été reportée ou calculée. Pour les inondations, les données issues du Plan d'Urbanisme Général de 2001 ont été retenues, et pour la sismicité, ce sont celles du microzonage de l'Institut National de Physique de la Terre (INFP) de 2006 qui ont été reportées dans le SIG (2). Dans le cas des accidents industriels, cette extension des effets prévisibles a été calculée selon la méthode des « distances génériques (3) », à partir des types et quantités de substances dangereuses stockées dans les sites classés « Seveso » (Rufat, 2008a). Ces données sont approximatives, surtout dans le cas de la sismicité et des aléas industriels, mais il n'est actuellement pas possible d'atteindre une meilleure précision. C'est pourquoi un traitement relatif par quartier est l'approche la plus raisonnable.

En contrepartie de ces approximations, les SIG et l'enchaînement des méthodes statistiques permettent d'intégrer ces bases de données, d'analyser les interactions spatiales entre aléas et profils de vulnérabilité, ainsi que de dégager des zones homogènes (Cutter, 2006). Les SIG facilitent la mise en relation des données, en superposant les couches d'information, et la réalisation de cartes de synthèse. Ainsi, la superposition entre les données sur la vulnérabilité et les zones d'effet prévisible des aléas fournit une lecture directe du risque comme conjonction d'un aléa et de la vulnérabilité des populations et des territoires exposés. Elle est un outil indispensable à la gestion du risque, en matérialisant des situations potentielles : elle « rend visible l'invisible » (Propeck-Zimmermann *et al.*, 2002).

4. Spectroscopie de la vulnérabilité à partir des facteurs le plus souvent utilisés

En revanche, ce qui est visible à Bucarest, ce sont les conséquences indirectes des catastrophes. Le grand incendie de 1847 et le séisme de 1977 ont servi de base à de vastes opérations de rénovation du centre-ville (Rufat, 2008b). Mais ces chantiers sont restés inachevés ou suspendus, en particulier par la chute du régime communiste, ce qui donne un aspect chaotique au centre de Bucarest. D'autant plus que l'ancien régime avait laissé les tissus anciens à l'abandon, au profit de la construction de grands ensembles en périphérie (Hapenciuc, 2007 ; Suditu, 2006). Quant aux inondations liées à la vétusté du réseau d'évacuation des eaux, elles font désormais partie du cycle des saisons dans la capitale (Trandanfir, 2005). Après 1989, la désindustrialisation rapide (Rufat *et al.*, 2008) est cependant trompeuse au regard du risque : les sites classés Seveso sont au cœur de la capitale, à moins d'un kilomètre de la principale gare et du Palais présidentiel. L'estimation de la vulnérabilité et la cartographie du risque sont donc des enjeux majeurs à Bucarest.

Dans une première étape, nous sommes partis des facteurs de vulnérabilité le plus souvent utilisés dans les publications internationales (4). Il s'agit de la densité, de la population jeune (moins de 10 ans), de la population âgée (plus de 75 ans), des bâtiments les plus résistants et des logements sans viabilité. À Bucarest, les bâtiments les plus fragiles sont, d'une part, ceux construits en bois et en torchis ; d'autre part, ceux construits avant 1940, qui ont subi les deux derniers séismes d'une intensité supérieure à 7 degrés sur l'échelle de Richter (1940 et 1977), et qui n'ont pas été depuis consolidés. Les périphéries de Bucarest ont accueilli les nouveaux arrivants tout au long du XX^e siècle. Ils y ont construit eux-mêmes de petites maisons de style rural, dans des lotissements souvent illégaux et dépourvus de toute viabilité (Cinà, 2005 ; Vossen, 2004). Les autorités de la capitale ne sont jamais parvenues à endiguer cet étalement, ni à étendre les infrastructures au rythme de ces constructions (Rufat, 2008a ; Suditu, 2006). Les variables sur le manque de viabilité sont liées du fait de sa concentration dans les périphéries d'autoconstruction ; nous avons choisi de retenir l'absence d'eau courante comme indicateur de l'ensemble de ces situations (tableau 1).

densité	1					
moins de 10 ans	0,10	1				
plus de 75 ans	-0,33	-0,32	1			
bois et torchis	0,23	0,55	-0,29	1		
construction avant 1940	-0,18	-0,28	0,12	-0,22	1	
sans eau courante	0,11	0,59	-0,10	0,62	-0,15	1
	densité	moins de 10 ans	plus de 75 ans	bois et torchis	construction avant 1940	sans eau courante

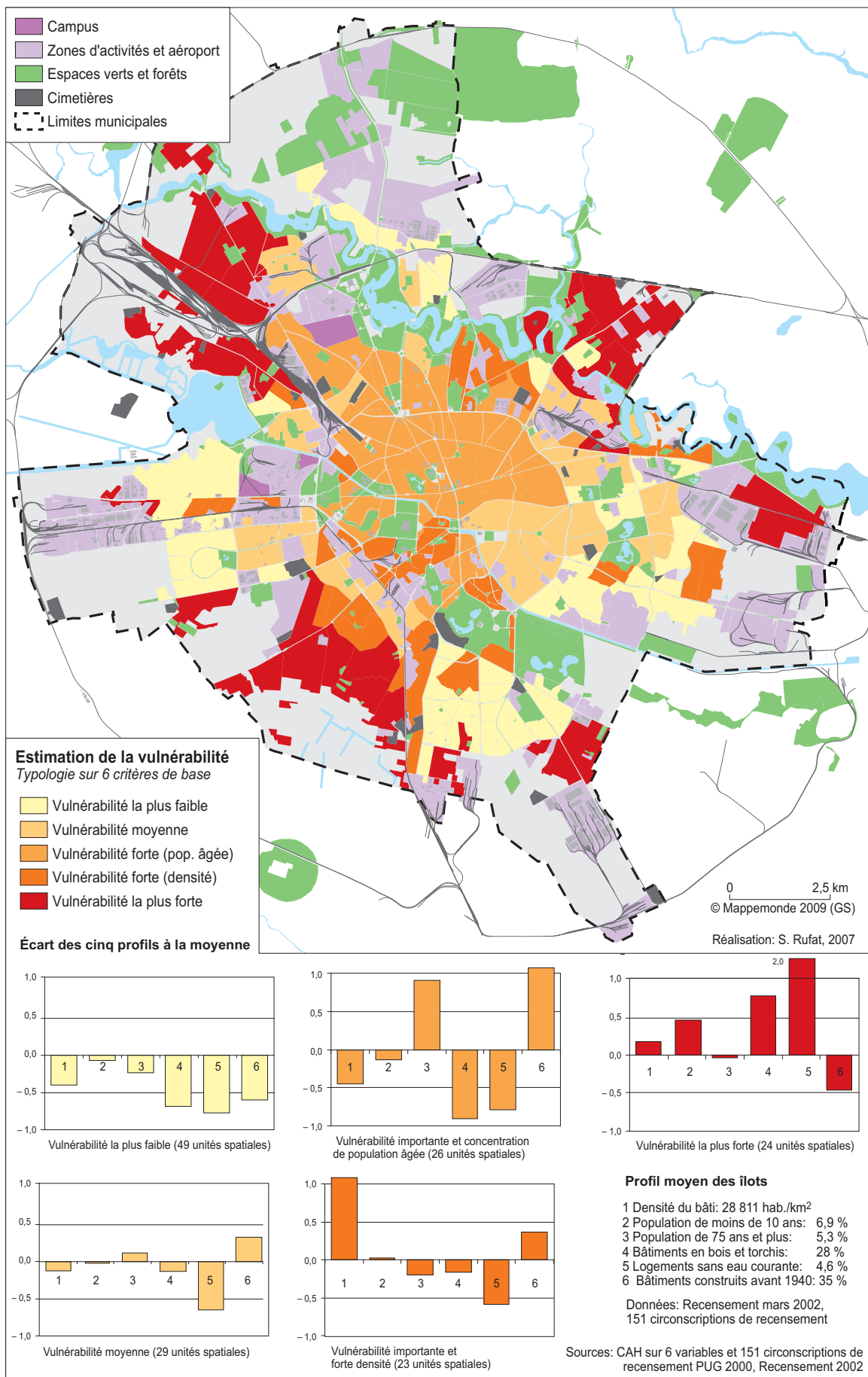
Tableau 1. Corrélations entre les variables le plus souvent utilisées comme facteur de vulnérabilité

(en gras, les coefficients de corrélation significatifs au seuil de 1 %)

Les corrélations entre ces six variables, qui traduisent les facteurs de vulnérabilité les plus souvent utilisés, révèlent un lien positif entre les constructions en bois et en torchis et les logements sans eau courante. On peut alors dire que les bâtiments construits en bois et en torchis et les logements non raccordés aux réseaux ont une distribution similaire. L'autre corrélation importante est le lien positif de la population jeune (moins de 10 ans) avec ces deux dernières caractéristiques. Ces liens statistiques font également sens puisque l'on constate la superposition d'une population vulnérable (moins de 10 ans) avec des bâtiments fragiles, dans des logements mal équipés et mal raccordés aux réseaux édilitaires. Cette situation renforce bien la vulnérabilité de la population à tout type de crise.

