



HAL
open science

Prise en compte des incertitudes dans la cartographie des risques – quelques recommandations dans le cas de la prévention des pollutions atmosphériques

Myriam Merad, Eric Chojnacki, Laurence Rouil

► To cite this version:

Myriam Merad, Eric Chojnacki, Laurence Rouil. Prise en compte des incertitudes dans la cartographie des risques – quelques recommandations dans le cas de la prévention des pollutions atmosphériques. 20. Congrès de Maîtrise des Risques et Sûreté de Fonctionnement (Lambda-Mu 20), Oct 2016, Saint-Malo, France. ineris-01863118

HAL Id: ineris-01863118

<https://ineris.hal.science/ineris-01863118v1>

Submitted on 28 Aug 2018

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES DANS LA CARTOGRAPHIE DES RISQUES – QUELQUES RECOMMANDATIONS DANS LE CAS DE LA PREVENTION DES POLLUTIONS ATMOSPHERIQUES

INSIGHTS ON THE WAY UNCERTAINTIES ARE TAKEN INTO ACCOUNT IN RISKS MAPS - SOME RECOMMENDATIONS IN THE CASE AIR POLLUTION RISK PREVENTION

Myriam Merad¹

Eric Chojnacki²

Laurence Rouil¹

¹INERIS

²IRSN

60100 Verneuil-en-Halatte

13115 Saint-Paul-Lez-Durance

myriam.merad@ineris.fr

eric.chojnacki@irsn.fr

laurence.rouil@ineris.fr

Résumé

Le présent article vise à fournir une analyse de l'état de l'art des pratiques en matière de cartographie des risques et à rendre compte de l'analyse de la prise en compte des incertitudes et de la dimension temporelle dans les cartographies des risques. Après avoir analysé les effets de la cartographie des risques et des incertitudes sur la gestion des risques ainsi que la perception du public au sens large, nous proposerons des pistes de solutions en termes de cartographie dans le cas de la prévention des pollutions atmosphériques.

Summary

This paper will provide a critical analysis of the state of the art of practices in risk mapping and the way uncertainties and the temporal dimension are taken into account in risks maps. After analyzing the effects risks and uncertainties mapping on risk management and on the perception of the public at large, we will propose possible solutions in terms of risk mapping in the case of the prevention risks due to atmospheric pollutions.

Objectifs et Contexte

Dans le domaine de la prévention et de la gestion des risques, la cartographie des risques est utilisée à la fois pour rendre compte et visualiser les risques mais aussi pour servir d'interface de discussion entre les acteurs de la prévention et les parties prenantes.

Les approches, les méthodes et les outils de cartographie peuvent prendre ou pas en compte la dimension territoriale des risques (ex. usages des Systèmes d'Information Géographique (SIG)).

Ainsi, les cartographies des risques pour des usages de maîtrise de l'urbanisation (ex. PPRN, PPRM et PPRT) sont un exemple d'approches territorialisées. Alors que, les grilles de criticité (ex. Grilles de MMR) utilisées dans les Etudes De Dangers (EDD) sont un exemple d'une cartographie non territorialisée.

Ces cartographies des risques peuvent soit prendre en compte une partie des dimensions constitutives des risques (ex. l'aléa, probabilités, les effets, etc.) soit rendre compte du niveau de risque de manière agrégée.

Ces cartographies rendent compte de manière assez différenciée des incertitudes inhérentes soit aux modèles sollicités soit aux données et à leur chaîne de structuration. Dans la pratique, nous constatons qu'une large partie de ces cartographies n'en rendent pas compte. Le même constat peut être dressé quant à la prise en compte de la dimension temporelle (ex. la dynamique de l'événement) dans les cartographies des risques au sens large.

Cet article vise à faire part et analyser les manières avec lesquelles les incertitudes et la dimension temporelle est prise en compte dans les cartographies des risques et leurs incidences sur la gestion des risques et la perception du public au sens large.

Le cas de la prévention des pollutions atmosphériques sera développé en détail.

Notre réflexion s'appuie sur les phases suivantes :

- Fournir une analyse de l'état de l'art des pratiques en matière de cartographie des risques (Chapitre I.1.).
- Rendre compte de l'analyse de la prise en compte des incertitudes et de la dimension temporelle dans les cartographies des risques (Chapitre 1.1 et 1.2).
- Rendre compte des effets de la cartographie des risques et des incertitudes sur la gestion des risques ainsi que la perception du public au sens large (Chapitre 1.2).
- Partager les solutions recommandées en termes de cartographie dans le cas de la prévention des pollutions atmosphériques (Chapitre II).

I). Etat de l'art des pratiques en matière de cartographie des risques et de prise en compte les incertitudes

La cartographie des risques ou des aléas permet de rendre compte des risques de manière spatiale ou a-spatiale. Les cartographies ont pour finalité d'accompagner l'analyse et d'aider à la décision des décideurs et des usagers finaux.

Selon les usages et les besoins de ces usagers, cette cartographie des risques prend en compte et rend compte de ces derniers soit de manière agrégée (ex. un niveau de risque), soit en gardant visible les différentes spécificités caractéristiques du risque (ex. les dangers, les aléas, les enjeux, les vulnérabilités, les probabilités et les possibilités d'occurrence des phénomènes dommageables, ...) (Voir Merad et Merad et al, 2003, 2004, 2008, 2010, 2015).

I.1). Exemple de cartographies spécialisées : le cas des PPR

L'usage de la cartographie dite spatialisée des risques en vue de rationaliser l'usage des sols, plus spécifiquement pour de la maîtrise de l'urbanisation, au vu de la présence d'un site industriel classé ou alors d'aléas dits naturels (ex. inondation, séisme, etc.), est le plus fréquemment rencontré en pratique. Ainsi, les Plans de Prévention des Risques (PPR) inondations, mouvements de terrain, miniers, technologiques, stockages souterrains, ... permettent de délimiter et de rationaliser les usages des sols et représentent des servitudes d'utilité publique. Ces servitudes sont annexées aux Plans Locaux d'Urbanisme (PLU). Ces plans permettent de même de définir des mesures constructives sur les enjeux vulnérables tels que le bâti par exemple. De manière plus précise, les détails concernant les modes de définition des PPR naturels prévisibles sont explicités dans le Code de l'Environnement (Livre V- Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre VI- Prévention des risques naturels) ; ceux concernant les PPRM dans le code de l'environnement (Article L 562-4) ainsi que le code minier (Article L174-5) et ceux concernant les PPRT dans le code de l'environnement (Partie législative, Livre V : Prévention des pollutions, des risques et des nuisances, Titre Ier : Installations classées pour la protection de l'environnement, Chapitre V : Dispositions particulières à certaines installations, Section 6 : Installations soumises à un plan de prévention des risques technologiques) et

dans le Code Minier (Livre II : Le régime légal des stockages souterrains, TITRE VI : travaux de stockage souterrain, Chapitre IV : Sécurité et prévention des risques technologiques, Section 2 : Prévention des risques technologiques).

Bien que cette cartographie des risques tant à être dédiée principalement à la rationalisation de l'usage des sols, elle a comme vocation d'être un support à la communication et à la concertation entre les différents acteurs du territoire.

Dans ce qui suit, nous relatons à titre d'exemple les expériences des PPRN¹ et PPRM qui ont servi de base à l'élaboration du guide PPRT (Merad et Wattelet, 2004, Merad et al, 2003). Nous présenterons par la suite la démarche PPRT ou plus spécifiquement les cartographies en usage dans les PPRT. A cet effet, cette section comprend deux sous-sections. La première comporte une présentation de la structure générale des PPRN et PPRM à travers les parties « technique », « réglementaire » et de « communication ». Dans la seconde sous-section, nous présentons un ensemble de remarques sur des aspects qui peuvent influencer la cartographie des risques dans les PPR² et la manière avec laquelle les risques et les incertitudes y sont considérés.

1.1.1). Principes généraux des PPRN et PPRM et la place de la cartographie des risques et des aléas dans le processus

L'analyse des démarches PPRN et PPRM montre que celles-ci sont structurées sur la base d'un enchaînement de parties et de phases dites « technique », « réglementaire » et de « communication-association-consultation-concertation » (Figure 2). Lorsque ces dernières sont menées à terme, tout en respectant leur succession dans l'ordre chronologique, elles aboutissent à la mise en place, sur la zone d'étude concernée, d'un Plan de Prévention des Risques (PPR).

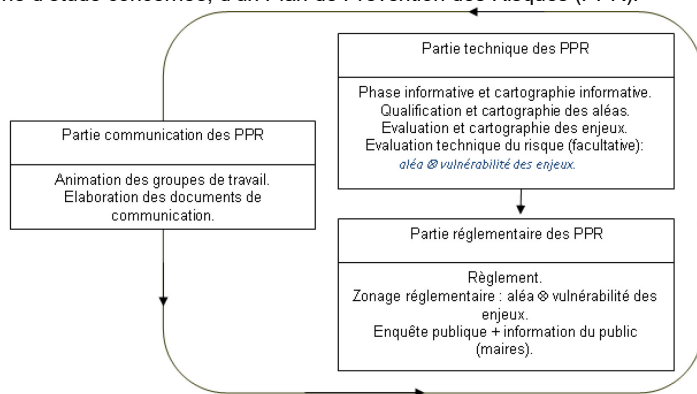


Figure 1. Les différentes parties des Plans de Préventions des Risques Naturels et Miniers

Retenons également, à titre informatif, que la présence de similitudes sur l'objet d'étude³ des PPRN et PPRM n'empêche pas le fait qu'il existe des distinctions relatives à la perception et à la tolérance des risques par la population. Ceci est dépendant de la nature du phénomène mais aussi de la possibilité d'identifier un responsable à l'origine du risque. Ainsi, en risques naturels la tolérance est plutôt faible mais variable selon la nature de l'aléa⁴ (cf. les travaux sur la perception des risques). Dans le cas du risque minier, même si la manifestation en surface (exemple affaissement, effondrement brutal, etc.) se présente sous la forme d'un aléa naturel, le responsable est lui identifié : il s'agit de l'exploitant ou de l'Etat.

