

UNIVERSITÉ DE BOURGOGNE FRANCHE-COMTÉ

**ÉCOLE DOCTORALE
LETTRES, COMMUNICATION, LANGUES, ARTS**

LABORATOIRE ELLIADD – EA 4661

Thèse en vue de l'obtention du titre de docteur en
SCIENCES DE L'INFORMATION ET DE LA COMMUNICATION

**COMMUNICATION DE CRISE EN PHASE
POST-ACCIDENTELLE NUCLÉAIRE : ORGANISATION
ET PARTAGE DES CONNAISSANCES SUR LE WEB**

Présentée et soutenue publiquement par

Antonin SEGALT

le 9 novembre 2017

Sous la direction de M. le Professeur Ioan ROXIN

Membres du jury :

Laurence BALICCO, Professeur à l'Université Grenoble Alpes, Présidente du jury

Stéphane CHAUDIRON, Professeur à l'Université de Lille 3, Rapporteur

Sylvie LAINÉ-CRUZEL, Professeur à l'Université Jean Moulin Lyon 3, Rapportrice

Ioan ROXIN, Professeur à l'Université de Franche-Comté, Directeur de thèse

Federico TAJARIOL, MCF HDR à l'Université de Franche-Comté, Co-encadrant

*À mon grand-père, Marcel,
un regard d'enfant dans l'œil d'un sage.*

Remerciements

Si une bonne direction n'est pas suffisante pour faire une bonne thèse de doctorat, elle n'en est pas moins indispensable. À ce titre, je remercie Ioan Roxin pour les innombrables conseils qu'il m'a dispensés avant, pendant et – déjà – après cette thèse. En me poussant à aller toujours plus loin, il m'a permis de découvrir de nouveaux horizons intellectuels et humains. Ma reconnaissance va également à Federico Tajariol pour son aide constante, à travers chaque article, chaque livrable, chaque page de ce mémoire. Merci de m'avoir fait confiance et de m'avoir donné les moyens d'en être digne.

Je tiens également à remercier les membres de mon jury de thèse pour l'attention qu'ils ont portée à mes travaux. Mme Laurence Balicco, pour avoir assuré la présidence du jury, Mme Sylvie Lainé-Cruzet et M. Stéphane Chaudiron pour leur travail de rapporteurs de ce mémoire. Les remarques et suggestions, dans leurs rapports et lors de la soutenance, seront précieuses pour la construction de ma vie de chercheur.

Au cours de mes travaux, j'ai reçu le soutien de nombreux chercheurs et enseignants. Je remercie notamment les acteurs du projet SCOPANUM, et tout particulièrement Liviu-Adrian Cotfas, pour notre longue et fructueuse collaboration. Lors de mon séjour à Tsukuba, le suivi et la bienveillance des professeurs Saburo Aoki et Muneo Kaigo m'ont été extrêmement précieux. Mes remerciements s'adressent plus généralement à tous les collègues (plus ou moins) montbéliardais, les anciens de l'équipe OUN, les nouveaux du pôle CCM, les enseignants du Département Multimédia et les piliers de l'UFR STGI, qui m'ont accompagné tout au long de ces années.

Mes pensées vont également vers mes compagnons d'infortune dans ce tumultueux voyage que fut la thèse. Je salue les anciens doctorants et post-doctorants d'ELLIADD, avec qui j'ai partagé tant de moments presque toujours studieux à Montbéliard : Clément Borel, Diane Dufort, Sébastien Juchs, Mihaela Rositoru, Ioan Szilagyi. Je ne peux pas oublier le clan de Tsukuba, notamment Marie Bagi, Barbara Kopac et Tamara Sulgoi. Je souhaite beaucoup de courage et de réussite à ceux pour qui il reste encore un peu de chemin à parcourir, en particulier Housain Abdulgalil, Aymeric Bouchereau, Françoise Chambefort et Ibrahim Maidakouale.

Enfin, j'exprime tout ma gratitude aux proches qui m'ont soutenu, de près ou de loin, parfois sans trop s'en douter, à travers les bons comme les mauvais moments. Ma sœur, Émeline, et mon père, Gérard, pour m'avoir régulièrement rappelé l'existence d'un monde en dehors du travail. Mes oncles et tantes montbéliardais, pour leur accueil et leurs coups de mains réguliers. Aurélien et sa petite famille, toujours présents et toujours réconfortants malgré la distance. Et tous les amis, animateurs et directrices, bidouilleurs et créatrices, qui se reconnaîtraient s'ils lisaient ce mémoire et que j'excuse par avance de ne pas le faire.

Table des matières

Introduction	1
1 Cadre scientifique	2
2 Problématique et questions de recherche	3
3 Méthodologie	5
4 Enjeux de la recherche	6
5 Contexte de la recherche	8
6 Plan de la thèse	10
1 Communication de crise post-accident nucléaire	13
1.1 Crise et communication	14
1.1.1 Risque et crise : définitions	14
1.1.2 Communication et gestion de crise	18
1.2 Communication et gestion des accidents nucléaires	25
1.2.1 Nucléaire et radioprotection	25
1.2.2 Gestion des accidents nucléaires et radiologiques	31
1.2.3 Communication de crise nucléaire	38
2 Communication médiatisée en situation de crise	47
2.1 Usage des médias sociaux pour la communication de crise	48
2.1.1 Médias sociaux et Web social	48
2.1.2 Communication de crise via les médias sociaux	56
2.2 Modélisation sémantique de l'information en situation de crise	64
2.2.1 Représentation sémantique des connaissances	64
2.2.2 Outils de modélisation et de traitement sémantique	70
2.2.3 Web Sémantique et communication de crise	77

3	Partage des mesures de la radioactivité via les médias sociaux	83
3.1	Partage des mesures de la radioactivité après Fukushima	84
3.1.1	« No data and bad data »	84
3.1.2	Partage, agrégation et mesures collaboratives	86
3.1.3	Communautés de mesure et de partage	87
3.2	Outils pour l'étude des médias sociaux	92
3.2.1	Collecte des traces d'usages	92
3.2.2	Métriques et outils d'analyse	95
3.3	Première étude : des robots pour partager les mesures de la radioactivité	97
3.3.1	Robots, médias sociaux et objets connectés	97
3.3.2	Construction du corpus	99
3.3.3	Source des mesures publiées	100
3.3.4	Popularité des robots	101
3.3.5	Fiabilité et complétude des mesures	104
3.4	Deuxième étude : complétude des mesures partagées via les médias sociaux	107
3.4.1	Complétude des mesures de la radioactivité	107
3.4.2	Exploitation des métadonnées par les robots existants	108
3.4.3	Utilité perçue des métadonnées	111
3.4.4	Recommandations pour la publication des mesures	114
3.4.5	Prototype de robot	115
4	Partage des connaissances en phase post-accidentelle nucléaire	121
4.1	Organisation des connaissances pour la phase PAN	122
4.1.1	Conception d'un thésaurus de la radioprotection	122
4.1.2	Organisation des connaissances pratiques de radioprotection	129
4.1.3	Modélisation des échanges sur les médias sociaux	139
4.2	Application pour le partage des connaissances : Ginkgo	145
4.2.1	Stockage des données et mécanismes d'accès	146
4.2.2	Présentation et partage des connaissances	152
4.3	Évaluation de la plateforme	156
4.3.1	Méthodologie expérimentale	156
4.3.2	Analyses et résultats	159
4.3.3	Discussions et propositions	165

Conclusions et perspectives de recherche	169
1 Contributions et résultats	170
2 Bilan de la recherche	174
3 Nouvelles directions de recherche	177
Liste des publications au cours de la thèse	179
Références	181
Liste des figures	203
Liste des tableaux	207
Liste des abréviations	209
Annexes	211
Annexe A Complétude des mesures de la radioactivité	213
A.1 Questionnaire « experts »	213
A.2 Questionnaire « non-experts »	216
Annexe B Organisation des connaissances en radioprotection	219
B.1 Thésaurus de la radioprotection	219
B.2 Scénarios et documents	226
B.3 Pages du guide	230
Annexe C Evaluation de Ginkgo	259
C.1 Consignes d'évaluation	259
C.2 Questionnaire pré-test	263
C.3 Questionnaires post-test	264

Introduction

We can only see a short distance ahead, but we can see plenty there that needs to be done¹.

Alan Turing, *Computing Machinery and Intelligence*

En 2016, trente ans s'étaient écoulés depuis l'accident nucléaire de Tchernobyl et cinq ans depuis celui de Fukushima. Les commémorations de ces deux événements ont replacé les accidents nucléaires au centre de l'attention de nos sociétés. Cette médiatisation, bien qu'éphémère, rappelle une fois de plus à quel point l'impact de ces catastrophes sur notre monde est durable.

Les catastrophes nucléaires et la communication qui les entoure sont souvent vues comme des images d'un passé révolu et déjà plus ou moins lointain : la propagande soviétique et les errements des experts français après Tchernobyl, les déclarations rassurantes des autorités japonaises et l'emballement des médias sociaux après Fukushima. Pourtant, à ce jour, au Japon, en Ukraine, en Biélorussie ou en Russie, le quotidien de milliers de personnes est encore affecté par la contamination radioactive des territoires. Pour les habitants de ces territoires, l'accès à des connaissances complètes, fiables et adaptées est indispensable afin de surmonter les conséquences sanitaires, sociales et économiques de la crise. Les accidents nucléaires provoquent des crises qui durent longtemps et dont de nouvelles victimes s'ajoutent à chaque nouvelle génération. « La catastrophe est un arbre qui pousse », rapportait Svetlana Alexievitch² dans les campagnes biélorusses contaminées, et la communication des accidents nucléaires passés s'étend encore loin dans l'avenir.

1. « On ne peut voir qu'à une courte distance, mais il y a déjà là beaucoup à faire » (traduction personnelle)

2. Prix Nobel de littérature 2015, qui a notamment collecté les témoignages des victimes de l'accident de Tchernobyl dans son ouvrage *La Supplication : Tchernobyl, chroniques du monde après l'apocalypse* (1997)

Par ailleurs, les facteurs à l'origine de ces accidents nucléaires majeurs – conception des réacteurs, risques environnementaux, erreurs humaines – n'ont pas disparus et menacent encore de nombreuses centrales à ce jour. Malgré le renforcement des systèmes de sécurité après chaque catastrophe, des accidents de faible ampleur surviennent presque chaque jour dans le monde. Tandis que de nouvelles centrales nucléaires sont en construction dans plus de quinze pays³, le démantèlement des installations vieillissantes et les dilemmes posés par la gestion des déchets radioactifs nous engagent pour encore des siècles. La fin tant annoncée de l'ère atomique s'éloigne toujours plus, et un nouvel accident nucléaire majeur semble désormais inéluctable.

Pour ces raisons, les processus de gestion et de communication en situations de crise post-accidentelle nucléaire sont davantage le problème de demain que celui d'hier. Il est donc indispensable d'étudier les problématiques de gestion et de partage des connaissances propres à ces situations, tant en perspective des accidents futurs qu'en réponse à ceux qui sont déjà survenus.

1 Cadre scientifique

La communication de crise désigne la collecte, le traitement et la diffusion des informations nécessaires à la gestion d'une situation de crise (Coombs, 2010). En effet, les activités de gestion de crise exigent généralement la collaboration d'un grand nombre d'acteurs et d'organisations dont la perception de la crise, de sa gravité, de son étendue et de la manière appropriée d'y répondre varie très fortement (R. L. Heath, Palenchar, & O'Hair, 2009 ; Kasperson et al., 1988). La communication de crise doit permettre la création d'une image commune de la crise, reflétant ces multiples points de vue (Sarter & Woods, 1991 ; Seeger, 2013). Pour cette raison, elle ne peut pas se résumer à la seule diffusion d'informations, fournies par les autorités à destination du grand public. Un véritable dialogue doit être mis en place afin que les différents acteurs – qu'ils soient experts, décideurs ou simples citoyens – puissent partager⁴ et combiner leurs connaissances respectives.

Ces dernières décennies ont vu les technologies de l'information et de la communication (TIC) prendre une place croissante dans nos sociétés. Ces technologies – tout particulièrement les outils du Web social – ont transformé les pratiques de communi-

3. <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/UnderConstructionReactorsByCountry.aspx> (donnée de 2017)

4. La notion de « communication » est fondamentalement liée à celle de « partage », centrale dans ce mémoire. En effet, la racine latine *communicare* désigne autant la mise en relation que le partage et la mise en commun (Wolton, 2016, p.120).

tion dans de nombreux domaines, incluant les situations de crise (Hagar & Haythornthwaite, 2005; Palen et al., 2010). Les citoyens ont détourné ces outils pour diffuser des alertes, mais aussi partager des informations pratiques et coordonner leur réponse collective à la crise. Ils ont ainsi pu développer de complexes stratégies de communication de crise, parallèles à celles mises en place par les autorités (Sutton, Palen, & Shklovski, 2008; Vieweg, Hughes, Starbird, & Palen, 2010). En revanche, les acteurs historiques de la gestion de crise, tels que la sécurité civile et les organisations non gouvernementales (ONG), peinent à exploiter le potentiel des données circulant via ces nouveaux canaux de communication (Tapia, Moore, & Johnson, 2013). De nombreux chercheurs travaillent actuellement à combler cet écart⁵, afin que l'ensemble des acteurs de la communication de crise puissent tirer parti du potentiel des TIC.

Consécutivement à l'essor du Web, les outils du Web Sémantique ont été développés pour faciliter l'exploitation des données du Web par des agents logiciels (Berners-Lee, Hendler, & Lassila, 2001). Ces technologies, prometteuses pour l'organisation des connaissances, sont par ailleurs susceptibles de contribuer à l'interopérabilité entre différents systèmes d'information et de communication (Sheth, 1999). Ainsi, les technologies du Web Sémantique sont particulièrement intéressantes pour la communication de crise (S. Liu, Shaw, & Brewster, 2013), et leur intégration aux outils et procédures de gestion de crise utilisés sur le terrain doit être étudiée.

2 Problématique et questions de recherche

Les accidents radiologiques consistent en l'exposition d'individus à des niveaux dangereux de rayonnements ionisants, pouvant notamment résulter d'accidents nucléaires (ASN, 2005). Ces situations de crise présentent un certain nombre de spécificités complexifiant leur gestion et leur communication. La haute technicité du risque, la large échelle (spatiale et temporelle) de la crise, ou encore les controverses relatives aux effets sanitaires des rayonnements sont autant de défis en termes de communication de crise. Lors des graves accidents radiologiques survenus au cours des cinquante dernières années, la communication de crise auprès du grand public a été souvent imparfaite ou insuffisante, aggravant les conséquences de la crise et alourdissant sa gestion (Otway, 1991; Friedman, 2011; Li, Vishwanath, & Rao, 2014). Pourtant, à ce jour, la com-

5. Depuis 2004, la communauté internationale ISCRAM (*Information Systems for Crisis Response and Management*) réunit plusieurs centaines de chercheurs et organise plusieurs conférences annuelles : <http://www.iscram.org/>. Par ailleurs, des ateliers et sessions relatives à la gestion et à la communication de crise sont régulièrement incorporées dans des conférences de grande envergure.

munication prévue en cas d'accident en France est encore largement descendante : les autorités sont à l'initiative, tandis que les citoyens n'y ont qu'un rôle de récepteurs ou d'exécutants (CODIRPA, 2012).

En raison de l'étendue spatiale et temporelle de telles catastrophes, la communication de crise implique un grand nombre d'organisations – qui disposent de systèmes d'information, de normes, de procédures différentes – mais aussi de citoyens de langues, de cultures et de compétences variées. Le partage de connaissances entre ces multiples acteurs est ainsi un défi considérable, dont dépend fortement l'efficacité de la gestion de la situation post-accidentelle. Nous considérons que les technologies du Web Sémantique, par leur capacité à formaliser et à lier les différentes représentations de la crise, sont susceptibles de faciliter les échanges entre les acteurs tout au long de la crise. Par ailleurs, les autorités en charge de la gestion des crises radiologiques et nucléaires font preuve d'une certaine réticence à l'adoption des médias sociaux (CODIRPA, 2012, p.59). Nous estimons, au contraire, que les médias sociaux, en facilitant le dialogue et le partage d'informations entre toutes les parties prenantes, pourraient constituer une aide considérable pour la gestion de telles crises au long cours.

À notre connaissance, cependant, ces propositions n'ont été explorées ni par les organisations en charge de la sûreté nucléaire ni par la communauté scientifique. Dans cette thèse, nous nous efforçons donc d'évaluer le potentiel des TIC pour la communication de crise durant la phase post-accidentelle nucléaire (PAN), afin de répondre à la problématique suivante : **L'usage des technologies de l'information et de la communication peut-il contribuer à la mise en place d'une communication de crise plus adaptée aux spécificités des phases post-accidentelles nucléaires ?**

Cette problématique s'articule autour de plusieurs questions de recherche :

1. Quels sont les usages existants des TIC, et notamment des médias sociaux, pour la communication de crise lors d'un accident nucléaire ?
2. Dans quelle mesure ces usages sont-ils adaptés aux spécificités de la phase post-accidentelle et aux besoins informationnels des personnes affectées ? Et comment peut-on soutenir les usages les plus appropriés ?
3. Des systèmes d'organisation des connaissances peuvent-ils être utilisés pour représenter les données relatives à la radioprotection et ainsi appuyer les activités de communication de crise ?
4. Comment peut-on intégrer ces systèmes aux usages existants des différents acteurs ?

3 Méthodologie

Les études réalisées pour répondre à ces questions de recherche s'articulent autour de plusieurs contributions distinctes, faisant appel à des méthodologies variées. On peut néanmoins distinguer deux principaux volets – usages et conception – dans la démarche scientifique de cette thèse.

L'exploration des questions de recherche nous conduit tout d'abord à étudier la place des TIC dans la communication en phase post-accidentelle nucléaire. Cette thèse doit permettre de produire de nouvelles connaissances quant aux rôles qu'ont joués les outils du Web dans la communication des crises nucléaires récentes. Nous nous appuyons pour cela sur l'analyse qualitative et quantitative de corpus de traces d'usages et de contenus générés par les utilisateurs de ces outils afin d'identifier les pratiques spécifiques à cette situation de communication, d'étudier leurs bénéfices et leurs éventuelles limites. Notre démarche de recherche s'inscrit donc dans le champ des études d'usages des médias numériques.

Par ailleurs, en raison des objectifs du projet de recherche dans lequel s'insère cette thèse (voir la section Contexte de la recherche), certaines de nos questions de recherches sont clairement orientées vers une recherche appliquée. En effet, notre travail porte également sur le développement de réponses pratiques et concrètes aux problèmes et aux besoins qui ont été identifiés lors des études d'usages. Les contributions de cette thèse intègrent donc aussi la conception de nouveaux systèmes d'aide à la communication de crise – qu'il s'agisse d'outils informationnels, tels que des recommandations, ou de dispositifs socio-techniques, comme des logiciels ou des sites web. Pour cela, nous avons adopté une approche relevant de la recherche-développement.

Le terme « recherche-développement » est souvent utilisé dans l'industrie pour désigner un développement qui « s'astreint à des exigences scientifiques et méthodologiques et suppose la mise en place d'expérimentations pour valider les choix opérés » (Guichon, 2007, p.41). Ici, cependant, nous optons pour une définition plus proche de la recherche-action⁶ en sciences sociales ou de la recherche-crédation⁷ en arts, faisant de la recherche-développement une démarche dans laquelle « le chercheur est engagé à la

6. Une méthode de recherche initiée par Kurt Lewin, selon laquelle « seule l'intervention permet d'accéder à l'observation et à l'interprétation de certains phénomènes de la réalité sociale » (Albaladejo & Casabianca, 1997, p.130). Elle « vise à apporter une contribution à la fois aux préoccupations pratiques des personnes se trouvant en situation problématique et au développement des sciences sociales par une collaboration qui les relie selon un schéma éthique mutuellement acceptable » (Rapport, 1973, p.115)

7. Où le chercheur-artiste adopte un recul critique sur ses pratiques créatives, leur permettant de nourrir son travail de recherche. La recherche-crédation établit ainsi une sorte de boucle de rétroaction entre ses deux composantes (Bouchardon, 2013).

fois dans des activités de développement et dans l'analyse de ces activités » (Loiselle & Harvey, 2007, p. 44). À notre travail de conception – et aux activités de développement logiciel qui en découlent, généralement réalisées par d'autres participants au projet – s'ajoute donc un effort constant de recul critique quant aux méthodes employées et aux dispositifs qui en résultent.

Afin de rester au plus près des besoins et des attentes des personnes affectées par les situations de crise, les méthodes de développement centré utilisateur sont privilégiées au cours de nos travaux. Il s'agit d'une démarche de conception visant à « rendre les systèmes utilisables et utiles en se concentrant sur les utilisateurs, leurs besoins et leurs exigences, et en appliquant les facteurs humains, l'ergonomie et les connaissances et techniques existantes en matière d'utilisabilité »⁸. Certaines approches de la recherche-développement maintiennent une séparation – temporelle, organisationnelle, méthodologique – nette entre les phases de développement (conception et réalisation) et de recherche (tests et évaluation). Dans cette thèse, nous adopterons au contraire une démarche combinant ces deux facettes de manière parallèle et intégrée (Loiselle & Harvey, 2007). Le travail que nous présentons dans ce mémoire est ainsi le fruit d'une suite de phases d'analyse des usages, de conception, de prototypage et d'évaluation, souvent répétées de manière itérative⁹.

4 Enjeux de la recherche

Cette thèse se positionne à l'intersection de plusieurs champs disciplinaires : sciences de l'information, sciences de la communication, informatique, offrant chacun de nombreuses pistes de travail. En raison de son ancrage fort sur le terrain et de ses finalités concrètes, elle est par ailleurs susceptible de trouver des applications pratiques à très court terme. Cette recherche peut ainsi répondre à une grande variété de questionnements théoriques, méthodologiques et applicatifs.

Du point de vue théorique, les résultats doivent permettre de mieux comprendre les spécificités de la communication et de la gestion des connaissances au cours des phases post-accidentelles nucléaires. Cette recherche offre notamment une vision plus complète des besoins informationnels des personnes vivant dans les zones contaminées, ainsi que des processus d'appropriation et de partage des connaissances par les non-experts. Elle

8. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:9241:-210:ed-1:v1:fr>

9. Cette démarche peut-être rapprochée du « cycloïde de recherche-action », décrivant l'alternance de phases d'étude et de réalisation pour la production audiovisuelle dans un cadre scientifique (Lamboux-Durand, 2016, p.168).

éclaire également les bouleversements et les opportunités induits dans la communication de crise par l'irruption des TIC, particulièrement en termes de dynamiques de production et de diffusion de l'information spécialisée.

En termes de méthodologie, le choix d'une démarche appliquée et centrée utilisateurs vise à étendre aux sciences de l'information et de la communication les principes de la recherche-développement, plus souvent utilisée en sciences de l'éducation ou en informatique. Conjuguer recherche-développement et études d'usages peut être avantageux pour apporter des réponses adaptées aux spécificités des besoins informationnels de personnes affectées par une situation PAN. Cette démarche est en outre susceptible d'offrir des indications utiles quant à la manière d'identifier, de comparer et – si nécessaire – de concilier les attentes de groupes aux intérêts différents, voire parfois contradictoires.

Au niveau applicatif, ce travail peut contribuer à augmenter l'efficacité des pratiques existantes en termes de communication des crises nucléaires. À ce jour, la gestion post-accidentelle de plusieurs accidents radiologiques passés est toujours en cours. Dans les zones contaminées par les accidents de Tchernobyl et Fukushima Daiichi, tout particulièrement, des contre-mesures (e.g. zones interdites, restrictions alimentaires, contrôles médicaux) sont encore appliquées et devront être maintenues pour longtemps. Pour assurer l'information et la sécurité des nouvelles générations, la communication de crise accompagnant ces actions doit se poursuivre. Par ailleurs, dans notre monde fortement nucléarisé, la survenue d'un nouvel accident majeur – y compris en Europe¹⁰ – est fort probable. La France, deuxième pays au monde en termes de nombre de réacteurs nucléaires actifs¹¹, est particulièrement exposée. Enfin, la recrudescence de tensions relatives à l'armement nucléaire¹² constitue une source d'inquiétude supplémentaire. Le développement et le perfectionnement de la communication de crise sont nécessaires pour limiter les souffrances et les désagréments des nombreuses personnes confrontées – actuellement ou potentiellement – à des situations post-accidentelles nucléaires.

Enfin, si certains aspects de ces études s'avèrent spécifiques aux situations post-accidentelles nucléaires, en raison des caractéristiques du risque ou encore de l'échelle

10. « – In fine, la question n'est-elle pas si, mais quand il y aura un accident majeur en Europe? – Oui, il y en aura. Il faut imaginer qu'un accident de type Fukushima puisse survenir en Europe. » (extrait d'une interview de Pierre-Franck Chevet, président de l'ASN, par Libération : http://www.liberation.fr/futurs/2016/03/03/il-faut-imaginer-qu-un-accident-de-type-fukushima-puisse-survenir-en-europe_1437315)

11. <https://www.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/OperationalReactorsByCountry.aspx>

12. En janvier 2017, l'Horloge de l'Apocalypse (*Doomsday Clock*), maintenue par le *Bulletin of the Atomic Scientists* pour représenter le risque d'une apocalypse nucléaire (mais aussi, désormais, des menaces liées à l'écologie et au changement climatique), a été avancée à 23h57.5, son niveau le plus alarmant depuis la fin de la Guerre Froide : <http://thebulletin.org/clock/2017>

des crises, d'autres sont susceptibles d'être transposables à d'autres domaines de recherche, et notamment à la communication de crises de nature différente. L'identification de ces potentielles ouvertures peut fortement accroître la portée des résultats de cette thèse.