Les données sur la distribution de ces six variables sont résumées à l'aide d'une Analyse en Composantes Principales (ACP). Une classification automatique (CAH) permet ensuite de dégager des ensembles homogènes (la CAH repose sur les cinq premiers axes de l'ACP, soit 96 % de la variance totale). La CAH met en évidence cinq profils de vulnérabilité, qui sont présentés sous forme de graphiques relevant les écarts à la moyenne (fig. 1). Ces graphiques présentent, d'une part, les facteurs qui sont liés entre eux au sein de chacun de ces profils, d'autre part, les facteurs qui y sont sur-représentés (très supérieurs à la moyenne) ou sous-représentés (inférieurs à la moyenne). On obtient ainsi un spectre de ces profils de vulnérabilité rapportés à la situation moyenne. En l'intégrant à la cartographie, cette spectroscopie de la vulnérabilité permet une lecture directe des corrélations statistiques et spatiales, révélant les interactions à l'origine du renforcement des différentes dimensions de la vulnérabilité urbaine. Ces cinq profils de vulnérabilité sont :

- **vulnérabilité la plus forte** (24 unités spatiales) : cette classe traduit le lien entre une population jeune, plus vulnérable, les bâtiments construits en bois et en torchis, plus fragiles, et les logements les moins bien raccordés et équipés. Ce profil est donc défini comme celui de plus forte vulnérabilité. La distribution spatiale de cette classe reflète la concentration d'une population vulnérable en périphérie, sur des territoires vulnérables, héritiers de l'autoconstruction aux marges de la légalité.
- **vulnérabilité importante, avec une très forte densité** (23 unités spatiales) : cette classe fait émerger les unités spatiales de plus forte densité, dont nous avons vu le rôle ambivalent dans le renforcement de la vulnérabilité. Sa spatialisation révèle les pics de densité de population (au lieu de résidence).
- **vulnérabilité importante, avec une concentration de population âgée** (26 unités spatiales) : cette classe montre le lien entre la population âgée et les bâtiments construits avant 1940. Ce profil dégage un ensemble homogène qui va du centre-ville vers le nord-ouest. Il s'agit de la zone centrale de Bucarest, marquée par l'habitat individuel ancien et en partie occupée par les familles qui ont pu « récupérer » leurs logements nationalisés par le régime socialiste.
- **vulnérabilité moyenne** (29 unités spatiales) : cette classe est semblable à la précédente, mais avec des valeurs plus proches de la moyenne. Ce profil est dominant dans le sud de la zone centrale, la partie où se sont concentrées les destructions des années 1980 et dont la population avait été évacuée (Danta, 1993). Il pointe aussi les anciens bourgs annexés par la capitale, autour desquels ont été construits les lotissements de l'entre-deux-guerres, puis les grands ensembles des années 1960.



1. La typologie selon les six variables usuelles révèle des oppositions entre le centre et les périphéries

- **vulnérabilité la plus faible** (49 unités spatiales): cette dernière classe regroupe toutes les circonscriptions de recensement qui présentent des valeurs inférieures à la moyenne pour la population la plus jeune et très inférieures à la moyenne pour les autres variables. La distribution spatiale de cette classe fait émerger des sous-ensembles en périphérie. Ils sont systématiquement insérés entre les groupes relevant du profil de vulnérabilité la plus forte. Il s'agit des grands ensembles des années 1960 et 1970 qui ont été construits sur des terrains agricoles et des marécages, sans habitat intercalaire (Cinà, 2005).

Les oppositions identifiées entre le centre-ville et les périphéries, entre les grands ensembles et les quartiers d'autoconstruction (Majuru, 2003), sont peut être accentuées par la prise en compte de la densité. Elle a un rôle ambigu: d'une part, elle favorise la concentration des personnes, des biens et des capitaux sur des espaces réduits ce qui les fragilise; d'autre part, elle favorise la concentration des moyens de secours et d'intervention, ce qui limite leur vulnérabilité (Rufat, 2007). De plus, le profil de vulnérabilité la plus faible est sans doute trompeur, parce que ces grands ensembles ont été réalisés pour loger les ouvriers des plates formes industrielles, aujourd'hui en pleine reconversion (Chelcea *et al.*, 2008), il doit donc être confronté à des données socio-économiques. Enfin, le statut de capitale de Bucarest doit également être pris en compte, d'autant plus que les retours d'expérience montrent que la vulnérabilité fonctionnelle joue un rôle important dans le déroulement des différentes crises (Gleyze *et al.*, 2007).

5. Élargissement des dimensions de la vulnérabilité et des facteurs pris en compte

Un élargissement des facteurs retenus est nécessaire pour prendre en compte toutes les dimensions de la vulnérabilité (physique, sociale et fonctionnelle). Il est rendu possible par les retours d'expérience et l'analyse systémique, qui ont dégagé des séries de facteurs de vulnérabilité (Pigeon 2005; Pigeon 2002; Villa *et al.* 2002; Wilches-Chaux 1998; D'Ercole *et al.* 1996; D'Ercole *et al.* 1994). Il concerne trois types de variables: celles qui portent sur la population, celles qui qualifient le bâti et les logements et celles qui identifient les infrastructures et les nœuds sensibles des réseaux. Cette étape nous a conduit à retenir 35 variables portant sur la population, les bâtiments, les logements, les infrastructures et les réseaux.

La dimension socio-économique est prise en compte au travers des niveaux de revenus, de formations et des catégories socioprofessionnelles, parce que les plus pauvres et les marginaux sont ceux qui souffrent le plus de la catastrophe et ceux qui mettent le plus de temps à s'en remettre. La dimension fonctionnelle de la vulnérabilité n'est pas propre à Bucarest, mais elle est accrue dans le cas d'une métropole qui est la capitale d'un État encore assez centralisé. Elle est intégrée par les infrastructures, les institutions et les nœuds des réseaux, regroupés en sept types: infrastructures de santé, d'enseignement, sportives, culturelles, institutions et administrations, nœuds dans les réseaux de transports en commun et centres commerciaux. Nous avons vu que les migrants et les personnes les moins scolarisées sont souvent les moins conscients des aléas et des dangers spécifiques à leur lieu de résidence, ainsi que les moins sensibilisées aux conduites à tenir en cas de crise. Nous avons donc traduit la capacité des personnes à faire face à la crise par la proportion de nouveaux arrivants (sur la période intercensitaire 1992-2002) et celle