Les PPR comprennent les trois parties suivantes.

a). La partie technique

La partie technique du PPR est basée sur une démarche d'expertise qui relève du domaine du technicien. Cette partie porte sur les deux composantes qui définissent le risque que sont l'aléa et les enjeux⁵ (Figure 2). Elle est composée de trois principales phases :

- La phase informative et la cartographie informative. Le « recueil des informations » doit être le plus exhaustif possible suivant les moyens engagés. Cette partie doit contenir un listing des sources d'information et doit, si nécessaire, permettre de vérifier l'information sur site. Pour finir, ces dernières une fois recensées et validées doivent être transcrites sous support cartographique dont l'échelle dépend de leur nombre, de leur ampleur et de leur degré de précision. La carte doit contenir la date de réalisation. Dans le cadre de cette phase, il est nécessaire de donner des précisions sur les « phénomènes » à considérer dans le cadre des PPR et l'aléa qui en découle. Ceci correspond à une rétro- analyse des informations et connaissances à disposition et passe par : des descriptions et définition (glossaire) ; l'identification des conditions d'apparition ; des précisions sur la cinétique ; l'identification des effets et des conséquences ; la présentation des principales techniques de prévention.
- La qualification et la cartographie des aléas. Cette partie comporte des informations sur les points suivants : les principes généraux de la démarche ; l'identification du bassin de risque et du périmètre d'étude. Leurs identifications permettent de limiter l'unité que l'on souhaite qualifier. L'unité peut se définir de différentes manières par exemple à partir de la nature du phénomène étudié (affaissement, fontis, etc.) ; la qualification, la hiérarchisation et la cartographie des aléas. Ceci correspond à l'identification des événements prévisibles (non passés).
- L'évaluation et la cartographie des enjeux. Ceci passe par l'identification des enjeux socio-économiques et humains dans la prévision de la réalisation d'un événement.

La manière de croiser les cartes aléas et les cartes d'enjeux, dans le but de réaliser une carte de risque, n'est pas imposée dans la démarche PPRN et PPRM. En effet, le choix d'une démarche de hiérarchisation n'est pas sans implication sur le choix des moyens techniques de cartographie qui eux dépendent des moyens des bureaux d'étude mais surtout de « la formation » et « du cadre disciplinaire de compétence du technicien ». Parmi les démarches de hiérarchisation, on retrouve une diversité d'approches historiques. On peut citer le cas de la méthode « par configurations types » (Figure 3) utilisée pour certains types

¹ Les PPRN, créés il y a plus de 20 ans, présentent un bon retour d'expérience. Plus de 5000 devaient être réalisés d'ici 2005. Le guide PPRM a été publié ces dernières années. Notons que les PPRM ont été longtemps sous la tutelle du ministère de l'industrie.

² PPR : Plan de Prévention des Risques. Lorsque cette dénomination est utilisée, elle désigne aussi bien les PPRN que les PPRM.

³ Les similitudes d'objet d'étude : des zones à risque identifiées dans le cadre de la gestion de l'après- mines (PPRM) ou des carrières abandonnées (PPRN).

⁴ L'aléa traduit, en un point donné, la probabilité d'occurrence d'un phénomène naturel de nature et d'intensité définies. Du fait de la grande variabilité des phénomènes naturels et des nombreux paramètres qui interviennent dans leur déclenchement, l'aléa ne peut être qu'estimé et son estimation est très complexe. Son évaluation reste en partie subjective ; elle fait appel à l'ensemble des informations recueillies au cours de l'étude, au contexte géologique, aux caractéristiques des précipitations... et à l'appréciation du chargé d'étude. Pour limiter l'aspect subjectif, des grilles de caractérisation des différents aléas ont été définies à l'issue de séances de travail regroupant des spécialistes de ces phénomènes (Plans de Prévention des Risques naturels prévisibles).

⁵ Enjeux : Personnes, biens, activités, moyens, patrimoines susceptibles d'être affectés par un phénomène naturel. (Source : Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, Ministère de l'Équipement, des Transport et du Logement (1999) - Plan de Prévention des Risques naturels (PPR) - risque d'inondation. Guide méthodologique, La Documentation Française, 121 p.).

de PPRN et la méthode « par zones homogènes (multicritère) » (Figure 4) utilisée pour les PPRM. On peut cependant affirmer que globalement, à l'exception des approches utilisées dans les aléas inondations et séismes, la plupart des approches de l'aléa PPRN sont qualitatives⁶ et déterministes⁷.

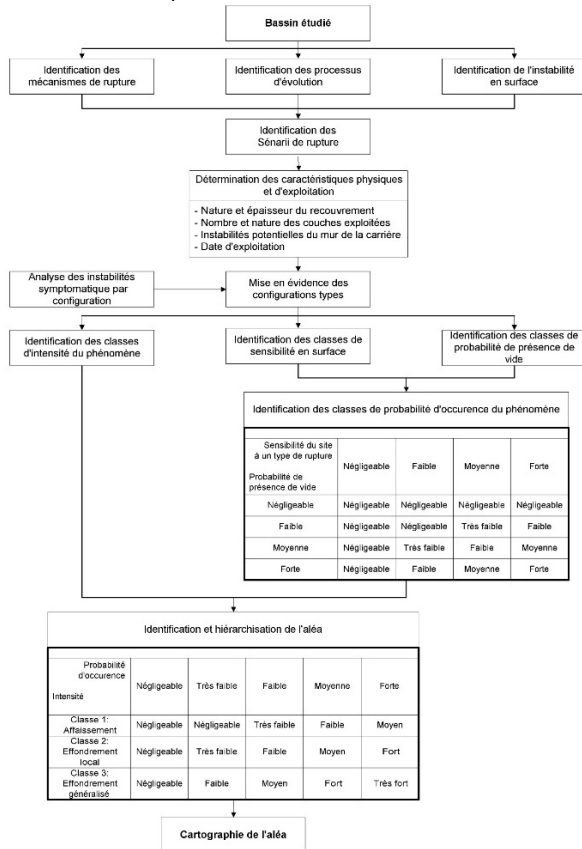


Figure 2. Méthode par configurations types (Méthode INERIS pour la réalisation des PPRN carrières)

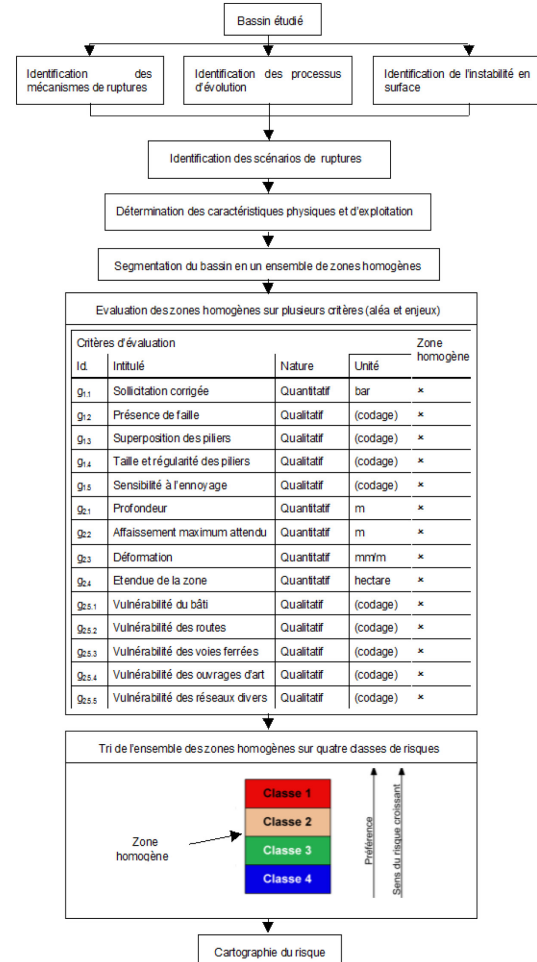


Figure 3. Méthode par zones homogènes (Méthode INERIS pour la réalisation des PPRM)

b). La partie réglementaire

Une fois la partie technique réalisée, la partie réglementaire du PPRN est alors plus du ressort des services de la préfecture qui constituent le « maître d'ouvrage ». La DDE, ou exceptionnellement la DRIRE, ont un rôle d'assistance. Ils gèrent les études réalisées par les bureaux d'études ; et sont directement responsables de la réalisation des documents réglementaires qui sont :

1. une note de présentation (rapport) ;
2. le zonage réglementaire : le croisement de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux ;
3. le règlement qui est avec le zonage précité le seul document opposable aux tiers.

Ces services peuvent se faire assister par les bureaux d'études.

En parallèle à l'élaboration du PPR, le Préfet organise des groupes de travail :

1. *Groupe de travail technique*. Il comporte : DDE, bureau d'étude, tiers experts.
2. *Groupe de pilotage*. Ce groupe comporte les personnes suivantes : Préfet, DDE, élus, industriel⁸, etc.

c). La partie communication-concertation-association-consultation

Cette partie est celle qui, réglementairement a rencontré les plus fortes évolutions. Même si le vocabulaire et la théorie sur les pratiques de la concertation ont connu des changements significatifs, les pratiques sur le terrain ont, elles, peu changé ou changé suivant les cas et les cultures territoriales et administratives locales. Cette partie comprend a minima les phases suivantes :

- L'organisation et le suivi des groupes de travail.
- L'élaboration des documents, réalisés dans le cadre de la partie technique et de la partie réglementaire, sous une forme accessible et assez rapidement *appropriable* (ex. Sous forme de cartes et de photographie). Dans le cadre de ces documents, il est nécessaire d'expliquer les raisons de réalisation du PPR la méthode mise en jeu, les mesures à mettre en place suite au PPR).

⁶ Les approches "qualitatives" : Elles reposent sur le recueil de données exclusivement qualitatives, de réponses à des questions dichotomiques ou de jugements portés à partir d'une échelle graduée. (Source : Courtot H. (1996). *Présentation d'une grille de lecture des méthodologies de gestion des risques d'un projet*, pp. 18.)

⁷ L'approche déterministe produit une valeur qui, selon la méthode utilisée pour obtenir l'estimation ponctuelle, peut représenter la tendance générale, la fourchette supérieure ou le seuil maximal.

⁸ Les industriels sont à rajouter dans le cas des PPRT.

Notons que les personnes, impliquées dans la partie réglementaire et celles concernées par la partie communication, s'appuient en confiance sur les techniciens. On remet rarement en cause la qualité du travail technique et tous les recours entrepris auprès des tribunaux administratifs dans ce sens n'ont jamais abouti à notre connaissance. La bonne réussite d'un PPR dépend par contre des échanges réguliers entre le technicien, la personne en charge du règlement, le maître d'ouvrage et les gestionnaires futurs (élus) ainsi qu'avec les parties prenantes.