5 Contexte de la recherche

Au sein du laboratoire ELLIADD¹³ (Edition, Littératures, Langages, Informatique, Arts, Didactique, Discours), l'équipe OUN (Objets et Usages Numériques) était dédiée à l'analyse de la conception et des usages des objets numériques à travers des approches multidisciplinaires relevant des sciences humaines et des sciences de l'information. Suite à la restructuration du laboratoire en 2015, les chercheurs de l'équipe OUN sont désormais regroupés au sein du pôle CCM (Conception, Création, Médiation), dont les thématiques de recherche, un peu plus larges, s'étendent notamment à l'analyse du discours ainsi qu'à l'étude des pratiques sociales et culturelles.

En 2012, le CSFRS¹⁴ (Conseil Supérieur de la Formation et de la Recherche Stratégiques), groupement d'intérêt public associant des représentants de l'état, des entreprises et des instituts de recherche, a lancé son troisième appel à projets non-thématiques visant à soutenir la recherche dans les domaines de la sécurité, de la défense et de la gestion des crises. Des chercheurs de l'équipe OUN ont alors déposé une proposition portant sur les enjeux de l'usage des services numériques d'information et de communication en situation de catastrophe radiologique, intitulée SCOPANUM (Stratégies de COMMunication de crise en gestion Post-Accident NUcléaire via les Médias Sociaux). Le CEPN¹⁵ (Centre d'étude sur l'Évaluation de la Protection dans le domaine Nucléaire), déjà impliqué dans un projet pilote de radioprotection visant à évaluer et communiquer les risques liés au radon dans les foyers de la communauté d'agglomération de Montbéliard¹⁶ (PMA – Pays de Montbéliard Agglomération), a apporté son expertise dans le domaine du nucléaire.

Trois objectifs principaux ont été définis dans le projet :

1. analyser les usages des médias sociaux en phase post-accidentelle nucléaire (PAN) ;
2. fournir des préconisations pour l'intégration des médias sociaux dans les stratégies de communication en phase PAN ;

13. <http://elliadd.univ-fcomte.fr/>

14. <https://www.csfrs.fr/>

15. <http://cepn.asso.fr/>

16. <http://www.agglo-montbeliard.fr/>

3. réaliser un démonstrateur d'une plateforme sémantique en soutien à la communication de crise de type PAN.

En mars 2013, le CSFRS a retenu SCOPANUM, aux côtés de 6 autres projets, lui accordant un financement de 130 000 euros, pour la durée de deux ans (septembre 2013 - septembre 2015).

J'ai découvert le projet SCOPANUM au moment de sa validation par le CSFRS. J'étais alors en stage au sein de l'équipe OUN, pour conclure ma dernière année du master Produits et Services Multimédia, finalité « recherche », à Montbéliard. J'envisageais de poursuivre mes études en doctorat et cherchais donc activement un sujet de thèse. J'avais exploré plusieurs pistes autour des technologies calmes et de la communication persuasive qui s'étaient révélées peu compatibles avec mon bagage scientifique et les activités du laboratoire. Le projet SCOPANUM m'a tout particulièrement attiré pour son attachement à étudier les usages effectifs des médias sociaux, et non les seuls usages prescrits par les développeurs ou les autorités. Par ailleurs, sa dimension applicative me permettait de mettre à profit les compétences en matière de conception et de développement multimédia acquises au cours de ma formation. Enfin, ce projet rejoignait mon intérêt de longue date pour les problématiques liées à la place de l'énergie nucléaire dans notre société. J'ai donc consacré les trois derniers mois de mon stage à dresser un état de l'art du domaine de la communication de crise en situation PAN et des méthodologies d'étude des médias sociaux.

En octobre 2013, j'ai intégré l'équipe OUN en tant que doctorant, travaillant sur le campus de Montbéliard sous la direction de Ioan Roxin, et co-encadré par Federico Tajariol. J'ai pour cela bénéficié d'un contrat doctoral financé par PMA pour trois ans, assorti d'un avenant d'enseignement au département multimédia de l'UFR STGI¹⁷ (Sciences, Techniques et Gestion de l'Industrie). En octobre 2016, à l'issue de mon contrat doctoral, j'ai obtenu un poste d'ATER, toujours au département multimédia de Montbéliard, afin d'achever la rédaction de mon manuscrit.

Tout au long de cette thèse, mes recherches ont été menées en collaboration avec l'ensemble des chercheurs impliqués dans le projet SCOPANUM. D'avril 2014 à novembre 2015, j'ai notamment travaillé avec Liviu-Adrian Cotfas, recruté comme ingénieur de recherche chargé du développement logiciel pour SCOPANUM. À mes activités de recherche et d'enseignement se sont ponctuellement ajoutées des responsabilités administratives ou techniques : représentant des doctorants au conseil du laboratoire ELLIADD en 2014 et 2015, co-développeur du site du CPDirSIC¹⁸ en 2015, partici-

17. <http://stgi.univ-fcomte.fr/>

18. <http://cpdirsic.fr/>

pant et co-organisateur d'un séminaire doctoral AUF avec l'Université des Sciences Agricoles de Cluj Napoca (Roumanie) et l'Université de Belgrade (Serbie) entre 2016 et 2017. L'écriture de ce mémoire de thèse s'est principalement déroulée tout au long de l'année 2016, en partie à l'Université de Tsukuba (Japon) qui m'a accueilli de mars à juin dans le cadre d'un échange académique.

6 Plan de la thèse

Ce mémoire présente les travaux de recherche réalisés au cours de cette thèse, principalement dans le cadre du projet SCOPANUM.

Le premier chapitre est consacré à un état de l'art de la communication des crises nucléaires. Nous présentons tout d'abord les définitions des concepts de risque et des crises ainsi que leurs relations. Le processus de communication de crise est ensuite décrit, ainsi que ses enjeux et les activités qui le composent au cours des différents stades de la crise. Dans une seconde partie, nous explorons plus précisément les spécificités du risque radiologique. Les difficultés qui affectent la communication de telles crises sont examinées à travers l'étude des principaux accidents nucléaires survenus au cours des dernières décennies. Un regard critique est également porté sur les stratégies de communication actuellement prévues dans l'éventualité d'un accident nucléaire sur le territoire français.

Le deuxième chapitre se concentre sur l'usage des technologies de l'information et de la communication pour la communication de crise. Nous retraçons en premier lieu le développement des technologies de l'information et de la communication, pour nous attarder ensuite sur les médias sociaux. Il s'agit de montrer comment, à travers de multiples détournements, ces dispositifs ont pris une place aujourd'hui prépondérante dans la communication de crise et quels outils ont été développés pour soutenir les pratiques collaboratives de leurs utilisateurs. Dans un deuxième temps, nous présentons les apports du Web Sémantique à cette communication de crise médiatisée. Les fondements du Web Sémantique sont tout d'abord décrits, puis les technologies qui le sous-tendent et les systèmes d'organisations des connaissances qu'il permet de construire. Les bénéfices que l'on peut en attendre dans le domaine de la communication de crise – particulièrement en termes d'interopérabilité – sont ensuite étudiés, ainsi que les premiers travaux réalisés dans cette direction.

Dans le troisième chapitre, nous décrivons une première série d'études réalisées au cours de cette thèse, portant sur l'usage des médias sociaux pour la communication de crise en phase PAN. Une revue de littérature décrit quelle mesure les médias so-

ciaux ont contribué à l'information et à l'engagement des citoyens au lendemain de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi. Un ensemble de méthodes et d'outils sont ensuite présentés pour collecter et analyser les échanges réalisés sur les médias sociaux. À travers une première étude, nous examinons des dispositifs utilisés, tout particulièrement au Japon, pour publier automatiquement des mesures de la radioactivité sur la plateforme de microblogging Twitter. Après une analyse des faiblesses de ces outils, la problématique de complétude des mesures de la radioactivité est plus particulièrement explorée. Nous détaillons pour cela l'enquête qui a été menée dans le but de fournir des recommandations pour la publication des mesures sur les médias sociaux, puis les outils qui ont été conçus pour favoriser l'adoption de ces recommandations.

Le quatrième chapitre retrace nos travaux relatifs à l'organisation des connaissances en situation PAN. Nous rapportons dans un premier temps les démarches entreprises pour identifier et organiser un corpus de connaissances susceptibles de répondre aux besoins des populations vivant dans un territoire contaminé suite à un accident radiologique. Un ensemble de vocabulaires et de modèles sont proposés pour permettre la représentation sémantique de ces connaissances. Nous présentons ensuite Ginkgo, le démonstrateur d'application web mobile conçu dans le cadre du projet SCOPANUM pour faciliter l'accès à cette base de connaissances, ainsi que le test utilisateur qui a été conduit afin d'évaluer le fonctionnement et la pertinence de ses fonctionnalités. À travers l'analyse des premiers résultats de ce test, se dégagent plusieurs pistes d'amélioration de Ginkgo et de réflexion sur les usages.

Enfin, dans les conclusions de ce mémoire, nous dressons un bilan des recherches réalisées au cours de cette thèse. Les principales contributions résultant de nos travaux sont rappelées et leurs limites examinées. À la lumière de ces résultats, nous proposons ensuite plusieurs éléments de réponse à notre problématique. Les études complémentaires restant à réaliser sont enfin recensées, ainsi que les nouvelles perspectives de recherche identifiées au cours de cette thèse.

Chapitre 1

Communication de crise post-accident nucléaire

Le fléau n'est pas à la mesure de l'homme, on se dit donc que le fléau est irréel, c'est un mauvais rêve qui va passer. Mais il ne passe pas toujours et, de mauvais rêve en mauvais rêve, ce sont les hommes qui passent, et les humanistes en premier lieu, parce qu'ils n'ont pas pris leurs précautions.

Albert Camus, *La Peste*

Nombreux sont les risques, minimes ou mortels, évidents ou cachés, auxquels nous sommes exposés dans notre vie quotidienne. Certains de ces risques, d'origine naturelle, ont accompagné l'humanité depuis ses débuts. D'autres, plus récents, sont apparus à mesure du développement de nos sociétés modernes. Le risque radiologique est de ceux-là, identifié il y a guère plus d'un siècle, lors des débuts de la radiographie médicale. Alors que de nombreux accidents, parfois dramatiques, sont survenus au cours des cinquante dernières années, l'énergie nucléaire joue aujourd'hui un rôle central dans notre monde. Le risque nucléaire peut donc être considéré comme une menace sérieuse pesant sur nos vies et la gestion des crises qu'il peut générer doit faire l'objet d'une attention particulière.

Dans ce chapitre, nous dressons tout d'abord un état de l'art portant sur les différents aspects de la notion de communication de crise et du rôle clef qu'elle joue dans la gestion des situations de crises. Nous revenons pour cela sur les concepts de risque, de crise, de catastrophe et leurs caractéristiques respectives (1.1.1). Nous présentons en-

suite les objectifs et enjeux de la communication aux différents temps de la crise (1.1.2). Dans un deuxième temps, nous nous intéressons plus particulièrement aux risques liés au nucléaire, à leurs spécificités et à ce qu'elles impliquent en termes de gestion et de communication des accidents nucléaires (1.2).

1.1 Crise et communication

Nombreux sont, dans notre environnement quotidien, les dispositifs destinés à nous protéger si un événement dangereux devait survenir. Pour cela, beaucoup d'entre-eux – consignes de sécurité, plans d'évacuation, sirènes de la sécurité civile – visent avant tout à favoriser la communication d'informations susceptibles de limiter les conséquences négatives de la situation de crise.

1.1.1 Risque et crise : définitions

Les concepts de risque et de crise sont intimement liés. Ils sont les deux faces d'une même composante de toutes les sociétés humaines : la survenue d'un événement qui, imprévisible et néfaste, s'oppose aux desseins des hommes. Nous allons en premier lieu voir comment s'articulent ces deux notions, quelles réalités elles recouvrent et définir quelques concepts apparentés.

Risque et perception du risque

Le nom « risque » est un emprunt de l'italien *risco* (aujourd'hui *rischio*), lui-même issu du terme *resecum*, en latin populaire « ce qui coupe »¹. Ce dernier a successivement désigné un rocher escarpé, un écueil, puis, par métalepse, le « risque encouru par une marchandise transportée par bateau »². L'usage du terme « risque » s'est, depuis, étendu à de nombreux autres domaines – on parle de risques naturels, financiers, juridiques, sanitaires ou encore technologiques³ – pour désigner « la possibilité qu'une situation indésirable survienne en raison d'événements naturels ou d'activités humaines »⁴ (Renn, 1992, p. 56). Cette définition caractérise les risques comme des

1. <http://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/risque/69557>

2. <http://www.cnrtl.fr/definition/risque>

3. La page « Risque » de l'encyclopédie Wikipedia liste plus de vingt types de risques : https://fr.wikipedia.org/wiki/Risque#Types_notables_de_risque

4. « *the possibility that an undesirable state of reality (adverse effects) may occur as a result of natural events or human activities* » (traduction personnelle)

constructions mentales, des hypothèses, des « réalités virtuelles » (Beck, 2000), c'est à dire des événements non-avenus mais dont l'occurrence est considérée comme possible⁵.

La naissance des sociétés modernes a vu l'apparition de nouveaux risques, liés à l'industrialisation et à la mondialisation. La production croissante de richesse s'accompagne en effet d'une production croissante de risques, dont la répartition est tout aussi inégalitaire (Beck, 2001). Aux risques « personnels », associés à des activités individuelles telles que le voyage, se sont ajoutés de nouveaux risques globaux, menaçant de larges populations, voire l'humanité dans son ensemble (Beck, 2001, p.39). Ainsi, à partir des années 1960, la protection de l'environnement est devenue une préoccupation croissante pour les États et les organisations internationales (Le Breton, 2012, p.4). En 1980, le concept de « risque technologique majeur » a été introduit pour désigner les risques à large échelle, notamment liés aux industries chimiques et nucléaires⁶ (Lagadec, 1987 ; Le Breton, 2012). Si les citoyens d'aujourd'hui ne sont pas nécessairement exposés à davantage de risques que leurs ancêtres, la place centrale de ceux-ci dans le monde moderne constitue, pour certains auteurs, une évolution radicale vers une nouvelle « société du risque » (Beck, 2001).

À chaque instant, l'homme a besoin de quantifier les risques auxquels il s'expose. Il doit être capable d'évaluer le rapport risque/bénéfice de l'ensemble des possibilités d'actions qui s'offrent à lui, afin de choisir la plus appropriée (Kasperson et al., 1988 ; Renn, 1992). Cette évaluation du risque n'est cependant pas triviale. Si l'on s'en tient à une définition purement technique, le risque peut être exprimé comme le produit de la probabilité d'occurrence de l'événement et de la gravité de ses conséquences : $\text{risque} = \text{probabilité} \times \text{conséquences}$ (Kasperson et al., 1988). Cependant, cette définition ne décrit qu'imparfaitement notre vision du risque. En effet, les événements extrêmement rares aux conséquences dramatiques (e.g. tsunami de grande ampleur, éruption d'un supervolcan, accident industriel majeur)⁷ seraient perçus comme aussi peu importants que des risques très fréquents aux conséquences limitées (tels que renverser une tasse de café) (Kasperson et al., 1988).

Par ailleurs, contrairement à ce que laisse penser cette formulation statistique simple, la gravité d'un même risque n'est pas unique, mais varie selon les individus

5. C'est seulement lorsque que l'événement est considéré comme possible qu'il peut être empêché : « Pour ce qui est des hommes, c'est dans l'espoir de les prévenir qu'il est si important pour eux d'anticiper les catastrophes. » (Dupuy, 2009, p.166)

6. En effet, « plus l'invention est puissante, performante, et plus l'accident est dramatique. » (Virilio, 2005, p.59).

7. Ces événements exceptionnels peuvent être qualifiés de « cygnes noirs », en raison de leur propension à fausser les prévisions. En effet, les cygnes étaient autrefois présumés être tous blancs, jusqu'à ce que l'observation de cygnes noirs, plus rares, invalide cette assertion (Taleb, 2010).

et les circonstances (Le Breton, 2012, p.48). De nombreuses caractéristiques des individus, telles que leurs valeurs ou leurs modes de vie, influencent ce qu'ils considèrent comme des « effet indésirables » (Renn, 1992) et les experts eux-mêmes peuvent être en désaccord sur les éléments à considérer et leur importance respective (R. L. Heath et al., 2009). Ces différences individuelles de perception des risques se répercutent en outre à l'échelle de la société. Les messages relatifs au risque sont en effet affectés par les perceptions de chacun des individus impliqués dans leur transmission, entraînant des phénomènes d'amplification ou d'atténuation du risque (Kasperson et al., 1988). Ainsi, la perception du risque est également une construction sociale, influencée par les relations et les échanges entre les individus⁸.

S'il existe un risque objectif, neutre, constituant une réalité indépendante de toute perception, celui-ci échappe à notre connaissance (Bradbury, 1994 ; Fischhoff, Slovic, & Lichtenstein, 1983). La nécessité d'une communication du risque découle directement de la multiplicité et de l'hétérogénéité de nos perceptions : « il n'y aurait pas de champ disciplinaire intitulé "communication du risque" si tous les membres d'une société percevaient les mêmes risques, les percevait de la même manière et y réagissaient de la même manière »⁹ (R. L. Heath et al., 2009, p.472). Seul ce processus de discussion entre toutes les parties prenantes permet l'identification, l'évaluation et la gestion efficace des risques.

Le concept de crise

Le terme « crise » dérive du latin *crisis*, « phase grave d'une maladie »¹⁰, lui-même issu du grec ancien *κρίσις* (*krísis*), désignant le jugement, la décision¹¹. Il véhicule l'idée d'un basculement, d'une rupture ou d'une transformation brutale. Le concept de crise, tel que nous l'utiliserons, peut être défini comme « la perception d'un événement imprévisible qui menace d'importantes attentes des parties-prenantes et peut sérieusement affecter les performances d'une organisation et générer des conséquences

8. La notion de « communauté cognitive » peut être employée pour désigner des groupes « partageant la même façon de faire sens avec le monde » (Carbou, 2015). Face à un risque donné, les différences de perception et les phénomènes d'amplification/atténuation sociale peuvent donner naissance à plusieurs communautés cognitives distinctes.

9. « *There would be no discipline called risk communication if all the people of any relevant society perceived the same risks, perceived them in the same way, and reacted to them as of one mind* ». (traduction personnelle)

10. <http://www.cnrtl.fr/definition/crise>

11. <https://fr.wiktionary.org/wiki/%CE%BA%CF%81%CE%AF%CF%83%CE%B9%CF%82>

« négatives »¹² (Coombs, 2010)¹³. Selon cette définition, ce n'est pas l'événement en lui-même qui constitue la crise, mais sa perception par des individus¹⁴. La gravité de la crise est également considérée comme subjective, puisque liée aux « attentes » des personnes et des organisations. La crise, tout comme le risque, peut ainsi être considérée comme une construction individuelle et sociale (Coombs, 2010).

La définition du concept de crise que nous avons retenue recouvre une grande variété d'événements. Les « attentes » des participants affectés et les « conséquences négatives » peuvent concerner la santé des personnes, des dommages matériels mais aussi des préjudices financiers ou encore psychologiques (Coombs, 2010). En effet, en rompant avec la marche normale de la société, la crise est génératrice d'incertitude et de stress (Seeger, 2013). Les différentes typologies proposées par les auteurs du domaine, révèlent le large éventail des situations pouvant être qualifiées de crises (Tableau 1.1). Au regard de ces typologies, les accidents nucléaires qui constituent notre objet d'étude peuvent être considérés comme des crises industrielles d'origine humaine.

(Lerbinger, 1997)	(Coombs, 1999)	(Seeger, Sellnow, & Ulmer, 2003)
Catastrophe naturelle	Catastrophe naturelle	Perception du public
Crise technologique	Malveillance	Catastrophe naturelle
Affrontement	Panne technique	Crise de produit ou de service
Malveillance	Erreur humaine	Attentat terroriste
Faute organisationnelle	Défi	Crise économique
Violence au travail	Méga-dommages	Crise de ressources humaines
Rumeurs	Faute organisationnelle	Crise industrielle
Attentats terroristes / catastrophe d'origine humaine	Violence au travail	Fuite (de pétrole de produits chimiques)
	Rumeurs	Crise dans les transports
		Crise causée par des facteurs environnementaux

TABLEAU 1.1 – Quelques typologies de crises (Seeger, 2013)

12. « *the perception of an unpredictable event that threatens important expectancies of stakeholders and can seriously impact an organization's performance and generate negative outcomes* » (traduction personnelle)

13. De nombreuses autres définitions de la crise coexistent dans la littérature (Coombs, 2010). Certaines, notamment, considèrent qu'une crise n'est pas nécessairement un événement négatif, dans la mesure où un changement radical peut être – à terme – bénéfique pour une organisation. Néanmoins, en raison de la nature des crises sur lesquels porte cette thèse, nous ne pouvons adopter un tel point de vue.

14. Ce qui indiquerait qu'un événement dramatique survenu à l'insu de tous – tel qu'une épidémie non détectée ou une exposition à des substances dont la dangerosité n'est pas encore connue – ne deviendrait une crise qu'au moment même de son identification.

Le périmètre de ce qui peut être considéré comme une crise n'est par ailleurs pas simple à dessiner. D'une part, le terme de crise ne peut s'appliquer à de petits incidents donc les conséquences sont limitées à une échelle locale (Coombs, 2010) et doit être réservé à des événements susceptibles d'affecter fortement le fonctionnement de la société (R. L. Heath & O'Hair, 2009). D'autre part, le terme doit également désigner un événement spécifique, clairement identifiable et non un problème trop général (Seeger, 2013). Cependant, en raison de la nature hautement subjective des crises, leur identification n'est pas systématiquement consensuelle : un événement peut ne constituer une crise que pour un certain groupe de personnes.

Certains auteurs différencient les crises, considérées comme endogènes (provoquées par des facteurs interne à l'organisation affectée), et les catastrophes, plutôt exogènes (Goldfine, 2011). Cette distinction ne fait cependant pas consensus dans la littérature (Adkins, 2010) et n'a par ailleurs pas cours dans le langage commun : on parle de la « catastrophe de Tchernobyl » malgré son origine humaine (endogène) et de la « crise de la vache folle » bien qu'elle ait été causée par un virus (exogène). Nous utiliserons donc indifféremment l'un ou l'autre de ces deux termes.

La crise est principalement caractérisée par l'incertitude qui entoure son apparition. Bien que, dans la plupart des cas, les hommes aient connaissance des crises susceptibles de survenir, le moment et les conditions exactes de leur occurrence restent incertains (R. L. Heath & O'Hair, 2009). Les crises peuvent être anticipées, mais non prévues avec précision (Coombs, 2010). Pour cette raison, certains auteurs considèrent les crises comme les risques manifestés (R. L. Heath & O'Hair, 2009), c'est à dire des risques clairement identifiés mais dont la gestion n'a pas été suffisante pour les empêcher de se concrétiser sous la forme d'une situation de crise.

1.1.2 Communication et gestion de crise

« Communiquer », en français, est issu du latin *communicare* : mettre en commun, être en relation (Wolton, 2016, p.120). Son sens a progressivement évolué, plus proche aujourd'hui de la notion de transmission que de celle de partage (Winkin, 1984, p.14). Dans le domaine scientifique, ce glissement sémantique se traduit par la coexistence de deux visions de la communication, comme « transport » – la transmission d'information – et comme « rituel » – la représentation d'une vision partagée du monde, d'une culture, dans un but de maintien de la société dans le temps (Carey, 2009). En raison de l'attention que nous portons aux problématiques de diffusion des connaissances, cette thèse peut être rattachée à la première de ces conceptions. Néanmoins, les seuls

modèles de « communication-transmission » ne sauraient décrire toute la complexité des situations de communication (Jeanneret, 2002). Nous nous efforçons donc de renouer avec l'idée originale de partage, faisant ainsi de la communication un processus de mise en commun des connaissances.

À partir de la seconde moitié du XX^e siècle, le développement des institutions de santé publique¹⁵ et la mise en calcul croissante des prises de décisions dans nos sociétés a entraîné l'émergence d'un domaine d'expertise et de recherche scientifique autour de la gestion et de la communication du risque (Plough & Krinsky, 1987). Il en a résulté une « professionnalisation de l'activité de gestion des catastrophes » donnant naissance à la distinction – désormais fortement ancrée dans notre culture – entre les « victimes », affectées par la crise, et les « professionnels », chargés de les protéger (Ait Ouarab-Bouaouli, 2008).

La prise en charge des situations de crise est généralement représentée selon trois grandes phases temporelles (Figure 1.1) : une période de gestion préventive des risques, la réponse à la crise lorsqu'elle survient, puis un temps dédié à la reconstruction et à la réflexion (Coombs, 2009)



FIGURE 1.1 – Phases de la gestion des crises

Communication de crise et communication du risque sont deux disciplines fortement liées, mais dont la hiérarchisation ne fait pas consensus. Pour certains auteurs, la communication de crise est une composante de la communication du risque, plus large (Reynolds & Seeger, 2005). Comme nous l'avons vu, une crise peut être considérée comme la manifestation d'un risque (R. L. Heath & O'Hair, 2009). La communication du risque peut donc également être vue comme la phase « pré-crise » des activités de communication de crise.

Dans les prochaines pages, nous examinons les enjeux de la communication de crise, les activités qui la composent, les acteurs qui y participent et les liens qui la rattachent aux autres composants de la gestion de crise. Ces éléments sont présentés selon les trois phases : avant, pendant et après la crise. Notre travail de recherche se focalisant sur la communication durant la crise, cette phase est particulièrement détaillée.

15. Reflétant le passage d'un paradigme de « responsabilité » de l'individu face aux risques vers un paradigme de « solidarité », socialisant la gestion du risque (Bouzon, 2012).

Avant la crise, communiquer le risque

La gestion du risque comporte deux principaux objectifs : la prévention et la préparation. La prévention (ou réduction) consiste, dans un premier temps, à identifier les vulnérabilités, c'est à dire les risques susceptibles de se développer sous la forme de crises. Ces vulnérabilités doivent ensuite être réduites, en tentant de diminuer leur probabilité d'occurrence ou leur impact potentiel. Si cela s'avère impossible, une surveillance attentive doit être mise en place. La prévention n'est pas seulement guidée par la réduction du risque, mais doit également tenir compte d'autres facteurs tels que l'équité, la justice, la flexibilité ou encore la capacité de résilience des personnes potentiellement affectées (Renn, 1992). Lorsque la crise est considérée comme inévitable, la gestion du risque se concentre davantage sur la préparation, qui consiste à mettre en place et à tester un plan de gestion pouvant être rapidement déployé lorsque la crise surviendra (Coombs, 2009).