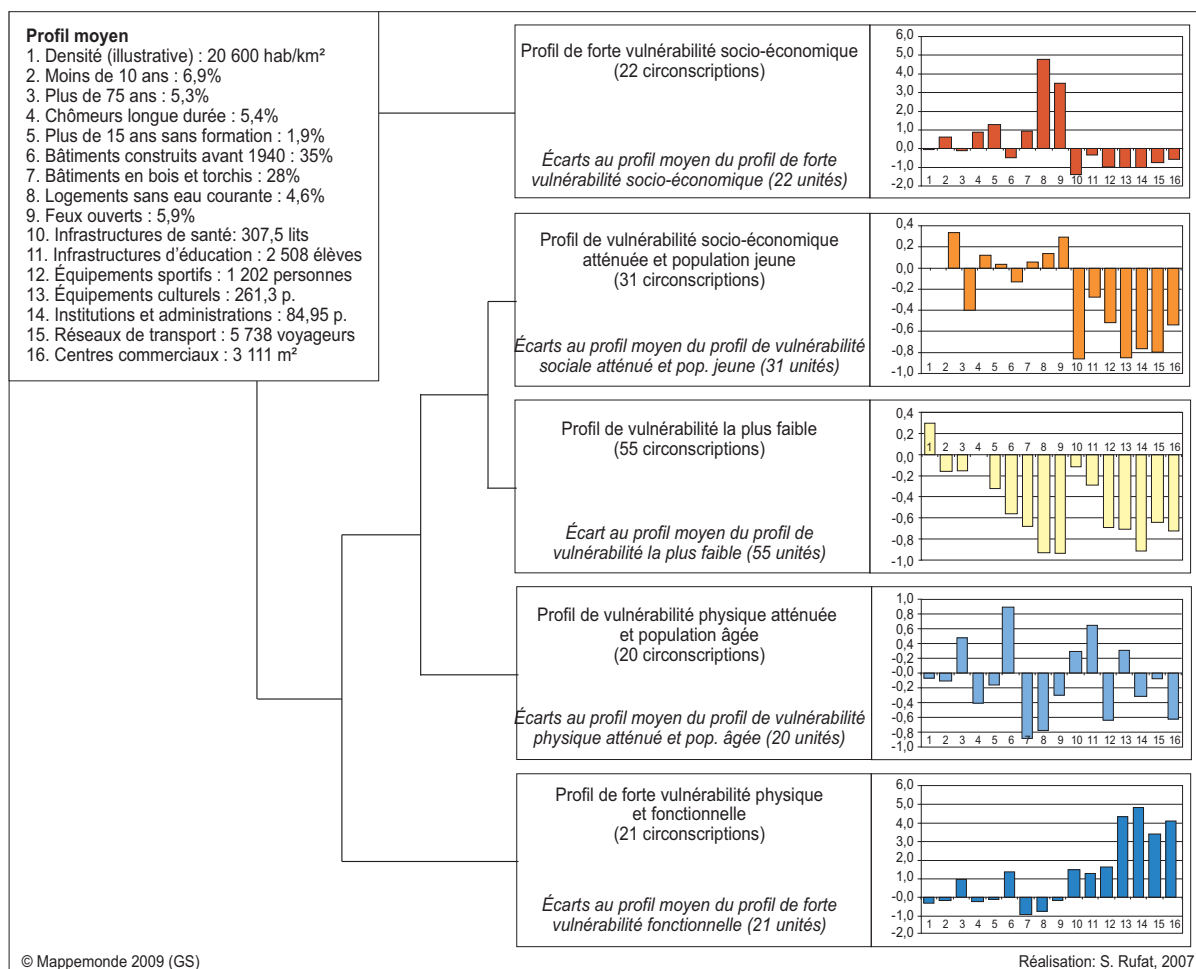
des personnes les moins scolarisées (en 2002). Enfin, le recours à des feux ouverts pour la cuisine ou le chauffage (poêle, charbon, bois) a été ajouté à l'échelle des logements (recensement de 2002) pour prendre en compte ces sources de danger spécifiques qui peuvent provoquer des accidents (incendies, intoxications) et aggraver les crises (Smith *et al.*, 2007).

Les corrélations entre les 35 variables retenues, lorsque qu'elles relèvent d'un même facteur de vulnérabilité, introduisent à la fois une redondance, puisqu'elles ne sont pas indépendantes, et des distorsions, si elles sont confondues avec des liens entre les facteurs de vulnérabilité. L'analyse des niveaux de corrélation permet de sélectionner ces variables pour limiter la redondance. Cette sélection permet également d'établir un équilibre entre les types de variables et dans le nombre de variables maintenues pour les différentes dimensions de la vulnérabilité, afin de leur donner le même poids tout au long de l'analyse. Comme pour l'absence d'eau courante, qui a été retenue comme indicateur d'un manque plus général d'hygiène et de viabilité, les variables dont les distributions sont les plus liées (valeur absolue du coefficient de corrélation supérieur à 0,67) ont été réduites en veillant à ces équilibres.

Ainsi, la proportion de chômeurs de longue durée (plus de 6 mois) a été retenue comme indicateur de l'ensemble des situations de marginalité socio-économique et la proportion de personnes n'ayant achevé aucune formation (arrêt des études avant la fin de l'école primaire) a été retenue comme approximation de la faible capacité à faire face à la crise (Rufat, 2007). Comme la densité de population a souvent un rôle ambivalent pour la création et le renforcement de la vulnérabilité, elle n'est gardée que comme variable illustrative. Nous obtenons alors un équilibre entre les quatre variables liées à la population (proportion de moins de 10 ans, de plus de 75 ans, de chômeurs de longue durée et de personnes n'ayant aucune formation) et les quatre liées au bâti et aux logements (construction en bois et torchis, datant d'avant 1940, logement sans eau courante et avec des feux ouverts). En revanche, du fait de leur faible corrélation entre elles, les sept variables sur les infrastructures, équipements, institutions et réseaux de transports ont été conservées ([tableau 2](#)). Ce choix n'introduit pas de déséquilibre, parce que ces catégories sont réalisées avec des données différentes (capacité maximale, fréquentation ou surface) et qu'elles traduisent à la fois une concentration des personnes, la dimension fonctionnelle de la vulnérabilité, mais aussi les capacités d'encadrement en cas de crise. Enfin, les deux principaux campus de la capitale (Agronomie et Grozavești) sont exclus de l'analyse, parce qu'ils présentent des situations extrêmes pour de nombreux facteurs.

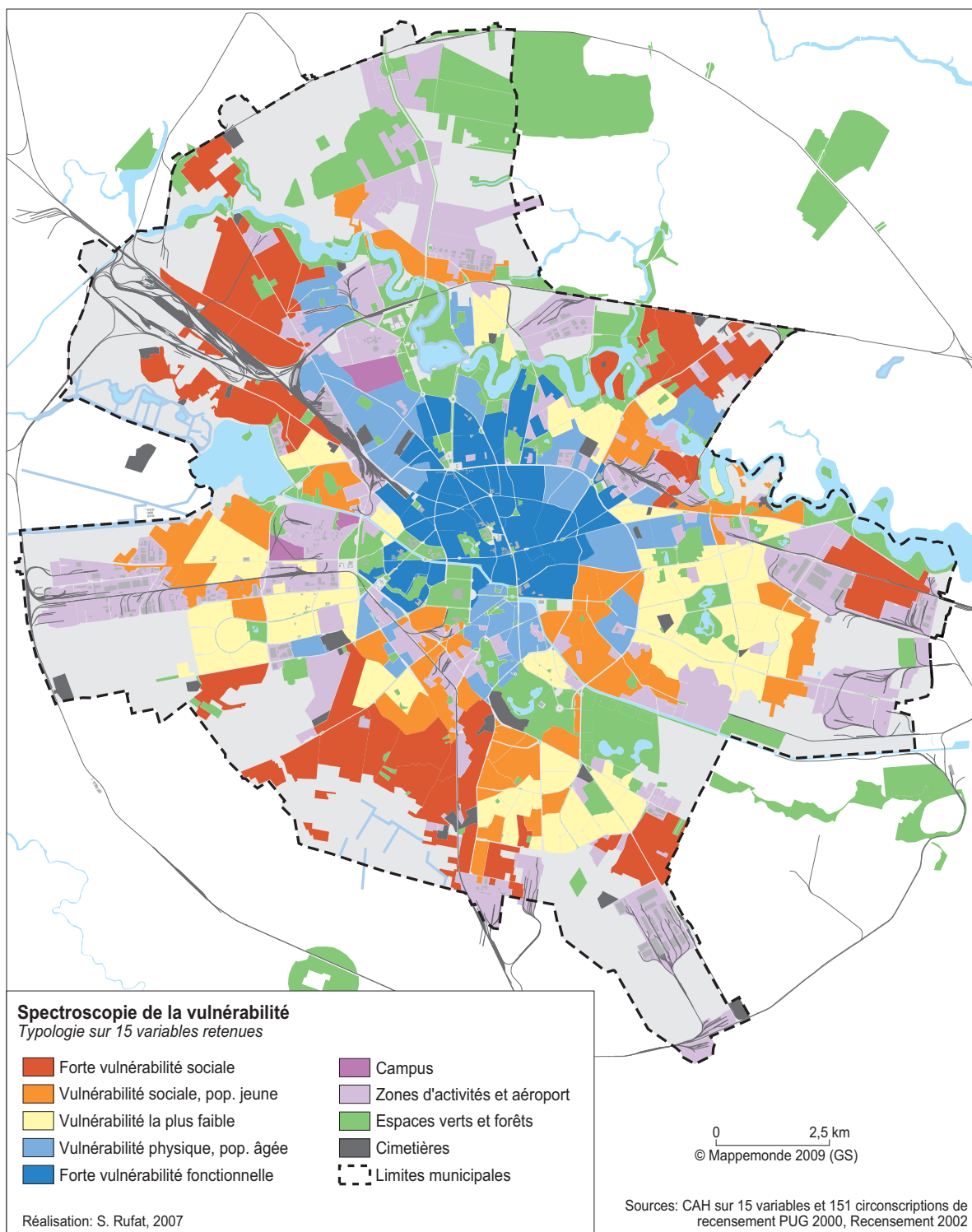
Les corrélations entre les 15 variables sélectionnées confirment l'opposition entre la population jeune et la population âgée ([tableau 2](#)); mais elles permettent de la préciser en révélant de possibles interactions aggravantes: la distribution de la population jeune est liée à l'ensemble des facteurs de vulnérabilité sociale et économique; celle de la population âgée est liée aux facteurs de vulnérabilité à la fois physique et fonctionnelle.