1.1.2). Remarques sur la prise en compte des risques et des incertitudes dans les PPR

Les démarches PPR (N, M, T) font état, en général, d'une grande souplesse dans leur structure et s'appuient en outre sur des guides techniques déjà validés. Ainsi, les remarques qui suivent ne sont pas à considérer de manière absolue. Celles-ci dépendent plus du contexte de mise en place des PPR.

a). Sur les incertitudes et les contraintes de temps et de budget des phases de réalisation des PPR

La durée accordée à la réalisation des PPR peut être différenciée sous deux formes : un « temps effectif technique » et un « temps administratif ». Ces deux temps sont sous l'influence de paramètres différents qui peuvent entraver le déroulement des PPR.

1. **Le temps effectif technique.** La partie technique est celle où le technicien est le maître. Ainsi, pour un bureau d'étude la partie la plus longue à réaliser est la « phase dite informative ». En effet, cette dernière qui devrait être essentiellement enrichie par des données qualitatives, a tendance à tendre vers du quantitatif beaucoup moins simple à acquérir et à gérer. Ceci est dû au fait du choix *a priori* de (i) la démarche de gestion de l'information (ex. Système d'Information Géographique, plan, etc.) et de (ii) la démarche de combinaison des composantes de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux (si cela a lieu d'être).
2. **Le temps administratif.** La « partie réglementaire » et la « partie communication » ne sont pas dépendantes du technicien. Ainsi, l'avènement d'une crise (politique, économique, etc.) peut, laisser le PPR en « suspens » juste après la fin de la partie technique.

b). Sur l'évaluation et la prise en considération de la vulnérabilité des enjeux dans l'évaluation technique du risque

A la suite de l'expérience avortée des Plans d'Exposition aux Risques (PER⁹), les PPRN vont rarement, voire jamais, au-delà d'une cartographie des aléas. Ceci pour deux raisons principales. En premier lieu, parce que l'estimation de la vulnérabilité des enjeux se révèle d'une grande difficulté du fait du manque d'information à disposition. En second lieu, parce que les bureaux d'études en charge de proposer une carte de risque, résultant du croisement de la vulnérabilité des enjeux et de l'aléa, sont rarement légitimes sur plusieurs disciplines techniques à la fois. En effet, l'exemple des PPRN carrières ou du PPRN montre que la cartographie des risques s'arrête souvent à la dimension aléa. Cette dimension est analysée et approfondie sous la présence d'experts de différentes disciplines (ex. géologues, mécaniciens des roches, hydrologues, process, etc.). Le schéma Figure 2 montre l'une des méthodes INERIS utilisée pour réaliser les PPRN carrières.

Avec les PPRM, une autre expérience est tentée pour obtenir une carte de risque. La méthode sélectionnée pour y arriver permet de croiser, sur la base d'une évaluation multicritère du risque, les différentes évaluations de zones sujettes à un phénomène redouté ; ces critères renseignant aussi bien l'aléa que la vulnérabilité des enjeux (méthode INERIS : Figure 3).

c). Sur l'évaluation du risque dit naturel ou dit technologique

En « risque naturel » le risque est défini comme la combinaison de l'aléa et de la vulnérabilité des enjeux ; l'aléa est une combinaison de la probabilité d'occurrence d'un phénomène et de son intensité prévisible ; la vulnérabilité est définie comme le niveau des dommages prévisibles engendrés par le phénomène considéré. Les phénomènes sont, en risque naturel, distingués selon la nature des agents déclencheurs : climatiques, géodynamiques, humaines, une interaction climatique / géodynamique / humaine, et selon le niveau de connaissance de leur mécanisme : inconnu, supposé, connu. Notons qu'en risque dit naturel « l'événement redouté » n'est pas d'origine humaine mais lié à son environnement physique, il est donc subi ; se prémunir contre un dommage revient alors à connaître et comprendre la phénoménologie de l'événement redouté.

En « risque dit naturel » il n'est pas toujours significatif de décomposer l'aléa en probabilité d'occurrence \otimes intensité du phénomène car la probabilité devient « subjective¹⁰ » et perd de sa signification première qu'on y met classiquement en matière de référence à des événements historiques. De plus, les phénomènes (événements) dommageables d'origine naturelle ne sont représentés qu'à travers les conséquences qu'ils entraînent *a posteriori*, ils font donc partie du champ des représentations (Baillly, 1996). Ceci nous a mené à penser qu'il est difficile de séparer « l'aléa » des « enjeux », la conceptualisation de l'un étant fortement imbriquée à la présence de l'autre.

d). Sur la nature des incertitudes prises en compte dans la cartographie des risques

Il n'est pas fait référence explicitement à la manière avec laquelle les incertitudes sont prises dans la caractérisation de l'événement des phénomènes dommageables (naturel ou technologique) et dans la caractérisation des enjeux et de leurs vulnérabilités.

Il est souvent surprenant de voir réduire la question de la prise en compte de l'incertitude à l'usage d'une approche probabiliste soit sur la caractérisation de l'occurrence de l'événement redouté soit sur la caractérisation du niveau de risque en lui-même ; le risque étant dans ce cas limité à la caractérisation de la probabilité.

Les incertitudes sur les données, sur les informations au sens large, sur la connaissance sont rarement voire jamais représentées. Il est de même rarement fait état des incertitudes réglementaires et politiques. Cependant, la phase concertation-consultation-association-communication semble être établi comme un moyen de revenir sur les limites des cartographies dites techniques des risques ou des aléas en les enrichissant par les savoirs et les savoir-faire des acteurs des territoires.

⁹ La loi d'indemnisation des catastrophes naturelles (n° 82-600 du 13/07/1982) a été suivie du décret d'application du 3 mai 1984 instituant les Plans d'Exposition aux Risques (PER). Ceux-ci visaient l'interdiction de nouvelles constructions dans les zones les plus exposées d'une part, et des prescriptions spéciales pour les constructions nouvelles autorisées dans les zones moins exposées, associées à la prescription de travaux pour réduire la vulnérabilité du bâti existant, d'autre part. (Source : Commission interministérielle de l'évaluation des politiques publiques. Commissariat Général du Plan (1997) - La prévention des risques naturels, rapport d'évaluation. La documentation Française, 702 p.)

¹⁰ La probabilité est une mesure mathématique. Elle mesure le degré psychologique d'une potentialité. La potentialité d'une possibilité. Une probabilité s'exprime par un nombre décimal compris entre 0 et 1. La probabilité d'une impossibilité est la probabilité minimale : 0. Une certitude (ou nécessité) a la probabilité maximale : 1. Une « probabilité objective » est la mesure mathématique d'une possibilité physique. La « probabilité subjective » ne se préoccupe pas de la possibilité physique.

I.2). Exemple de cartographies non spécialisées : le cas des grilles de criticité

Fréquemment utilisée en finance, en audit, en analyse de marchés, pour la prévention des risques technologiques, ..., les cartographies dite « a spatialisées » ont la particularité de ne pas être projetées sur un espace territorial donné. Elles ont pour finalité d'accompagner l'analyse d'objets différenciés suivant la problématique analysée (ex. des portefeuilles d'actions en finance, les points de vulnérabilité des entreprises, des réponses à appel d'offre, des scénarios d'accidents, etc.), d'accompagner la « rationalisation » des moyens humains et financiers et des biens mobilisés pour les prévenir ainsi que de générer une vision commune des risques et d'accompagner la concertation et le débat entre les acteurs concernés et impliqués. Dans ce qui suit, nous avons fait le choix de présenter quelques démarches de cartographie des risques utilisée dans l'industrie. Dans le cadre des Etudes De Dangers (EDD), ces cartographies sont fréquemment désignées par « grilles de criticité ».

I.2.1). La grille ou matrice de criticité dans l'étude de dangers

L'Etude De Dangers (EDD) est un document où l'exploitant établit la démonstration de la démarche de maîtrise des risques qu'il a mis en place. L'EDD permet de même de fournir des éléments techniques pour la maîtrise de l'urbanisation et le dimensionnement des plans de secours et d'intervention ; et de participer à informer le public sur les risques.

Réglementairement, l'EDD comprend : une description de l'environnement, du site et des installations ; la possibilité d'identifier les potentiels de danger des installations ; une valorisation de retour d'expérience tiré de l'analyse des accidents passés ; une caractérisation des risques liés aux installations au moyen d'une analyse des risques se voulant exhaustive ou à défaut systématique ; une présentation de l'évaluation des conséquences d'accidents ; une justification des mesures de prévention et de protection mises en œuvre par l'exploitant pour maîtriser ces risques. Ces mesures (souvent désignées par le terme « barrières ») peuvent être de nature technique, humaine ou organisationnelle.

Dans ce cadre du respect du cadre réglementaire en vigueur, il est nécessaire de faire apparaître clairement, lors d'une évaluation des risques dans une EDD, l'ensemble des scénarios étudiés, en précisant pour chacun, la probabilité ou fréquence d'occurrence, la gravité potentielle et les mesures de prévention mises en place par l'exploitant. Pour y parvenir, les matrices ou grilles de criticité, (Figure 4) intégrant les trois dimensions suivantes probabilité, cinétique et gravité, sont utilisées dans un souci de clarté. Cette grille est un outil d'aide à la décision pour : (i) la hiérarchisation des scénarios pouvant mener à un accident majeur, (ii) la définition de mesures de réduction des risques à la source, et (iii) l'élaboration des PPI et PPRT en gestion des risques à l'extérieur de l'entreprise.

Gravité 4	4.1	4.2	4.3	4.4
Gravité 3	3.1	3.2	3.3	3.4
Gravité 2	2.1	2.2	2.3	2.4
Gravité 1	1.1	1.2	1.3	1.4
	Fréquence 1	Fréquence 2	Fréquence 3	Fréquence 4

Risques jugés inacceptables	Des propositions d'améliorations doivent être proposées.
Risques critiques	Les mesures de sécurité, mises en place, jugées suffisantes au regard des risques.

Figure 4. Exemple d'une grille de criticité

La grille de criticité n'est pas complète si le risque jugé acceptable n'est pas séparé de celui jugé inacceptable. Bien que cette notion « d'acceptabilité » ait suscité le débat pendant de nombreuses années et a évolué vers un vocabulaire plus « policé », la motivation première reste pour l'exploitant de poser de manière explicite ou non ses priorités en matière de moyens (mesures) de maîtrise/gestion des risques.