La communication du risque désigne les échanges d'informations nécessaires à la mise en œuvre des actions de prévention et de préparation. Certaines définitions limitent la communication du risque à la diffusion d'informations scientifiques par des experts, tandis que d'autres, moins restrictives, englobent une plus grande variété d'échanges incluant d'autres acteurs notamment issus de la société civile (Plough & Krinsky, 1987).

À travers les actions de prévention, la communication du risque vise généralement à susciter l'adoption de comportements moins risqués (Reynolds & Seeger, 2005 ; Freimuth, Linnan, & Potter, 2000). En ce sens, nous la rapprochons de la communication persuasive, pouvant être définie comme une « tentative non-coercitive de changer les attitudes ou les comportements »¹⁶ (B. Fogg, Cuellar, & Danielson, 2007, p.134). Pour faire changer les comportements, la communication du risque cherche notamment à influencer le niveau de menace perçue pour un risque donné (*perceived threat*) et l'efficacité attribuée aux contre-mesures proposées (*perceived efficacy*)¹⁷ (Roberto, Goodall, & Witte, 2009). Dans ce but, les messages dédiés à communiquer un risque sont particulièrement soignés, conçus pour une audience précise et transmis par des canaux spécifiques à ce public cible (Reynolds & Seeger, 2005). Comme nous allons le voir, ces caractéristiques les différencient fortement des échanges qui ont lieu dans le cadre de la communication de crise.

16. « *noncoercive attempt to change attitudes or behaviors* » (traduction personnelle)

17. Reproduisant ainsi un modèle classique de la communication persuasive, selon lequel les personnes n'entreprennent une action donnée que lorsque leur motivation (ici, la menace) et leur capacité d'action (efficacité) dépassent un certain seuil (B. J. Fogg, 2009).

Pendant la crise, réagir et coopérer

Lorsqu'une crise survient, sa gestion a pour objectif premier le retour au fonctionnement normal des organisations affectées (Coombs, 2009). La communication de crise consiste à « collecter, traiter et diffuser toutes les informations nécessaires à la gestion de la crise »¹⁸ (Coombs, 2010, p.20). Ces « pratiques informationnelles »¹⁹ constituent donc une composante clef du processus de gestion de crise.

On parle de *situational awareness* pour désigner « l'ensemble des connaissances qui sont accessibles et peuvent être intégrées, en cas de besoin, dans une image cohérente pour évaluer et gérer une situation »²⁰ (Sarter & Woods, 1991, p.55). Le terme « connaissances » doit ici être compris au regard de la distinction conceptuelle fondamentale entre les notions de données, d'informations et de connaissances (Couzinet, 2006), ainsi que des activités humaines qui les unissent (Figure 1.2). La communication de crise doit ainsi accompagner les processus de production de sens permettant aux différents acteurs impliqués d'aboutir à une compréhension globale de la situation de crise à partir des données recueillies sur le terrain.

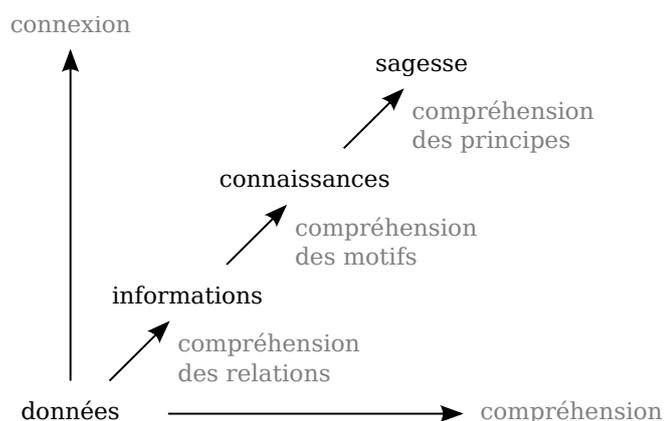


FIGURE 1.2 – Des données à la sagesse, adapté de (Bellinger et al., 2004)

Les activités de gestion et de partage des connaissances sont particulièrement critiques pendant la crise. En effet, « avoir accès à l'information dont on a besoin en temps opportun permet aux gestionnaires de prendre les bonnes décisions et de réussir leurs opérations et à la population, de se conduire en toute sécurité et de bien appliquer

18. « *the collection, processing, and dissemination of information required to address a crisis situation* » (traduction personnelle)

19. Notion désignant « la manière dont l'ensemble de dispositifs, des sources, des outils, des compétences cognitives sont effectivement mobilisés dans les différentes situations de production, de recherche, traitement de l'information » (Chaudiron & Ihadjadene, 2010).

20. « *all knowledge that is accessible and can be integrated into a coherent picture, when required, to assess and cope with a situation* » (traduction personnelle)

les consignes en connaissance de cause » (Ait Ouarab-Bouaouli, 2008). Néanmoins, les individus fondent souvent leurs décisions sur des informations incomplètes, confuses ou erronées et, même en possession d'informations complètes, peuvent prendre des décisions irrationnelles²¹ (Peterson & Thompson, 2009). Une communication de crise efficace est donc nécessaire mais non suffisante à la bonne gestion de la crise.

À l'inverse de la communication du risque, la communication de crise est généralement mise en œuvre en réaction à un événement inattendu. Elle est par ailleurs moins destinée à convaincre une cible précise qu'à informer rapidement un large public. Les messages produits sont par conséquent plus spontanés et moins formalisés que ceux de la communication de risque (Reynolds & Seeger, 2005). À l'échelle locale, les relations interpersonnelles directes sont un important vecteur de communication de crise. En revanche, lorsque la communauté affectée est plus large, les médias de masse prennent un rôle crucial²² (Neuwirth, 2009). Les journalistes jouent alors un rôle de gardiens (*gatekeepers*), choisissant les informations à mettre en avant et, ainsi, influençant la gravité perçue d'un événement (*agenda-setting*)²³ (Neuwirth, 2009). Cette place centrale des médias de masse peut néanmoins s'avérer problématique, car des erreurs dans la transmission d'information sont susceptibles de survenir tant entre les journalistes et leurs sources (e.g. experts, autorités) qu'entre les journalistes et le grand public (Peterson & Thompson, 2009). En outre, la situation de crise renforce l'influence des médias sur la perception que les citoyens ont des événements²⁴ (Neuwirth, 2009), augmentant ainsi les effets de ces éventuels biais médiatiques.

Dans sa dimension institutionnelle, la communication de crise inclut souvent la gestion de la responsabilité et la préservation de la réputation des acteurs impliqués (Coombs, 2009; Reynolds & Seeger, 2005). En effet, lors d'une crise d'origine interne à une organisation, les dommages en termes d'image peuvent présenter une menace significative à la poursuite de ses activités. Même lors de catastrophes exogènes (telles que des catastrophes naturelles), les réactions des organisations peuvent affecter leur

21. On peut rapprocher ce constat de la notion de « rationalité limitée », qui décrit la décision comme un processus basé sur des heuristiques visant à trouver une solution satisfaisante – mais pas nécessairement idéale – au vu des ressources disponibles (Simon, 1957).

22. Dans de telles situations, les échanges interpersonnels ont toujours lieu, mais les informations transmises par ce biais proviennent principalement des médias de masse, plutôt que des citoyens eux-mêmes (Peterson & Thompson, 2009)

23. La théorie de l'*agenda-setting* a été proposée pour relativiser le pouvoir persuasif attribué aux médias de masse : ils n'influencent pas directement ce que pense leur public (son opinion sur un sujet donné), mais plutôt ce à quoi il pense (sa perception de l'importance relative des différents sujets) à un moment donné (McCombs & Shaw, 1972)

24. En accord avec la théorie de la dépendance (Ball-Rokeach & DeFleur, 1976), qui postule que les individus dépendent des informations fournies par les médias pour atteindre leurs objectifs et que cette dépendance aux médias augmente en situation de changement social ou de conflit.

réputation. Dans cette thèse, néanmoins, nous laisserons de côté les aspects réputationnels de la crise et, plus généralement, la gestion des crises institutionnelles, pour nous concentrer sur la réponse aux dégâts plus directs causés par les catastrophes naturelles ou industrielles.

Certains travaux distinguent la communication nécessaire à la gestion de la crise elle-même (*crisis knowledge management*) et celle relative à la gestion des réactions des citoyens affectés par la crise (*stakeholder reaction management*) (Coombs, 2010). Cette différenciation fait écho à celle – précédemment évoquée – entre les professionnels et les victimes. Aujourd’hui, la gestion des catastrophes est l’apanage des spécialistes, donc l’action s’inscrit dans un schéma opératoire descendant (*top-down*), selon lequel les citoyens sont considérés comme passifs (Ait Ouarab-Bouaouli, 2008). Pourtant, la gestion d’une situation de crise nécessite généralement la coopération de tous, qu’ils soient experts, membres de la sécurité civile, ou simples citoyens (Fugate, 2011). La communication de crise donc doit prendre la forme d’un dialogue (Covello, 2003) permettant de créer une image de la crise qui soit commune à l’ensemble des acteurs, quel que soit leur degré d’expertise.

Après la crise, reconstruire et apprendre

Une crise se conclut rarement de manière instantanée. Elle s’achève plus souvent par un retour progressif de la société à un fonctionnement normal²⁵, où la gestion de la crise cesse d’être une priorité (Coombs, 2009). La communication post-crise vise alors à réparer les dommages, reconstruire tant les infrastructures que les liens sociaux et, le cas échéant, accompagner les victimes dans leur deuil. La communication post-crise cherche également à identifier et expliquer les conditions d’apparition de la crise (Seeger, 2013). Dans ce même temps, les questions de responsabilité, précédemment évoquées et, avec elles, les problématiques relatives à la compensation et à la réparation, trouvent une nouvelle importance.

Cependant, le principale objectif de la phase post-crise est l’apprentissage (Coombs, 2009), permettant à l’organisation d’émerger de la crise avec une meilleure connaissance d’elle-même (Seeger, 2013). En effet, c’est généralement après la crise que l’on peut évaluer l’efficacité du processus de préparation entrepris dans la phase de gestion du risque (pré-crise) et des actions de protections mises en œuvre pour la gestion de la crise.

25. Il peut s’agir d’un simple retour à la situation de *statu quo* précédant le déclenchement de la crise. La crise peut cependant être évolutive, favorisant l’action et contribuant ainsi à des réorganisations de la société (Morin, 1976). La fin de la crise désigne alors l’avènement d’un nouvel état d’équilibre permettant un bon fonctionnement de la société.

L'étude des événements ayant conduit à la crise contribue également au développement de la résilience de l'organisation (Sellnow & Seeger, 2013). Dans ce contexte, la résilience peut être définie comme « la capacité [d'une organisation] à se remettre ou à sortir grandie d'une situation de crise »²⁶ (Cutter, 2014, p.73) et s'appuie notamment sur la préparation physique et psychologique de la population (Spencer, 2013).

Pour accroître la résilience, le résultat de l'apprentissage entrepris durant la phase post-crise doit être disséminé au sein de l'organisation. Il peut ainsi être incorporé dans les pratiques de gestion et de communication du risque, afin de mieux préparer la réponse à une éventuelle nouvelle occurrence de la crise (R. L. Heath & O'Hair, 2009). On peut par conséquent représenter le processus de gestion de crise comme un cycle (Figure 1.3), au sein duquel l'expérience des événements antérieurs contribue à la mise en place d'une gestion toujours plus efficace des crises futures.

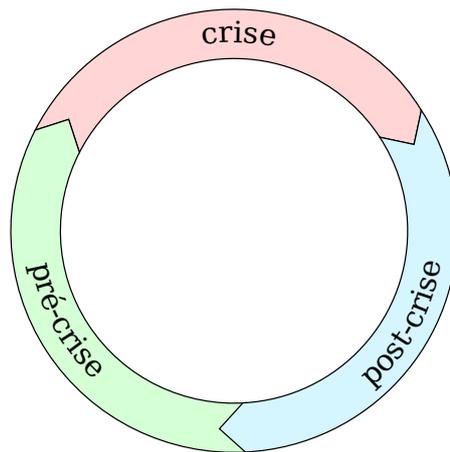


FIGURE 1.3 – Cycle de gestion des crises

Nous avons vu que la communication joue un rôle clef dans toutes les étapes de la gestion d'une crise. Nous allons maintenant examiner plus particulièrement les situations de crise provoquées par les accidents nucléaires et les stratégies de communication qu'elles nécessitent.

26. « *the capacity to recover from or improve functions after a hazard event* » (traduction personnelle)

1.2 Communication et gestion des accidents nucléaires

Depuis plus d'un siècle, l'homme entretient une relation ambivalente avec l'énergie nucléaire. Objet de fascination, symbole de progrès, d'abondance, de maîtrise de la nature par l'homme, elle est aussi effrayante, associée à la douleur, à la mort et à la destruction. La place centrale qu'elle a prise dans plusieurs domaines clés de notre société s'est accompagnée de risques nouveaux, qui ont déjà coûté de nombreuses vies. Aujourd'hui encore, la gestion des accidents nucléaires présente des défis d'une grande complexité.

Dans cette section, pour mieux comprendre les spécificités de ces situations de crise, nous revenons tout d'abord sur les principaux concepts de la radioactivité, du risque radiologique et de la radioprotection (1.2.1). Nous nous penchons ensuite plus précisément sur les accidents nucléaires, les différentes formes qu'ils peuvent prendre et les risques qu'ils génèrent, notamment à travers l'étude des accidents majeurs survenus au cours des dernières décennies (1.2.2). Les spécificités de la communication du risque nucléaire seront enfin présentées, ainsi que les limites du cadre actuel de gestion des situations de contamination radioactive en France (1.2.3).

1.2.1 Nucléaire et radioprotection

La radioactivité est un phénomène physique naturel que l'homme a progressivement découvert et appris à maîtriser à partir de la fin du XIX^e siècle. Ce faisant, il a également mis au jour les risques nouveaux et complexes qui y sont associés. Dans les pages suivantes, nous allons donner un aperçu de ces deux aspects de la science de l'atome.

Radioactivité et rayonnements ionisants

La matière est composée d'atomes, dont les noyaux sont des assemblages plus ou moins stables de particules plus petites nommées nucléons (protons et neutrons). Une réaction nucléaire se produit lorsque la composition du noyau d'un atome change : un atome se scinde en plusieurs atomes de plus petite taille (fission nucléaire ou désintégration) ou plusieurs atomes s'associent sous forme d'un atome de plus grande taille (fusion nucléaire). Cette réaction génère de l'énergie, sous forme de chaleur et de rayonnements ionisants ; c'est la radioactivité.

Certains atomes étant naturellement instables, des désintégrations radioactives se produisent en permanence dans l'environnement. Wilhem Röntgen en découvre les pre-

mières traces, les rayons X, en 1895²⁷ puis, l'année suivante, la radioactivité naturelle de l'uranium est mise en évidence par Henri Becquerel²⁸. En 1898, Marie et Pierre Curie découvrent deux autres éléments radioactifs, le polonium et le radium. Des études ultérieures permettent de distinguer plusieurs types de rayonnements (particules alpha et bêta, rayons X et gamma, neutrons) ayant des propriétés physiques différentes. En 1934, Irène et Frédéric Joliot-Curie montrent que certains éléments stables peuvent devenir instables – et donc radioactifs – lorsqu'ils sont soumis à des rayonnements ; on parle de radioactivité artificielle.

Dès 1896, les rayons X sont utilisés pour la radiographie médicale. Le procédé devient vite une curiosité, faisant l'objet de présentations dans les théâtres et fêtes foraines (Borvon, 2007). Durant la Première Guerre Mondiale, les « p'tites Curies », des véhicules équipés d'appareils radiographiques, sont utilisées au plus près des champs de bataille pour opérer les soldats blessés. Le radium est également utilisé pour le traitement des tumeurs, par irradiation externe à l'aide d'une « bombe au radium » ou par « curie-thérapie », l'implantation d'aiguilles de radium dans la tumeur. Il acquiert rapidement une réputation de remède miracle, vendu sous forme de produits cosmétiques et de compléments alimentaires. Le radium est en outre très largement utilisé pour la fabrication de peintures photo-luminescentes, notamment en horlogerie.

En 1933, Leó Szilárd suggère la possibilité d'une réaction nucléaire en chaîne, au cours de laquelle l'énergie dégagée par la fission d'un atome déclencherait la fission d'autres atomes. Durant la Seconde Guerre Mondiale, cette découverte est exploitée pour la construction de bombes atomiques²⁹, dans le cadre du projet Manhattan³⁰. Leó Szilárd et Enrico Fermi réalisent la première réaction en chaîne en 1942 et la première bombe expérimentale explose le 7 mai 1944 dans la désert du Nouveau-Mexique. Les deux suivantes rasent les villes japonaises d'Hiroshima (Figure 1.4) et Nagasaki les 6 et 9 août 1945, tuant entre 150 000 et 246 000 personnes³¹.

27. <http://cnum.cnam.fr/CGI/fpage.cgi?4KY28.46/133/100/536/0/0>

28. <https://www.bibnum.education.fr/physique/radioactivit%C3%A9/sur-les-radiations-invisibles-%C3%A9mises-par-les-corps-phosphorescents>

29. L'idée d'une bombe atomique avait été anticipée en 1914 par H. G. Wells dans sa nouvelle « La destruction libératrice » (*The World Set Free*). Cette œuvre de science-fiction aurait influencé les travaux de Leó Szilárd (Canaday, 2000, p. 4).

30. Le lancement de ce projet fut notamment influencé par une lettre d'Albert Einstein et Leó Szilárd, avertissant le président Roosevelt du risque de voir l'Allemagne nazie développer la bombe atomique : https://en.wikisource.org/wiki/Albert_Einstein_to_Franklin_D._Roosevelt_-_August_2,_1939. Einstein exprimera plus tard ses regrets, tandis que Szilárd lancera une pétition pour tenter d'éviter l'usage de la bombe contre le Japon : <http://www.dannen.com/decision/45-07-17.html>.

31. Entre 90 000 et 166 000 à Hiroshima et entre 60 000 et 80 000 à Nagasaki : http://www.rerf.or.jp/general/qa_e/qa1.html

FIGURE 1.4 – Hiroshima après le bombardement ³²

Les développements ultérieurs de la bombe atomique, notamment son adoption par plusieurs autres pays et la création des bombes H (mêlant fission et fusion nucléaire), furent accompagnés de très nombreux tirs d'essais, contaminant de larges territoires et exposant un grand nombre de personnes à des niveaux élevés de radiations ³³. Après la guerre, l'usage de réactions en chaîne contrôlées – c'est à dire non-explosives – est par ailleurs expérimenté pour des applications civiles. Ainsi, un réacteur produit de l'électricité pour la première fois en 1951 aux États-Unis et une première centrale nucléaire est raccordée au réseau électrique russe en 1954.

Aujourd'hui, 444 réacteurs nucléaires (Figure 1.5) génèrent de l'électricité dans le monde, représentant 11% de la production électrique mondiale. 157 autres réacteurs ont été arrêtés et doivent être démantelés, tandis que 64 sont en cours de construction ³⁴. Des réacteurs nucléaires sont également utilisés pour la propulsion de navires et de sous-marins. La radiographie et la radiothérapie, perfectionnées durant plus d'un siècle, sont toujours largement employées dans de nombreux domaines médicaux. Des substances radioactives sont par ailleurs exploitées pour d'autres applications industrielles telles

32. Photo par le Département de l'Énergie des États Unis, Domaine Public (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:HD.4F.003_%2811873156096%29.jpg)

33. On peut notamment citer les essais américains dans l'atoll de Bikini, tels que Castle Bravo (1954) dont les retombées ont contaminé plusieurs îles et causé la mort d'un marin du navire de pêche japonais *Daigo Fukuryu Maru* (Gunn, 2007, p. 393). Les essais français, en Algérie (1960-1966) puis en Polynésie Française (1966-1996) ont également causé d'importantes contaminations et expositions : <http://www.assemblee-nationale.fr/11/pdf/rap-oecst/I3571.pdf>

34. Données du 7 avril 2016 sur les sites de l'AIEA (<https://www.iaea.org/pris/Home.aspx>) et de l'association World Nuclear (<http://world-nuclear.org/info/Current-and-Future-Generation/Nuclear-Power-in-the-World-Today/>)

que l'irradiation des aliments, pour en augmenter la conservation ou prévenir la germination. Dans le domaine militaire, enfin, plus de dix mille armes nucléaires sont toujours opérationnelles dans le monde et de nombreuses autres en attente de démantèlement³⁵. L'énergie nucléaire et la radioactivité sont ainsi devenues des éléments incontournables de la société actuelle.



FIGURE 1.5 – Centrale nucléaire de Chooz (Ardennes). Les deux réacteurs sont logés dans les deux bâtiments cylindriques au premier plan. Les cheminées, plus à l'arrière, sont destinées au refroidissement des réacteurs (certaines centrales, refroidies grâce à l'eau d'une mer ou d'un cours d'eau, ne sont pas équipées de telles cheminées)³⁶

Risque nucléaire et radioprotection

Dès les premières années d'exploitation médicale de la radiographie, à la fin du XIX^e siècle, des brûlures de la peau et d'autres types de lésions sont constatées lorsque les patients sont exposés trop longtemps aux rayons X (Sansare, Khanna, & Karjodkar, 2011). Les médecins radiologues sont fortement touchés en raison de leurs expositions répétées. Des mesures de protection sont progressivement mises en œuvre (Béclère, 1904) : des recommandations sont notamment publiées par la British Roentgen Society en 1915 (Khare, Nair, Khare, Singh, & Chatterjee, 2014), le *British X-Ray and Radium Protection Committee* créé en 1921 (Andrews & Russ, 1953) et la Commission internationale des unités et mesures radiologiques (ICRU), fondée en 1925, lors du premier Congrès international de radiologie (Descours & Guglielmoni, 1996, p. 50).

35. http://www.lemonde.fr/international/infographie/2009/04/24/les-armes-nucleaires-dans-le-monde_1185196_3210.html et <http://fas.org/issues/nuclear-weapons/status-world-nuclear-forces/>

36. Photo par Raimond Spekking, licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Chooz_Nuclear_Power_Plant-9363-64.jpg)

Au début du XX^e siècle, des ouvrières de l'industrie horlogère, les *Radium Girls*, développent des maladies osseuses suite à l'absorption de peinture luminescente à base de radium. En effet, peignant les numéros lumineux sur les cadrants des montres, elles portent régulièrement leurs pinceaux à leurs lèvres pour les affiner³⁷. La maladie dite de la « mâchoire du Radium » (*Radium Jaw*) a été reconnue comme conséquence de l'absorption de radium en 1924 (Martland, Conlon, & Knef, 1925). En 1933, une première limite d'ingestion est proposée (mais il faudra attendre 1941 avant qu'un consensus ne soit atteint), étendant la radioprotection au-delà de la seule exposition externe des professions médicales (Jorgensen, 2016, p. 102).

Lorsque apparaissent les premières inquiétudes quant à de possibles effets négatifs des rayons X sur la santé, notamment dans le cadre de la radiographie médicale, la quantification de ces rayonnements devient indispensable. Une première unité de mesure, initialement nommée Villard puis renommée Rontgen, a été introduite en 1907 par l'*American Roentgen Ray Society* pour quantifier l'ionisation de l'air produite par les rayonnements (Van Loon & Van Tiggelen, 2004). En 1910, le *Radium Standards Committee* a proposé le Curie pour mesurer l'activité d'une source radioactive (Frame, 1996). Dans le même temps, de nombreux dispositifs de mesure de l'intensité de rayons ont été développés (Van Loon & Van Tiggelen, 2004). En 1928³⁸, notamment, naît le tube Geiger-Muller, encore utilisé de nos jours pour la mesure des rayonnements ionisants (Geiger & Müller, 1928) (Figure 1.6).