Une analyse plus approfondie de la vulnérabilité à Bucarest est menée à partir de ces 15 variables retenues. Les données sur leur distribution sont résumées à l'aide d'une analyse factorielle (ACP) et une classification (CAH) permet ensuite de dégager des ensembles homogènes (la CAH repose sur les 5 premiers axes de l'ACP, soit 68 % de la variance totale). La CAH met en évidence cinq profils au sein des 151 circonscriptions de recensement, moins les deux campus exclus de l'analyse ([fig. 2](#)):



2. Arbre hiérarchique de la classification automatique faisant émerger cinq profils de vulnérabilité

- **vulnérabilité socio-économique atténuée et population jeune** (31 unités spatiales) : cette classe traduit également le lien entre une population jeune et des facteurs de vulnérabilité économique. Dans ce profil, ce lien est moins marqué et ces circonscriptions accueillent nettement moins de bâtiments construits en bois et en torchis et les logements les moins bien raccordés et équipés y sont moins nombreux. La concentration moins prononcée de ce profil pointe les quartiers où la vulnérabilité socio-économique est moins prononcée.
- **vulnérabilité la plus faible** (55 unités spatiales) : cette classe regroupe les circonscriptions où toutes les variables sont largement inférieures à la moyenne, à l'exception de la densité, utilisée comme variable illustrative. La distribution de ce profil révèle que ce sont bien les grands ensembles périphériques construits dans les années 1960 et 1970 (Cinà, 2005) qui apparaissent comme les moins vulnérables.
- **vulnérabilité physique atténuée et population âgée** (20 unités spatiales) : cette classe confirme le lien entre la population âgée et les bâtiments endommagés par les séismes (construits avant 1940). Mais ce profil révèle également un lien entre la population âgée et les infrastructures de santé, d'éducation et de culture. L'encadrement, notamment médical, de la population dans ces circonscriptions est un facteur limitant la vulnérabilité. Ce profil pointe les quartiers où la vulnérabilité physique et fonctionnelle est moins prononcée.



3. La typologie selon les 15 variables retenues révèle une bipolarisation de la vulnérabilité à Bucarest

- **forte vulnérabilité physique et fonctionnelle** (21 unités spatiales): cette classe regroupe les circonscriptions où le lien entre la population âgée et les bâtiments endommagés par les séismes est le plus fort et où se concentrent les infrastructures, institutions, équipements et les principaux nœuds des réseaux. Ce profil joint donc une forte vulnérabilité fonctionnelle à la concentration d'une population âgée dans des bâtiments fragiles (Vossen, 2004). La distribution spatiale de ce profil distingue le

centre historique de la capitale. À Bucarest, la vulnérabilité est aggravée par la concentration en centre-ville d'une population âgée dans des bâtiments endommagés.

Cette seconde analyse permet de préciser l'opposition entre le centre-ville et les périphéries, puisque le centre-ville relève des profils de vulnérabilité à la fois physique et fonctionnelle, alors que les quartiers d'autoconstruction en périphérie présentent des profils de vulnérabilité sociale et économique (fig. 3). Toutefois, tout comme en périphérie, deux ensembles se dégagent dans le centre-ville. Le centre historique et ses prolongations vers le nord, qui n'ont pas été corsetés par l'habitat collectif, mais ont bénéficié d'importants équipements, relèvent du profil de vulnérabilité physique et fonctionnelle. La population âgée qui a bénéficié des restitutions des immeubles confisqués sous l'ancien régime a accéléré le vieillissement du centre-ville (Rufat *et al.*, 2008), mais elle n'a pas toujours les moyens ou les perspectives de procéder aux nécessaires consolidations de ces bâtiments endommagés, ce qui accroît la vulnérabilité de ces quartiers. Un deuxième ensemble ceinture presque le premier, la vulnérabilité fonctionnelle y est moins importante, et l'encadrement médical peut devenir un facteur limitant la vulnérabilité induite par la concentration d'une population âgée. Il s'agit des tissus anciens qui ont accueilli des logements collectifs, lors des opérations de rénovation du régime socialiste à la suite du séisme de 1977 au sud (Rufat, 2008b), et des circonscriptions concentrant les services de rang métropolitain, culturels vers le nord, de santé vers l'est et d'enseignement et de recherche vers l'ouest. De même, c'est l'introduction ponctuelle de logements collectifs au sein des tissus anciens qui explique le profil de vulnérabilité socio-économique atténué. Enfin, le profil de vulnérabilité la plus faible correspond aux quartiers de grands ensembles, où l'habitat collectif est presque exclusif : ces quartiers ont été construits *ex novo* et ne présentait pas d'habitat intercalaire avant 1989 (Suditu, 2006). Il semble donc que l'atténuation de la vulnérabilité, tant physique que sociale, soit liée à l'habitat collectif : ces bâtiments, construits selon les normes antisismiques, accueillent des logements bien reliés aux réseaux et aux conditions d'hygiène moderne.

