

# L'application du concept de vulnérabilité aux infrastructures critiques : quelles implications pour la gestion territoriale des risques ?

Comment prévoir les conséquences d'une coupure d'électricité majeure ? de l'interruption du système d'alimentation en eau potable ? de la paralysie d'un système de transport ? Face à l'émergence de nouveaux dangers qui menacent des infrastructures vitales pour nos sociétés, comment spatialiser les espaces vulnérables à la défaillance d'un service critique ? Comment en analyser et mesurer les conséquences ? Un champ d'analyse où les difficultés rencontrées sont révélatrices des difficultés des sociétés à prévenir et gérer un nouveau type de risques.

par Sara BOUCHON (\*)

L'explosion de l'usine AZF (septembre 2001), les attentats dans le métro londonien (juillet 2005), l'incendie d'un dépôt de carburant à Buncefield (décembre 2005), ou encore la coupure de courant affectant tout le nord de l'Italie (septembre 2003) sont des événements qui, malgré leur diversité, présentent plusieurs points communs :

- ✓ ils concernent des infrastructures diverses (réseaux électrique, de transport, installation industrielle, etc.) mais toutes qualifiées de « critiques », car essentielles au bon fonctionnement d'un territoire et des sociétés ;
- ✓ si les origines de ces catastrophes varient (terrorisme, aléa naturel, accident industriel), les conséquences ont été ressenties au sein de la société et des territoires bien au-delà de la zone d'impact et de dommages directs (remise en cause des autorités, crise de confiance de la population, surenchère médiatique, enjeux économiques, etc.) qui sont autant de dimensions de la vulnérabilité, c'est-à-dire la propension à subir pertes et dommages.

Ces événements sont venus renforcer la prise de conscience de la vulnérabilité de nos sociétés vis-à-vis de risques « émergents » ou « systémiques » à différentes échelles [1] ;

- ✓ le besoin de mieux comprendre la vulnérabilité de nos sociétés vis-à-vis de ces infrastructures critiques



L'infrastructure électrique.

a été clairement exprimé [2], l'objectif final étant de pouvoir mettre en œuvre des mesures propres à la réduire. L'application de telles mesures renvoie aux territoires de compétence des acteurs de la gestion des risques, de l'échelle européenne à l'échelle locale. Elle doit donc reposer sur une analyse spatiale des territoires de la vulnérabilité liée aux infrastructures critiques. L'enjeu est donc d'identifier les spécificités de l'approche spatiale des risques et de la vulnérabilité liés aux infrastructures critiques par rapport aux approches spatiales classiques du risque.

Comment identifier, délimiter, caractériser les territoires propres aux infrastructures critiques ? Quelle est l'échelle d'analyse la plus pertinente ? (I)

Comment définir et caractériser spatialement la vulnérabilité des infrastructures critiques ? Quels sont les éléments exposés ? Exposés à quels types d'aléas ? Comment les interactions entre espace critique et espace vulnérable s'expriment-elles ?

(II)

L'objectif est de montrer dans quelle mesure les difficultés posées par l'analyse de ces espaces vulnérables sont révélatrices des difficultés des sociétés à prévenir et gérer un nouveau type de risques.

**Identifier, délimiter, caractériser les territoires des infrastructures critiques**

L'identification et la caractérisation des espaces relatifs aux infrastructures critiques doivent permettre de délimiter le cadre spatial de l'analyse de la vulnérabilité. A l'instar de l'approche en termes de « bassins de risques », est-il possible de délimiter des « bassins de risques » propres aux infrastructures critiques ?

### Définir et identifier les infrastructures critiques pour un territoire

Les infrastructures critiques sont définies comme « les installations physiques et [les] technologies de l'information, les réseaux, les services et les actifs qui, en cas d'arrêt ou de destruction, peuvent avoir de graves incidences sur la santé, la sécurité ou le bien-être économique des citoyens ou encore le travail des gouvernements des Etats membres [...] Certains éléments critiques de ces secteurs ne peuvent être considérés comme des infrastructures au sens strict, puisqu'il s'agit plutôt de réseaux ou de chaînes d'approvisionnement qui sous-tendent la fourniture d'un produit ou d'un service essentiel » [2]. Suivant cette définition, trois grandes catégories peuvent être distinguées [3] :