Aujourd'hui, la radioactivité et ses effets sur le corps humain sont quantifiés à l'aide de plusieurs grandeurs physiques, associées à différentes unités de mesure du système international⁴⁰ :

- l'**activité** d'une source radioactive, exprimée en Becquerels (Bq), désignant le nombre de désintégrations radioactives par seconde⁴¹ ;
- la **dose absorbée** désigne l'énergie reçue par le corps de la personne exposée, généralement exprimée en Grays (Gy) ou Joule par kilogramme ;

37. Leurs histoires et leurs souffrances ont notamment été dépeintes dans les poèmes *The Innocence of Radium* (Lavinia Greenlaw, 1994) et *Radium Girls* (Eleanor Swanson, 2003) :

« [...] Now, even our crumbling bones
will glow forever in the black earth. »

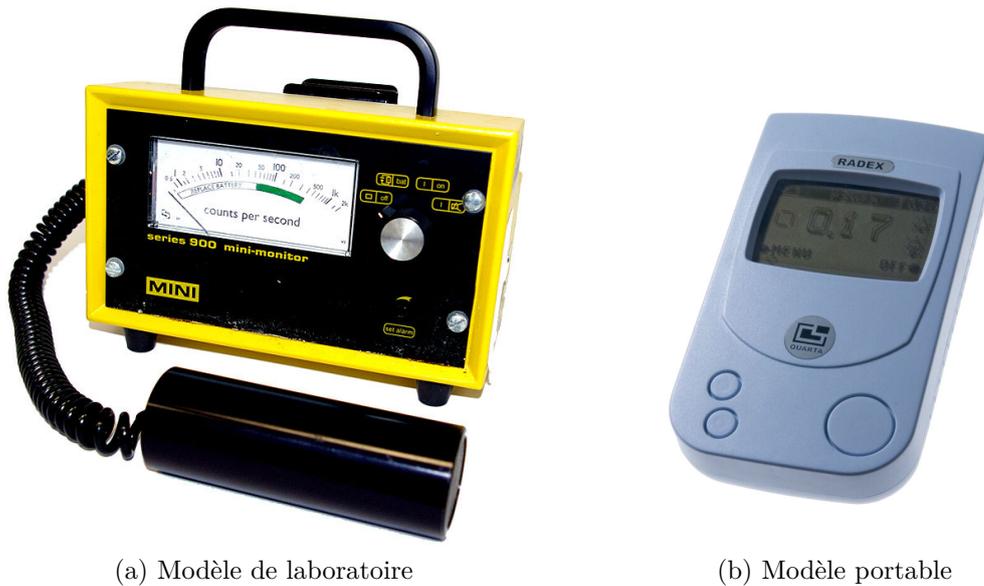
38. Soit 20 ans après la première publication du principe physique à la base de son fonctionnement (Rutherford & Geiger, 1908)

39. Figure 1.6a : Photo par Matylda Sęk, licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Portable_Geiger_counter_series_900_mini-monitor.jpg)

Figure 1.6b : Photo par Dosimetrist, licence CC0 (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rd1503.jpg>)

40. <http://www.bipm.org/metrology/ionizing-radiation/units.html>

41. Le nombre de coups par minute (CPM) est également utilisé dans certains cas.



(a) Modèle de laboratoire

(b) Modèle portable

FIGURE 1.6 – Compteurs Geiger modernes³⁹

- la **dose équivalente** correspond à la dose absorbée, réévaluée pour tenir compte de la différence de dangerosité des types de rayonnement (e.g. alpha, beta) et exprimée en Sievert (Sv) ;
- la **dose efficace**, également exprimée en Sievert, est calculée à partir de la dose équivalente, en appliquant une nouvelle série de coefficients qui rendent compte de la sensibilité des différents organes exposés (ICRP, 2007).

L'exposition des personnes aux rayonnements ionisants peut se faire par voie interne et externe. L'irradiation **externe** se produit lorsque des personnes sont exposées aux rayonnements émis par des radionucléides présents dans l'environnement. La radioactivité de l'environnement est généralement mesurée à l'aide d'un radiamètre (tel qu'un compteur Geiger), qui indique le débit-dose ambiant, ou d'un dosimètre qui, porté en permanence par une personne, mesure la dose cumulée par l'individu. L'irradiation **interne**, quant à elle, désigne l'absorption de radionucléides – par l'ingestion d'aliments contaminés ou l'inhalation de poussières – dont les rayonnements affecteront ensuite directement les organes internes. Certaines de ces particules peuvent être assimilées par le corps et y rester pour un temps plus ou moins long ; on parle alors de contamination interne. La contamination du corps d'une personne peut être mesurée par des spécialistes grâce à un anthroporadiamètre (ou *whole body counter*) (SAGE Project, 2005).

Les effets de la radioactivité sur le corps humain sont principalement classés en deux groupes : déterministes et stochastiques. Les **effets déterministes** apparaissent

lors d'une exposition ponctuelle dépassant un certain seuil (de l'ordre de 1 Gy) et leur gravité augmente avec la dose. Une exposition localisée se traduit par des brûlures, des dermatites ou d'autres lésions de la zone exposée. Une exposition du corps entier peut occasionner un « syndrome d'irradiation aiguë » potentiellement mortel. Les **effets stochastiques**, causés par des doses moindres, n'apparaissent pas systématiquement, mais leur probabilité augmente avec la dose reçue. Ils se manifestent principalement sous la forme de cancers, mais des recherches indiquent qu'ils pourraient également s'étendre à des maladies non cancéreuses, notamment cardiovasculaire, respiratoires et digestives (ICRP, 2007 ; Bandazhevskaya et al., 2004).

Les effets d'une exposition prolongée à de faibles doses restent mal connus et sujets à controverse : certains chercheurs estiment que, en dessous d'un certain seuil, l'irradiation serait sans effet, voire bénéfique, tandis que d'autres craignent l'apparition de risques additionnels spécifiques (Brenner et al., 2003). En application du principe de précaution, on emploie généralement le modèle linéaire sans seuil (*Linear Non-Threshold* – LNT), décrivant une relation linéaire entre la dose reçue et la probabilité d'apparition d'effets stochastiques (ICRP, 2007).

1.2.2 Gestion des accidents nucléaires et radiologiques

Comme nous l'avons vu, la découverte de la radioactivité par l'homme a été très vite suivie par l'expérience de ses effets potentiellement dangereux pour la santé. Depuis, l'exploitation de la radioactivité par l'homme a été émaillée de nombreux accidents conduisant à l'exposition de personnes à des doses excessives de rayonnements ionisants. Dans cette section, nous revenons tout d'abord sur les notions même d'accidents radiologiques et nucléaires, puis décrivons quelques-uns des plus graves accidents survenus au cours des dernières décennies.

Définition et classification des accidents nucléaires

Le terme « radiologique » est généralement employé pour désigner ce qui a trait aux rayonnements ionisants. On parle d'« **accident radiologique** » lorsque des personnes sont exposées à des niveaux dangereux de rayonnements ionisants. Le terme « nucléaire », quant à lui, est réservé aux situations mettant en jeu une réaction en chaîne de désintégration radioactive. L'emballage d'un réacteur nucléaire peut ainsi être qualifié d'« **accident nucléaire** ». Si cet accident nucléaire provoque des expositions à des rayonnements, il peut être considéré comme à la fois radiologique et nucléaire. À l'inverse, la dispersion accidentelle (lors du transport, du stockage) ou délibérée (par

exemple à l'aide de « bombes sales ») de particules radioactives constitue un accident radiologique mais pas un accident nucléaire (ASN, 2005).

Dans la législation française, un accident radiologique est qualifié de « situation d'urgence radiologique », définie dans l'article R1333-76 du Code de la santé publique⁴² : « lorsqu'un événement risque d'entraîner une émission de matières radioactives ou un niveau de radioactivité susceptibles de porter atteinte à la santé publique ». Une situation d'urgence radiologique peut entraîner une « situation d'exposition durable », définie par l'article R1333-77⁴³.

L'Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques (INES - *International Nuclear and Radiological Event Scale*)⁴⁴ est l'instrument de référence pour quantifier la gravité des accidents radiologiques. Elle classe les « événements » selon huit niveaux (Figure 1.7) :

- les événements de niveau 0, les moins graves, sont qualifiés de simples « écarts » par rapport au fonctionnement normal ;
- ceux de niveau 1 à 3 sont qualifiés d'« incidents », n'affectant ni la population ni l'environnement en dehors de l'installation nucléaire ;
- ceux de niveau 4 à 7 constituent des « accidents » et affectent significativement la population et/ou l'environnement.

Un accident majeur peut avoir des conséquences à très large échelle spatiale, temporelle et épidémiologique. Les particules radioactives dispersées dans l'atmosphère lors de l'accident peuvent, transportées par le vent et la pluie, retomber sur une très large zone. La contamination résultante est inégale, présentant une alternance de « points chauds » et de zones moins affectées, en « taches de léopard »⁴⁶. Les cours d'eau, les déplacements des animaux et les activités humaines peuvent également contribuer à la dispersion des radionucléides. La contamination radioactive des territoires, invisible et diffuse, ne peut donc être aisément délimitée⁴⁷.

42. https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=EED9183854502B3D3215594C8C2C6119.tpdila10v_1?idArticle=LEGIARTI000006910204&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=2016041

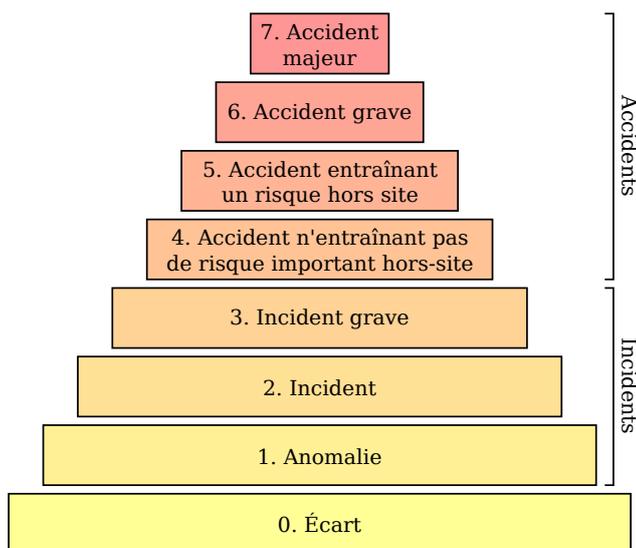
43. https://www.legifrance.gouv.fr/affichCodeArticle.do;jsessionid=F4ADB3B8B66967539A3F13B0D02547D8.tpdila10v_1?idArticle=LEGIARTI000006910205&cidTexte=LEGITEXT000006072665&dateTexte=20030527

44. <http://www-ns.iaea.org/tech-areas/emergency/ines.asp>

45. Adapté de http://www.irsns.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/echelle-ines/Pages/1-criteres-classement.aspx

46. <http://www.irsns.fr/FR/connaissances/Environnement/expertises-incidentes-accidents/comparaison-tchernobyl-fukushima/Pages/1-impact-environnemental-fukushima-tchernobyl.aspx>

47. On peut parler de « déficit figuratif » pour désigner la complexité – voire l'impossibilité – de percevoir et de représenter la menace radioactive (Couégnas & Halary, 2002).

FIGURE 1.7 – Échelle INES ⁴⁵

Certaines particules radioactives peuvent rester présentes dans l'environnement durant des siècles, voire des millénaires avant de disparaître. En effet, si les radionucléides se désintègrent naturellement, certaines d'entre elles le font très lentement ⁴⁸. Cette contamination peut en outre connaître des évolutions difficilement prévisibles, au gré des phénomènes de dilutions, mais aussi de reconcentration liés au cycle de l'eau ⁴⁹ ou à la chaîne alimentaire.

Du point de vue épidémiologique, enfin, un accident nucléaire peut affecter une très large population. En effet, selon le modèle linéaire sans seuil, même une dose minime peut avoir des conséquences sanitaires graves si la population affectée est importante. En outre, la grande majorité des maladies associées aux effets stochastiques des radiations ne sont pas spécifiques à l'irradiation ⁵⁰. Il n'est donc pas toujours possible de déterminer si la maladie d'un individu est liée ou non à son exposition à des rayonnements ionisants. Pour cette raison, le calcul du nombre de victimes d'un accident nucléaire ne peut généralement être établi qu'à l'échelle globale (e.g. excès statistique de décès par cancer sur une population donnée), sans qu'une liste des victimes avérées ne puisse être produite.

48. La demi-vie d'un élément radioactif désigne le temps nécessaire à la désintégration de la moitié des atomes (selon une loi de décroissance exponentielle). Certaines sont courtes (8 jours pour l'iode 131), d'autres extrêmement longues (30 ans pour le césium 137, 24 000 ans pour le plutonium 239).

49. Dans le Mercantour, par exemple, des névés formés au printemps 1986, juste après l'accident de Tchernobyl, ont entraîné l'apparition de hot-spots : http://www.irsn.fr/FR/Actualites_presse/Actualites/Documents/IRSN_NI-Mercantour-Cesium137_06082015.pdf

50. Elles peuvent être causées par d'autres facteurs (pollution, alimentation, mode de vie) ou la combinaison de plusieurs de ces facteurs.

Les accidents nucléaires et radiologiques sont ainsi des événements d'une grande complexité, pouvant avoir des caractéristiques très différentes et dont les frontières sont particulièrement difficiles à tracer.

Principaux accidents nucléaires ou radiologiques

Depuis les premières découvertes relatives à la radioactivité, de nombreux accidents radiologiques et/ou nucléaires sont survenus, avec une grande variété de causes et de conséquences. Les événements de faible magnitude (écarts, incidents) sont très fréquents dans les installations nucléaires⁵¹, mais plusieurs accidents de grande ampleur sont également survenus au cours des dernières décennies⁵². Dans les paragraphes suivants, nous décrivons les plus graves de ces accidents, par ordre chronologique, ainsi que les difficultés qui ont été rencontrées dans la gestion et la communication de crise.

Kychтым (niveau 6). Le 29 septembre 1957, une puissante explosion sur le site de stockage de déchets nucléaires de Mayak (URSS) a projeté une grande quantité de matériaux radioactifs dans l'air. Cet accident radiologique⁵³ a causé la contamination d'une bande de terre longue de près de 300km (EURT – *East Ural Radioactive Trace*) et l'exposition de nombreux habitants, nécessitant l'évacuation de plusieurs villages, la mise en œuvre d'actions de décontamination et de restrictions agricoles. Cet accident, survenu au plus fort de la Guerre Froide, a été longtemps caché aux pays occidentaux. L'information fournie aux populations affectées aurait par ailleurs été très limitée, certains villages n'ayant été évacués que près de deux ans après l'accident (Medvedev, 1976; Kostyuchenko & Krestinina, 1994). Aujourd'hui encore, une partie de la zone contaminée est inaccessible au public (IAEA, 2014, p. 6).

Three Mile Island (niveau 5). Le 28 mars 1979, un enchaînement de défaillances techniques et d'erreurs humaines a causé l'interruption du refroidissement et la fusion du cœur d'un réacteur nucléaire de la centrale de Three Mile Island (États Unis). Malgré les dégâts considérables, seule une faible quantité de particules radioactives a été rejetée hors du réacteur. Cet accident a cependant attiré une incroyable couverture médiatique qui, en raison du manque d'expérience des communicants (personnel de la centrale, journalistes, politiciens), a généré d'importants mouvements de panique

51. En France, au cours de l'année 2015, deux écarts (niveau 0), 94 anomalies (niveau 1), deux incidents (niveau 2) et un événement hors échelle ont été répertoriés : <http://www.asn.fr/Controler/Actualites-du-controler/Avis-d-incident-des-installations-nucleaires>

52. http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/echelle-ines/Pages/2-Incidents-accidents.aspx

53. L'explosion étant due à une réaction chimique et non à une réaction nucléaire en chaîne, l'accident est radiologique, mais pas nucléaire

au sein de la population. Tandis que les autorités locales n'avaient recommandé que l'évacuation préventive des enfants et femmes enceintes, près de 140 000 habitants des environs ont temporairement fui les environs de la centrale. L'accident de Three Mile Island – le premier dont la plupart des citoyens aient entendu parler – a eu un impact considérable sur la perception du risque nucléaire et sur les pratiques de communication de crise (Rubin, 1979 ; Sandman, 2006 ; Perko, 2011 ; IAEA, 2014 ; Sato, 2015).

Goiânia (niveau 5). En septembre 1985, des ferrailleurs ont récupéré un appareil de radiothérapie dans un hôpital abandonné de Goiânia (Brésil). Sans avoir conscience du danger, ils sont parvenus à le démonter et ont dispersé la substance radioactive qu'il contenait (césium-137), fascinés par sa luminescence. En quelques jours, près de 250 personnes ont été contaminées à différents degrés et quatre d'entre elles sont décédées des suites du syndrome d'irradiation aiguë. Plusieurs dizaines d'habitations ont dû être évacuées pour être décontaminées et certaines, trop contaminées, ont été démolies (IAEA, 1988).

Tchernobyl (niveau 7). Le 26 avril 1986, suite à des manipulations hasardeuses, le réacteur numéro 4 de la centrale nucléaire de Tchernobyl (Ukraine) s'est emballé et a explosé. Le nuage de particules radioactives relâchées dans l'atmosphère a fortement contaminé de larges territoires en Ukraine, Russie et Biélorussie, provoquant l'évacuation de centaines de milliers de personnes (Figure 1.8).



FIGURE 1.8 – Contamination radioactive et zonage après l'accident de Tchernobyl⁵⁴

Il a ensuite traversé l'Europe, entraînant des dépôts radioactifs conséquents, tout particulièrement en Finlande, en Suède et en Autriche⁵⁵, nécessitant la mise en œuvre d'actions de protection (notamment sous forme de restrictions alimentaires). Le grand nombre d'organisations impliquées dans la gestion de cet accident transnational, appliquant des normes et des procédures différentes⁵⁶, a généré une communication de crise confuse, lente et peu crédible (Otway, 1991).

Dans toute l'URSS, des centaines de milliers de « liquidateurs » ont été recrutés pour éteindre l'incendie du réacteur et l'enfermer dans un sarcophage de béton, en travaillant dans un environnement hautement radioactif. Le nombre de victimes, tant chez les liquidateurs que dans la population des zones contaminées, est sujet à controverse. Les 9000 décès (passés et futurs) par cancers annoncés par l'OMS⁵⁷ peuvent être considérés comme une estimation basse⁵⁸. La centrale est aujourd'hui entourée d'une zone d'exclusion de 2 600 km². Un nouveau sarcophage est en cours d'installation au-dessus du premier et devrait permettre le démarrage des travaux de démantèlement⁵⁹ (Figure 1.9). L'accident nucléaire de Tchernobyl constitue le plus grave accident radiologique et nucléaire à ce jour.



FIGURE 1.9 – Nouveau sarcophage (*New Safe Confinement*, à gauche), peu avant son installation sur le réacteur accidenté (à droite)⁶⁰

54. Carte par Sting, licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tchernobyl_radiation_1996.svg)

55. En France, une contamination notable a été observée en Corse et dans les régions de l'Est : http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-tchernobyl-1986/25ans/Pages/4-video-retombees-Tchernobyl-France.aspx

56. Sans compter les difficultés liées au contexte géopolitique de la Guerre Froide

57. <http://www.who.int/mediacentre/news/releases/2006/pr20/en/>

58. Un rapport indépendant suggère entre 30 000 et 60 000 décès par cancer (Fairlie & Sumner, 2006, p. 12), tandis que les militants écologistes de Greenpeace avancent le nombre de 100 000 décès : <http://www.greenpeace.org/international/en/news/features/chernobyl-deaths-180406/>

59. <http://chnpp.gov.ua/en/home>

Fukushima (niveau 7). Le 11 mars 2011, un puissant séisme déclenche un tsunami qui balaye les côtes Nord-Est du Japon. Les installations de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi sont partiellement submergées, causant l'arrêt de refroidissement et la fusion des cœurs de trois des six réacteurs (Figure 1.11). Le bassin de stockage du quatrième réacteur est par ailleurs fortement endommagé. Des vapeurs chargés de particules radioactives sont rejetées dans l'atmosphère à plusieurs reprises et contaminent des territoires, nécessitant la création d'une zone interdite (Figure 1.10) et provoquant le déplacement d'environ 160 000 personnes (Gorre, 2014). La conjonction du manque d'information sur les niveaux de radiations et des communiqués excessivement rassurants diffusés par les autorités a entraîné une rapide perte de confiance de la population en l'action gouvernementale (Li et al., 2014). Dans ce contexte, une surveillance citoyenne de la crise (Plantin, 2011) et des « pratiques de résilience communautaire » (Lagane, 2013) se sont développées à travers le Japon.

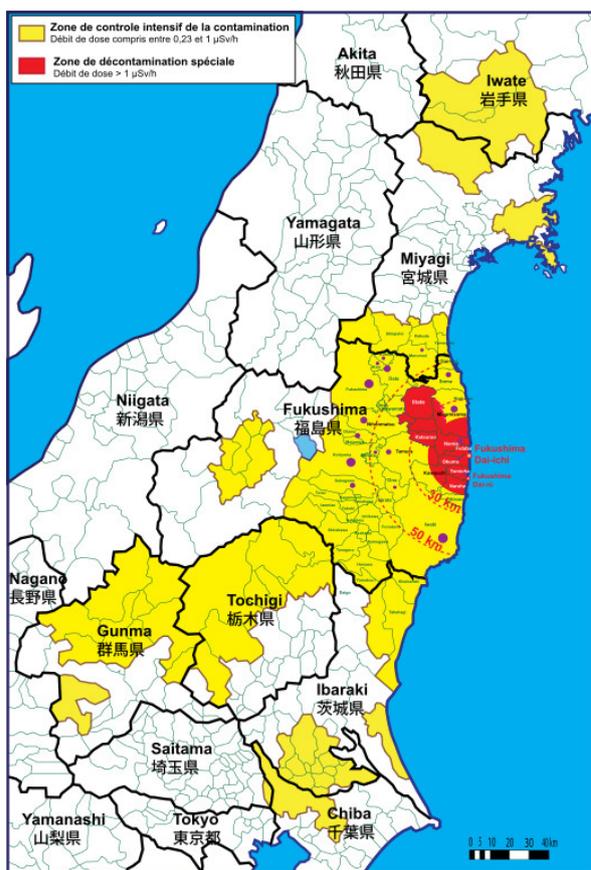


FIGURE 1.10 – Contamination radioactive après l'accident de Fukushima



FIGURE 1.11 – Réacteur numéro 3, dévasté par l'accident



FIGURE 1.12 – Un des nombreux sites de stockage de déchets radioactifs⁶¹

60. Photographie par Chernobyl NPP (<http://chnpp.gov.ua/en/default/102-about/4049-panoramy-gsp-chaes>)

⁶¹

Aujourd'hui encore, l'eau injectée dans les réacteurs pour les refroidir continue de contaminer l'environnement, en s'infiltrant dans le sol et en s'écoulant dans l'océan Pacifique. La décontamination des territoires a en outre généré d'immenses quantités de déchets dont le stockage pose toujours problème (Figure 1.12) (Gorre, 2014). Le démantèlement des réacteurs accidentés devrait durer encore 30 à 40 ans⁶².

Si aucune victime de l'irradiation n'a encore été identifiée, le déplacement et le stress résultant ont causé la mort de nombreuses personnes⁶³. L'accident et sa gestion – notamment l'évacuation de la population des zones contaminées – ont par ailleurs fortement affecté le fonctionnement des familles (e.g. séparation des couples, tensions intergénérationnelles) et des communautés touchées (e.g. perte des liens communautaires, stigmatisation des victimes, conflits relatifs à l'indemnisation) (Gorre, 2014).

Survenus à des époques et dans des contextes variés, ces cinq accidents ont eu des conséquences sanitaires et environnementales très différentes. Pourtant, leur déroulement révèle systématiquement des problèmes relatifs à la communication du risque – en matière de prévention ou de préparation – et de la crise – comme la réponse des exploitants, des autorités ou encore des médias. Les interactions entre les autorités et le grand public semblent notamment avoir été problématiques.

1.2.3 Communication de crise nucléaire

Ces cas nous montrent que la gestion et la communication des accidents nucléaires est particulièrement complexe. Pour maîtriser cette complexité, il est nécessaire d'identifier les spécificités de ces situations de crise et de prendre en compte leur impact sur la perception du risque nucléaire. Dans cette section, nous exposons quelques-unes de ces spécificités puis nous décrivons et commentons le plan de réponse prévu en France pour la gestion des étapes clefs d'un tel accident.

61. Figure 1.10 : Carte par Roulex_45, licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Fukushima_decontam.svg)

Figure 1.11 : Photographie par Giovanni Verlini / IAEA, licence CC-BY-SA (https://www.flickr.com/photos/iaea_imagebank/6234779912/in/album-72157627870489208/)

Figure 1.12 : Photographie par Toru Hanai / Reuters (<http://www.reuters.com/article/us-japan-tsunami-widerimage-idUSKBNOM5OHS20150309>)

62. http://www.meti.go.jp/english/earthquake/nuclear/decommissioning/pdf/20160527_01.pdf

63. En raison de l'intrication des effets du séisme, du tsunami et de l'accident nucléaire, il est difficile de déterminer le nombre exact de victimes causées exclusivement par l'évacuation des zones menacées par les radiations.

Perception sociale et communication du risque nucléaire

Nous avons vu que le risque doit être considéré non comme une propriété concrète et objective d'une situation donnée, mais comme une construction issue des perceptions tant individuelles que collectives des parties prenantes (Section 1.1.1). La compréhension de la perception du risque radiologique est donc cruciale pour communiquer efficacement après un accident nucléaire (Perko, 2015 ; Renn, 2008). Les citoyens considèrent l'énergie nucléaire comme particulièrement dangereuse, en comparaison avec la perception qu'en ont les experts (Slovic, 1996). Avant la survenue des premiers graves accidents nucléaires – notamment Three Miles Island (1977) car l'accident de Kychtym, bien qu'antérieur, était resté secret – cette appréhension pouvait notamment s'expliquer par l'origine militaire des technologies nucléaires et leur association avec la bombe atomique (Hohenemser, Kaspersen, & Kates, 1977). Depuis, le caractère invisible et l'origine humaine de la radioactivité, la crainte de la douleur associée au cancer, le manque de contrôle et de compréhension de la situation contribuent également à cette perception exacerbée du danger (Ropeik, 2008). Cependant, cette crainte dépend fortement du contexte d'exposition. Ainsi, les mêmes rayonnements ionisants sont perçus comme beaucoup moins dangereux durant une radiographie ou une radiothérapie que lors d'une exposition involontaire (Sato, 2015 ; Slovic, 1996).

Par ailleurs, les conflits relatifs aux usages de l'énergie nucléaire affectent fortement les perceptions du risque radiologique (Lochard, 2002). La contestation anti-nucléaire est née de l'opposition à l'arme atomique dans les années 1950, puis s'est focalisée sur l'intensification du développement du nucléaire civile au cours des années 1970 (Topçu, 2006). Le nucléaire n'était pas seulement critiqué pour sa dangerosité, mais également comme le symbole d'une société industrielle, bureaucratique, technocratique et autoritaire (Chambru, 2015 ; Topçu, 2007 ; Weart, 1991). Depuis l'accident de Tchernobyl, la critique porte davantage sur la gestion du risque radiologique et les défaillances des organisations garantes de l'expertise nucléaire (Topçu, 2006). La recherche d'une contre-expertise scientifique a entraîné la création de nombreuses associations, comme la CRIIRAD (Commission de Recherche et d'Information Indépendantes sur la Radioactivité)⁶⁴ et l'ACRO (Association pour le Contrôle de la Radioactivité dans l'Ouest)⁶⁵ en France (toutes deux fondées en 1986). Dans ce contexte conflictuel, chaque incertitude scientifique – telle que celles relatives aux effets des faibles doses d'irradiation – fait l'objet de vives controverses (Lochard, 2002), affectant fortement la crédibilité de l'ensemble des acteurs institutionnels.