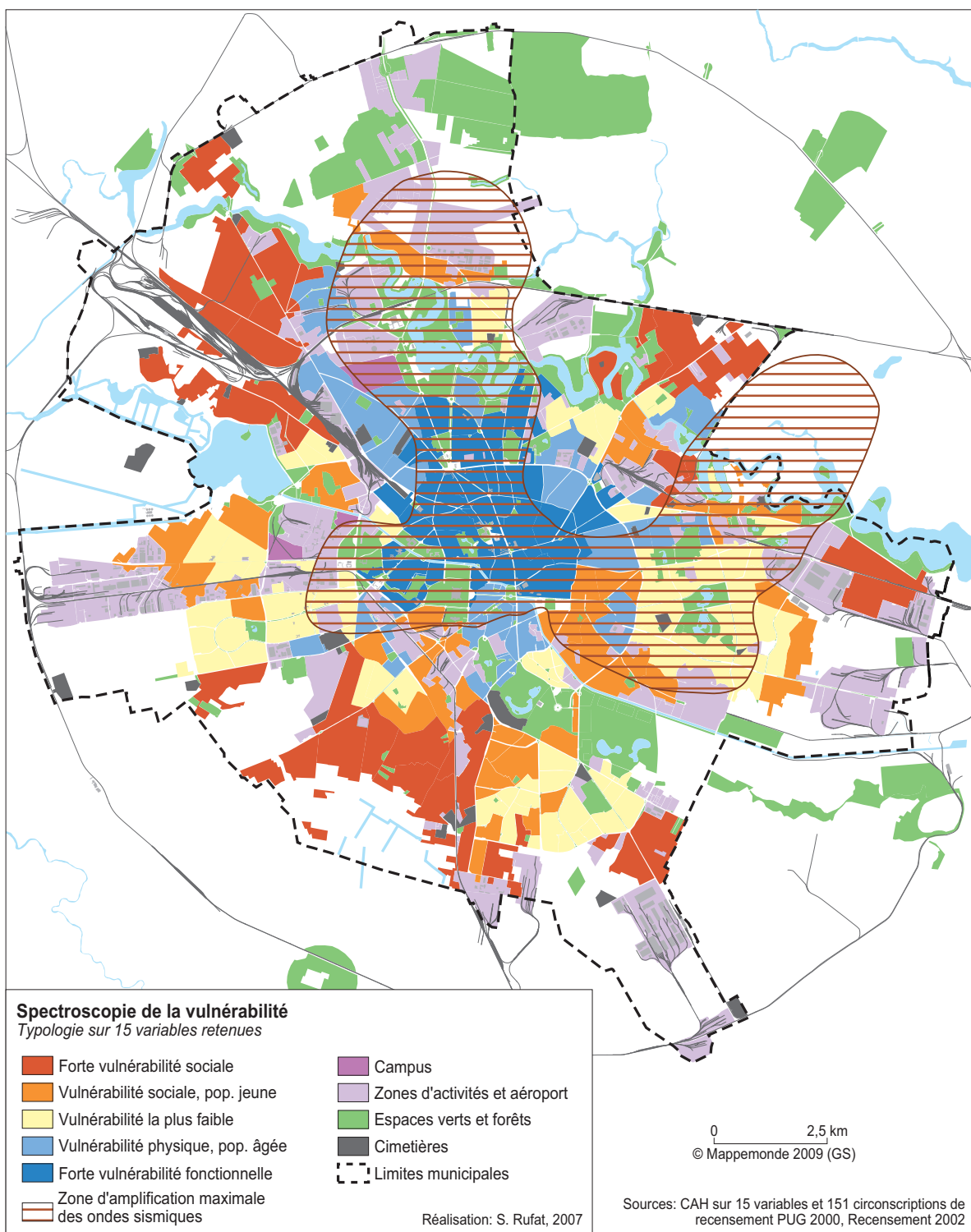
Cependant, ces analyses doivent être pondérées par le manque ponctuel d'équipements et d'infrastructures d'encadrement, notamment médical, dans certains grands ensembles. Ainsi, le quartier de Drumul Taberei, construit à la fin des années 1960 dans l'ouest de la capitale, accueille plus de 150 000 habitants en 2002, mais ne possède aucun hôpital, ni aucune clinique. L'hôpital universitaire municipal se trouve à environ trois kilomètres, mais seuls deux axes, souvent saturés, y conduisent (Rufat, 2008a). À Bucarest, faute de ressources, les infrastructures et services prévus dans les grands ensembles n'ont pas toujours été réalisés ou finalisés pendant la période socialiste (Rufat *et al.*, 2008). Mais ces analyses de la vulnérabilité sont relatives, le profil de plus faible vulnérabilité n'indique pas que les grands ensembles sont invulnérables, mais qu'ils sont moins vulnérables que les quartiers d'autoconstruction. En fait, si les logements collectifs semblent atténuer la vulnérabilité, c'est parce qu'une offre diversifiée de logements favorise la mixité sociale et les quartiers les moins vulnérables de Bucarest sont ceux qui présentent la meilleure cohésion. La cohésion sociale et territoriale apparaît donc comme l'antonyme de la vulnérabilité.

6. Interactions entre les profils de vulnérabilité et les aléas et sources de danger

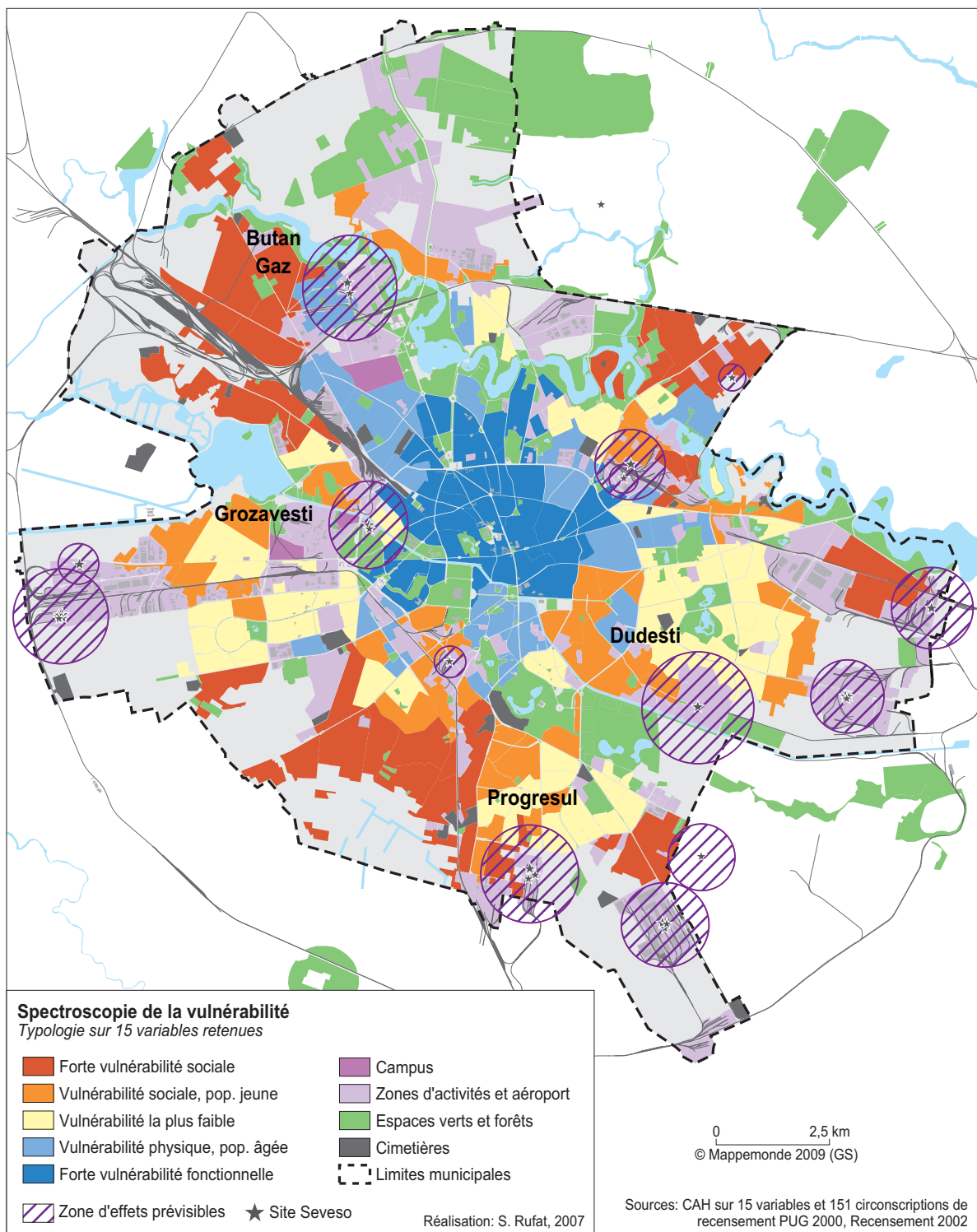
Cette spectroscopie de la vulnérabilité peut ensuite être superposée à l'aide du SIG avec l'extension des effets prévisibles des différents aléas et sources de dangers pour révéler les situations à risque. Les cinq profils de vulnérabilité que nous avons identifiés sont exposés de façons différentes aux aléas et dangers. Cette exposition différenciée découle, d'une part, de leur distribution spatiale, en étant plus proches de telle ou telle source de danger; d'autre part, des possibles interactions entre les facteurs de vulnérabilité qui leur sont propres et ces aléas et sources de danger. Cette superposition dépasse leur simple conjonction spatiale en permettant une lecture synthétique des données originelles et en dégagant les interactions spatiales spécifiques.

Ainsi, les profils associant la population âgée au bâti ancien et endommagés sont situés à l'intérieur des zones d'amplification maximale des ondes sismiques (5) (fig. 4). Nous avons vu que la concentration d'une population âgée dans ces quartiers centraux retarde la consolidation des bâtiments endommagés. Cette interaction entre l'aléa et les dynamiques urbaines révèle le caractère « construit » du risque et le renforcement de la vulnérabilité. De plus, les institutions, infrastructures et nœuds stratégiques sont concentrés dans ces quartiers. La reprise de l'extension de Bucarest en direction du nord ne diminue pas son exposition aux aléas sismiques, au contraire : presque toutes les tours de bureaux construites ces dix dernières années sont situées sur les terrains reconnus comme amplifiant le plus les ondes par l'INFP. En revanche, à l'est et au sud de la capitale, les profils de vulnérabilité sociale ou de faible vulnérabilité qui sont exposés correspondent à des logements collectifs construits selon des normes antisismiques. Au sud-est du centre-ville, les bâtiments de logements collectifs datent des années 1980, ils ont été construits selon les normes renforcées après le séisme de 1977 (Trandanfir, 2005). Certains quartiers présentent donc une réduction de la vulnérabilité, mais la situation du centre-ville, associant vulnérabilité physique et fonctionnelle avec des dynamiques qui contribuent à leur renforcement, est inquiétante.