I.2.2). Analyse critique des grilles de criticité utilisées en EDD

Dans le but d'identifier des éléments structurant pour les grilles de criticité et d'acceptabilité des risques, nous avons conduit en 2006 une analyse (Merad, 2004). Cette analyse a consisté dans un premier temps à collecter un ensemble de grilles exploitées dans différents domaines (ex. Naturel, industriel, social, etc.) et dans différents pays. Afin d'illustrer l'existence : (i) d'hétérogénéité dans la pratique d'analyse de risque, et (ii) de décalages entre des évaluations des risques au sein de l'entreprise et l'EDD réalisée et adressée par l'exploitant aux pouvoirs publics, nous avons sélectionné dans le cadre de cette étude une trentaine de grille. Cette section rend compte des conclusions de l'analyse en deux niveaux : une macro- analyse qui fait ressortir un certain nombre de constats et de déficits constatés sur les grilles de criticité) et une micro- analyse qui regroupe, à travers un certain nombre de critères, les points de convergence ou de divergence des différentes grilles de criticité.

I.2.2.1). La macro- analyse des grilles de criticité : constats et déficits

Une macro- analyse de la trentaine de grilles de criticité retenues nous permet de faire les premiers constats suivants. Il y a :

1. un besoin en termes de retour d'expérience (en terme de structuration) ;
2. des problèmes de passage d'une qualification du risque à une quantification du risque ;
3. un problème d'évaluation des scénarios sur la dimension « probabilité ». Notons que la probabilité est souvent estimée de manière relative et non absolue ;
4. des difficultés à choisir des scénarios à partir des zones de risques tolérables ou avérés ;
5. des difficultés à établir des « critères d'acceptabilité ». La question soulevée est de savoir de qui ils doivent provenir : des industriels, des élus locaux, des inspecteurs, etc. ;
6. des difficultés à considérer le principe de proportionnalité entre complexité des installations et le niveau de détail de l'analyse de risque.

De plus, un certain nombre de déficits a été constaté au niveau des grilles étudiées. Ces déficits se présentent sous trois formes :

a). **Déficit structurel**

Par déficit structurel nous entendons la présence de certains biais dans la composition des échelles de gravité et de probabilité, et dans l'identification des niveaux de risque et d'acceptabilité. Afin d'illustrer nos propos, nous avons sélectionné quelques points problématiques identifiés lors de l'analyse.

La gravité prend en compte, dans une grande majorité des cas étudiés, les conséquences sur les personnes, les biens, l'environnement, et l'image de marque. A chaque conséquence considérée correspond une échelle (voir glossaire) comprenant un certain nombre de niveaux (souvent qualitatifs). On voit se répéter les pratiques suivantes :

- Les différents niveaux de gravité (/ cibles) sont mis en correspondance. Il est ainsi supposé que sur un échelon « a » la gravité / personne correspond à la gravité / bien, à la gravité / environnement et à la gravité / la réputation. Le postulat semble être qu'à un niveau « a », il y a équivalence / aux personnes, à l'environnement, au bien et à la réputation.
- Aucune précision n'est donnée sur la manière de déterminer un niveau qualitatif. Autrement dit, il n'existe pas de critères affichés d'évaluation de la gravité selon les différents aspects. A titre d'exemple : le niveau de gravité / environnement = Effet important (2) est très subjectif. Il manque ainsi des critères plus explicites pour déterminer les niveaux de gravité.
- La gravité est calculée, sur une même échelle, sur la base d'un référentiel événementiel des fois interne et des fois externe.
- La quantification de chaque niveau de l'échelle de gravité soulève un problème d'objectivation. Ainsi, on constate que très souvent les niveaux les plus bas de l'échelle de gravité (exp. Niveaux 1 et 2) n'existent que dans le but de faciliter la cotation. Ces premiers niveaux prennent en compte les impacts à l'intérieur du site. Les niveaux les plus hauts (ex 3 et 4) représentent souvent l'impact à l'extérieur du site. La Figure 1 montre la différence de positionnement des niveaux de l'échelle de gravité. Alors que les niveaux 2 et 3 sont estimés tous les deux comme critique, le niveau 2 est dit non majeur alors que le niveau 3 l'est. On constate que ce choix n'est appuyé par aucune des deux définitions du risque majeur¹¹ (voire note de bas de page 11).

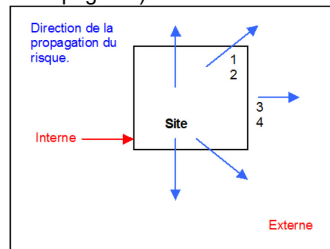


Figure 5. Positionnements différents des 4 niveaux de l'échelle de gravité

L'échelle de probabilité d'occurrence est mise au point sur la base de pratiques où l'on peut constater :

- L'utilisation abusive de niveaux de référence événementiels, temporel, spatial et décisionnel, différents.
- L'utilisation de méthodes différentes d'estimation de la probabilité : fréquence d'occurrence, possibilité, etc.
- La présence de manques au niveau de l'explicitation des critères de qualification. En effet, la « traduction » des descriptifs en évaluation qualitative semble allier très souvent deux niveaux de positionnement de l'analyste : (i) au niveau de l'installation ; (ii) au niveau du site ; mais aussi une confusion entre : (i) avènement futur d'un événement redouté (ex. Événement très probable) ; (ii) occurrence de l'évènement dommageable dans le passé (ex. Ne s'est jamais produit). Il y a donc utilisation de deux approches différentes dans la définition de la fréquence (Figure 5).

Le niveau de criticité (de risque) est le résultat du croisement des deux dimensions « gravité, et probabilité d'occurrence ». Cette étape présente une perte d'information et montre que la structure de la grille ne permet qu'une évaluation partielle. De plus, on constate que le niveau de risque peut prendre des significations différentes, d'une grille à l'autre, selon la méthode ou l'approche utilisée pour déterminer l'une des deux dimensions « gravité et probabilité ». En conclusion, il semble que la démarche « qualitative » de la grille de criticité dérive vers une « quantification » qui, in fine, n'a qu'une valeur « informative ».

b). Déficit de normalisation

L'analyse des grilles de criticité montrent une grande diversité de pratique. Ainsi, si la grille de criticité doit représenter un outil d'aide à la décision, il devient nécessaire de converger vers des critères d'évaluation, des méthodes et une forme de grille permettant de servir de base à un vocabulaire commun entre les différents acteurs de la décision. Ceci permettrait de respecter l'objectivité, l'homogénéité des évaluations, la cohérence et la répétitivité des analyses du risque.

c). Déficit dans leur fonction de communication

Comme le montre les conclusions regroupées dans le point « déficit structurel », chaque grille de criticité présente les conclusions de l'analyse de manière différente. Ainsi, chaque niveau de risque et chaque niveau d'acceptabilité peut renvoyer, d'une grille à l'autre, à des significations différentes.

Passer ce premier constat de présence de déficits inhérent aux grilles de criticité étudiées, il devient nécessaire de pousser l'analyse afin d'identifier les points de convergence et de divergence entre les grilles recensées.

1.2.2.2). La micro- analyse des grilles de criticité : Famille de critères de comparaison des grilles de criticité

Dans le but d'établir une comparaison des différentes grilles de criticité, nous avons fait ressortir un certain nombre de critères. Ceux-ci sont regroupés en trois grands groupes de critères : « échelle de gravité », « échelle de probabilité d'occurrence » et « niveaux de criticité et d'acceptabilité ». L'ensemble de la trentaine de grilles répertoriées (Merad, 2004) ont été analysées sur la base de ces critères.

Echelle de gravité :

Huit critères ressortent de l'analyse des différentes échelles de gravité. Notons qu'une échelle permet de traduire l'évaluation d'un scénario en prenant en compte les effets et les caractéristiques de celui-ci.

(CG1) - Nature de l'échelle agrégée. Une échelle peut se présenter sous différentes formes :

- L'échelle est dite « ordinale » si l'écart qui sépare deux échelons n'a pas de signification (Figure 6). Ceci est notamment le cas :
 - de l'échelle verbale.
 - de l'échelle numérique. Cette échelle est aussi appelée « échelle qualitative ».

¹¹ Reprenons deux définitions du « risque majeur ». La première selon le glossaire Prim : « Risque lié à un aléa d'origine naturelle ou risque technologique dont les effets prévisibles mettent en jeu un grand nombre de personnes, provoquant des dommages importants et dépassant les capacités de réaction des instances directement concernées ». Le risque majeur est la confrontation d'un aléa avec des enjeux. La seconde selon la directive Seveso II : « Événement tel qu'une émission, un incendie ou une explosion ... entraînant pour la santé humaine, à l'intérieur ou à l'extérieur de l'établissement, et/ou pour l'environnement, un danger grave, immédiat ou différé, et faisant intervenir une ou plusieurs substances dangereuses ».

Qualificatif	Probabilité	Niveau	NIVEAU DE RISQUE		
			1-Indiquatif	2-Attention	3-Préoccupant
Très Probable 1 sur 100 ans	10^{-1}	1	3	2	1
Probable 1 sur 1000 ans	10^{-2}	2	3	3	2
Supportable 1 sur 10000 ans	10^{-3}	3	3	3	3
Événement Supportable 1 sur 100000 ans	10^{-4}	4	3	3	3

Conséquences	GRAVITE			
	L	M	H	C
Conséquences Humaines	Legère	Moyenne	Haute	Catastrophique
Conséquences Environnementales	Très faible (ex: 100 personnes affectées)	Faible (ex: 1000 personnes affectées)	Moyenne (ex: 10000 personnes affectées)	Élevée (ex: 100000 personnes affectées)

Figure 6. Exemple d'une échelle de gravité qualitative (Grille de criticité de RHODIA)

- L'échelle est dite quantitative (Figure 3) quand celle-ci est numérique et ses échelons sont définis par référence à une unité clairement identifiée (Roy,2000). Ceci dans le but de donner sens, d'une part, à l'absence de quantité (échelon 0) et, d'autre part, au rapport entre deux échelons quelconques comme étant égal au rapport des nombres qui les caractérisent.

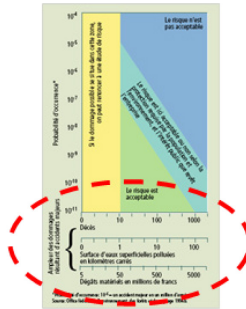


Figure 7. Exemple d'une échelle de gravité quantitative (Grille de criticité de OFEFP)

- L'échelle est dite intermédiaire quand elle se trouve entre les deux cas extrêmes ci-dessus. A titre d'exemple : les échelles dites d'intervalle. Avec ce type d'échelle, la où le rapport entre les différences des nombres associés à deux couples d'échelons distincts est significatif, le rapport des nombres qui caractérisent deux échelons peut, lui, ne pas l'être. Exemple : évaluation d'une température en degrés Celsius ou Fahrenheit.