- ✓ les infrastructures contribuant à la continuité et à la crédibilité de l'activité gouvernementale et au maintien des services stratégiques fondamentaux : défense, santé, administration, services de police et de secours, etc. ;
- ✓ les infrastructures permettant le maintien de l'ordre et à la fourniture des services publics de base : ali-

mentation en eau, énergie, nourriture, activités agroalimentaire et industrielle, éducation ;

- ✓ les infrastructures relevant le plus souvent de secteurs privatisés mais fournissant également des services de base (transport, télécommunications et information, services bancaires et financiers, assurances, sécurité des services privés) mais indispensables au bon fonctionnement de la société : trans-

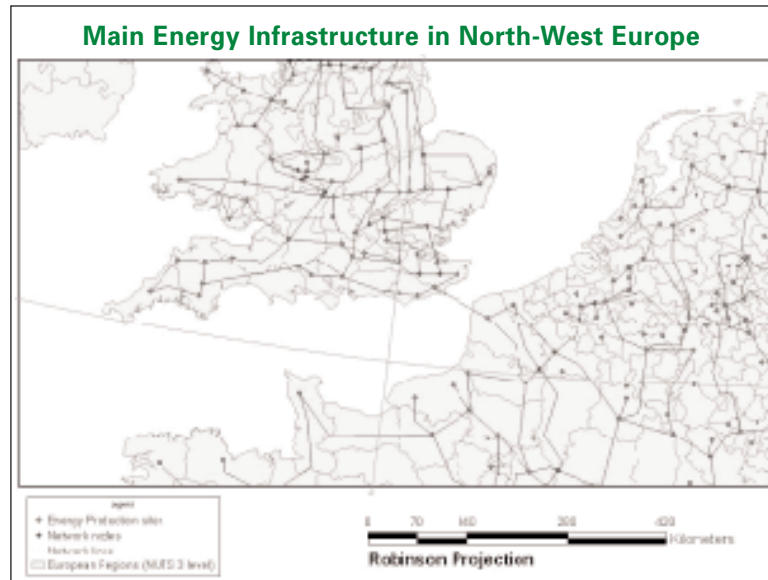
port, finance et assurance, service postal.

Néanmoins, cette définition laisse une grande marge d'interprétation : criticité de quoi (de l'infrastructure support ? du système de régulation permettant le bon fonctionnement ? du service lui-même ?) et vis-à-vis de quoi (criticité liée à l'importance des flux de service ? à des enjeux stratégiques nationaux ? à une menace précise comme le terrorisme ?), et critique pour qui ? (les propriétaires de l'infrastructure ? l'Etat ? les assureurs ? la population ?).

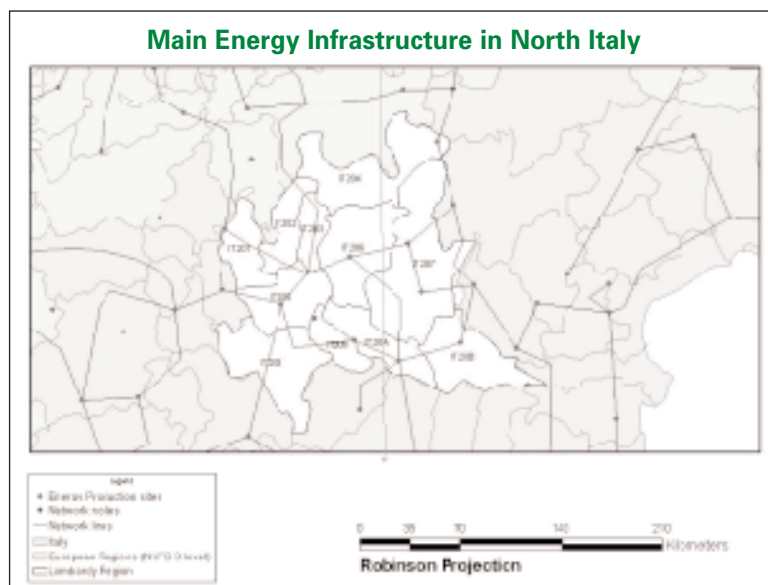
Le point commun est la crise potentielle qui menace en cas de défaillance de ces infrastructures critiques, ce qui les situe d'emblée dans le contexte de l'analyse des risques et de la vulnérabilité territoriaux.