64. <http://www.criirad.org/>

65. <http://www.acro.eu.org/>

La confiance et la connaissance jouent un rôle important dans la gestion et la communication du risque nucléaire. Ainsi, les personnes ayant des connaissances préalables dans le domaine sont plus attentives à la communication de crise et retiennent davantage d'informations (Perko, 2015). La complexité de la situation, l'incertitude quant à l'importance du risque et la diversité des perceptions de ce risque sont d'importants facteurs de l'inquiétude suscitée par la radioactivité (Sato, 2015). Cela confirme le besoin d'une solide communication du risque en prévision d'un éventuel accident nucléaire, puis, lorsqu'un accident survient, d'une communication de crise basée sur la transparence. Par ailleurs, les démarches d'expertise pluraliste, associant toutes les parties prenantes – citoyens et experts –, contribuent tant à la qualité qu'à l'acceptabilité de la gestion de crise (Lochard, 2002). Dans le domaine du nucléaire comme dans les autres, la communication de crise doit donc prendre la forme d'un dialogue incluant le public (Perko, 2015).

Enfin, la gestion et la communication du risque nucléaire doivent être considérées sur toute la durée de la crise. En effet, les personnes confrontées durablement au risque radiologique peuvent développer des attitudes de dénis ou de fatalisme (Abbott, Wallace, & Beck, 2006 ; ICRP, 2009, p.23) qui se traduisent par des réactions parfois contradictoires d'exagération ou de diminution des précautions (e.g. consommation d'aliments pourtant déconseillés ou, à l'inverse, anxiété extrême) (IAEA, 2005, p.41). Ces attitudes, adoptées pour réduire la charge cognitive et l'anxiété générées par la crise (Covello, 1983), peuvent affecter l'efficacité des mesures de protection et donc alourdir les conséquences sanitaires de l'accident. Pour ces raisons, les actions d'information et d'aide aux victimes doivent être maintenues tout au long de la crise⁶⁶.

Gestion d'une crise nucléaire en France

Le CODIRPA (Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle), émanant de l'ASN (Autorité de Sûreté Nucléaire), a développé pour la France un ensemble d'« éléments de doctrine » décrivant le processus de gestion d'un accident nucléaire⁶⁷. Ce plan divise une crise nucléaire⁶⁸ en deux phases successives : la phase

66. Cette gestion à long terme nécessite un engagement à long terme des autorités pour financer les actions coûteuses de protection et de communication. En Ukraine, par exemple, entre 5 et 7% du budget du gouvernement sont dédiés à la gestion de l'accident de Tchernobyl. En Biélorussie, cette part a baissé de 22,3% en 1991 à 6,1% en 2002 (IAEA, 2005, p.33). Une telle diminution ne saurait être sans conséquences sur la qualité de l'aide apportée aux victimes.

67. <http://post-accidentel.asn.fr/Gestion-post-accidentelle/Les-travaux-du-CODIRPA>

68. La rapport emploie le terme « nucléaire » mais traite davantage des conséquences « radiologiques » d'un tel accident.

d'urgence et la phase post-accidentelle nucléaire (PAN), chacune composée de plusieurs périodes (Figure 1.13).

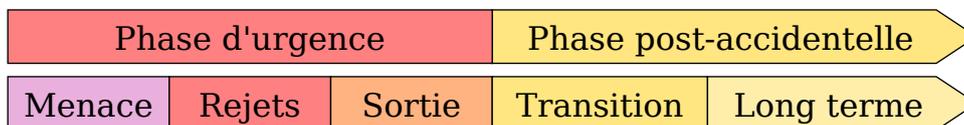


FIGURE 1.13 – Phases et périodes d'un accident nucléaire⁶⁹

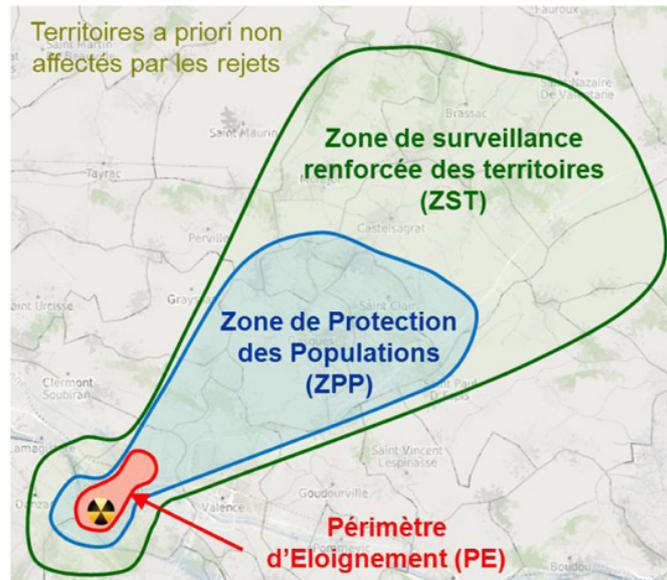
La **phase d'urgence** correspond à l'accident en lui-même et s'articule en trois périodes : menace, rejets et sortie. Durant la *période de menace*, des défaillances surviennent dans une installation, entraînent une *phase de rejets* de substances radioactives dans l'environnement au cours de laquelle des actions sont entreprises pour faire cesser ces rejets. Au cours de cette phase, la gestion de crise est caractérisée par la nécessité d'agir très vite pour limiter l'exposition de la population. Elle consiste principalement à mettre en application les « actions de protection d'urgence » prévue en prévision de la crise dans un *plan particulier d'intervention* (PPI) défini par les autorités locales : information, confinement, évacuation, prise de comprimés d'iode⁷⁰.

La *période de sortie* vise à mettre fin à ces mesures d'urgence, nécessairement génériques, au profit d'actions plus adaptées à la situation réelle. Ces ajustements nécessitent tout d'abord un zonage des territoires affectés, réalisé à l'aide de modélisations de la contamination basées sur les premières données de l'accident. Le zonage permet de définir un *périmètre d'éloignement* (PE) dont la population doit être durablement évacuée, une *zone de protection des populations* (ZPP) où des contre-mesures devront être mises en place pour limiter l'exposition et une *zone de surveillance renforcée des territoires* (ZST) pour laquelle une vigilance particulière est de mise (Figure 1.14). Dans chacune de ces zones, des mesures destinées à limiter l'exposition et éviter la dispersion des radionucléides peuvent s'appliquer : nettoyage des habitations, fixation des poussières, restrictions quant à la circulation des marchandises et des productions agricoles. La population vivant dans les zones affectées par l'accident est prise en charge grâce à la mise en place de *centres d'accueil et d'information* (CAI), à l'estimation des doses reçues en vue d'une surveillance épidémiologique et à la mise en œuvre d'un suivi psychologique.

69. Adapté depuis (CODIRPA, 2012)

70. La prise de comprimé d'iode stable permet de saturer la thyroïde, l'empêchant d'absorber l'iode radioactif, cancérigène, souvent relâché lors d'accidents nucléaires.

71. http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/risque-nucleaire/zonage-post-accidentel/Pages/sommaire.aspx

FIGURE 1.14 – Zonage post-accidentel⁷¹

Notre travail ne s'intéresse pas tant à la phase d'urgence qu'à la **phase post-accidentelle**, qui commence lorsque les rejets de substances radioactives prennent fin et que la situation de crise se stabilise. Tout au long de cette phase, composée de deux périodes (transition et long-terme), les conséquences de l'accident doivent être gérées durablement.

Durant la *période de transition*, la mesure de la contamination sur le terrain se substitue à la simulation pour permettre une ré-évaluation (généralement itérative) du zonage. Cela peut, dans certaines zones préalablement évacuées, permettre le retour d'habitants, nécessitant un accompagnement particulier. De même, les restrictions agricoles, systématiques durant la phase d'urgence, peuvent être aménagées à condition qu'un système de contrôle efficace puisse être mis en place. Pour les personnes vivant dans des zones contaminées, un approvisionnement en eau et nourriture saines doit être assuré. L'information des habitants doit se poursuivre, pour leur garantir l'accès à des mesures de la radioactivité (en assurant la pluralité des sources) et permettre le développement d'une « culture pratique de la radioprotection » (connaissances et savoir-faire nécessaires à la mise en œuvre d'actions de protection). Le suivi médical doit se poursuivre, de manière à commencer l'évaluation des conséquences sanitaires de la catastrophe. La suite des actions de nettoyage nécessite, enfin, la mise en place de solutions pérennes pour la gestion des déchets contaminés.

La *période de long terme*, enfin, désigne les décennies voire les siècles durant lesquels les contre-mesures doivent être scrupuleusement mises en œuvre, contrôlées et

adaptées, jusqu'à ce que la contamination des territoires s'estompe. Les actions de mesure, d'information du public et de suivi sanitaire doivent se poursuivre. L'implication des acteurs locaux – comme les professionnels de la santé ou de l'éducation – et des citoyens peut permettre de maintenir l'engagement dans les actions de protection. L'expérimentation en vue de réduire la contamination des productions (notamment agricoles et forestières) doit être encouragée. L'activité économique dans la région ne peut néanmoins être relancée qu'en prenant en compte les risques liés aux conditions de travail en milieu contaminé (CODIRPA, 2012).

Les limites d'un mode de gestion centralisé

On constate que les mesures décrites dans ce plan s'inscrivent dans un schéma de gestion descendante (*top-down*) de la situation de crise, s'appuyant sur une distinction très marquée entre les victimes et les experts chargés de la gestion de la crise.

En phase d'urgence, les CAI, principaux relais de l'information, sont avant tout créés pour « l'apport d'informations » aux citoyens (CODIRPA, 2012, p.14). Leurs missions s'élargissent durant la période de transition, mais conservent la même finalité : « informer sur l'accident et ses conséquences », « diffus[er] des conseils et des bonnes pratiques » (p.29-30). Cette tendance se retrouve également dans les démarches à destination des professionnels dont l'activité est affectée par la contamination, pour lesquels le CODIRPA recommande l'intervention d'« experts capables d'apporter des informations [...] adaptées à la demande des producteurs » (p.66). Ce discours reflète une communication pensée comme unidirectionnelle et descendante, où les citoyens sont considérés comme passifs, exclusivement en situation de demande d'informations. Si les CAI peuvent « permettre la remontée d'informations relatives à la gestion de l'événement » (p.58), ces informations ne sont destinées qu'à permettre aux autorités d'adapter leurs actions en conséquence. Cette interaction ressemble davantage à une simple boucle de rétroaction (*feedback*) qu'au véritable dialogue recommandé dans la section précédente.

Par ailleurs, ce plan de gestion préconise une place centrale des experts et des autorités dans la communication de crise. L'implication des associations, des enseignants et des professionnels de la santé locaux n'est envisagée que pour la diffusion des connaissances émanant des institutions. L'« autoprotection » (p.63) demandée aux citoyens ne consiste qu'à suivre des contre-mesures proposées par les experts. Cette vision semble contradictoire avec l'objectif affiché de favoriser, durant la phase de long terme, l'« acquisition d'une autonomie des habitants face à la situation de contami-

nation radiologique » (p.63). De plus, le CODIRPA est très suspicieux à l'égard des dispositifs permettant aux citoyens d'être acteurs de la diffusion d'information : « des vidéos, des commentaires ou des articles postés sur des réseaux sociaux, des blogs peuvent perturber le message des pouvoirs publics » (p.59). Cependant, comme nous le verrons dans le chapitre suivant, l'usage de ces médias en situation de crise est non seulement inévitable, mais également un atout pour une gestion de crise incluant de manière efficace tous les acteurs.

Ce mode de gestion *top-down* (descendant) de l'information peut être approprié en phase d'urgence, lorsque la mise en application du PPI nécessite une action rapide et coordonnée. En revanche, durant de phase de long terme, lorsque ces contraintes ont disparu, une telle approche est en contradiction avec les recommandations que nous avons préalablement relevées dans la littérature. La gestion de la crise doit inclure davantage les citoyens, notamment à travers la mise en place de dispositifs de communication de crise ouverts, bidirectionnels et décentralisés.

Synthèse

Une situation de crise survient lorsqu'un événement imprévisible affecte le fonctionnement de la société. Les crises peuvent être considérées comme la manifestation d'un risque préexistant, que l'on a pas pu empêcher de se concrétiser. La gestion d'une crise doit permettre le retour à un fonctionnement normal de la société. Ce processus est néanmoins compliqué par la nature subjective des risques et des crises. En effet, la perception de ces derniers – et par conséquent les actions qui doivent être entreprises pour y répondre – dépendent fortement de facteurs individuels et sociaux. Une gestion efficace de la crise nécessite donc la mise en place d'une communication de crise permettant la construction d'une image commune de la situation. Pour cela, cette communication doit prendre la forme d'un dialogue ouvert entre l'ensemble des acteurs.

En l'espace d'un siècle, les technologies exploitant l'énergie nucléaire ont pris une place centrale dans nos sociétés. Pourtant, les rayonnements ionisants présentent des risques importants pour la santé humaine. Au cours des dernières décennies, plusieurs accidents radiologiques de grande ampleur ont ainsi causé la mort, la maladie ou le déplacement de centaines de milliers de personnes. La gestion de crises de ce type est par ailleurs complexifiée par des spécificités relatives à la

perception du risque nucléaire. Pourtant, le processus de gestion de crise prévu en cas d'accident nucléaire en France ne repose que sur une communication de crise unidirectionnelle et descendante.

Nous estimons que le manque de dialogue lors de la gestion des conséquences d'un accident nucléaire est susceptible d'affecter la réussite de cette gestion et, par conséquent, la vie des personnes affectées par la crise. Durant la phase post-accidentelle, tout particulièrement, il nous semble indispensable de mettre en place des dispositifs de communication de crise permettant la participation active des habitants des zones contaminées. L'éventualité d'un accident nucléaire en Europe, voire en France, nous amène à considérer la conception de tels dispositifs comme une question scientifique capitale.

Dans cette perspective, nous allons maintenant étudier le rôle que jouent les technologies de l'information et de la communication pour la communication de crise.

Chapitre 2

Communication médiatisée en situation de crise

The Web is more a social creation than a technical one. I designed it for a social effect — to help people work together — and not as a technical toy¹.

Tim Berners-Lee, *Weaving the Web*

Des débuts du télégraphe électrique, au XIX^{ème} siècle, jusqu'à l'avènement des connexions Internet par satellite, les technologies de la communication ont connu une suite ininterrompue d'innovations. Conséquemment, les pratiques de communication médiatisée se sont radicalement transformées. La communication de crise ne fait pas exception, et a vu son fonctionnement bouleversé par l'émergence de ces technologies ainsi que par les opportunités qu'elles offrent à leurs utilisateurs.

Dans ce chapitre, nous résumons tout d'abord le rôle joué par les médias sociaux au cours des situations de crise (2.1). Pour cela, nous revenons dans un premier temps sur le développement des systèmes de communication basés sur le réseau Internet et les technologies du Web (2.1.1), puis décrivons les pratiques de communication de crise qui se sont développées autour de ces outils (2.1.2). Dans un deuxième temps, nous présentons les technologies du Web Sémantique, leur potentiel pour les systèmes d'organisation des connaissances et leurs apports possibles à la communication de crise (2.2).

1. « Le Web est davantage une création sociale que technique. Je l'ai conçu dans un but social – aider les gens à travailler ensemble – et non comme un jouet technique. » (traduction personnelle)

2.1 Usage des médias sociaux pour la communication de crise

Aujourd'hui, à travers les smartphones, leurs caméras, les réseaux sans-fil et les logiciels de messagerie instantanée, les situations de crises peuvent être documentées et commentées dans le monde entier quelques minutes après leur occurrence. Ce nouveau potentiel en termes d'instantanéité et de portée de la communication de crise est fortement lié aux caractéristiques des systèmes informatiques qui sous-tendent ces échanges, mais aussi des pratiques et usages qui se sont développés parallèlement à l'émergence de ces technologies.

2.1.1 Médias sociaux et Web social

On emploie le terme « média » pour désigner « tout moyen de communication servant à transmettre et à diffuser des informations, des œuvres »². L'expression « communication médiatisée » englobe l'ensemble des situations de communication s'appuyant sur un média, qui assume alors le rôle de « tiers médiateur » entre les interlocuteurs. Sans aller jusqu'à considérer que « le vrai message, c'est le médium lui-même »³ (McLuhan, 1968), il est indéniable que les caractéristiques des médias affectent le déroulement et les effets des processus communicationnels qu'ils supportent. Ainsi, l'étude de la communication de crise médiatisée nécessite de se pencher sur les médias utilisés dans le cadre de ces processus de communication, pour les analyser dans leur dimension conceptuelle d'objets de recherche mais aussi leurs caractéristiques matérielles d'objets techniques (Davallon, 2004).

En seulement quelques décennies, Internet s'est imposée comme l'un des principaux canaux de communication du monde moderne. Dans cette section, nous retraçons les principales étapes du développement de ce réseau. Nous détaillons ensuite les spécificités des outils du Web social et les pratiques de communication médiatisée qui s'appuient sur ces technologies.

2. <http://cnrtl.fr/definition/academie9/m%C3%A9dia>

3. Si cette formule a été employée dans bien des contextes différents, l'auteur l'utilise initialement pour décrire l'effet de l'évolution des médias sur les processus communicationnels : « les effets d'un médium sur l'individu ou sur la société dépendent du changement d'échelle que produit chaque nouvelle technologie » (McLuhan, 1968, p.37). Il soutient, à travers cet aphorisme, que les médias doivent faire l'objet d'autant d'intérêt scientifique que les messages qu'ils véhiculent.

Développement des technologies de l'information et de la communication

Le 9 décembre 1968, lors de la Fall Joint Computer Conference de San Francisco, Douglas Engelbart a présenté le système NLS (*oN Line System*) alliant le traitement de texte et les outils de collaboration à distance, grâce à des technologies innovantes (vidéoconférence, souris, liens hypertextes) (Engelbart & English, 1968 ; Turner & Vanini, 2012). Cette présentation visionnaire⁴, ultérieurement désignée *The Mother of all Demos*, a démontré le fort potentiel communicationnel des technologies numériques (Figure 2.1).



FIGURE 2.1 – Station de travail telle que celle utilisée pour la Démo⁵

À partir de la fin des années 1960, les réseaux informatiques se développent à travers le monde. Le 29 octobre 1969, une connexion entre deux ordinateurs situés à l'Université de Californie à Los Angeles et à l'Institut de Recherche de Stanford marque la naissance d'ARPANET (*Advanced Research Projects Agency Network*), premier réseau des universités et institutions américaines par transfert de paquets⁶. En 1970, ARPANET atteint la côte Est des États-Unis puis, en 1973, la Norvège et la Suède sont reliées par satellite, et Londres par câble. Certains pays, notamment en Europe, développent également leurs propres réseaux, basés sur des technologies différentes (telles que le protocole X25 en France). En 1983, ARPANET adopte les protocoles de com-

4. Notamment influencée par l'article prophétique *As We May Think* (Bush, 1945 ; Turner & Vanini, 2012), présentant un système de gestion massive des connaissances, le Memex, à une époque où l'informatique n'était encore que balbutiante.

5. Figure 2.1 : Photographie par SRI International, licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:SRI_Bill_English_1968.jpg?uselang=fr)

6. http://www.livinginternet.com/i/ii_arpanet.htm

munication TCP/IP⁷ (*Transmission Control Protocol / Internet Protocol*), et s'ouvre plus largement aux autres réseaux. L'interconnexion de l'ensemble des réseaux TCP/IP existants prend le nom d'Internet, comme abréviation de *internetwork*⁸.

Internet a permis le développement d'une multitude de systèmes de communication. Cependant, nombre de ces outils se sont inspirés de fonctionnalités antérieures à Internet. Ainsi, des programmes de courrier électronique et même de messagerie instantanée existaient déjà sur certains ordinateurs multi-utilisateurs des années 1960⁹. Les BBS (*Bulletin Board System*), précurseurs des forums actuels, utilisaient initialement de simples connexions par modem sur le réseau téléphonique¹⁰ pour permettre l'échange de messages et de fichiers (Dreyfus & Assange, 1997). De même, le système de groupe de discussion Usenet, très populaire avant l'essor du Web, a été créé en 1979 pour diffuser des annonces sur le réseau interne de l'université de Duke et n'a été connecté à ARPANET qu'un an plus tard¹¹. Ainsi, Internet permet avant tout de donner une portée mondiale à des outils de communication préexistants.

Le World Wide Web (la toile d'araignée mondiale, plus communément nommée le Web) naît en 1989, lorsque Tim Berners-Lee propose de créer un outil pour faciliter l'échange de documents au sein du Centre Européen pour la Recherche Nucléaire (CERN). Il s'appuie sur les protocoles de communication TCP/IP et sur les premiers langages de balisage de texte (tels que SGML – *Standard Generalized Markup Language*) pour implémenter un système d'hypertexte distribué (Berners-Lee, 1989). L'hypertexte peut être défini comme « un texte qui n'a pas de contrainte de linéarité »¹², dont les fragments sont connectés par des liens interactifs¹³. Le Web est donc composé d'un ensemble de documents numériques (ou pages) interconnectés, stockés sur des ordinateurs différents, qui peuvent être disséminés dans le monde entier. Les pages web, identifiées par des adresses URL¹⁴ (*Uniform Resource Locator*), sont décrites à l'aide du langage de balisage HTML (*HyperText Markup Language*) et transmises via Internet, grâce au protocole de communication HTTP¹⁵ (*HyperText Transfer Protocol*).

7. http://www.livinginternet.com/i/ii_tcpip.htm

8. <https://tools.ietf.org/html/rfc675>

9. <http://www.multicians.org/thvv/mail-history.html>

10. En France, certains systèmes BBS étaient également accessibles via le réseau Transpac, utilisé par les terminaux Minitel, un autre ancêtre de l'Internet d'aujourd'hui.

11. <http://archive.oreilly.com/network/2001/12/21/usenet.html>

12. « *Text which is not constrained to be linear* » (traduction personnelle) : <http://www.w3.org/History/19921103-hypertext/hypertext/WWW/Terms.html#hypertext>

13. Le concept de lien hypertextuel a été théorisé par Vannevar Bush, pour la bibliothèque électronique de son système Memex (Bush, 1945). Le terme « *hypertext* », quant à lui, a été introduit par Ted Nelson, dans le cadre du projet de système d'information en réseau Xanadu (Nelson, 1965).

14. <https://tools.ietf.org/html/rfc1738>

15. <https://tools.ietf.org/html/rfc1945>



FIGURE 2.2 – Station de travail NeXt Cube utilisée comme le premier serveur web, au CERN

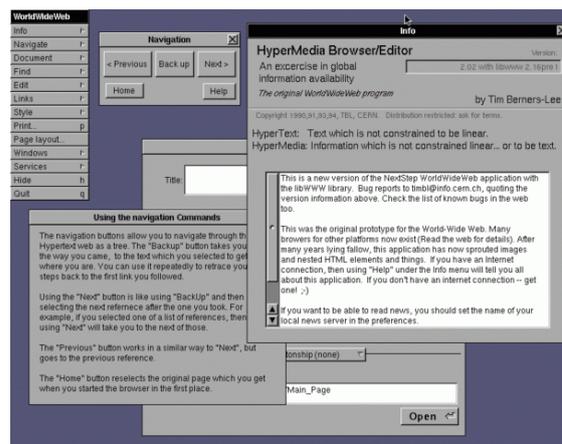


FIGURE 2.3 – WorldWideWeb, le premier client web, développé pour le NeXt, par Tim Berners-Lee¹⁶

Le premier serveur web est déployé au CERN en 1991 (Figure 2.2). Les logiciels serveurs et clients (Figure 2.3) sont diffusés gratuitement et leurs spécifications ouvertes stimulent la création de nouveaux sites à un rythme exponentiel : 10 sites web en juin 1992, 130 en juin 1993, 2 738 en juin 1994, 23 500 en juin 1995 ... la barre du milliard a été franchie en 2014¹⁷.

Spécificités et diversité des médias sociaux

Depuis la fin des années 1990, le Web voit ses usages se diversifier et se complexifier, à mesure que les technologies mûrissent et que ses utilisateurs se multiplient. Le terme « Web 2.0 » est utilisé dès 1999 pour identifier la future transformation du Web, alors simple média, en un canal permettant de distribuer toutes sortes de contenus multimédias à destination de tous types de terminaux (e.g. télévision, téléphones, voitures) (DiNucci, 1999). D'un concept initialement technique, le sens de l'expression « Web 2.0 » évolue peu à peu pour désigner plus particulièrement le caractère social des usages permis par ces nouvelles technologies. La première définition de ce terme par Tim O'Reilly, mentionne notamment le potentiel de création et de réutilisation des données par les utilisateurs, faisant du Web 2.0 une « architecture de participation » (O'Reilly, 2005). En effet, alors que la participation au Web « classique » (ou

16. Figure 2.2 : Photographie par Coolcaesar, Licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:First_Web_Server.jpg)

Figure 2.3 : Capture d'écran par Ck_mpk, Licence CC-BY-SA (<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:WorldWideWeb.png>)

17. <http://www.internetlivestats.com/total-number-of-websites/>

« Web 1.0 ») nécessitait des compétences informatiques (langage HTML, transfert FTP, administration serveur) pour l'écriture et la mise en lignes de contenus, les technologies du Web 2.0 doivent abaisser ces barrières techniques, facilitant ainsi le partage et la collaboration entre les internautes au sein d'un « Web social » (Breslin, Passant, & Decker, 2009, p. 12).

Les termes *produser* (contraction de *producer* et *user*)¹⁸ et *produsage* ont été proposés pour désigner les activités hybrides mélangeant l'usage de contenus existants et la production de nouveaux contenus (Figure 2.4) (Bruns & Schmidt, 2011). Ces activités présentent généralement les caractéristiques suivantes :

- la participation ouverte à tous et évaluée par la communauté ;
- une structure méritocratique plate, multipolaire et changeante ;
- des processus de développement itératifs et continus ;
- la propriété commune des productions (Bruns & Schmidt, 2011).