(CG2) - *Nombre d'échelon.* On entend donner, à travers ce critère, des indications sur la distribution des échelons. On constate ainsi, que l'ensemble des échelles de gravité répertoriées présentent, quand elles sont de nature qualitative, un nombre d'échelon s'étalant entre 3 et 6.

(CG3) - *Type de conséquences.* Une conséquence est définie comme le « résultat d'un événement ¹² ». Le rapport Merad (2004) révèle que les conséquences les plus souvent prises en compte sont celles sur : les personnes, les biens, le matériel, l'environnement, et la réputation de l'entreprise.

(CG4) - *Conséquences agrégées (voir glossaire) ou distinguées.* Par agrégation on entend le passage d'une évaluation distinguée des conséquences (ex. Conséquence sur les personnes, conséquence sur les biens, etc.) à une évaluation globale des conséquences, c'est à dire, sur une seule échelle. On constate la présence de deux pratiques : des échelles où les conséquences sont distinguées (non agrégée) et des échelles de gravité où les conséquences sont agrégées. Notons que s'il n'y a qu'une conséquence prise en compte dans le cadre de cette échelle de gravité, l'agrégation n'a pas lieu d'être.

(CG5) - *Logique d'agrégation des conséquences.* Lorsque les conséquences sont agrégées, la pratique d'agrégation utilisée est la « règle du max. ». Cette règle consiste à prendre la note la plus haute répertoriée sur l'une des échelles de gravité (l' cible). Ainsi, si un scénario d'accident occasionne des conséquences de gravité 3 sur les personnes, 2 sur l'environnement et 4 sur le médiatique, la gravité globale sur le scénario est 4.

(CG6) - *Niveaux de l'analyse (systèmes étudiés).* A chaque grille de criticité son « sujet d'étude » de risque. Certaines s'intéressent à l'installation et étudient les différents scénarios d'accidents potentiels, d'autres s'intéressent à l'entreprise dans sa globalité et étudient les risques associés au choix d'une stratégie ou le risque projet. D'autres adoptent une démarche système et étudient les scénarios accidents associés.

(CG7) - *Référentiel événementiel.* Par référentiel on entend l'étendue « spatiale et organisationnelle » prise en compte pour le référencement d'une conséquence (Figure 8). L'étendue spatiale dans notre cas peut être : la branche industrielle, la compagnie, le site, et l'atelier.

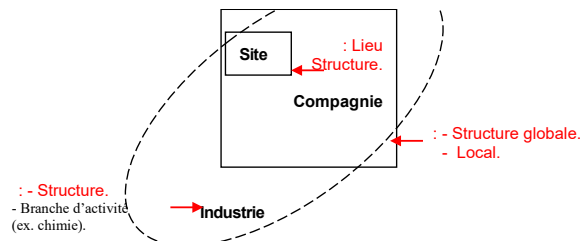


Figure 8. Utilisation de différentes dimensions spatio- décisionnelles pour l'évaluation des fréquences

¹² « Il peut y avoir une ou plusieurs conséquences d'un événement. Les conséquences peuvent englober des aspects positifs et des aspects négatifs. Cependant, les conséquences sont toujours négatives pour les aspects liés à la sécurité. Les conséquences peuvent être exprimées de façon qualitative ou quantitative. » (FD ISO/CEI Guide 73).

(CG8) - Nature de l'information utilisée. Le choix de la nature de l'échelle de gravité utilisée dans la composition d'une grille de criticité (Voir annexe A) n'est pas sans rapport avec la nature et la quantité d'information et de données à disposition. Ainsi, on peut se retrouver avec une dominance d'information quantitative (ex. Mesures, etc.), ou une dominance d'information qualitative (ex. Description, témoignage, etc.), ou un mélange des deux.

Echelle de probabilité d'occurrence

Six critères ressortent de l'analyse des différentes échelles de probabilité d'occurrence.

(CP1) - Désignation. On constate l'utilisation de vocabulaire différent pour désigner une même échelle. On la désignera parfois par « probabilité d'occurrence » et d'autre fois par « fréquence ».

(CP2) - Approche d'évaluation de la probabilité. Derrière des désignations différentes d'une même échelle, se cachent parfois des approches différentes d'évaluation. Ainsi, notons que la démarche d'évaluation de la probabilité d'occurrence dépend fortement de la quantité, de la nature de l'information et des données à disposition. Deux grands types de démarche sont utilisés : analyse statistique ou expertise (directe, indirecte).

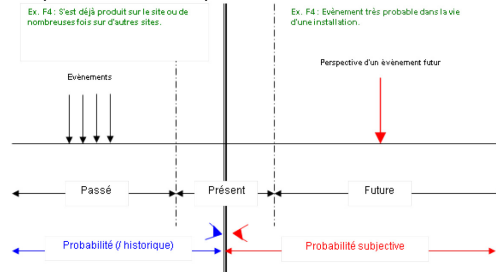


Figure 9. Deux approches dans l'évaluation de la probabilité d'occurrence (ou fréquence)

a). Lorsque les données utilisées font référence à des événements passés ou à un existant et que les informations se présentent sous la forme d'une quantité suffisante, alors la probabilité d'occurrence est souvent déterminée sur la base de démarches statistiques. Dans ce cas, la probabilité (par rapport à l'historique) est réduite au calcul d'une fréquence (Figure 9).

b). Lorsque les données utilisées ne sont pas suffisantes, ne se prêtent pas à des manipulations statistiques, ou font référence à un événement « potentiel », les démarches les plus souvent utilisées sont basées sur l'expertise. Cette dernière est soit « directe », soit « indirecte » avec l'utilisation d'approches : multicritère, par barrières, etc. Même si à l'issue de la démarche de calcul, le résultat est présenté sous une forme 10^x /an, ce type de probabilité n'est pas comparable ou n'a pas la même signification que le résultat obtenu en (a). On utilise ici une « probabilité subjective » car il n'y a pas de statistique historique pleinement exploitable (Figure 5).

(CP3) - Lieu de référence d'occurrence de l'événement. De la même manière que pour l'échelle de gravité, le référentiel « spatial et organisationnel » influence fortement la quantité d'information à disposition et la signification de la probabilité calculée. Il est bien évident que si la source d'information s'étant au-delà du système étudié, la chance d'avoir une quantité d'information importante s'en trouve accrue ; et la probabilité d'occurrence calculée peut être « surévaluée ».

(CP4) - Nombre d'échelon. On entend donner, à travers ce critère, des indications sur la distribution des échelons. On constate ainsi, que l'ensemble des échelles de probabilité d'occurrence répertoriées présentent, quand elles sont de nature qualitative ou semi-quantitative, un nombre d'échelon s'étalant entre 3 et 6. Notons que l'une des seules échelles purement quantitatives est celle de la grille de criticité suisse OFEFP. Ceci s'explique par l'effort important entrepris pour disposer d'un maximum de données quantifiables.

(CP5) - Nature de l'échelle agrégée. Le rapport Merad (2004) révèle la présence de trois types d'échelle de probabilité d'occurrence : qualitative, semi-quantitative et quantitative.

(CP6) - Logique d'évaluation. La manière dont la probabilité d'occurrence est obtenue est selon les cas rencontrés soit : Non explicitée ; directe (critères) ; indirecte (par barrières).

Case de la grille de criticité (niveau de risque et acceptabilité)

Sept critères ressortent de l'analyse des différentes cases de la grille de criticité

(CR1) - Signification de la case. La lecture de la case (niveau de criticité) dépend de la signification et la technique utilisée pour obtenir un niveau de probabilité et un niveau de gravité. Ainsi, un niveau de criticité obtenu avec une grille « A » et un autre obtenu avec une grille « B » n'ont pas forcément la même signification et les mêmes implications en termes de mesures. Ceci s'explique du fait de la grande diversité des démarches utilisées pour y parvenir.

(CR2) - Nature de l'évaluation. Le croisement entre la gravité et la probabilité prend souvent une forme qualitative (un numéro), semi-quantitative (note) (ex. TOTAL, AVENTIS, etc.).

(CR3) - Catégories de risque. Lorsqu'un niveau de criticité est indiqué dans la case de la grille (ce qui n'est pas forcément le cas), les niveaux de risque peuvent s'étaler, d'une grille à l'autre, entre 4 à 36.

(CR4) - Evaluation attribuée à la case (G, P). On constate qu'au croisement de la probabilité d'occurrence et de la gravité on peut retrouver, selon les grilles, parfois une note, un numéro (Gravité, probabilité), ou une case vide.

(CR5) - Règle de croisement (agrégation). Lorsqu'un niveau de criticité (de risque) est attribué à la case, les règles de croisement entre le niveau de probabilité P et le niveau de gravité G sont : l'addition (P+G) (ex. AVENTIS), ou la multiplication (P×G) (ex. TOTAL-ELF-FINA).

(CR6) - Règle de passage du risque acceptable au non acceptable. Une fois le scénario d'accident positionné sur la grille et renseigné sur la base d'un niveau de criticité, il devient nécessaire d'identifier si le risque est jugé acceptable ou non. Le tableau de synthèse ci-dessous montre que la manière de procéder est dans certain cas « explicitée », et dans d'autre cas non.

(CR7) - Mesures suite à l'estimation du niveau de risque. Le jugement sur l'acceptabilité du risque ou non se fait normalement dans la perspective de choix de mesures de réduction du risque (Sécurité (audit), comprendre l'événement, avis, amélioration, etc.). Le rapport Merad (2004) révèle que ceci n'est pas toujours le cas et que les mesures ne sont pas toujours explicitées.

c). Sur la nature des incertitudes prises en compte dans la cartographie des risques a spatialisée.

Les mêmes constats concernant les cartographies des risques spatialisées sont applicables dans ce cas d'espèce. Il n'est pas fait référence explicitement à la manière avec laquelle les incertitudes sont prises en compte. La prise en compte de l'incertitude sur l'information et la connaissance semble considérée au moment des échanges et débats au moment de la caractérisation du niveau de risque et de facto du niveau d'acceptabilité.

I.3). De la prise en compte des incertitudes et de la dimension temporelle dans les cartographies des risques

L'analyse de l'état de l'art sur les articles scientifiques publiés entre 1996 à nos jours sur le thème « de la cartographie des risques » nous a permis d'établir le bilan présenté dans le tableau ci-dessous. Ces références comportent : plus de 65 références bibliographiques sur les matrices de risques, 34 références sur les cartographies des risques, 34 références sur les cartographies d'aléas et 26 références bibliographiques sur la prise en compte des incertitudes dans la cartographie des risques.