Cependant, les modalités de la crise varient en fonction des critères retenus pour définir l'adjectif critique et en fonction de la prise en compte des perceptions des acteurs concernés.

### La criticité des infrastructures dans le temps et dans l'espace



Carte 1. Principales infrastructures d'énergie en Europe du Nord-Ouest.



Carte 2. Principales infrastructures d'énergie en Italie du Nord.

Analyse du système	Approche systémique	Approche spatiale et cartographique
Fonction du système	Nature/ quantité/qualité du service fourni	Aire desservie par le service (selon les échelles)
Composition	Sous-systèmes et composants de base formant le système (techniques, humains, organisationnels...)	Localisation de l'infrastructure support, distance entre les composants
Organisation	Canaux de communication et hiérarchie des relations entre les composants (connectivité ; connexité)	Types d'organisation spatiale du réseau (graphes, densité)
Processus	Types de flux, variations dans le temps	Orientation, direction des flux, lieux d'origine et d'arrivée et variations dans le temps
Relation avec l'environnement	Types de relations avec l'environnement	Localisation limites administratives, contexte géographique, économique, etc.
Interdépendances	Types d'interdépendances (logique, cyber, physique, géographique)	Localisation des interdépendances

*Approche systémique et approche cartographique.*

Si les significations de la criticité varient en fonction des acteurs, elles varient également en fonction du contexte spatio-temporel. Une infrastructure considérée comme critique à l'échelle locale ne le sera pas forcément à l'échelle nationale. Pour un même type d'infrastructure, les éléments considérés doivent correspondre à l'échelle.

Les cartes 1 et 2 montrent, par exemple, qu'à l'échelle d'une région européenne NUTS-niveau 3, (1) les lignes électriques et les sites de production considérés sont ceux qui ont une capacité de desserte nationale et transfrontalière.

En revanche, au sein même d'une région européenne NUTS, l'infrastructure électrique d'intérêt régional vis-à-vis d'un pays, doit être analysée à plus grande échelle.

Si la criticité varie dans l'espace, elle varie également dans le temps. Un service est plus ou moins critique en fonction de l'heure de la journée, du jour de la semaine, de la saison, etc. Une coupure d'électricité par exemple est plus critique en période de forte demande (hiver, jour ouvrable, etc.) qu'en période de demande faible. Critère géographique et critère temporel sont fortement associés : une coupure d'électricité en été au sein de pays fortement consommateurs de climatiseurs aura des conséquences plus significatives qu'une coupure d'électricité à la même période dans des pays où les températures sont moins élevées.

Un système d'information géographique permet de cartographier de manière dynamique les échelles et les temporalités variables de la criticité d'une infrastructure. La base de données doit alors reposer sur une analyse systémique des infrastructures critiques.

*Délimiter le système spatial des infrastructures critiques*

L'identification d'un « bassin de risque » lié aux infrastructures critiques suppose une approche en termes de système spatial. D'un point de vue géographique, les infrastructures critiques présentent les caractéristiques de systèmes complexes pouvant être analysés en termes de réseaux, soit en tant qu'infrastructures matérielles ou physiques, soit en tant que relations ou flux supportés par ces infrastructures. Cela renvoie à l'analyse spatiale des réseaux et des territoires réticulaires qu'ils forment [4] : la mise en relation, par le réseau, d'espaces discontinus prime sur la contiguïté spatiale dans la création du territoire. L'approche systémique repose sur la modélisation de la réalité (sous la forme d'un système) et permet d'insister sur les dynamiques plus que sur la description d'un système ; pour une même réalité, il existe divers systèmes. L'approche systémique répond donc aux besoins de prendre en compte les différents acteurs, l'échelle et le contexte temporel d'analyse. Le tableau ci-dessus fait ressortir la complémentarité entre l'analyse des infrastructures critiques en tant que système et leur représentation cartographique.

Cette double approche permet de délimiter et caractériser le territoire propre aux infrastructures critiques et de faire ressortir, entre autres, la superposition de ces territoires avec les territoires administratifs de gestion des risques.