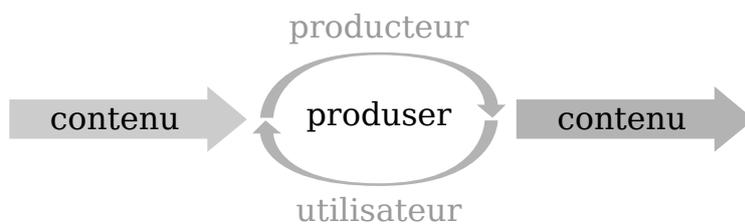


FIGURE 2.4 – Processus de produsage¹⁹

Les « contenus générés par les utilisateurs » (*User Generated Contents*) jouent un rôle central dans le Web moderne. Le terme « médias sociaux » est utilisé pour désigner l'ensemble des applications s'appuyant sur les principes et les technologies du Web 2.0 pour permettre la création et le partage de ces contenus générés par les utilisateurs (Kaplan & Haenlein, 2010). Cette appellation recouvre néanmoins une grande variété d'outils, avec des fonctionnalités et des objectifs parfois très différents. Une typologie bien connue distingue six principales catégories de médias sociaux (Kaplan & Haenlein, 2010) :

- les projets collaboratifs, tels que les wikis (dont Wikipédia n'est qu'un exemple) et les sites de partage de liens web (*social bookmarking*), permettant la création commune et simultanée de contenus par de nombreux utilisateurs ;
- les blogs (et leurs dérivés tels que les microblogs et les vidéoblogs), pages web généralement composées d'articles classés de manière antéchronologique et disposant d'un système d'ajout de commentaires ;

18. Par analogie avec la notion de *prosumer*, contraction de *producer* et *consumer* (Toffler, 1990).

19. Adapté et traduit de : <http://produsage.org/produsage>

- les communautés de contenus, dédiées au partage de textes, d’images, de vidéos ;
- les monde virtuels des jeux vidéos, au sein desquels les joueurs sont représentés par des avatars pouvant interagir entre eux dans le cadre des règles du jeu ;
- les mondes virtuels sociaux, visuellement proches des précédents, mais offrant généralement une plus grande liberté d’action ;
- les sites de réseaux sociaux (SNS – *Social Networking Site*) – également dénommés « réseaux sociaux numériques » (RSN), ou plus simplement « réseaux sociaux »²⁰ en France – que nous allons détailler ci-après.

Les sites de réseaux sociaux peuvent être définis comme des « services web permettant à leurs utilisateurs 1) de construire des profils publics et semi-publics dans un système délimité, 2) de gérer une liste de profils d’autres utilisateurs avec lesquels ils sont en relation, et 3) de naviguer de profil en profil au sein du système à travers ces connexions »²¹ (Boyd & Ellison, 2008). À travers le système de liste de connexions, ces outils rendent visibles et explorables les réseaux de relations entre les utilisateurs. Leur particularité tient également de la structuration des échanges et discussions, centrés sur les individus (formant des réseaux personnels ou « égocentriques ») plutôt que sur des thèmes, comme c’était le cas auparavant dans les forums de discussions (Boyd & Ellison, 2008). Cette interconnexion des utilisateurs peut poursuivre différents objectifs selon les SNS : la socialisation sous forme de communication récréative, le réseautage afin de créer de nouveaux contacts, ou encore la navigation sociale visant à accéder à des contenus et des ressources (Thelwall, 2009).

Avec le temps, la majorité des plateformes²² de RSN ont ajouté, à leurs systèmes de profils, des fonctionnalités de messagerie privée, de forums de discussion ou encore de partage de médias (Breslin et al., 2009). Inversement, d’autres sites de médias sociaux, tels que les blogs ou les sites de partage de contenus, ont adopté certaines des fonctionnalités caractéristiques des RSN comme la gestion de profils utilisateurs et les listes de contacts (Boyd & Ellison, 2008). La frontière entre les différents types de médias sociaux s’est ainsi progressivement atténuée.

20. Nous évitons cette dernière appellation en raison des risques de confusion avec les méthodes d’analyse (structurale) des réseaux sociaux auxquelles nous nous référons à plusieurs reprises dans cette thèse.

21. « *web-based services that allow individuals to (1) construct a public or semi-public profile within a bounded system, (2) articulate a list of other users with whom they share a connection, and (3) view and traverse their list of connections and those made by others within the system* » (traduction personnelle)

22. Le terme de « plateforme » fait ici référence à l’évolution progressive des médias sociaux, passant de simples sites web à de complexes infrastructures distribuant des données structurées à travers un ensemble d’interfaces de programmation (Helmond, 2015)

Aujourd’hui, la grande majorité des internautes utilisent régulièrement une ou plusieurs plateformes de médias sociaux²³. En 2017, les plus utilisées étaient les suivantes²⁴ (Mander & McGrath, 2017) :

- Facebook : RSN proposant de nombreuses fonctionnalités de partage de médias, de messagerie, d’organisation d’événements ;
- Youtube : site de partage de vidéos (avec des fonctionnalités de RSN) ;
- Instagram : site de partage de photographies (idem) ;
- Twitter : site de microblogging (idem) ;
- Pinterest : site de partage de liens et images (idem) ;
- LinkedIn : RSN principalement destiné aux professionnels et aux entreprises ;
- Tumblr : site de microblogging (avec des fonctionnalités de RSN) ;
- Twitch : site de partage vidéo en direct (streaming) (idem).

Usages et détournements

L’étude des technologies de l’information et de la communication s’inscrit notamment dans le champ de la sociologie des usages. La notion d’usage vise à décrire tout le spectre de ce que les hommes font avec un dispositif²⁵, en incluant les « pratiques déviantes par rapport au mode d’emploi, qui [sont] autre chose que des erreurs de manipulation » (Perriault, 1989, p.13) Ce concept reconnaît une certaine autonomie aux usagers, considérés comme capables d’inventer de nouvelles manières d’utiliser les outils dont ils disposent. Ainsi, la sociologie des usages ne s’intéresse pas tant à « ce que les médias font aux individus » qu’à « ce que les individus font des médias » (Jouët, 2000, p.11), c’est à dire – dans notre cas – à l’influence des usagers des TIC sur le développement et l’évolution des pratiques²⁶ associées à ces technologies.

23. 94% des internautes adultes ont un compte sur au moins une plateforme, et 98% en ont visité une au cours du mois passé (Mander & McGrath, 2017)

24. Nous avons retiré de ce classement les outils de messagerie instantanée telles que Whatsapp, Facebook Messenger ou LINE. En effet, la question de l’appartenance de ce type d’application à la catégorie des « médias sociaux » n’est pas encore clairement tranchée, notamment en raison de la nature majoritairement privée des échanges qui s’y déroulent : <https://smusocialmediasingapore.com/2015/09/01/can-whatsapp-be-defined-social-media/>

25. Le concept de dispositif vise à considérer les technologies sans les isoler des processus sociaux qui leur ont donné naissance et les façonnent (Latzko-Toth, 2001)

26. Certains auteurs font la distinction entre la notion d’« usages », désignant exclusivement les comportements d’utilisation, et celle de « pratiques », plus large, incluant les attitudes et représentations des usagers. « L’usage [...] s’insère dans la pratique, activité quotidienne plus large de l’individu ou du groupe qui repose sur l’usage de différents dispositifs. » (Domenget, 2017, p.20). Cependant, ces deux concepts se rejoignent souvent (Badillo & Pélissier, 2015), c’est pourquoi nous les utiliserons ici de manière indifférenciée.

Dans le cas des médias sociaux, comme pour d'autres TIC, on constate une grande variété d'usages, certains prévus (« prescrits ») par les créateurs de l'outil, tandis que d'autres relèvent de pratiques d'appropriation, de braconnage et de détournement à l'initiative des usagers eux-mêmes (Proulx, Milette, & Heaton, 2012; De Certeau, 1990). Ces nouveaux usages, loin d'être complètement arbitraires, sont guidés par les besoins, l'environnement et les connaissances des usagers, mais aussi par les possibilités techniques et les affordances²⁷ (ou incitations) de l'outil. Ils sont souvent adossés à des pratiques pré-existantes, adaptées d'un autre outil ou empruntés à une technologie antérieure (Jouët, 2000; Stenger & Coutant, 2013).

Comme nous l'avons vu, les usages prescrits pour les médias sociaux relèvent principalement de la socialisation et du partage de contenus dans un contexte récréatif. Ces dispositifs ont néanmoins fait l'objet d'une grande variété de détournements. Twitter a été par exemple utilisé pour commenter en direct les émissions de télévision (Wohn & Na, 2011), pour ajouter des produits à une liste de commissions²⁸ ou encore pour publier des poèmes²⁹. D'autres médias sociaux, tels que des blogs, des wikis ou le monde virtuel de Second Life ont été également utilisés comme support pour des activités pédagogiques (Hemmi, Bayne, & Land, 2009), tandis que les forums de discussion jouent un rôle clef pour la recherche et l'échange d'informations dans le domaine de la santé (Balicco & Paganelli, 2011). Les usagers font preuve d'une grande créativité pour adapter les plateformes à leurs besoins et à leurs attentes.

Certaines de ces pratiques émergentes sont parfois très éloignées des usages prescrits des plateformes. C'est notamment le cas de la vente illégale d'armes à feu sur Instagram³⁰ ou de l'utilisation du site d'annonces Craigslist pour la prostitution de mineurs³¹. À l'inverse, d'autres pratiques sont si pertinentes par rapport à l'ensemble des usages prescrits que les éditeurs des médias sociaux les intègrent parmi les fonctionnalités de la plateforme. Par exemple, depuis 2007, les utilisateurs de Twitter ont recours à des *hashtags*, mot-clefs signalés par le signe # (*hash*) et associés aux messages

27. Une affordance désigne « une relation entre les propriétés d'un objet et les capacités de l'agent qui détermine comment l'objet pourrait être utilisé » (« *a relationship between the properties of an object and the capabilities of the agent that determine just how the object could possibly be used.* », traduction personnelle) (Norman, 2013, p.11)

28. <https://www.amazon.com/gp/socialmedia/amazoncart>

29. <http://www.independent.co.uk/arts-entertainment/books/features/twihaiku-micropoetry-the-rise-of-twitter-poetry-8711637.html>

30. <http://www.thedailybeast.com/articles/2013/10/22/people-are-using-instagram-to-sell-their-guns-and-it-s-mostly-legal.html>

31. http://www.lemonde.fr/ameriques/article/2009/03/06/le-site-craigslist-accuse-de-promouvoir-la-prostitution_1164692_3222.html

à des fins d'indexation³² (Figure 2.5). Cet usage, initié par les utilisateurs, a été progressivement intégré aux fonctionnalités de la plateforme – les hashtags apparaissant sous forme de liens hypertextes dans l'interface web de Twitter à partir de 2009³³ – et aux usages prescrits par l'entreprise³⁴. Cette adoption témoigne des évolutions progressives des usages : les innovations, provenant tant des utilisateurs que des éditeurs, sont tour à tour adaptées par ces deux groupes selon une « spirale d'ajustement »³⁵ (Boullier, 1997, 2016).



FIGURE 2.5 – Premier tweet utilisant un hashtag³⁶

À travers ces processus d'appropriation, les TIC se sont immiscées dans un grand nombre de situations de communication. Dans les prochaines pages, nous étudions les usages des médias sociaux qui sont apparus pour favoriser la communication de crise.

2.1.2 Communication de crise via les médias sociaux

Nous avons précédemment montré que les situations de crise génèrent d'importants besoins informationnels, nécessitant la circulation et le partage d'informations entre toutes les personnes affectées (section 1.1.2). Depuis plusieurs années, les technologies de l'Internet, et notamment les médias sociaux, sont largement utilisés pour la communication de crise lors de catastrophes naturelles (e.g. tempêtes Katrina et Sandy aux États Unis, séismes au Japon ou au Népal) ou humaines (e.g. fusillades dans les écoles

32. On parle de « folksonomies » (contraction de *folk*, les gens, et *taxonomy*) pour désigner les classifications qui émergent à travers les annotations des utilisateurs. Ce terme illustre bien la construction *bottom-up*, sans architecte, de ces taxonomies, leur permettant de refléter au mieux la vision des utilisateurs (Potts, Seitzinger, Jones, & Harrison, 2011).

33. <http://techcrunch.com/2009/07/02/twitter-makes-hashtags-more-useful/>

34. La documentation de Twitter comprend une page « *Using hashtags on Twitter* » recommandant leur utilisation : « *A hashtag – written with a # symbol – is used to index keywords or topics on Twitter. This function was created on Twitter, and allows people to easily follow topics they are interested in.* » (<https://support.twitter.com/articles/231414>)

35. Dans le cas des médias sociaux, l'évolution des usages et des fonctionnalités serait si rapide qu'ils n'auraient pas le temps de se stabiliser (Domenget, 2013)

36. <https://twitter.com/chrismessina/status/223115412>

américaines, attentats terroristes en France). Dans les pages suivantes, nous revenons sur les conditions d'émergence de ces usages, puis détaillons leurs spécificités.

Usages du Web durant les situations de crise

Dès la fin des années 1990, les professionnels de l'information ont exploité les outils du Web au cours de situation de crise (Perry, Taylor, & Doerfel, 2003). Par exemple, en 1998, un journaliste a couvert la tempête Bonnie aux États Unis en direct sur le site web du journal Charlotte Observer (Macias, Hilyard, & Freimuth, 2009 ; Singer, 2005). Les citoyens ont eux aussi pris l'habitude de se tourner vers Internet lors des situations de crise. Ainsi, dans les jours suivant les attaques terroristes du 11 septembre 2001, 64% des Américains ont eut recours à Internet pour s'informer (Bucher, 2002). En raison du nombre inhabituel de requêtes, de nombreux sites d'actualité étaient inaccessibles. Pour y remédier, les équipes de Google ont manuellement agrégé et affiché, directement sur la page d'accueil du moteur de recherche, des listes d'informations et de liens (Wiggins, 2001) (Figure 2.6).

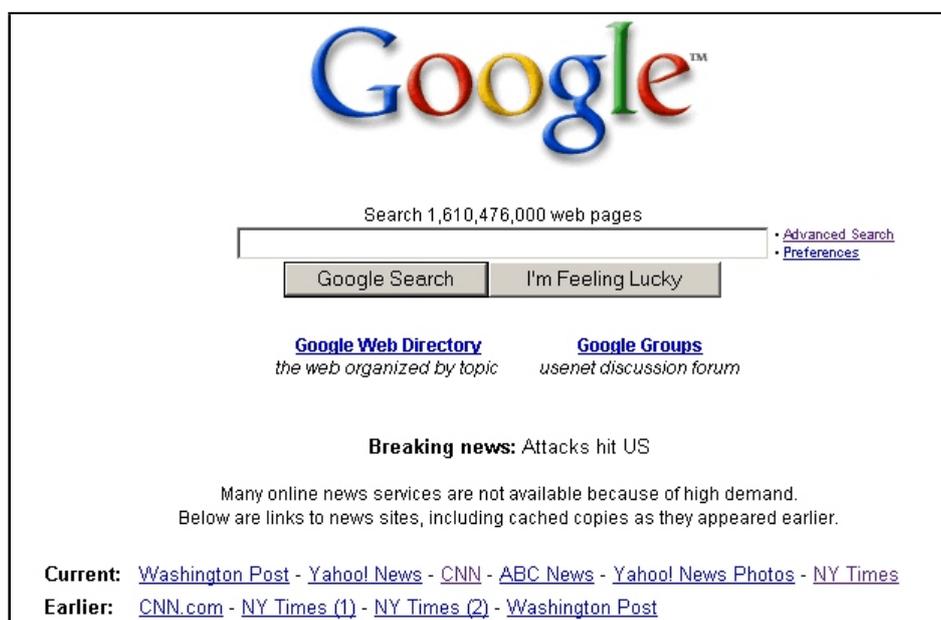


FIGURE 2.6 – Page d'accueil de Google après les attentats du 11 septembre 2001 avec, en bas, des liens vers des copies des principaux sites d'actualités³⁷

Avec la popularisation des outils participatifs du Web 2.0, les citoyens eux-mêmes ont progressivement entrepris de publier des témoignages relatifs aux situations de crise dont ils sont victimes. Durant la crise de la fièvre aphteuse au Royaume-Uni (2001),

37. Image par Google Blogoscoped : <http://blogoscoped.com/archive/2007-12-19-n14.html>

ou encore après l'ouragan Katrina aux États Unis (2005), des sites web ont été utilisés pour la diffusion d'informations mais aussi pour la discussion et le soutien parmi les personnes affectées (Hagar & Haythornthwaite, 2005; Palen, Hiltz, & Liu, 2007; Shklovski, Burke, Kiesler, & Kraut, 2010). Dans les années suivantes, la démocratisation des médias sociaux et des smartphones³⁸ a également favorisé l'apparition d'un « journalisme citoyen » qui, grâce à sa multitude de participants, devance de plus en plus fréquemment les médias traditionnels pour couvrir les catastrophes. Par exemple, lors du crash d'un avion dans l'Hudson River en 2009, l'information fut publiée en premier lieu sur Twitter, accompagnée d'une photographie prise à l'aide d'un smartphone (Figure 2.7).



FIGURE 2.7 – Premier tweet mentionnant le crash dans l'Hudson River³⁹

Cet usage s'est rapidement étendu à d'autres plateformes de médias sociaux et à des situations de communication plus complexes que la seule diffusion d'alerte. Ainsi, en 2007, après la fusillade de Virginia Tech, les étudiants et leurs proches ont exploité Facebook et d'autres applications de messagerie pour identifier et recenser les victimes (Palen, Vieweg, Liu, & Hughes, 2009). Le site de partage d'image Flickr a également été utilisé pour documenter les conséquences de différentes situations de crise (e.g. ouragans, tsunamis, attaques terroristes) (S. B. Liu, Palen, Sutton, Hughes, & Vieweg, 2008). Lors d'inondations et d'incendies, les usagers de Twitter ont partagé des informations relatives à la localisation du danger, aux conditions météorologiques ou encore aux procédures d'évacuation, contribuant à la *situational awareness* et facilitant la gestion de la crise (Vieweg et al., 2010). Après le séisme et le tsunami de la côte Pacifique du Tohoku (11 mars 2011), de nombreuses vidéos ont été publiées sur Youtube, non

38. En 2016, 65% des Français de plus de 12 ans disposent d'un smartphone : <http://www.credoc.fr/pdf/Rapp/R333.pdf>

39. <https://twitter.com/jkrums/status/1121915133>

seulement pour témoigner des destructions mais aussi pour apporter du réconfort et du soutien aux personnes affectées (Wilensky, 2012).

Les entreprises et les agences gouvernementales ont également entrepris d'utiliser les médias sociaux en situation de crise. Elles ont initialement adopté sur ces plateformes une communication descendante (*top-down*), proche de leurs pratiques de diffusion de l'information sur les médias traditionnels (Fugate, 2011). Ainsi, aux premières heures de l'accident nucléaire de Fukushima-Daiichi, l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) s'est contentée de publier un court communiqué de presse sur Facebook et Twitter (Figure 2.8a). Certains acteurs institutionnels ont peu à peu adopté des stratégies de communication plus adaptées aux spécificités des médias sociaux. Par exemple, après les attentats du marathon de Boston (2013), la police a utilisé Twitter pour demander aux internautes de fournir toutes les images susceptibles d'aider à identifier les terroristes (Figure 2.8b). Bien que la plupart des agences gouvernementales et des ONG aient pris conscience de l'importance d'établir un véritable échange d'information via les médias sociaux durant les situations de crise (Fugate, 2011), beaucoup hésitent encore à exploiter les données issues des médias sociaux (e.g. signalement de dommage, demande d'assistance) pour organiser leurs opérations de gestion de la crise sur le terrain. Plusieurs facteurs expliquent cette résistance : des doutes persistants quant à la fiabilité de ces données, mais aussi la rigidité des procédures existantes dans ces organisations et le manque de ressources disponibles pour l'évaluation et l'intégration de nouvelles technologies dans ces procédures (Tapia, Bajpai, Jansen, Yen, & Giles, 2011 ; Tapia et al., 2013).



(a) Lors de l'accident de Fukushima

(b) Lors de l'attentat de Boston

FIGURE 2.8 – Usages de Twitter par les autorités durant des situations de crise⁴⁰

40. Figure 2.8a : <https://twitter.com/iaeaorg/status/47131927093846016>

Figure 2.8 : <https://twitter.com/bostonpolice/status/323895934402580480>

Communication de crise parallèle et distribuée

L'analyse des usages des médias sociaux en situation de crise révèle des caractéristiques particulières. En effet, les internautes ont développé des pratiques collaboratives spécifiques pour faire face à leurs besoins informationnels.

Une étude comparative (Hughes & Palen, 2009) montre que les messages publiés sur Twitter durant les crises contiennent davantage d'URL et mentionnent moins d'utilisateurs qu'avant la crise. Cette différence semble indiquer que, en situation de crise, les utilisateurs privilégient la rediffusion d'informations plutôt que l'envoi de messages à caractère personnel. D'autres travaux ont souligné le rôle des chaînes de rediffusion (*retweet*) de messages via Twitter, permettant la dissémination rapide d'informations importantes auprès d'une large audience lors de crises locales (Hui, Tyshchuk, Wallace, Magdon-Ismaïl, & Goldberg, 2012) mais aussi au cours d'événements de large ampleur (Mendoza, Poblete, & Castillo, 2010). Malgré la limite des 140 caractères par tweet, cette plateforme de microblogging permet la publication de messages à « haut rendement », soigneusement rédigés pour contenir un grand nombre de données, notamment géographiques (Vieweg et al., 2010). Sur Flickr, des groupes d'utilisateurs réunis autour de la documentation des situations de crise ont collectivement défini des règles d'usage des tags (mots clés) de manière à faciliter la recherche et la réutilisation des images publiées (S. B. Liu et al., 2008). De même, sur Twitter, le choix du *hashtag* relatif à une situation de crise est le résultat d'un processus de discussion collective (Bruns & Burgess, 2012; Potts et al., 2011).

Les médias sociaux souffrent néanmoins d'un fort déficit de crédibilité dans l'opinion des autorités comme des citoyens. Ainsi, une même information est vue comme moins crédible lorsqu'elle est publiée sur Twitter que sur un autre média, tant cette plateforme est souvent désignée comme la source de rumeurs anxiogènes (Thomson et al., 2012). En situation de crise, la collaboration des usagers des médias sociaux vise donc particulièrement à assurer la fiabilité des données publiées. Par exemple, les internautes participant à l'identification des victimes de la fusillade de Virginia Tech à l'aide de Facebook ont mis en place des procédures strictes pour vérifier les informations collectées (e.g. demander des sources, vérifier auprès de proches, croiser des témoignages en cas de doute). Ils sont ainsi parvenus à constituer la liste exacte et complète des personnes décédées avant les premiers communiqués des agences gouvernementales (Vieweg, Palen, Liu, Hughes, & Sutton, 2008; Palen et al., 2009). De même, lors de l'accident nucléaire de Fukushima, les données publiées sur Twitter provenaient majoritairement de sources officielles ou d'utilisateurs hautement crédibles (journalistes, universitaires,

locaux) (Thomson et al., 2012 ; Li et al., 2014). Lors de séismes en Nouvelle-Zélande, ce sont également les messages du gouvernement et des grands médias qui ont été les plus partagés sur Twitter (Bruns & Burgess, 2012). Ainsi, Twitter reproduit le schéma bien connu de la communication à deux étapes⁴¹, avec des utilisateurs très connectés qui diffusent les messages des grands médias auprès du reste des utilisateurs (Hui et al., 2012). Par ailleurs, les fausses rumeurs qui apparaissent fréquemment lors de catastrophes – comme durant le séisme chilien de 2010 – sont davantage questionnées et dénoncées par les utilisateurs des médias sociaux que les informations fiables (Mendoza et al., 2010). Les activités de comparaison, de vérification et de commentaire des différentes sources d’informations constituent une sorte de système collectif de correction d’erreur (Sutton et al., 2008). La capacité de ces processus à réellement juguler la propagation des rumeurs reste néanmoins à démontrer (Starbird, Maddock, Orand, Achterman, & Mason, 2014).

Les usages collaboratifs que nous avons décrits constituent un exemple de *crowdsourcing* (production participative), c’est-à-dire « une forme de partage de l’information, basée sur la “sagesse des foules”, qui s’appuie fortement sur les services et les outils participatifs tels que les médias sociaux »⁴² (Gao, Barbier, & Goolsby, 2011). Dans un contexte de communication de crise, le *crowdsourcing* peut notamment faciliter la collecte de données en temps réel, l’intégration de données hétérogènes et l’utilisation de données géolocalisées (Gao et al., 2011). Durant les situations de crise, les médias sociaux permettent ainsi un traitement de l’information à la fois parallèle – car réalisé simultanément par de nombreux internautes – et distribué – en différents points du globe (Palen et al., 2010).

Outils pour la communication de crise

Plusieurs outils logiciels ont été développés pour faciliter la recherche et le partage d’information durant une situation de crise. Ushahidi⁴³, l’un des plus célèbres, permet d’agréger sur une seule et même carte en ligne des données provenant de SMS, de courriels ou de différentes plateformes de médias sociaux (Gao et al., 2011) (Figure 2.9). Développée en 2007 pour lutter contre les fraudes et les violences électorales

41. Le modèle de la communication à deux étapes (*two-step communication flow*) suggère que la communication de masse est médiatisée par les relations sociales : des leaders d’opinion, sociables et consommateurs des médias de masse, diffusent les informations auprès des individus moins connectés de leur groupe social (Katz & Lazarsfeld, 1966).