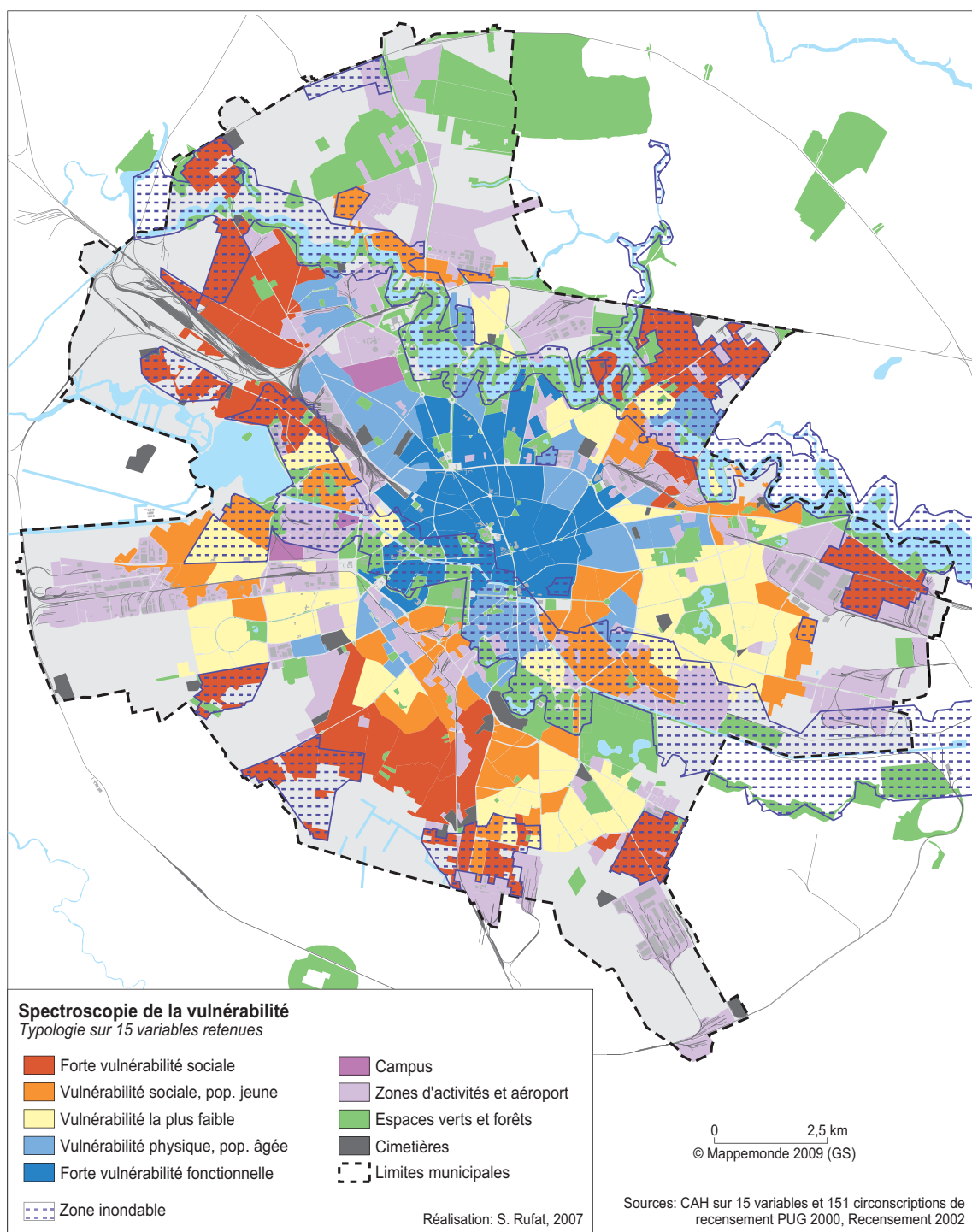
Sur les quatre centrales thermiques de Bucarest, trois sont situées à proximité de zones résidentielles densément peuplées (fig. 5) : Grozavești, Progresul et Dudești-Sud. Les zones d'effets prévisibles que nous avons calculées pour ces sites sont très étendues (plus de 900 mètres), en raison des explosions qui peuvent s'y dérouler au cours d'un incendie (type Bleve) ou après une fuite sur les stockages d'hydrocarbures (type Uvce). Les populations captives des quartiers d'autoconstruction sont les plus exposées aux accidents industriels. Ces quartiers, avec une forte concentration de logements construits en bois et en torchis, sont vulnérables aux incendies et aux explosions. De plus, l'utilisation de feux ouverts dans les logements y est courante et ces quartiers accueillent la population la plus vulnérable de la capitale. Par ailleurs, dans le nord de Bucarest, le site de Butan Gaz expose un quartier relevant du profil de vulnérabilité physique atténuée. En cas d'explosion, des interactions positives sont donc possibles avec le bâti, en partie fragile et endommagé par les séismes, d'autant que ce quartier accueille une forte proportion de personnes âgées, plus difficile à évacuer. Ces interactions entre une exposition à divers aléas et sources de dangers, des territoires vulnérables et une population fragile indiquent à la fois une situation de risque élevé et le renforcement de la vulnérabilité.



4. L'amplification potentielle des ondes sismiques et les profils de vulnérabilité physique et fonctionnelle présentent des interactions qui révèlent une situation critique



5. L'exposition aux sites Seveso et les profils de vulnérabilité présentent des interactions potentielles



6. Des aléas hydrologiques critiques pour les périphéries d'autoconstruction

Quant aux aléas hydrologiques (données issues du PUG 2001), ils concernent tous les profils de vulnérabilité (fig. 6). Dans le centre-ville, l'exposition aux crues ou à une rupture du barrage du Lacul Morii à l'est est ponctuellement aggravée par la vétusté et le sous dimensionnement du réseau d'évacuation : les quartiers les plus sensibles sont inondés dès que l'intensité des précipitations dépasse 50 à 60 mm par heure. Mais ce sont les quartiers périphériques ne disposant pas de réseaux d'assainissement et d'évacuation des eaux qui sont les plus exposés aux inondations. Surtout lorsqu'ils sont situés à proximité du cours de la Colentina au nord. Ces quartiers relèvent du profil de forte vulnérabilité sociale et plus de la moitié des

bâtiments de logement y sont en bois et en torchis, donc sensibles à l'eau. De plus, ces quartiers connaissent des problèmes plus généraux d'hygiène et de sous-encadrement médical ; les inondations pourraient y favoriser l'émergence d'épidémies.

Mais les interactions positives les plus inquiétantes concernent la sismicité et la présence de sites industriels dangereux à proximité du centre-ville. Il ne s'agit pas d'une particularité de Bucarest, comme en témoignent les accidents survenus à Lyon (Pierre Bénite), Grenoble (Pont de Claix), et les catastrophes de Feyzin (raffinerie Total) ou Toulouse (usine AZF), pour ne citer que le cas français. Mais en cas de séisme ou d'accident industriel, les principales institutions et infrastructures de la capitale pourraient être endommagées. Une crise de moindre ampleur pourrait alors avoir des conséquences catastrophiques à l'échelle nationale voire régionale. En raison des interactions positives entre aléas et dynamiques urbaines, ainsi que de sa forte vulnérabilité fonctionnelle, Bucarest semble avoir un rôle de caisse de résonance des crises et favoriser leur changement d'échelle.

7. Limites de cette méthode de spectroscopie de la vulnérabilité

La méthode présentée appelle certaines remarques. Elle répond aux besoins de la gestion et de l'aide à la décision en alternant entre visions globale et analytique, et en proposant une synthèse visuelle des corrélations statistiques et spatiales à l'origine des interactions qui créent le risque et la vulnérabilité. Mais la multiplication des informations rend la superposition cartographique difficile : les aléas climatiques (tempêtes, chutes d'arbres), biologiques et nucléaires n'ont pas été pris en compte.