En utilisant l'approche spatiale systémique, il est possible de délimiter les territoires des infrastructures critiques. Ils varient en fonction des acteurs, de l'échelle, du contexte géographique et temporel. Ils présentent les caractéristiques des territoires réticulaires et peuvent être superposés aux territoires de compétence administratifs.

**Les espaces de la vulnérabilité des infrastruc-**



© Steve McCurry/MAGNUM PHOTOS

*Terrorisme, aléas naturels, accidents industriels, ces dernières années ont vu l'émergence d'un nouveau type de risques dont les conséquences se sont fait sentir bien au-delà de la zone d'impact et qui sont autant de dimensions de la vulnérabilité.*

### **Infrastructures critiques : définition, caractérisation, facteurs d'analyse**

L'objectif n'est pas ici de revenir sur ce qu'est la vulnérabilité, mais plutôt de mettre en évidence les implications liées à l'évaluation de la vulnérabilité d'un objet géographique particulier : les infrastructures critiques et leurs territoires. L'accent est mis sur la vulnérabilité et non sur le risque dans la mesure où certains aléas affectant les infrastructures critiques sont difficiles à analyser (terrorisme, défaillance en cascade, etc.) [5]. Il s'agit donc de hiérarchiser les infrastructures ou les composants de l'infrastructure du plus critique au moins critique et d'envisager comment, en cas de défaillance, le reste du système territorial est affecté.

#### *Trois niveaux de vulnérabilité : vulnérabilité de quoi à quoi ?*

Analyser la vulnérabilité des infrastructures critiques implique de répondre à la question : vulnérabilité de quoi à quoi ? On distingue trois niveaux d'analyse de la vulnérabilité (voir figure 1).

Il est donc possible de parler de vulnérabilité systémique ou vulnérabilité en cascade, dans la mesure où

les infrastructures critiques sont exposées à des sources d'aléas internes ou externes mais constituent elles mêmes une source d'aléas [6].

#### *Exposition, criticité et dépendance*

Afin d'organiser et hiérarchiser l'analyse de la vulnérabilité d'un territoire, il est indispensable de se concentrer sur les éléments les plus critiques et les plus exposés. Quelle que soit l'échelle d'analyse de la criticité (des composants de l'infrastructure au territoire dans son ensemble), la notion de dépendance est fondamentale et renvoie à une double approche :

- ✓ le *degré de criticité* est évalué selon le principe suivant. Plus un système territorial est dépendant du bon fonctionnement de l'un de ses sous-systèmes, plus ce sous-système est critique pour l'ensemble du système. Plus cet élément est vulnérable, plus le système est vulnérable. Par exemple, si l'on considère un hôpital donné par rapport au reste d'un système de santé régional, plus cet hôpital a un nombre de lits élevé, plus ses services sont spécialisés, plus le bon fonctionnement du système de santé régional dépend du bon fonctionnement de cet établissement. Le degré de criticité permet de hiérarchiser et poser des priorités pour l'analyse de la vulnérabilité