42. « *a form of collective wisdom information sharing that strongly leverages participatory social media services and tools* » (traduction personnelle)

43. <https://www.ushahidi.com/>

au Kenya, cette application a été utilisée avec succès lors de nombreuses autres crises (e.g. catastrophes naturelles, manifestations, tensions électorales⁴⁴) (Goolsby, 2010). L'usage de cartographies pour organiser les données a particulièrement contribué au succès d'Ushahidi⁴⁵, à tel point que certains outils de gestion de crise antérieurs (tels que Sahana⁴⁶) ont à leur tour intégré des systèmes d'information géographique au cœur de leur fonctionnement (Malizia, Bellucci, Diaz, Aedo, & Levialedi, 2011).

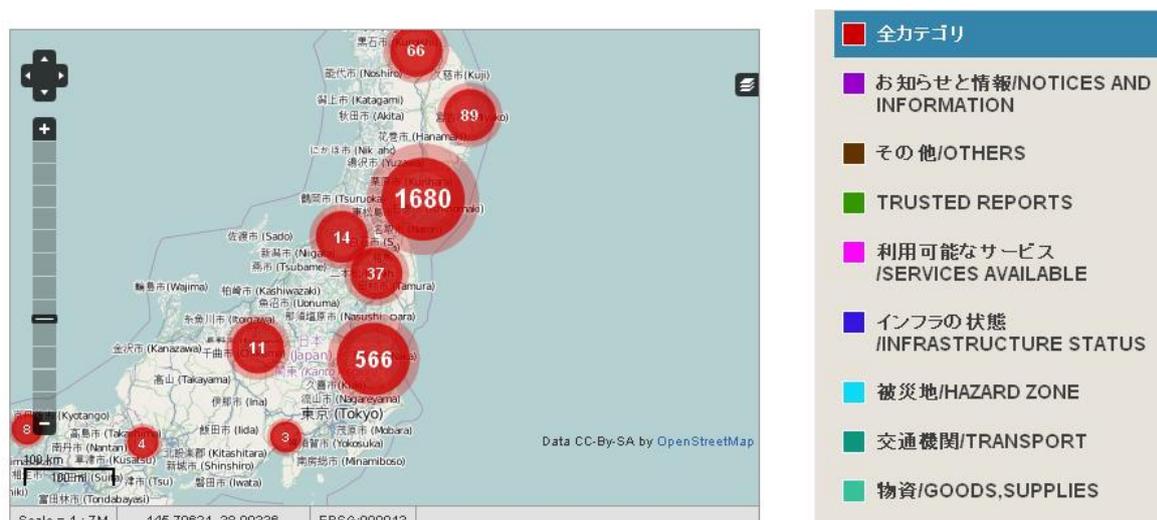


FIGURE 2.9 – Ushahidi déployé au Japon après le Tsunami de mars 2011⁴⁷

Les organisations traditionnellement chargées de la gestion des situations de crise (e.g. sécurité civile, ONG) ont également créé des outils de communication à destination de la population. Les premiers de ces dispositifs étaient principalement destinés à faciliter la diffusion d'alertes et de recommandations (Hecker, 2014), selon un schéma de communication descendante (*top-down*). Ainsi, la Croix Rouge américaine propose une série d'applications mobiles réunissant des guides de préparation, des systèmes de notifications et des « boîtes à outils » (utilisant des fonctionnalités du téléphone, telles que le flash et les alarmes) pour différents types de crises : ouragan, séisme, inondation, incendie ...⁴⁸ En France, l'application SAIP⁴⁹ (Système d'alerte et d'information

44. <https://www.ushahidi.com/support/examples-of-deployments>

45. Le terme *crisis mapping* est souvent utilisé pour désigner les pratiques de cartographie collaborative qui s'organisent à l'aide d'outils tels que Hushahidi ou Google Maps (Hecker, 2014).

46. <https://sahanafoundation.org/>

47. Instance de Ushahidi déployée sur <http://www.sinsai.info/>, capture d'écran publiée sur <http://blogs.voanews.com/digital-frontiers/2011/03/16/the-web-reacts-to-a-tsunami-pt-ii/>

48. <http://www.redcross.org/prepare/mobile-apps>

49. <http://www.interieur.gouv.fr/Alerte/Le-SAIP-en-4-clics/Page-d-assistance-de-l-application-SAIP>

des populations), déployée par le Ministère de l'Intérieur en juin 2016, dispose d'alertes basées sur la géolocalisation et offre des guides pour quelques situations de crise (attentat, accident nucléaire, rupture de barrage, fuite de produit dangereux)⁵⁰. Aujourd'hui, néanmoins, certains acteurs de la gestion de crise se démarquent de cette stratégie de communication *top-down*, avec le développement d'outils prenant en compte les pratiques collaboratives des utilisateurs. La FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) a par exemple créé l'outil Disaster Reporter⁵¹, facilitant le partage de photographies d'une situation de crise.

Le succès des plateformes de médias sociaux pour la communication de crise a incité leurs développeurs à y ajouter des fonctionnalités destinées à soutenir le partage d'information durant les situations de crise. Google Person Finder⁵², par exemple, mis en place en 2010 après le séisme à Haiti, permet de publier et de rechercher des informations sur des proches dont on est sans nouvelle. En juillet 2017, il a été intégré à Google SOS Alerts, un ensemble pour l'outil d'information en temps réel lors de crises⁵³. Fin 2014, Facebook a présenté Safety Check⁵⁴, un système qui utilise la géolocalisation pour identifier les personnes potentiellement affectées par une crise et leur permettre d'indiquer à leurs contacts si elles sont en sécurité. Ce service a été déployé pour la première fois lors du séisme meurtrier qui a frappé le Népal en avril 2015. C'est toutefois lors des attentats de Paris, en novembre 2015, que son rôle a particulièrement été remarqué⁵⁵ (Figure 2.10). Twitter, enfin, dispose d'un service, Twitter Alert⁵⁶, permettant aux organismes de sécurité civile (e.g. pompiers, police, urgences) de publier des messages qui seront affichés de manière plus visible.

Si les médias sociaux favorisent le partage d'informations, l'efficacité de la communication de crise dépend également de la capacité des différents acteurs à exploiter ces informations. Pour cette raison, les modalités de représentation et d'organisation des connaissances constituent l'un des facteurs clefs de la gestion des situations de crises. Nous allons ici nous pencher sur les possibilités offertes par les technologies du Web Sémantique.

50. La fiabilité de cette application a été mise en cause après l'attentat du 14 juillet 2016 à Nice, le système d'alerte n'ayant été déclenché que très tardivement : http://www.liberation.fr/futurs/2016/07/15/saip-1-appli-d-alerte-aux-attentats-qui-ne-se-presse-pas_1466370

51. <https://www.fema.gov/disaster-reporter>

52. <https://google.org/personfinder/global/home.html>

53. <https://www.blog.google/products/search/helping-people-crisis/>

54. <https://fr-fr.facebook.com/about/safetycheck/>

55. Safety Check ne devait initialement être utilisé que lors de catastrophes naturelles, mais cet événement a incité les équipes de Facebook à revenir sur cette politique : <https://www.facebook.com/fbsafety/posts/930229667014872>

56. <https://about.twitter.com/products/alerts>

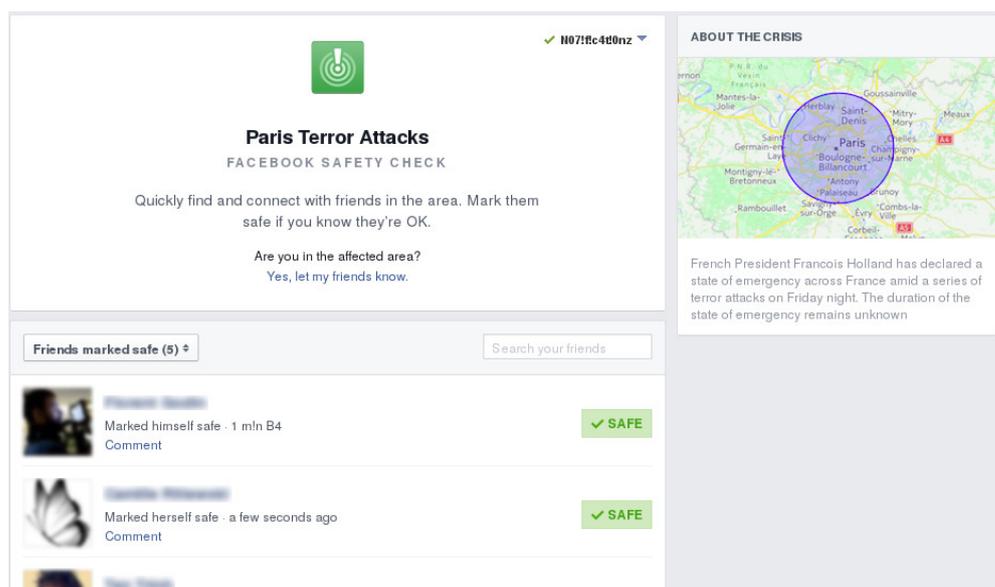


FIGURE 2.10 – Safety Check durant les attentats terroristes de Paris, novembre 2015

2.2 Modélisation sémantique de l'information en situation de crise

Nouvelle étape dans l'histoire du développement du Web, le Web Sémantique, ou « Web des données »⁵⁷, est caractérisé par des techniques de représentation des connaissances permettant leur exploitation tant par les humains que par les machines. Il doit ainsi faciliter le développement de programmes informatiques plus « intelligents », s'appuyant sur des bases de connaissances larges et complexes.

Dans cette section, nous revenons tout d'abord sur les fondements du Web Sémantique et de la représentation des connaissances (2.2.1). Nous présentons ensuite les principales technologies permettant la création et l'exploitation de modèles sémantiques complexes (2.2.2). Enfin, nous montrons comment et avec quel bénéfice ces systèmes d'organisation des connaissances peuvent être utilisés dans le cadre de la gestion et de la communication de crise (2.2.3).

2.2.1 Représentation sémantique des connaissances

La représentation et l'organisation des connaissances sont des problématiques centrales de la gestion des savoirs. À travers les siècles, elles ont inspiré de nombreux

57. L'appellation « Web 3.0 » est parfois utilisée pour désigner le Web Sémantique, qui serait alors le successeur du Web 2.0 social. Néanmoins, cette expression a été aussi employée pour désigner plusieurs autres évolutions du Web (e.g. mobilité, objets connectés).

savant, de la classification des animaux par Aristote à l'Encyclopédie de Diderot et d'Alembert, en passant par la Nouvelle Atlantide de Francis Bacon⁵⁸. Le développement, dans le domaine des bibliothèques, de système de classification des documents (e.g. Dewey, Classification Décimale Universelle) voit l'émergence d'une science de l'information. Durant la première moitié du XX^e siècle, des projets visionnaires tels que le Mundaneum⁵⁹ ou le Memex⁶⁰ proposent d'exploiter les progrès de la mécanisation pour systématiser et automatiser la gestion des connaissances, préfigurant les outils numériques actuels.

Le Web Sémantique repose sur la représentation formelle des connaissances à l'aide de langages informatiques. À ce titre, il constitue une forme d'écriture codifiée que l'on peut qualifier de « système d'organisation des connaissances » (Zacklad, 2010). Dans ces pages, nous revenons sur les propositions à l'origine du Web Sémantique, leurs enjeux, puis décrivons les principes et mécanismes de représentation des connaissances qui le sous-tendent.

Web Sémantique

En mai 2001, dix ans après avoir élaboré les débuts du Web, Tim Berners-Lee a présenté une nouvelle vision de l'avenir des technologies de l'information et de la communication. Dans l'article *The Semantic Web* (Berners-Lee et al., 2001), il décrit un écosystème d'agents logiciels automatisés conçus pour aider les humains dans leurs activités quotidiennes telles que la gestion de son agenda, l'organisation de trajets, ou la collaboration avec d'autres personnes. Ces agents consultent les documents disponibles sur le Web, mettent en œuvre des raisonnements complexes à partir des données collectées et interagissent entre eux de manière sécurisée pour combiner les données dont ils disposent.

De telles fonctionnalités nécessitent cependant d'adapter le Web pour en permettre l'exploitation par des agents logiciels. En effet, sur le Web « classique », les informations sont distribuées sous forme de documents (les pages web) écrits en langage naturel, dont la lecture est aisée pour les humains. Les programmes informatiques, en revanche, ne peuvent que très imparfaitement reproduire ce processus de lecture et de construction

58. Cette nouvelle décrit une île imaginaire, Bensalem, où une société savante rassemble les savoirs collectés dans le monde entier par douze voyageurs (Bacon, 1627).

59. Le Mundaneum est un centre de documentation visant à rassembler et organiser l'ensemble du savoir mondial à l'aide d'un système de fiches cartonnées (Otlet, 1934). Le projet intègre de nombreuses réflexions sur l'organisation des connaissances à l'échelle mondiale, proposant notamment la création d'un Réseau Universel d'Information et Documentation pour relier producteurs et utilisateurs de données (p.424).

60. Décrit dans la note 4.

du sens. Tim Berners-Lee propose donc la création du Web Sémantique, où le sens serait décrit de manière compréhensible tant par les hommes que par les machines (Berners-Lee et al., 2001).

La sémantique fait référence à l'étude de la signification⁶¹, c'est à dire aux liens entre les mots (signes), le sens qu'ils véhiculent (concepts) et les choses auxquelles ils font référence (objets) (Figure 2.11). Dans la communication humaine, une part importante du sens est implicite : elle n'est pas exprimée, mais peut être déduite à l'aide du contexte de communication ou de connaissances préalables. Les agents logiciels, en revanche, ne peuvent raisonner qu'à partir de données dont la sémantique est totalement explicite (Szilagyi, 2014, p. 138). Le Web Sémantique peut ainsi être vu comme une « extension » du Web existant, y ajoutant une couche de sémantique formelle, exprimée de manière à être également exploitable par l'ordinateur.

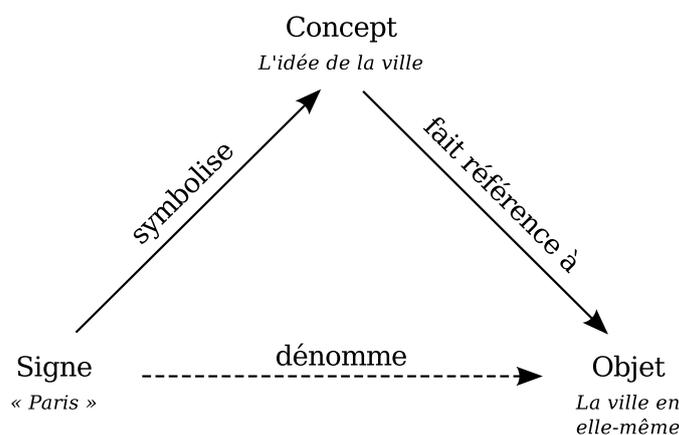


FIGURE 2.11 – Triangle sémiotique, adapté de (Ogden & Richards, 1923)

Modèle RDF

Dans le Web Sémantique, les connaissances peuvent être décrites de manière formelle à l'aide du modèle RDF⁶² (*Resource Description Framework*). L'élément de base de ce modèle est le triplet {sujet, prédicat, objet}, qui permet la représentation formelle d'assertions simples à la manière d'une phrase « sujet – verbe – complément ». Ce triplet peut également être représenté dans un graphe comme un arc entre deux nœuds (Figure 2.12).

Les concepts constituant le sujet et le prédicat d'un tel triplet sont désignés sous le nom de « ressources » et, pour être identifiables de manière non-ambiguë, sont

61. [http://www.cnrtl.fr/definition/sémantique](http://www.cnrtl.fr/definition/s%C3%A9mantique)

62. <https://www.w3.org/TR/rdf11-primer/>

Paris est la capitale de la France.

{Paris, capitale de, France}



FIGURE 2.12 – Assertion simple représentée sous la forme d'un triplet RDF et d'un arc

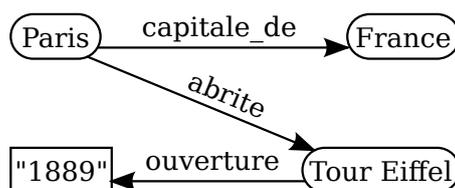


FIGURE 2.13 – Graphe de connaissance reliant des ressources et un littéral (« 1889 »)

représentés par une URI (*Uniform Resource Identifier*)⁶³. L'objet, lui, peut être une ressource ou une donnée (e.g. texte, nombre, date) qualifiée de « littérale ». Une même ressource peut être le sujet de plusieurs triplets, ou le sujet d'un premier triplet et l'objet d'un second. Un ensemble d'assertions peuvent ainsi être combinées sous la forme d'un graphe de connaissances (Figure 2.13).

Différentes syntaxes, ou sérialisations, peuvent être utilisées pour représenter des triplets RDF. N-Triple⁶⁴, la plus simple, nécessite d'écrire un triplet par ligne, avec un point en fin de ligne, les URI encadrés par des chevrons et les littéraux par des guillemets. Notation-3 et son sous-ensemble Turtle⁶⁵ offrent plusieurs éléments de syntaxe permettant de rendre plus compactes et plus lisibles les triplets RDF : des préfixes sont utilisés pour raccourcir les URI, différents signes de ponctuation évitent de répéter les éléments redondants dans deux triplets voisins (Tableau 2.1). Dans ce document, nous privilégierons l'usage de Turtle pour présenter les données RDF⁶⁶.

Données liées

Comme le montre l'exemple précédent (Figure 2.13), les URI peuvent être utilisées pour identifier non seulement des documents numériques, mais aussi des objets, des concepts ou des personnes physiques. En effet, à la différence des URL (*Uniform Resource Locator*) associées aux pages web, les URI sont de simples identifiants, qui n'ont pas forcément vocation à donner accès à la ressource qu'elles identifient : elles ne sont pas systématiquement « déréférencables ». Dans de nombreux cas, cependant, un mé-

63. On aussi peut parler d'IRI (*Internationalized Resource Identifiers*), depuis que les caractères accentués et non-latins ont été autorisés : <https://www.ietf.org/rfc/rfc3987.txt>

64. <https://www.w3.org/TR/n-triples/>

65. <https://www.w3.org/TR/turtle/>

66. Les syntaxes RDF/XML (<https://www.w3.org/TR/rdf-syntax-grammar/>) et JSON-LD (<http://json-ld.org/>), ont été conçue pour faciliter l'exploitation des graphes par les ordinateurs, grâce aux nombreux outils existants pour le traitement de données XML et JSON. Elles sont en revanche assez confuses pour les humains, c'est pourquoi nous ne les présentons pas dans ce mémoire.

```

<http://exemple.com/Paris> <http://exemple.com/capitale_de>
  <http://exemple.com/France> .
<http://exemple.com/Paris> <http://exemple.com/abrite>
  <http://exemple.com/Tour_Eiffel> .
<http://exemple.com/Tour_Eiffel> <http://exemple.com/ouverture>
  "1889" .

```

```

@prefix ex: <http://exemple.com/> .
ex:Paris ex:abrite ex:Tour_Eiffel ;
  ex:capitale_de ex:France .
ex:Tour_Eiffel ex:ouverture "1889" .

```

TABLEAU 2.1 – Sérialisations N-Triple et Turtle du graphe présenté dans la Figure 2.13

canisme de redirection est mis en place pour rendre déréférencables des URI désignant des objets non numériques, en permettant d'accéder à une description de ces objets (sous forme de page web ou de fichier RDF) (Figure 2.14) (T. Heath & Bizer, 2011). La possibilité de faire référence, par des liens hypertextes, à des personnes ou encore des concepts était mentionnée dans la proposition initiale du Web (Berners-Lee, 1989), mais n'a pas été réellement intégrée dans ses développements ultérieurs. En ce sens, le Web Sémantique constitue moins une rupture qu'un prolongement de l'idée originale du Web.

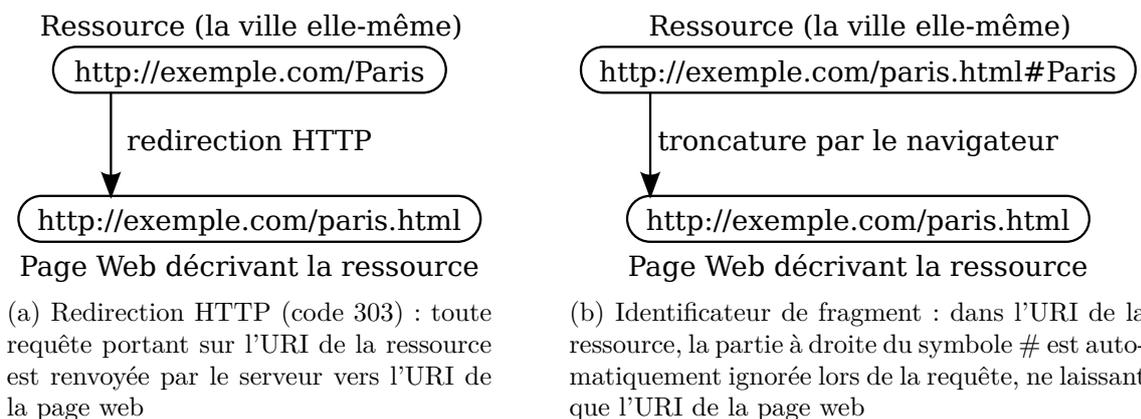


FIGURE 2.14 – Rendre déréférencable l'URI d'une ville, en pointant vers une page web

Grâce aux URI, l'identification universelle des ressources permet de faire référence, dans un graphe de connaissances donné, à une ressource décrite par une autre personne, dans un autre graphe, stocké sur un autre serveur. De la même manière que le Web consiste en un réseau distribué de documents reliés par des hyperliens, le Web Sémantique

tique permet la construction d'un graphe distribué de connaissances faisant référence les uns aux autres : le *Giant Global Graph*⁶⁷. L'expression *Linked data* (données liées) est également employée pour insister sur l'interconnexion des graphes de connaissances. Plus récemment, le mouvement des *Linked Open Data* (données liées et ouvertes, ou LOD) a mis l'accent sur la publication de données selon les termes de licences libres, afin de faciliter leur réutilisation⁶⁸ (Figure 2.15).

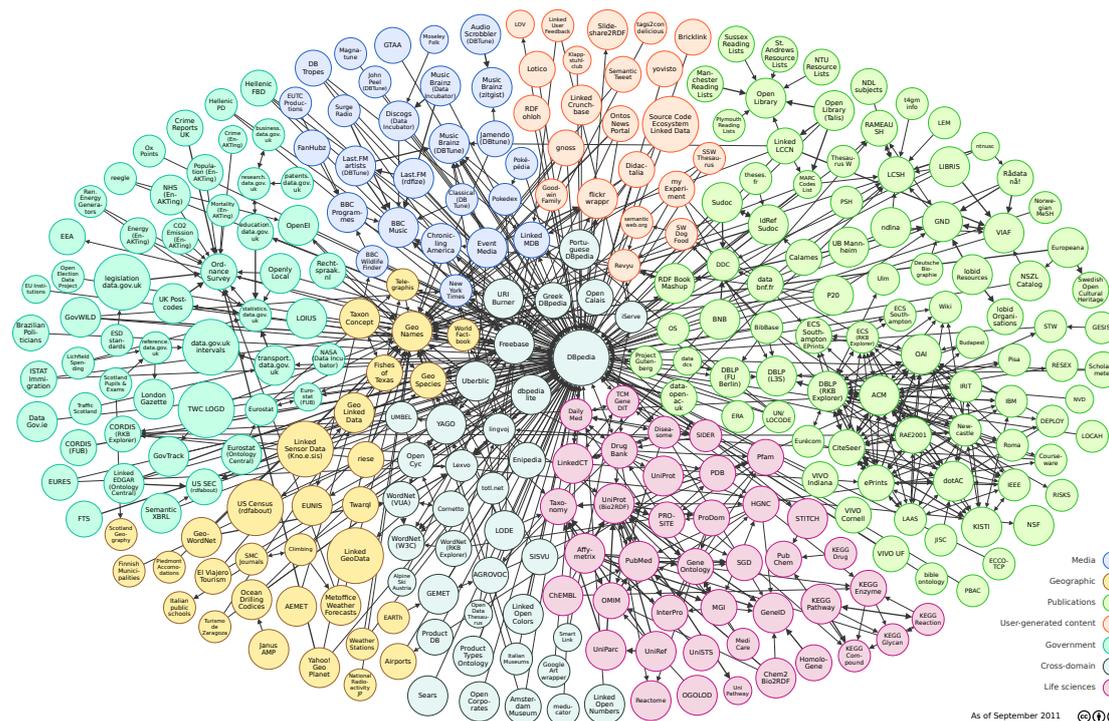


FIGURE 2.15 – Le « LOD Cloud » représentant les jeux de données ouvertes et liées qui étaient disponibles en 2011, dans des domaines aussi variés que la musique, la médecine, la criminologie ou les Pokémon⁶⁹

67. Terme proposé par Tim Berners-Lee par analogie avec le *World Wide Web* : <http://dig.csail.mit.edu/breadcrumbs/node/215>

68. Tim Berners-Lee a défini cinq niveaux de qualité des données ouvertes :

1. publiées sur le Web sous licence libre
2. disponibles dans un format structuré et traitable par un ordinateur
3. publiées dans un format non propriétaire
4. utilisant des URI pour identifier les données de manière universelle
5. liées à d'autres jeux de données

(<http://5stardata.info/en/>)

69. Graphique par Richard Cyganiak et Anja Jentzsch, licence CC-BY-SA (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:LOD_Cloud_Diagram_as_of_September_2011.svg). Des versions actualisées – plus complètes mais moins lisibles – sont régulièrement produites et publiées sur <http://lod-cloud.net/>

Les données RDF sont souvent stockées dans des bases de données spécialisées, les *triplestores*, optimisées pour la manipulation d'un grand nombre de triplets. Pour fournir un accès pratique à ces données, la plupart des *triplestores* disposent d'un point d'accès SPARQL⁷⁰ (*SPARQL Protocol and RDF Query Language*). Ce langage de requête utilise un système de motifs reproduisant la structure des données RDF recherchées (Figure 2.16). Il permet d'obtenir des résultats sous forme de tableaux, de booléens, mais aussi de graphes RDF (grâce aux requêtes « CONSTRUCT »⁷¹). On peut ainsi construire des programmes ou des chaînes de programmes manipulant des données RDF de bout en bout.

```
PREFIX ex: <http://exemple.com/>

SELECT ?ville
WHERE{
    ?ville ex:abrite ex:Tour_Eiffel .
}
```

FIGURE 2.16 – Requête SPARQL permettant de déterminer, à partir du graphe RDF de la Figure 2.13, quelle ville abrite la Tour Eiffel. Après le mot clef « WHERE », le *triple-pattern* décrit le graphe recherché en utilisant des variables (ici, ?ville) à l'emplacement des données inconnues.