Tableau 1. Modalités de prise en compte de l'incertitudes et de la dimension temporelle dans les cartographies des risques

	Cartographie des risques	
	Spatialisée	A-spatialisée
Nature de l'information représentée	<ul style="list-style-type: none"> Aléa Enjeux Vulnérabilité Risques 	<ul style="list-style-type: none"> Probabilité Gravité des conséquences Enjeux Risques Acceptabilité Niveaux de criticité Mesures de maîtrise des risques
Nature des événements considérés	<ul style="list-style-type: none"> Discontinu – ponctuel – accidentel Continu et diffus (ex. des pollutions atmosphériques -cartes de concentration et d'émissions) Phénomènes territorialisés ou localisés. Peu d'information sur les événement a-territorialisés. 	<ul style="list-style-type: none"> Scenarios accidentels RAS (continu)
Représentation graphique de l'incertitude	<ul style="list-style-type: none"> RAS Caractérisation d'un niveau de probabilité 	<ul style="list-style-type: none"> RAS Caractérisation d'un niveau de probabilité
Nature de l'incertitude explicitement prise en compte	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude sur l'avènement de l'évènement dommageable (incertitude temporelle). 	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude sur l'avènement de l'évènement dommageable (Incertitude temporelle).
Nature des incertitudes non explicitement prise en compte	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude sur l'information Incertitude sur la connaissance Incertitude sur l'évolution temporelle Incertitude translationnelle (ex. juridique, administrative, contextuelle, etc.). 	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude sur l'information Incertitude sur la connaissance Incertitude sur l'évolution temporelle Incertitude translationnelle (ex. juridique, administrative, contextuelle, etc.).
Explicitation cartographique des évolutions du niveau de risque dans le temps	<ul style="list-style-type: none"> RAS 	<ul style="list-style-type: none"> RAS
Contraintes réglementaires	<ul style="list-style-type: none"> Pour les événements majeurs au sens de la loi. 	<ul style="list-style-type: none"> Pour les événements majeurs au sens de la loi.
Destinataires et utilisateurs finaux	<ul style="list-style-type: none"> Services de l'Etat (central et déconcentrés). Préfet Collectivité Instances d'expertise 	<ul style="list-style-type: none"> Services de l'Etat (déconcentrés) Exploitant Gestionnaire Assurances Service de notion financière et extra financières Assurances et réassurances Actionnaires Instances d'expertise
Autres acteurs destinataires de l'information	<ul style="list-style-type: none"> Parties prenantes Riverains 	<ul style="list-style-type: none"> Parties prenantes Riverains

Ce constat bibliographique nous permet de poser différentes hypothèses soit la représentation des incertitudes, au sens large, de l'évolution temporelle des niveaux de risque :

- ne font pas problèmes pour la communauté scientifique et technique ;
- nécessitent d'autres formes de représentations graphiques du type des réseaux d'influences par exemple.
- ne sont pas jugées utiles voire pertinentes par les décideurs, par les acteurs et les parties prenantes des territoires ;

Pour investiguer ces hypothèses, nous avons référencé plus de 154 articles (de 1992 à nos jours) de presses dans des journaux à portée nationale (ex. Le Monde, Le Figaro, La Croix, etc.), des journaux spécialisés et grand public (ex. Droit de l'environnement, Europolitique, etc.), des articles publiés par différentes institutions et organismes (ex. La Banque mondiale, le CIRAD, etc.) (Cf. Figure 10 et Figure 11).

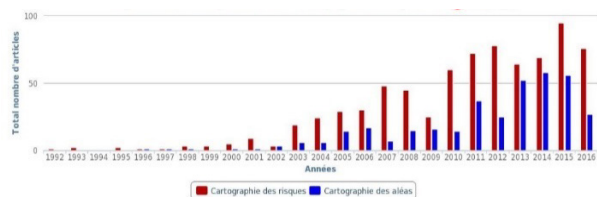


Figure 10. La présence médiatique du thème « Cartographie des risques et des aléas »



Figure 11. La place des PPR (N, M et T) considérant la présence médiatique du thème cartographie des risques et des aléas

Parmi les thèmes les plus présents en matière de cartographie des risques, nous retrouvons les cartographies territorialisées utilisées dans le cadre des PPR (Figure 11).

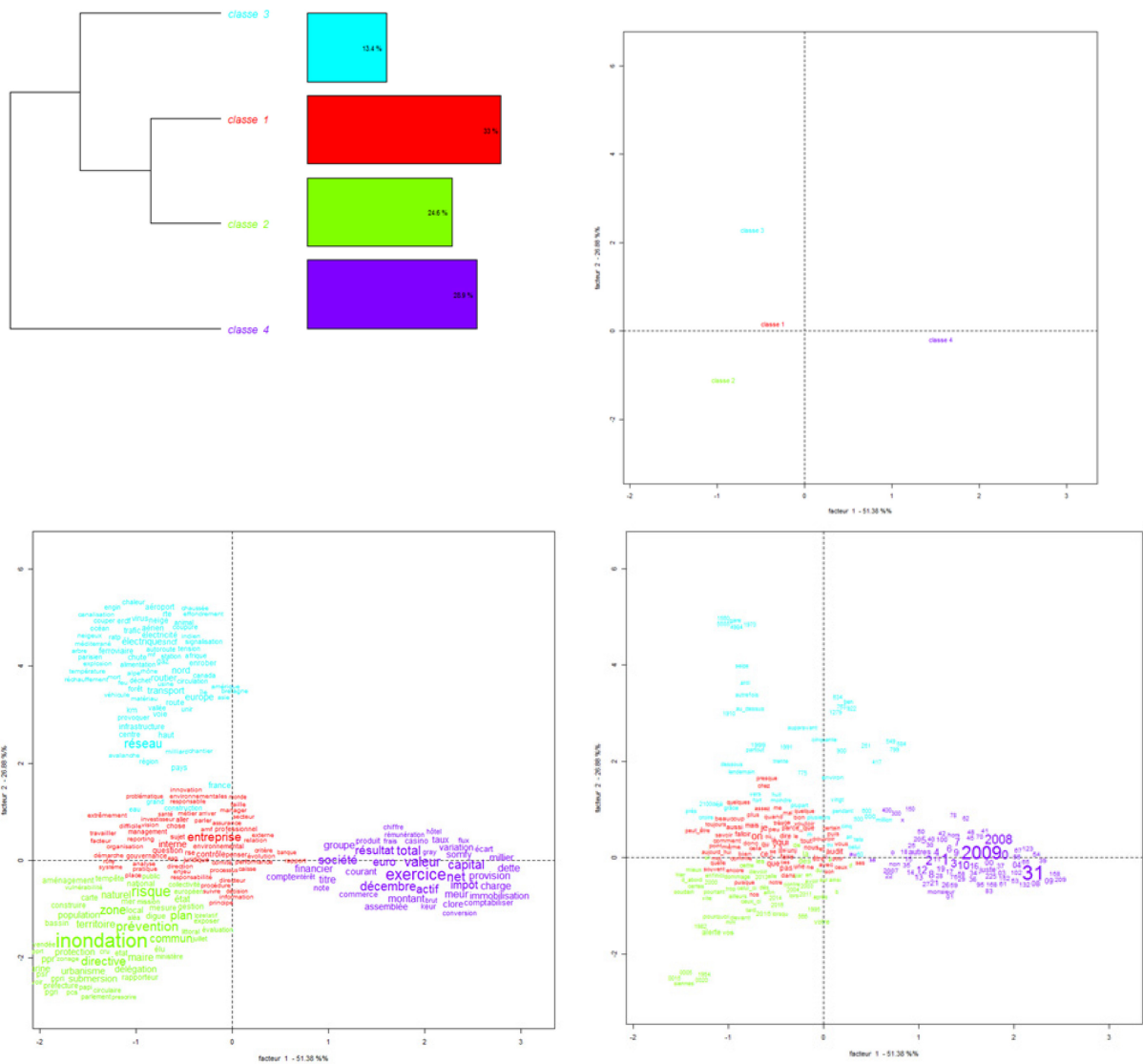


Figure 12. Analyse factorielle et classification hiérarchique du contenu des plus de 154 articles publics portant sur la cartographie des risques et des aléas

L'analyse textuelle prenant appui sur les outils Tropes, Lexico3, Iramuteq et Alceste ont permis de faire ressortir quatre typologies de domaines où les cartographies des risques et des aléas sont le plus mobilisées dans la sphère médiatique et publique : la prévention des risques et principalement PPR type Inondation où les cartographiques vise la prévention, la préparation et la gestion et maîtrise de l'urbanisation (classe 2) ; la prévention des risques financiers pour les sociétés (Classe 4) ; le management des entreprises et la gestion des risques sociétaux et environnementaux (Classe 1) ; la problématique de la gestion des infrastructures critiques et des réseaux soumis aux aléas naturels et technologiques (Classe 3) (cf. **Figure 12**).