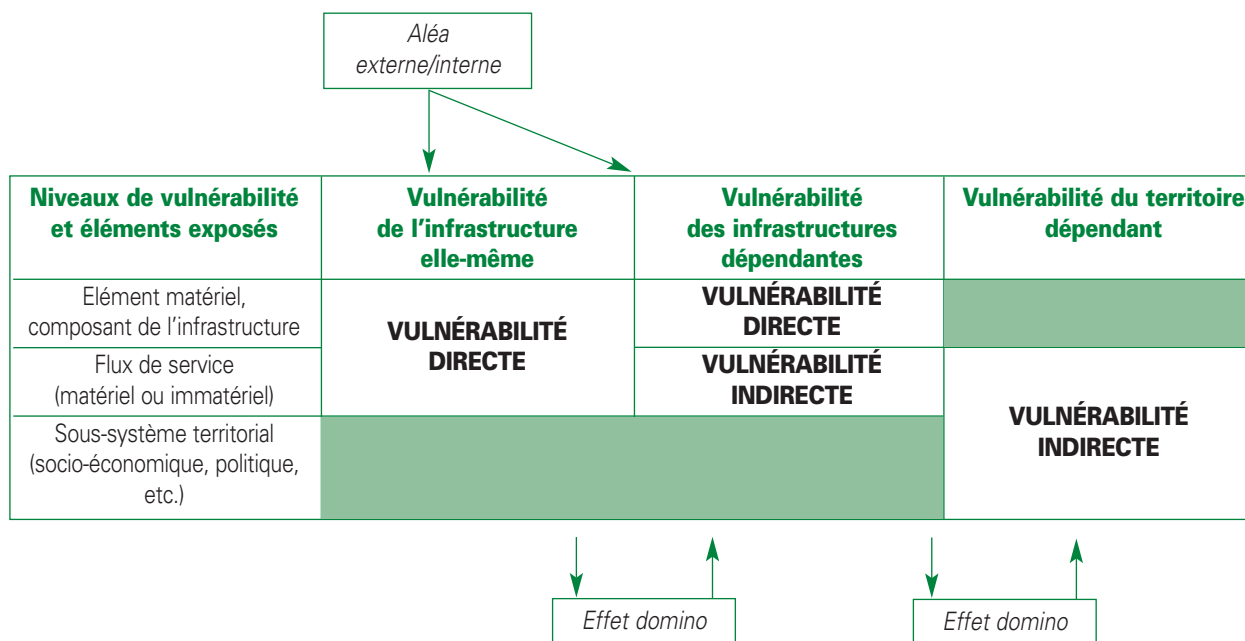
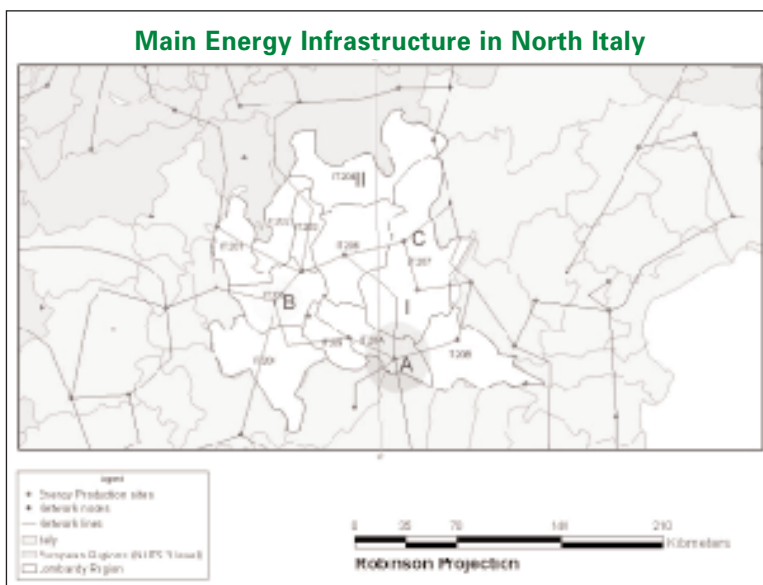


Figure 1. Les niveaux de vulnérabilité des infrastructures critiques.

d'un territoire. L'analyse de la vulnérabilité repose alors sur le « degré d'exposition directe d'un élément critique », combinant sa vulnérabilité inhérente (taille, capacité, emplacement, présence de matières dangereuses, accessibilité, rôle symbolique, etc.) et sa vulnérabilité à des aléas



Carte 3. Criticité des nœuds du réseau électrique en Lombardie.

externes ou internes [7]. La carte 3 montre le réseau électrique de la région Lombardie (Italie) et fait ressortir le poids différent de deux nœuds principaux : le nœud A connecte 5 lignes, alors que le nœud B n'en connecte que 4. Le nœud A joue donc un rôle plus critique vis-à-vis du reste du réseau que le nœud B, lui-même plus critique que le nœud C qui ne connecte que trois lignes ;

- ✓ le degré de dépendance est le pendant du degré de criticité : plus un système dépend du bon fonctionnement d'un élément critique, plus l'ensemble du système est vulnérable au mauvais fonctionnement de ce sous-système. Le concept de dépendance permet d'introduire la notion « d'exposition indi-

recte d'un système dépendant » d'un élément critique. La réduction partielle/temporaire d'un service ou sa complète interruption renvoie à la vulnérabilité dépendante ou en cascade sur l'ensemble du système infrastructure critique ainsi que sur les autres systèmes territoriaux constituant l'environnement. Ainsi, si l'hôpital le plus critique d'un système

sanitaire régional est partiellement défaillant, les autres infrastructures de soins devront tenter d'absorber les conséquences et la population de la région en sera également affectée.