Une autre limite provient de la qualité des données et de certaines approximations réalisées. Nous avons vu que la qualité des données issues du recensement de 2002 a été mise en cause, mais l'erreur aléatoire interne de moins de 2,5% est minime au regard des claires oppositions que nous avons mises en évidence. Le choix du recensement comme base d'analyse et de cartographie donne le lieu d'habitation (résidence principale) comme cadre de référence. La prise en compte simultanée des emplois aurait engendré un double compte d'une partie de la population. Cette méthode ne traite donc qu'indirectement de la vulnérabilité des activités et des réseaux, qui sont traduits par la dimension fonctionnelle, mais rapportée au lieu de résidence. De même, les espaces non bâtis sont considérés comme uniformes et ne sont pas pris en compte. De plus, cette méthode reste soumise à une part d'arbitraire dans la délimitation des unités spatiales (circonscriptions de recensement), même si l'enchaînement des méthodes a dégagé des ensembles spatiaux cohérents qui font sens tant au regard de l'histoire des tissus que des dynamiques urbaines. Un algorithme de lissage pourrait surmonter ces difficultés liées aux maillages, mais il supprimerait les îlots qui sont nécessaires aux politiques de gestion du risque.

Enfin, l'efficacité visuelle recherchée par la superposition des informations spatialisées et la juxtaposition des profils ou spectres de vulnérabilité se fait au détriment de la prise en compte des jeux d'acteurs et des comportements en cas de crise, qui ont fait l'objet d'approximation. Cependant, le recours à une estimation relative de la vulnérabilité et la réduction des variables prises en compte favorise l'analyse des situations sous-jacentes : une analyse conservant les 35 variables, ou en ajoutant d'autres, conduit à survaloriser les effets de la densité et des oppositions démographiques entre le centre et les périphéries, la dimension socio-économique, et donc la bipolarisation de la vulnérabilité, sont alors masquées.

Conclusion

Cette méthode de spectroscopie permet de faire une estimation fiable de la vulnérabilité des quartiers d'une grande agglomération exposée à différents aléas. Elle rend visible les interactions qui sont à l'origine de la création et du renforcement du risque et de la vulnérabilité. Cette méthode débouche sur une cartographie lisible et utilisable par tous, tout en reportant les données originales. Elle juxtapose les cartes aux spectres de vulnérabilité des différents profils puis les superpose aux cartes des aléas et des dangers, ce qui permet une lecture intuitive et synthétique. Cette méthode apparaît comme un outil efficace, en matérialisant des situations potentielles, en synthétisant sans les dénaturer des informations nombreuses et variées, tant pour la gestion du risque que l'aide à la décision, l'évaluation des enjeux ou la sensibilisation des populations locales.

La spectroscopie de la vulnérabilité reste perfectible, mais elle permet des analyses de vulnérabilité intra-urbaine, qui pourraient déboucher sur des comparaisons internationales des profils de vulnérabilité. La spectroscopie de la vulnérabilité pourrait donc remplacer l'utilisation d'index ou d'indice synthétique, qui ne sont plus en adéquation avec le renouvellement conceptuel du champ du risque. Elle permet au contraire de saisir les corrélations et d'analyser les interactions spatiales qui sont au cœur de la complexité du réel.

Bibliographie

- BARNETT J., LAMBERT S., FRY I. (2008). « The Hazards of Indicators: Insights from the Environmental Vulnerability Index ». *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 98, n° 1, p. 102-119.
- BÉGUIN M., PUMAIN D. (1994). *La représentation des données géographiques. Statistique et cartographie*. Paris : Armand Colin, coll. « Coursus », 192 p. ISBN : 2-200-21539-8
- BENSON C., CLAY E. J., (2003). « Disasters, Vulnerability and the global economy ». In KREIMER A., dir., *Building safer cities. The future of disaster risk*. Washington : The World Bank, coll. « Disaster risk management series », p. 3-31. ISBN : 0-8213-5497-3
- CERTU (2003). *Risque industriel et territoires en France et en Europe. État des lieux et perspectives*. Lyon : Ministère de l'Équipement et des Transports, 123 p.
- CHELCEA L. (2008). *Bucureștiul postindustrial. Memorie, dezindustrializare și regenerare urbană*. București : Polirom, 464 p. ISBN : 978-973-46-0915-4
- CHRISTOU M. D., AMENDOLA A., SMEDER M., (1999). « The control of major accident hazard: The land-use planning issue ». *Journal of hazardous materials*, vol. 65, n° 1-2, p. 151-178.
- CINÀ G. (2005). *Bucarest dal villaggio alla metropoli. Identità urbana e nuove tendenze*. Milano : Unicopli, 178 p. ISBN : 88-400-1036-X
- CUTTER S. (2006). « GIScience, Disasters and Emergency Management ». In CUTTER S., dir., *Hazards, vulnerability and environmental justice*. London : Earthscan, coll. « Risk, society and policy series », p. 399-406. ISBN : 1-8440-7311-4
- CUTTER S. L., BORUFF B. J., SHIRLEY L. W. (2003). « Social Vulnerability to Environmental Hazards ». *Social Science Quarterly*, vol. 84, n° 1, p. 242-261.

- CUTTER S. L., MITCHELL J. T., SCOTT M. S. (2000). « Revealing the vulnerability of people and places: a case study of georgetown county, South Carolina ». *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 90, n° 4, p. 713-737.
- DANTA D. (1993). « Ceausescu's Bucharest ». *The Geographical Review*, vol. 83, n° 2, p. 170-182.
- DAUPHINÉ A. (2004). « Réflexions préliminaires sur les vulnérabilités analytiques et synthétiques ». In VEYRET Y., GARRY G., MESCHINET DE RICHEMOND N., dir., *Risques naturels et aménagement en Europe*. Paris: Armand Colin, acte du colloque de La Défense d'octobre 2002, p. 68. ISBN: 2-200-26782-7
- DAUPHINÉ A. (2003). *Les théories de la complexité chez les géographes*. Paris: Anthropos, coll. « Géographie », 248 p. ISBN: 2-7178-4691-3
- DAUPHINÉ A. (2001). *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. Paris: Armand Colin, coll. « U. série Géographie », 288 p. ISBN: 2-200-25042-8
- D'ERCOLE R., THOURET J.-C. (1996). « Vulnérabilité aux risques naturels en milieu urbain : effet, facteurs et réponses sociales ». *Cahiers des Sciences Humaines*, vol. 32, n° 2, p. 407-422. http://horizon.documentation.ird.fr/exl-doc/pleins_textes/pleins_textes_4/sci_hum/010006241.pdf
- D'ERCOLE R. *et al.* (1994). « La vulnérabilité des sociétés et des espaces urbanisés: concepts, typologie, mode d'analyse ». *Revue de Géographie Alpine*, n° 4, p. 87-96.
- GILLES A. (2004). « Cartographie du risque naturel dans le monde. Étude comparative entre une approche d'ordre social et une approche d'ordre économique de la vulnérabilité ». *Cybergéo*, n° 286. <http://www.cybergegeo.eu/index2614.html>
- GLEYZE J.-F., REGHEZZA M. (2007). « La vulnérabilité structurelle comme outil de compréhension des mécanismes d'endommagement ». *Géocarrefour*, vol. 82, n° 1-2, p. 17-26. <http://www.cairn.info/revue-geocarrefour-2007-1-p-17.htm>
- GROUPE CHADULE (1994). *Initiation aux pratiques statistiques en géographie*. Paris: Masson, 203 p. ISBN: 2-200-01534-8
- HAPENCIUC BLUM I. (2007). *Régénération urbaine et renouvellement des pratiques d'urbanisation en Roumanie: Le cas du centre historique de Bucarest*. Lyon: Université de Lyon, thèse de doctorat de l'INSA de Lyon, 293 p. http://docinsa.insa-lyon.fr/these/pont.php?id=hapenciuc_blum
- KALY U. L., PRATT C. R., MITCHELL J. (2004). *The Demonstration Environmental Vulnerability Index (EVI)*. UNEP-SOPAC, Technical Report n° 384, 323 p.
- KASPERSON J., KASPERSON R., TURNER B., HSIEH W., SCHILLER A. (2005). « Vulnerability to global environmental change ». In KASPERSON J., KASPERSON R., dir., *The social contours of Risk*. London: Earthscan, vol. II, p. 245-285. ISBN: 1-84407-175-8
- KERGOMARD K. (2006). *Espon/Orate 1.3.1 Risques naturels et technologiques. Note de synthèse critique et applications à la France. Rapport UMS Riarte*. 22 p.
- LINKOV I., RAMADAN A. B., dir. (2004). *Comparative risk assessment and environmental decision making*. Dordrecht: Kluwer Academic Publisher, coll. « NATO science series », 436 p. ISBN: 1-4020-1896-7
- MAJURU A. (2003). *Bucureștii mahalelor, sau periferia ca mod de existență*. București: Ed. Compania, 246 p. ISBN: 973-8119-78-2
- MINVIELLE E., SOUIAH S.-A. (2003). *L'analyse statistique et spatiale: statistiques, cartographie, télédétection, SIG*. Nantes: Éditions du temps, coll. « Outils et méthodes en géographie », 284 p. ISBN: 2-84274-224-9