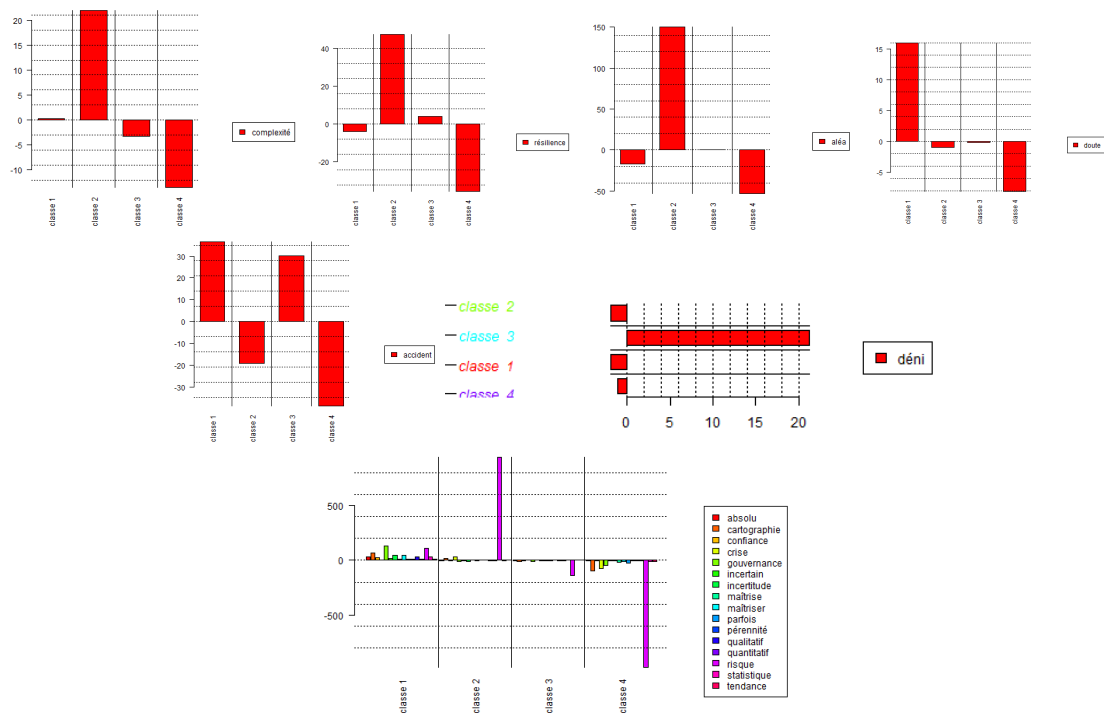


Figure 13. Les différentes figures de l'expression des incertitudes et de l'évolution des risques dans le temps (Chi2 par classe) L'analyse du contenu des textes révèle qu'un fort besoin d'explicitation des incertitudes est porté par la classe 2 (cf. **Figure 13**, voir les mobilisations des notions de complexité, de résilience, d'aléa, de doute, de crise, d'impossible, d'inconcevable et de dénis par exemple. Ceci porte principalement sur : la vraisemblance de l'occurrence des événements et de leurs conséquences, sur les complexités administratives et sur les potentialités de récupération (de résilience) des personnes, des organisations et des territoires. Une amélioration des modes de gouvernance et d'interaction entre les acteurs de la prévention des risques et une meilleure lisibilité des cartographies des risques sont présentés comme étant des solutions envisageables.

II). Recommandations et solutions envisageables pour la cartographie des risques liées aux pollutions atmosphériques

La prise en compte des effets de la pollution atmosphériques sur la santé et l'environnement est un sujet de préoccupation majeur dans le monde en général et en France en particulier. En France, la prise en compte des risques liés aux pollutions atmosphériques dans les textes de loi est très récente. Nous nous sommes penchés sur la problématique de la cartographie des risques liés aux pollutions atmosphériques et sur la représentation des incertitudes en vue d'améliorer la prévention de ces derniers par les services de l'Etat et par les citoyens.

Dans cette perspective, nous avons établi un état de l'Art des cartographies en la matière.

II.1). Les cartographies en France et à l'étranger portant sur les pollutions atmosphériques

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (loi LAURE) du 30 décembre 1996 reconnaît à chacun le droit de respirer un air non pollué. Afin de faire respecter ce droit, l'Etat s'est doté d'une surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire et fait appel aux Associations Agréées pour la Surveillance de Qualité de l'Air (AASQA). Ces dernières ont, outre la charge de surveiller la qualité de l'air, d'informer le public et les autorités par la publication de rapports d'activité, par la diffusion d'indices de qualité de l'air (l'indice Atmo), de fournir de l'informations chiffrées ou cartographiées via des bulletins périodiques et leur site internet.

Chaque AASQA produit à cet effet et met à disposition des cartes journalières de la qualité de l'air pour sa région ainsi qu'un indice atmosphérique.

Aux contributions des AASQAs vient se rajouter les travaux de la plate-forme nationale de prévision de la qualité de l'air PREV'AIR. Cette plateforme de prévision de la qualité de l'air, est développée et gérée au quotidien par l'INERIS. PREV'AIR met, entres autres, à disposition des cartes de concentration des polluants dans l'air à l'échelle nationale.

La réglementation française impose des valeurs réglementées pour douze polluants. Ces douze polluants sont : le dioxyde d'azote (**NO2**), les oxydes d'azote (**NOx**), les dioxydes de soufre (**SO2**), le plomb (**Pb**), les particules fines de diamètre inférieur ou égal à 10 µm (**PM10**), et de diamètre inférieur ou égal à 2.5 µm (**PM2.5**), le monoxyde carbone (**CO**), le Benzène (**C6H6**), l'ozone (**O3**), l'arsenic (**As**), le cadmium (**Cd**) et le plomb (**Pb**). Selon le type de polluant, des valeurs limites, cibles, des objectifs de qualité et des seuils d'information et recommandation et d'alerte sont fixés.

Notons que trois ou quatre polluants sont cartographiés par les AASQA et la plateforme PREV'AIR. Les quatre polluants cartographiés sont les PM10, PM2.5, le NO2, et l'O3. Ce choix peut s'expliquer par les effets néfastes de ces polluants sur l'environnement, la santé humaine et leur importance en termes de concentration dans les lieux fortement urbanisées.

Les cartographies à l'échelle locale, nationale et internationales

Plusieurs cartographies sont réalisées et mises à disposition quotidiennement sur les différentes régions de France soit de manière globale soit portant sur un polluant particulier (ex. le dioxyde d'azote). Sur les différentes cartes réalisées par les AASQA, les codes couleur sont quasi équivalents **bleu/vert** pour un air peu pollué et **rouge** pour un air très pollué. Certaines AASQAs fournissent des cartes de qualité de l'air dites « globale » alors que d'autres fournissent de cartes « polluants par polluants ». Nous avons pu constater que, la signification du code couleur cartographié pouvait, selon les AASQA, avoir une signification différente et le nombre de couleur aussi (10 couleurs pour les cartes en région Centre et PACA mais seulement 5 valeurs pour l'Ile de France).

De même, il est possible de projeter sur une carte un indice atmosphérique pour chaque région. Cet indice rend compte de la qualité de l'air pour des zones habitées par au moins 100 000 habitants sur une échelle allant de 1 (air peu pollué) à 10 (air fortement pollué). Cet indice est calculé à partir des moyennes des concentrations maximales horaires pour l'ozone (O3), le dioxyde de soufre (SO2) et d'azote (NO2) et pour les particules fines (PM10). À chaque sous-indice de polluant correspond une

valeur d'indice Atmo. L'indice Atmo global (agrégé) correspondant au plus élevé des quatre sous-indices de polluant atmosphérique.

Les cartographies fournies sur le site Prev'Air fournissent une information quotidienne, polluant par polluant des concentrations dans l'air pour toute la France (cf. site de la plateforme internet de PREV'AIR). Cette plateforme suit les mêmes couleurs de cartographie en usages chez les AASQA (Couleurs froides pour les faibles concentrations et chaudes pour les fortes concentrations). Six gammes de couleur sont utilisées et chaque gamme de couleurs est associée à une concentration minimum et maximum (excepté pour la concentration 80 µg/m³). La plateforme permet aussi de visualiser le maximum et la moyenne journalière ainsi que les valeurs limites. Certaines des valeurs utilisées pour l'échelle Prev'Air dépendent de la réglementation française (les valeurs limites à ne pas dépasser, les objectifs et les seuils de recommandation et d'information et les seuils d'alerte).

Qu'il s'agisse des cartographies des AASQA ou des cartographies Prev'Air, ces dernières fournissent et représentent l'état des pollutions de l'air sur le territoire français et ses régions. Dans la conceptualisation des risques, le phénomène de pollution et sa dynamique représente « l'aléa ». Nous allons voir dans cette seconde partie comment passer d'une carte d'aléa à une carte de risque.

A l'étranger, différentes cartographies des risques ont été identifiées aux Etats-Unis d'Amérique (USA) ou au Canada par exemple. Au Canada, la cote air santé (CAS) prend en considération un ensemble de produits chimiques et donc les mélanges de polluants. Cette approche a la particularité d'être particulièrement réaliste puisqu'une personne est soumise à un cocktail de polluants dans l'atmosphère qu'il absorbe au quotidien. Le niveau de danger pour la santé est dans ce cas de facto plus important que lors des pics de pollution car la dangerosité des polluants est cumulative et non majorante (voir la notion d'exposome).

Aux USA, US EPA (Environmental Protection Agency) a mis en place une démarche de cartographie des risques encourus par la population américaine au vu de la pollution de l'air. Cette cartographie, qui n'est actuellement plus mise à jour, repose sur la méthode d'évaluation des risques sanitaire développée par l'EPA. Quatre séries de données concernant les sources de pollution de l'air ont été utilisées pour réaliser ces cartes de risques : des données de l'US EPA ; des données issues du système de l'équipement aérien (AFS : Air Facility System) ; d'un modèle indicateur de risques environnementaux (RSEI : Risk-Screening Environmental Indicators) ; ainsi que d'un inventaire des émissions de produits toxiques TRI dans l'air (The Toxics Release Inventory) :

- EPA fournit une liste de surveillance des activités pouvant être à l'origine de pollution de l'air (Loi en matière de diminution du smog et de la pollution de l'air au sens large). Cette liste est appelée list Clean Act.
- RSEI utilise des informations provenant de l'inventaire (TRI). Le modèle analyse les rejets de substances chimiques toxiques et les activités de gestion des déchets dans les installations industrielles et fédérales à travers les États-Unis.
- AFS vérifie la validité des informations concernant les sources de pollution de l'air. En effet un permis d'exploitation est délivré aux industriels seulement s'ils fournissent des données concernant leur émission de polluants dans l'air. Ce document contient des informations sur les inspections, les mesures d'exécution, les sanctions et la conformité du site.
- TRI contient des informations concernant des produits chimiques utilisés par certaines installations. Il ne contient pas tous les produits chimiques (Exclut les sources de petite taille comme les stations d'essence et les sources mobiles).

Au vu des critères et des indicateurs identifiés dans l'état de l'Art, plusieurs critères de qualification d'un niveau de risque peuvent être suggérés.

II.2). Suggestions de critères et démarches de cartographie des risques

L'article L. 221-6 du code de l'environnement a récemment été modifié et la notion de risque y a été ajoutée. Ces modifications sont les suivantes

- Au deuxième alinéa, après les mots : « ses effets sur la santé et l'environnement », sont insérés les mots : « et les risques qui en résultent ».

- « Lorsque les normes de qualité de l'air mentionnées à l'article L. 221-1 ne sont pas respectées ou risquent de ne pas l'être, le public en est immédiatement informé par l'autorité administrative compétente. Cette information porte également sur les niveaux de concentration de polluants, les risques sur la santé et l'environnement, les conseils aux populations concernées et les dispositions arrêtées. L'autorité administrative compétente peut déléguer la mise en œuvre de cette information aux organismes agréés prévus à l'article L. 221-3 ».