La figure 2 montre, à l'échelle européenne, la dépendance des régions NUTS vis-à-vis des principales infrastructures électriques. La dépendance est exprimée en termes d'accessibilité au réseau, mesurée en fonction de la densité des nœuds pour chaque région [8].

Les mesures de réduction de la vulnérabilité peuvent alors concerner les éléments les plus critiques (approche par élément critique) ou encore l'ensemble d'un système afin d'y réduire le poids des éléments les

plus critiques, par exemple par une redondance plus élevée (approche par système).

**Conclusion :  
des réseaux  
d'infrastructures critiques  
plus  
vulnérables  
que d'autres ?**

Les infrastructures critiques renvoient à des systèmes spatiaux complexes, souvent superposés aux territoires administratifs classiques, impliquant de nombreux acteurs, et appelant une approche holistique et pluridisciplinaire afin d'aborder les différents niveaux d'analyse de la vulnérabilité. Il existe plusieurs pistes de recherche.

- ✓ Comment définir une démarche fondée sur la concertation entre acteurs publics et privés, permettant d'établir des critères et seuils communs de criticité ? D'aboutir à la définition d'un seuil acceptable de vulnérabilité ?
- ✓ Certains types de territoires en réseaux sont-ils plus vulnérables que d'autres ? Les réseaux ne créent pas des territoires homogènes : ils valorisent et hiérarchisent diversement des lieux discontinus qui n'ont pas tous la même accessibilité au service critique. En cas de défaillance de l'infrastructure critique, les espaces du système spatial réticulaire, diversement



dépendants, ne seront pas affectés de la même manière.

- ✓ Comment développer des outils et une méthodologie pour mesurer la vulnérabilité des sous-systèmes territoriaux desservis par une infrastructure critique, soit, par exemple, les sous-systèmes sociaux, économiques, politiques, etc. ? Comment mesurer et exprimer la vulnérabilité ? Les paramètres et les indicateurs permettant

de rendre compte de la vulnérabilité, varient dans l'espace, dans le temps, en fonction des acteurs.

- ✓ Enfin, nous considérons notre recherche comme une opportunité pour élargir les débats actuels sur le concept de vulnérabilité au champ de l'analyse des infrastructures critiques, prises en tant qu'objets géographiques, créant leur propre système spatial.

### Bibliographie

- [1] OECD: *Emerging Systemic Risks in the 21<sup>st</sup> Century : An Agenda for Action*. OECD Publications Service, Paris, 2003.
- [2] COM (2004) 702 final. Communication from the Commission to the Council and the European Parliament « *Critical Infrastructure Protection in the fight against terrorism* », 2004.
- [3] S. Bouchon, A. Gheorghe, J. Birchmeier : *Toward Guidelines for Regional Assessment of Vulnerability against Service Disruption of Critical Infrastructures*. EsReDa, 29<sup>th</sup> Seminar « System Analysis for a More Secure World » Proceedings (sous presse).
- [4] G. Dupuy : *Systèmes, réseaux et territoires*. Paris, Presses de l'Ecole nationale des Ponts et Chaussées, 1985.
- [5] A. Gheorghe, V. Vamanu : On the vulnerability of critical infrastructures: « seeing it coming ». *International Journal of Critical Infrastructures*, Vol. 1, 2005, N.2/3, pp. 216-246.
- [6] AL. Vetere, AM. Heikkila, S. Bouchon *et al.* *Systemic risks and lessons learned*, Joint Seminar in Karslkoga, EUR 21404 EN, 2004.
- [7] FEMA : *Integrating manmade hazards into Mitigation Planning*. FEMA 386-7, Version 2.0, 2003.
- [8] C. Logtmeijer, C. Di Mauro, J-P. Nordvik : *Energy Demonstrator : regional vulnerability against energy disruptions in Europe*, Technical note, EC-DG-JRC-TVAU (sous presse).

### Notes

(\*) sara.bouchon@jrc.it.

European Commission – Directorate General JRC – Joint Research Centre Ispra.

Institute for the Protection and Security of the Citizen (IPSC) I-21020 Ispra (VA), Italy.

(1) Nomenclature des unités territoriales statistiques (NUTS).