- MITCHELL J. K., dir. (1999). *Crucibles of Hazard : Mega Cities and Disasters in Transition*. Tokyo : United Nation University Press, 535 p. ISBN : 92-808-0987-3
- PROPECK-ZIMMERMANN E., RAVENEL L., SAINT-GÉRAND Th. (2002). « Cartographie des risques technologiques majeurs: nouvelles perspectives avec les SIG ». *Mappemonde*, n° 65 (1-2002), p. 17-21. <http://www.mgm.fr/PUB/Mappemonde/Mappe102.html>
- OCDE (2003). *Les Risques émergents au XXI^e siècle. Vers un programme d'action*. Paris : OCDE, 329 p. ISBN : 92-64-10121-7
- PERROW C. (2007). « Disasters Ever More? Reducing U. S. Vulnerabilities ». In RODRIGUEZ H., QUARANTELLI E., DYNES R., dir., *Handbook of Disaster Research*. New York : Springer, p. 521-533. ISBN : 0-387-32353-8
- PIGEON P. (2005). *Géographie critique des risques*. Paris: Économica, Anthropos, coll. « Géographie », 217 p. ISBN: 2-7178-5028-7
- PIGEON P. (2002). *Réflexion sur la géographie des risques dits naturels*. Nice: Université de Sophia Antipolis, mémoire HDR, 204 p.
- POPA M. R. (2005). *Restructuring and envisioning. Bucharest: the socialist project of Romanian planning for a capital 1852-1989*. Budapest: Central European University of Budapest, PhD thesis, 396 p.
- PUENTE S. (1999). « Social vulnerability to disasters in Mexico City: An assessment method ». In MITCHELL J. K., dir., *Crucibles of Hazard: Mega Cities and Disasters in Transition*. Tokyo: United Nation University Press, p. 295-334. ISBN: 92-808-0987-3
- QUARANTELLI E. L. (2003). « Urban Vulnerability to Disasters in Developing Countries: Managing Risks ». In KREIMER A., dir., *Building safer cities. The future of disaster risk*. Washington: The World Bank, coll. « Disaster risk management series », p. 211-231. ISBN: 0-8213-5497-3
- REGHEZZA M. (2006). *Réflexions autour de la vulnérabilité métropolitaine: la métropole parisienne face au risque de crue centennale*. Paris: Université Paris X Nanterre, thèse de doctorat, 378 p. <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00123255/en/>
- RUFAT S. (2008a). *Transition post socialiste et vulnérabilité urbaine à Bucarest*. Lyon: École normale supérieure Lettres et Sciences Humaines, thèse de géographie, 387 p.
- RUFAT S. (2008b). « Bucarest, l'éternel retour ». *Géographie et Cultures*, n° 65, p. 53-72
- RUFAT S., SUDITU B. (2008). « Bucarest, faire la ville entre héritages et mimétisme », *L'Espace géographique*, n° 4, p. 327-337.
- RUFAT S. (2007). « L'estimation de la vulnérabilité urbaine, un outil pour la gestion du risque. Approche à partir du cas de l'agglomération lyonnaise ». *Géocarrefour*, vol. 82, n° 1-2, p. 7-16. <http://www.cairn.info/revue-geocarrefour-2007-1-p-7.htm>
- SCHMIDT-THOMÉ Ph., dir. (2006). *The Spatial Effects and Management of Natural and Technological Hazards in Europe*. Luxembourg: ESPON Monitoring Committee, 309 p.
- SMITH G., WENGER D. (2007). « Sustainable Disaster Recovery ». In RODRIGUEZ H., QUARANTELLI E., DYNES R., dir., *Handbook of Disaster Research*. New York: Springer, coll. « Handbooks of sociology and social research », p. 234-257. ISBN: 0-387-32353-8
- SUDITU B. (2006). *Logements, habitants et mobilités résidentielles à Bucarest*. Université d'Angers et Université de Bucarest, thèse de géographie, 352 p.

- TIERNEY J. K. (2007). « Business and Disasters: Vulnerability, Impacts and Recovery ». In RODRIGUEZ H., QUARANTELLI E., DYNES R. dir., *Handbook of Disaster Research*. New York: Springer, coll. « Handbooks of sociology and social research », p. 275-296. ISBN : 0-387-32353-8
- TRANDANFIR P. (2005). *Impactul hazardelor naturale asupra Municipiului București*. Thèse de doctorat de l'Institut de Géographie de l'Académie de Roumanie, 395 p.
- VEYRET Y., dir. (2003). *Les Risques*. Paris: SEDES, coll. « DIEM », 255 p. ISBN : 2-718-19441-3
- VILLA F., McLEOD H. (2002). « Environmental vulnerability indicators for environmental planning and decisionmaking ». *Environmental Management*, vol. 29, p. 335-348.
- VOSSEN J. (2004). *Bukarest. Die Entwicklung des Stadtraums*. Berlin: Dietrich Reimer Verlag, 320 p. ISBN : 978-3-496-02753-9
- WHITE G., KATES R., BURTON I. (2001). « Knowing better and losing more: The use of knowledge in hazard management ». *Environmental Hazards*, vol. 3, p. 81-92.
- WILCHES-CHAUX G., dir., (1998). *Estudios sociales en prevención de desastres en América Latina para la gestión local del riesgo*. Quito : Editorial Delta, 234 p.
- WISNER B. (2003). « Disaster Risk reduction in Megacities: Making the Most of Human and Social Capital ». In KREIMER A., dir., *Building safer cities. The future of disaster risk*. Washington: The World Bank, coll. « Disaster risk management series », p. 181-196. ISBN : 0-8213-5497-3
- WISNER B., BLAIKIE P., CANNON T., DAVIS I. (2004). *At Risk. Natural hazards, people's vulnerability and disaster*. New York : Routledge, 302 p. ISBN : 0-415-25216-4

Notes

1. La seule transformation subie par les données est la normalisation de l'Analyse en Composantes Principales (ACP) centrée réduite ; elle consiste à exprimer chaque valeur en écart à la moyenne.
2. La zone d'amplification maximale des ondes sismique qui a été utilisée correspond à la zone définie par l'INFP comme présentant une accélération comprise entre 280 et 300 mm/s², avec une période d'une seconde, suivant des probabilités supérieures à 80 % en cas de séisme supérieur à 7° sur l'échelle de Richter.
3. Les études de danger n'ont pas été réalisées pour les sites classés « Seveso » de Bucarest et il n'est pas possible de les réaliser sans l'accord des exploitants. Nous avons donc choisi de recourir à la méthode la plus simple, mais aussi la moins précise. La méthode des « distances génériques », utilisée en Allemagne ou en Suède, détermine la distance maximale des effets létaux ou de blessures irréversibles en cas d'accident à partir du type d'activité et du volume de produit dangereux stocké (Christou *et al.*, 1999). Cette estimation ne repose pas sur l'analyse détaillée des installations et ne permet pas d'estimer la probabilité des différents accidents (CERTU, 2003). À Bucarest, ces distances d'effets varient de 300 mètres pour les stockages de moins de 15 tonnes d'ammoniac à 1 200 mètres pour une explosion de type Bleve sur le site de Butan Gaz Romania SA (Rufat, 2008a). Ces « distances génériques » ont été spatialisées par des cercles autour des différents stockages.
4. Il s'agit des publications et travaux précédemment mentionnés (voir bibliographie).
5. Il s'agit de la zone définie par l'INFP, voir note 2.
6. Selon la méthode des distances génériques, voir note 3.

Adresse de l'auteur

Samuel Rufat, UMR 5600 - Environnement, ville et société, Université de Lyon. Courriel: Samuel.Rufat@ens-lsh.fr