Afin de fournir des éléments d'information dans le respect de cette loi, une cartographie des risques liés à la pollution de l'air sera proposée dans les paragraphes suivants.

Dans le cadre de cet article, nous tenons à distinguer deux catégories de phénomènes et de risques : Les risques liés à une pollution permanente et quotidienne (continue et diffuse) et les risques liés à une pollution ou à une tendance ponctuelle ou dite accidentelle (ex. pic). Les mesures de gestion de la crise et les mesures de prévention des risques à mettre en place suite à une pollution permanente sont a priori différentes de celles mises en place pour limiter l'impact d'un événement ponctuel et accidentel.

A ce titre, il apparaît pertinent de fournir des cartographies différentes pour ces deux typologies de risques.

Les cartes de risques liés à une pollution accidentelle sont généralement faites lors d'un PPRT (ex. cartographie de l'aléa toxique). Des cartographies des risques liées à des pics de pollutions sont en cours de réflexion méthodologique dans le cadre d'une collaboration INERIS-IRSN.

La démarche générale d'évaluation des risques sanitaires (ERS) mise en place aux Etats-Unis dans les années 80 est décrite dans un document de la National Science Fondation de 1983 intitulé : « Risk assessment in the federal government, managing the process ». Ce document présente une méthode ERS en 4 étapes telle qu'elle existe aujourd'hui. Ces quatre étapes sont décrites ci-dessous :

- **Identifier les dangers** : de quelle manière l'exposition à une substance peut être à l'origine d'effets sanitaires et quels sont ces effets.
- **Définir une relation dose-réponse** : quelle est la relation entre une dose de substance administrée ou reçue et l'incidence d'un effet néfaste dans la population exposée.
- **Evaluer l'exposition** : mesurer ou estimer l'intensité, la fréquence et la durée d'exposition humaine à une substance.
- **Caractériser le risque** : estimer les effets sanitaires dans la population en fonction des conditions d'exposition définies précédemment.

Quant aux risques liés aux pollutions continues, elles sont la résultante de la rencontre d'aléas (configurations d'émission, de météo et de concentration de polluants dans l'air, de la cinétique et de la nature du phénomène), de la nature des enjeux sur une zone territoriale donnée (ex. région) et de leurs vulnérabilités, des moyens de prévention des risques et des configurations de l'exposome risque à l'échelle de la maille territoriale choisie.

Risque (santé, organisation, territoire) = Fonction (Aléas, enjeux, vulnérabilité des enjeux, moyens de prévention des risques, configuration de l'exposome)

Notre définition va plus loin que la définition établie par la NSF.

Un aléa est défini par la nature du phénomène redouté, par une intensité, une cinétique, une occurrence spatiale et temporelle. Les enjeux et la vulnérabilité sont liés à la présence humaine (personnes, habitations, activités économiques, infrastructure, etc.).

Différents critères peuvent servir à caractériser et évaluer les risques liés aux pollutions atmosphériques :

Tableau 2. Modalités de prise en compte de l'incertitudes et de la dimension temporelle dans les cartographies des risques

Type	Critères	Sources d'information
Aléa	Nature du phénomène	
	Emission industrielle	Données utilisées par les AASQAs. Inventaires émissions industrielles – facilement renseignable
	Emission linéique (ex : trafic routier)	Données utilisées par les AASQAs. Calcule modèle – facilement renseignable
	Emission surfacique (ex : activité agricole)	Données utilisées par les AASQAs. Inventaire émission – facilement renseignable
	Emission volumique (ex activité tertiaire ou résidentielle)	Données utilisées par les AASQAs. Inventaire émissions – facilement renseignable
	Durée d'exposition	Données utilisées par les AASQAs – facilement renseignable – facilement renseignable
	Fréquence d'exposition	Données utilisées par les AASQAs – facilement renseignable
	Condition météorologique et géographique (ex : Relief, Inversion de température, Absence de vent, Ilot de chaleur au-dessus des villes)	Modèles + Mesures/Expériences Moyennement renseignable
	Dose – Réponse	Modèles + Mesures/Expériences Difficilement renseignable car nombreux polluants
	Probabilité/ possibilité d'occurrence des phénomènes polluants	-
Enjeux et Vulnérabilité	Densité de population	Base de données IGN – facilement renseignable
	Pyramide des âges	INSEE
	Etendue de la zone d'étude	Base de données IGN – facilement renseignable
	Installations classées	Information collectivités, préfectures, DDP
	Monuments historiques	Base de données IGN – facilement renseignable
	Natura 2000	Base de données IGN – facilement renseignable
	Présence de crèche, d'école, collège et lycée.	Base de données IGN – facilement renseignable
	Présence d'hôpitaux	Base de données IGN – facilement renseignable
	Présence de maisons de retraite	Base de données IGN – facilement renseignable
	Présence de grand complexe sportif	Base de données IGN – facilement renseignable
Mesures de prévention	Liste des mesures par secteurs d'activité et par territoires	PREPA, PPA, etc.
Configuration de l'exposôme	Niveau d'aléas et de risques liés aux différents phénomènes et inégalités territoriales	Sites des préfectures, des collectivités, etc.
	Récurrence des pics de pollutions par territoire	Bilan INERIS, AASQA, CITEPA.
	Nombre de décès par an	-
	Nombres d'indisponibilité et d'arrêt maladie	-

Pour de la cartographie des risques pour la santé, il nous semblait pertinent de considérer avec un poids plus importants les critères tels que le niveau et la nature des émissions, la durée et la fréquence d'exposition, la densité de population, la présence de personnes vulnérables (personnes âgées, jeunes, malades), la relation dose – Réponse et l'exposôme.

Les niveaux d'incertitude les plus importants sont sur la météo locale et ses incidences sur la concentration et les relations de dose à réponse.

Cinq couleurs du bleu au rouge représentant différents niveau de risques pourrait être utilisés : (1) Très peu risqué, (2) Peu risqué, (3) Moyennement risqué (seuil de déclenchement de mesures de prévention pour les populations les plus vulnérables), (4) Risqué et (5) Très risqué.

Les cartographies des risques se devront de distinguer différents acteurs et destinataires (par exemple, le préfet de la région A voudrait savoir si le risque est plus élevé à cause de l'industrie proche d'une ville ou de l'exploitant agricole) pour jouer leur rôle d'outil de prévention.

Les mesures pouvant être mises en place, en fonction du niveau de risque, peuvent s'inspirer des pratiques des PPR à savoir de la maîtrise de l'urbanisation et de la réduction de la vulnérabilité des territoires (ex. mesure de régulation de la circulation automobile). D'autres mesures de prévention pourraient consister à repenser le schéma de développement économique et énergétique au niveau de la région et en inter-régional. Le financement de ces mesures pourrait de même s'inspirer des modalités tripartites des PPRT.

Concernant les conditions d'une plus grande lisibilité, par les parties prenantes, des cartographies des risques et des mesures à prendre, il serait nécessaire de travailler sur l'ambiguïté générée par le fait qu'il arrive parfois que des mesures visant à limiter la pollution soient prises dans une région donnée alors que les émissions proviennent d'une autre. Dans ce contexte, la population concernée ne conçoit pas qu'une pollution dans la « région A » crée un pic de pollution dans la « région B ». A ce titre, nous proposons les pistes d'amélioration suivantes des cartographies de pollutions atmosphériques :

- en plus d'une cartographie agrégée des risques ou des concentrations, il serait nécessaire de permettre à la partie prenante de disposer de l'information cartographique sur les champs de vents et les lignes de relief afin de comprendre pourquoi dans certains cas pourquoi la pollution s'accumule. En effet dans un fond de vallée étroite, la pollution aura tendance à stagner. L'origine des masses d'air pourra être ajoutée. Prenons l'exemple d'un pic de pollution sur Paris causé par l'activité industrielle allemande. Avec les industries allemandes et la rétro trajectoire de la masse d'air, le public comprendra l'origine de la pollution.
- Les localisations des grandes villes, des sites industriels et des exploitations agricoles pourraient de même figurer comme information supplémentaire.
- Les tendances de l'évolution de la qualité de l'air (avant et après), ou des concentrations des polluants dans l'air.
- La mise à disposition des listes des mesures de préventions à prendre, région par région, avant, pendant et après les pics de pollutions.

Conclusion

Les pratiques de cartographie des risques sont à la fois assez diversifiées dans leurs usages et à la fois assez similaires dans les mises en perspectives des niveaux de risques. Cet article a été l'occasion d'effectuer un état des lieux analytiques des cartographies des risques spécialisées et a-spatialisées en France.

Les représentations des incertitudes et de la dimension temporelle au sein de ces cartographies des risques sont largement sous représentées. Nous avons émis plusieurs hypothèses à cet effet dont l'une « le fait que ces informations complémentaires ne soient pas jugées utiles voire pertinentes par les décideurs, par les acteurs et les parties prenantes des territoires ». Cet hypothèse a pu être invalidée par l'analyse des attentes de ces différents acteurs relayées sur plus de 154 articles publiés entre 1992 et 2016.

Cet article a aussi été l'occasion de se pencher sur les pratiques en matière de cartographie des risques liées aux pollutions atmosphériques et de proposer des pistes d'amélioration en la matière.

Références

- [1]. Merad M., Guionnet D., Rouil L. (2015). Controversy of public policy analytics in terms of risks prevention: the case of air pollution. Citizen Science International Workshop. 14-15 December 2015. Université Paris Dauphine.
- [2]. Merad M., Rouil L. (2014). A methodological and practical contribution to air quality policy analytics. SRA annual meeting. Denver. 9 décembre 2014.
- [3]. Merad M., Verdel T., Roy B., Kouniali S. (2003). Use of multi-criteria-aids for risk zoning and management of large area subjected to mining-induced hazards. Tunnelling and Underground Space Technology, 2004, vol. 19, n° 2.
- [4]. Merad M., Rodrigues N., Salvi O. (2008). Urbanisation control around industrial Seveso sites: The French context. International Journal of Risk Assessment and Management - Issue: Volume 8, Number 1-2/2008 -Pages: 158 – 167.
- [5]. Merad M. (2004). Analyse de l'état de l'Art sur les grilles de criticité. Rapport INERIS, 26 p (hors annexe).
- [6]. Merad M., Wattelet J-M. (2004). Retour d'expérience PPRN et état des lieux PPRM. Rapport INERIS.
- [7]. Merad M., Dechy N. (2010). Risk governance for sustainable territories: the french case and some challenges. Institut de seguretat publica de catalunya (ISPC) Journal.