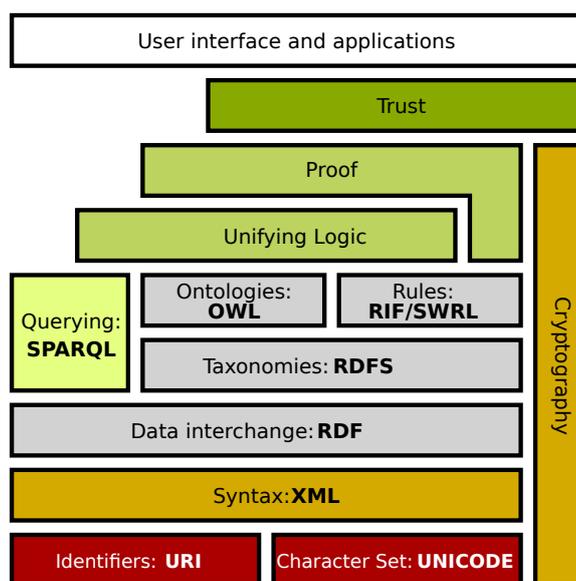
2.2.2 Outils de modélisation et de traitement sémantique

La vision du Web Sémantique proposée par Tim Berners-Lee nécessite de représenter des connaissances selon des structures bien plus complexes que les simples assertions des triplets RDF. Elle repose pour cela sur un ensemble de technologies standardisées formant une architecture en couches (Figure 2.17). Dans les pages suivantes, nous présentons quelques-unes de ces technologies qui, en s'appuyant sur RDF, permettent de construire des modèles de données sophistiqués et de les utiliser pour déduire de nouvelles connaissances.

70. <http://www.w3.org/TR/sparql11-query/>

71. <https://www.w3.org/TR/2013/REC-sparql11-query-20130321/#construct>

72. Schéma par Marobil, licence CC0 (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Semantic_web_stack.svg)

FIGURE 2.17 – Technologies du Web Sémantique⁷²

Schémas et inférences

Un premier niveau de modélisation est offert par RDFS⁷³ (*RDF Schema*). Ce vocabulaire, conçu comme une extension de RDF, renforce tout particulièrement le système de typage des ressources. Le typage, dans le Web Sémantique comme dans de nombreux systèmes d'organisation des connaissances, est une opération de classification, c'est à dire une segmentation consistant à définir des classes auxquelles des entités peuvent être rattachées (Hudon & El Hadi, 2010). Ce mécanisme est présent de manière embryonnaire dans le modèle RDF avec la propriété `rdf:type`, utilisée pour définir une relation de typage entre deux ressources. Par exemple, le triplet « `aaa rdf:type bbb` » déclare la ressource `aaa` comme une instance de la classe `bbb`.

Pour accroître les possibilités de ce système de typage, RDFS permet de définir des hiérarchies de classes (`rdfs:subClassOf`) et de propriétés (`rdfs:subPropertyOf`). On peut alors distinguer deux types de données : le modèle (TBOX, ou boîte terminologique, composée des classes et propriétés) et ses instances (ABOX, ou boîte assertionnelle), dont la combinaison constitue une « base de connaissances » (Figure 2.18).

Dans l'exemple, la boîte assertionnelle, en bas, ne contient qu'une assertion (Paris est la capitale de la France). Les relations de typage (`rdf:type`) la connectent à la boîte terminologique, au dessus, dans laquelle sont établies des hiérarchies de classes (Ville et Pays sont des sous-classes de Lieu) et de propriétés (« capitale de »

73. <https://www.w3.org/TR/rdf-schema/>

est une sous-propriété de « ville de »). Les ressources `rdfs:Class`, `rdf:Property` et `rdfs:Resource`, tout en haut, décrivent la structure générale des modèles RDFS, formant un méta-modèle. Bien que l'ensemble de ces données soit exprimées à l'aide de triplets RDF et puissent être mélangées dans un même *triplestore*, la séparation entre ABOX et TBOX doit rester claire, notamment pour faciliter la réutilisation des modèles au sein de plusieurs bases de connaissances⁷⁴.

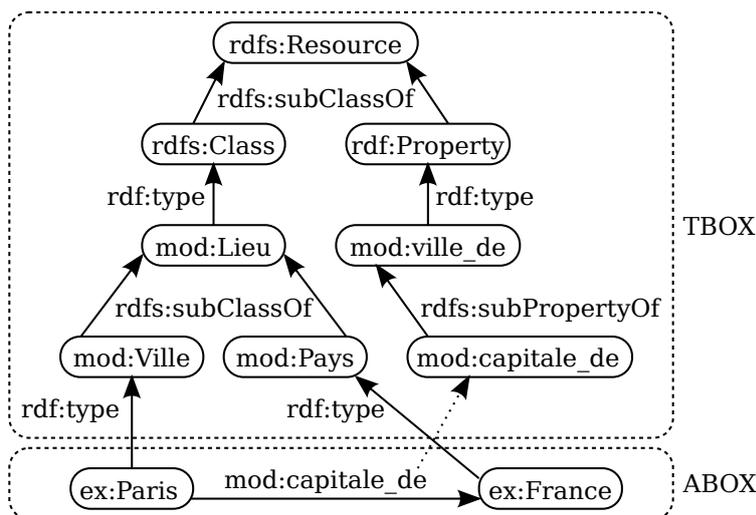


FIGURE 2.18 – Base de connaissances modélisée grâce à RDFS

L'intérêt de RDFS réside notamment dans la sémantique explicite portée par son vocabulaire. En effet, l'utilisation d'un modèle pour décrire des triplets permet d'automatiser des déductions logiques, ou « inférences », à partir de ces connaissances (Figure 2.19). Pour cela, à chaque propriété de RDFS correspond une définition formelle et computable, pouvant se traduire par l'ajout d'un ou plusieurs nouveaux triplets RDF dans la base de connaissances (Tableau 2.2). Par exemple (dans la troisième ligne du tableau), déclarer que `xxx` est une sous-classe de `yyy` puis que `aaa` est de type `xxx` permet d'inférer que `aaa` est aussi de type `yyy` (la sous-classe se traduit par une propagation de type). Ces déductions sont généralement réalisées automatiquement, à l'aide d'un programme nommé « moteur d'inférences » ou « raisonneur ».

On peut utiliser RDFS pour définir de nouveaux vocabulaires, afin de représenter un type précis de connaissances. SKOS⁷⁶ (*Simple Knowledge Organization System*), par exemple, est dédié à la modélisation des vocabulaires contrôlés et de leurs dérivés.

74. <http://www.mkbergman.com/489/ontology-best-practices-for-data-driven-applications-part-2/>

75. Adapté de <https://www.w3.org/TR/2014/REC-rdf11-nt-20140225/#rdfs-entailment>

76. <https://www.w3.org/2004/02/skos/>

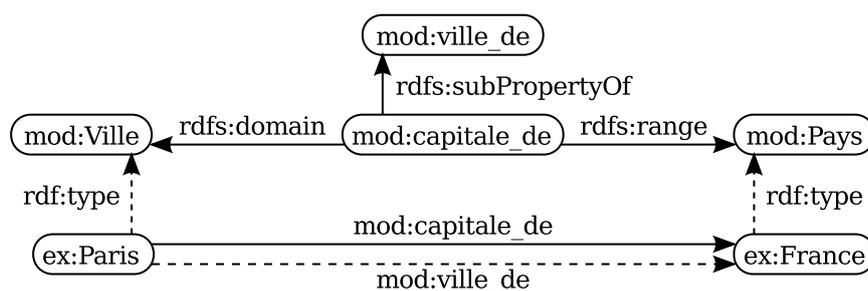


FIGURE 2.19 – Inférences (représentées en pointillés) pouvant être effectuées à partir d'un modèle RDFS (en haut) et d'une assertion simple (en bas)

Assertions	Inférence
aaa rdfs:domain xxx . yyy aaa zzz .	yyy rdf:type xxx .
aaa rdfs:range xxx . yyy aaa zzz .	zzz rdf:type xxx .
xxx rdfs:subClassOf yyy . zzz rdf:type xxx .	zzz rdf:type yyy .
xxx rdfs:subClassOf yyy . yyy rdfs:subClassOf zzz .	xxx rdfs:subClassOf zzz .
aaa rdfs:subPropertyOf bbb . xxx aaa yyy .	xxx bbb yyy .
xxx rdfs:subPropertyOf yyy . yyy rdfs:subPropertyOf zzz .	xxx rdfs:subPropertyOf zzz .

TABLEAU 2.2 – Exemples d'inférences associées à RDFS ⁷⁵

Un vocabulaire contrôlé est un ensemble de termes définis de manière non-ambiguë – par exemple en explicitant les polysémies – et non redondante – en regroupant les synonymes (Pidcock, 2003). SKOS définit donc une classe (`skos:Concept`) pour représenter des concepts, auxquels peuvent être associés un ou plusieurs termes (`skos:label`, `skos:preferredLabel`, `skos:hiddenLabel`). Mais SKOS propose également d'autres propriétés permettant d'étendre son usage à d'autres types de modèles : des glossaires, en attribuant à chaque concept une définition (`skos:definition`), des taxonomies, par l'ajout de relations hiérarchiques (`skos:broader` et `skos:narrower`), ou encore des thésaurus, en associant dans un même graphe relations hiérarchiques et relations associatives (`skos:related`) (Figure 2.20) (Miles, Matthews, Wilson, & Brickley, 2005).

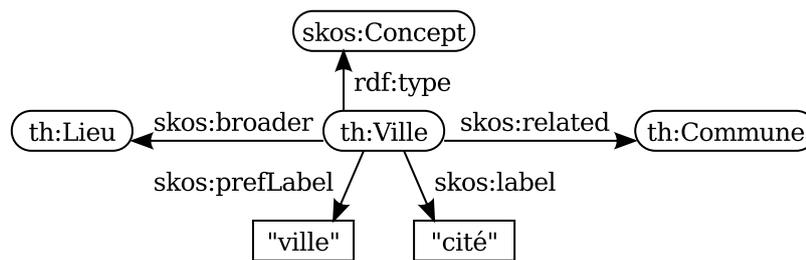


FIGURE 2.20 – Représentation des éléments d'un thésaurus avec SKOS

Ontologies

Des modèles d'une plus grande complexité peuvent être représentés sous la forme d'ontologies. Une ontologie peut être définie comme la « spécification explicite et formelle d'une conceptualisation partagée »⁷⁷ (Borst, 1997, p.12), c'est à dire la description complète et computable des connaissances faisant consensus pour un domaine donné⁷⁸. Les ontologies sont souvent utilisées pour modéliser les connaissances d'un domaine restreint (*domain ontology*), ou même d'une tâche spécifique au sein de ce domaine (*task ontology* ou *application ontology*) (Guarino, 1998). Certaines, en revanche, visent à représenter des concepts très génériques, indépendamment de tout domaine. Ces ontologies de haut-niveau (*top-level*) sont généralement destinées à servir de base pour la construction d'autres ontologies plus spécialisées, constituant ainsi une base commune susceptible d'en assurer la compatibilité.

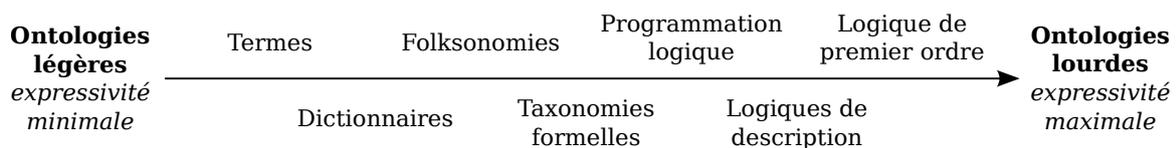


FIGURE 2.21 – Expressivité des ontologies, adapté de (Sack, 2013)

Parmi les langages dédiés à la représentation d'ontologies, OWL⁷⁹ (*Web Ontology Language*) est l'un des plus populaires. Il s'appuie sur les logiques de description⁸⁰ pour définir de nouveaux types de ressources et de relations, sous forme de triplets RDF

77. « *formal specification of a shared conceptualization* », traduction tirée de (Szilagyi, 2014, p. 175)

78. Cette définition, propre au Web Sémantique, dérive de celle, plus ancienne, de l'ontologie dans son acception philosophique. L'ontologie est alors l'étude de l'être, de son essence et de ses conditions d'existence (<http://www.cnrtl.fr/lexicographie/ontologie>).

79. <https://www.w3.org/TR/owl2-overview/>

80. Les logiques de description sont une famille de langages de représentation des connaissances associant deux éléments : une description fondée sur des concepts et relations atomiques, et une sémantique basée sur la logique formelle (Baader, Horrocks, & Sattler, 2008)

(Figure 2.22). Comme RDFS, le vocabulaire OWL est adossé à des définitions formelles indiquant les nouveaux triplets pouvant être inférés par un raisonneur (Tableau 2.3).

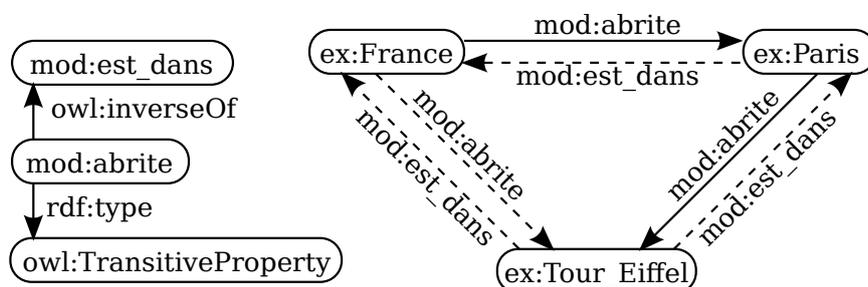


FIGURE 2.22 – Inférences (représentées en pointillés) pouvant être effectuées à partir d'un modèle OWL (à gauche) et de deux assertions (à droite)

Assertions	Inférence
aaa rdf:type owl:SymmetricProperty . xxx aaa yyy .	yyy aaa xxx .
bbb owl:inverseOf aaa . xxx aaa yyy .	yyy bbb aaa .
aaa a owl:TransitiveProperty . xxx aaa yyy . yyy aaa zzz .	xxx aaa zzz .
aaa a owl:FunctionalProperty . xxx aaa yyy . xxx aaa zzz .	yyy owl:sameAs zzz .
www rdf:type owl:Class ; owl:unionOf(xxx yyy zzz) . vvv rdf:type xxx .	vvv rdf:type www .
xxx owl:equivalentClass[rdf:type owl:Restriction ; owl:onProperty aaa ; owl:hasValue yyy] . zzz aaa yyy .	zzz rdf:type xxx .

TABLEAU 2.3 – Exemples d'inférences associées à des éléments de OWL ⁸¹

OWL propose trois sous-langages, correspondant à différents sous-ensembles de la logique de description et donc différents niveaux d'expressivité ⁸² : OWL Lite, le plus simple et le plus accessible, OWL DL (pour *Description Logic*), plus expressif et plus

81. <https://www.w3.org/TR/2012/REC-owl2-direct-semantics-20121211/>

82. L'expressivité désigne la capacité d'un langage à distinguer deux situations (<http://iaoa.org/isc2012/docs/expressivity.pdf>), c'est à dire le degré de nuances et de détails qu'il peut exprimer.

complexe, mais néanmoins manipulable par les raisonneurs, et OWL Full, apportant l'expressivité maximale, mais inaccessible aux raisonneurs en raison de sa complexité⁸³. Du fait de la relation d'inclusion qui unit ces sous-langages, une ontologie OWL Lite est une ontologie OWL DL valide, mais l'inverse n'est pas forcément vrai. Il en est de même entre OWL DL et OWL Full. Spécifiquement conçu pour l'organisation des connaissances dans un environnement Web, OWL offre en outre des mécanismes d'import permettant la création d'ontologies distribuées sur plusieurs serveurs⁸⁴.

Plusieurs logiciels sont disponibles pour aider à la création d'une ontologie (Kapoor & Sharma, 2010). Dans ces programmes, la visualisation et l'édition des triplets sont facilitées grâce à une interface graphique. Les ontologies peuvent être importées et exportées dans des langages courants (e.g. RDFS, OWL). Certains de ces outils, comme Protégé⁸⁵ (Figure 2.23), intègrent en outre des raisonneurs permettant de visualiser les triplets inférés ou encore de vérifier la consistance de l'ontologie, c'est-à-dire l'absence de contradictions logiques dans la modélisation.

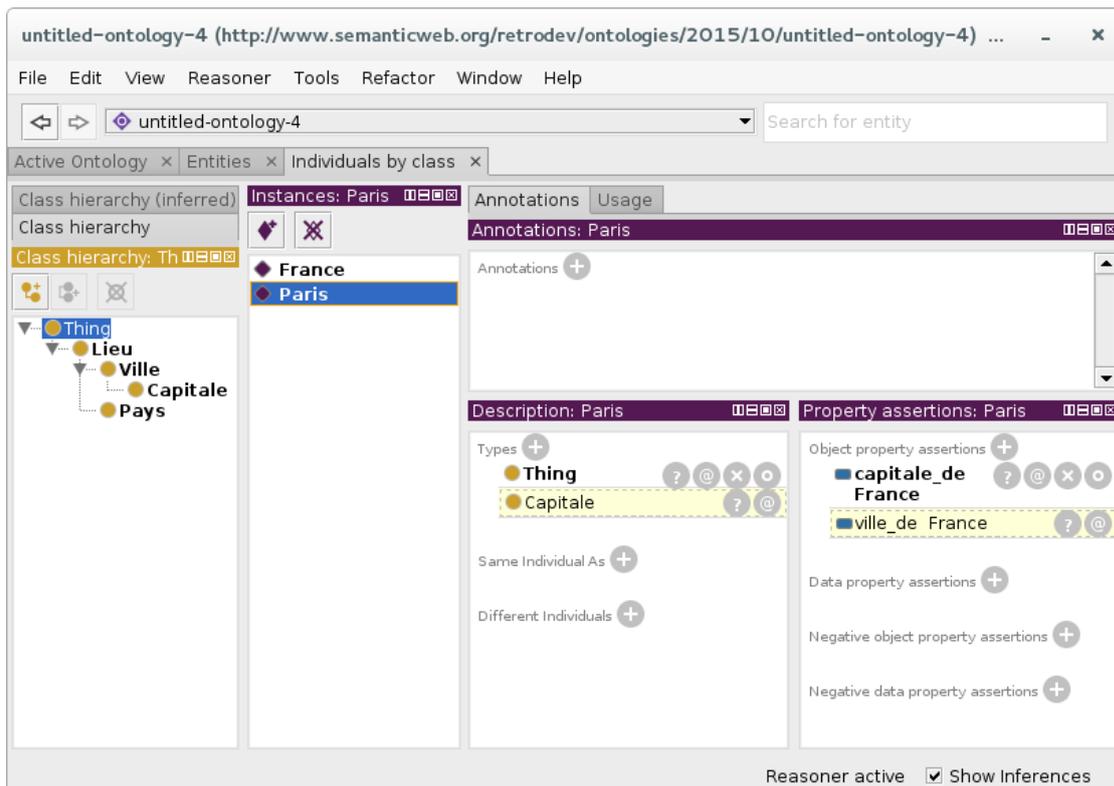


FIGURE 2.23 – Interface graphique de Protégé, un outil d'aide à la création d'ontologies. On remarque l'affichage, surligné de jaune, des triplets inférés par le raisonneur intégré.

83. <https://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/#OwlVarieties>

84. <https://www.w3.org/TR/2004/REC-owl-guide-20040210/#import>

85. <http://protege.stanford.edu/>

2.2.3 Web Sémantique et communication de crise

Les technologies du Web Sémantique ont été rapidement appliquées à la représentation et à l'organisation de connaissances dans de nombreux domaines, comme la médecine (Charlet, 2002) et la culture (Juanals & Minel, 2016). Dans les pages suivantes, nous montrons qu'elles sont par ailleurs particulièrement adaptées à la résolution de problèmes rencontrés dans la gestion et la communication des crises. Nous décrivons ensuite quelques modèles sémantiques existant dans le domaine de la gestion des crises et les obstacles qui limitent encore leur adoption.

Interopérabilité sémantique

La gestion d'une crise, même de faible magnitude, implique généralement une multitude d'acteurs, qui doivent agir de concert. Ces acteurs ont cependant des missions spécifiques, s'appuient sur des compétences et des infrastructures différentes. Malgré leur collaboration, ils gardent par ailleurs une relative autonomie dans l'organisation de leur action sur le terrain. Enfin, ils travaillent généralement avec des systèmes d'information différents, adaptés à leurs besoins propres et par conséquent peu compatibles entre eux (Truptil et al., 2008). Nous avons précédemment souligné que la communication de crise a pour objectif la construction d'une image de la crise qui soit commune à toutes les parties prenantes de sa gestion (Section 1.1.2). Dans ce contexte, il est crucial que les dispositifs utilisés pour cette communication soient interopérables, c'est à dire qu'ils soient en mesure de « fonctionner avec d'autres produits ou systèmes existants ou futurs et ce sans restriction d'accès ou de mise en œuvre »⁸⁶.

Le développement des outils informatiques s'est accompagné d'une évolution de la notion d'interopérabilité (Tableau 2.4). Dans un premier temps, c'est l'hétérogénéité des systèmes, au niveau du matériel puis du système d'exploitation, qui a représenté la principale barrière à leur interconnexion. Au cours des années 1980, l'interopérabilité des systèmes étant désormais acquise, ce sont les données qui ont constitué le défi majeur, par leur hétérogénéité syntaxique (types et format) et structurelle (schéma, requête, interface). À partir des années 1990, la problématique de l'hétérogénéité s'est élevée du niveau des données à celui des modèles de représentation des connaissances, et c'est désormais l'interopérabilité sémantique qui est recherchée (Sheth, 1999).

86. Le groupe de travail « interopérabilité » de l'AFUL (Association Francophone des Utilisateurs de Logiciels Libres), auteur de cette définition, différencie trois degrés d'opérabilité : la « compatibilité », spécifiquement développée entre deux systèmes, le « standard de fait », lorsqu'un système devient dominant dans un domaine, et l'« interopérabilité », nécessairement basée sur un standard ouvert (<http://definition-interoperabilite.info/>).

	1ère génération (1960 - 1980)	2ème génération (1980 - 1990)	3ème génération (1990 -)
Problème clef	Système	Données	Informations, connaissances
Systèmes étudiés	Quelques ordinateurs et bases de données interconnectées	Réseaux de dizaines d'ordinateurs, bases de données et dépôts	Échelle de l'entreprise, ou même globale
Interopérabilité	Système	Syntaxique, structurale	Sémantique

TABLEAU 2.4 – Évolution des types d'interopérabilité, adapté de (Sheth, 1999)

L'interopérabilité sémantique désigne la « capacité de systèmes informatiques à communiquer des données avec une signification unifiée »⁸⁷, généralement dans le contexte d'un domaine de connaissances spécifique (Sheth, 1999 ; S. Liu et al., 2013). Elle repose notamment sur la transparence terminologique, la prise en compte du contexte et la corrélation sémantique (Sheth, 1999).

La *transparence terminologique* implique que tout acteur peut utiliser le vocabulaire de son choix, sans que cela l'empêche d'exploiter les données exprimées avec un vocabulaire différent. Dans le domaine de la communication de crise, cela doit permettre de faciliter le dialogue entre des personnes appartenant à des organisations utilisant des terminologies ou des classifications différentes. La transparence terminologique nécessite la création automatique de liens entre les multiples vocabulaires existants. On peut pour cela s'appuyer sur des modèles sémantiques simples, tels que des vocabulaires contrôlés ou des thésaurus, dans lesquels sont recensés et structurés l'ensemble des termes utilisés dans un certain domaine. Des liens peuvent ensuite être créés entre les modèles des différents acteurs, formant une « ontologie d'alignement ».

La *prise en compte du contexte* signifie que les processus de traitement et de présentation des données doivent être ajustés automatiquement aux besoins informationnels des utilisateurs. Le contexte peut être utilisé pour compléter automatiquement des requêtes ou choisir des modalités d'affichage adaptées aux tâches en cours. De cette manière, on peut réduire la charge de travail et la quantité d'informations à visualiser, facilitant ainsi les tâches des personnes impliquées dans la gestion de la crise. La prise en compte du contexte peut s'appuyer sur des données collectées lors des interactions

⁸⁷. « *the ability of computer systems to communicate data with a unified meaning* » (traduction personnelle)

de l'utilisateur, comme sa localisation, sa langue, ses requêtes précédentes, ainsi que des sources de données ouvertes (e.g. données géographiques, météorologiques). Des modèles sémantiques peuvent également être développés pour représenter les besoins informationnels de certains types d'utilisateurs, afin de permettre la sélection et la représentation des données les plus pertinentes.

La *corrélation sémantique*, enfin, désigne le traitement des données indifféremment des caractéristiques de leur source. L'utilisateur doit avoir la liberté de manipuler de manière transparente des données produites par plusieurs acteurs, utilisant des formats ou des médias variés et localisées dans différents endroits. Cela peut s'avérer particulièrement utile lors de situations de crises, durant lesquelles de nombreuses organisations – ainsi que les citoyens eux-mêmes – produisent et partagent des données. Comme nous l'avons vu, les technologies du Web Sémantique permettent de manipuler des graphes de données distribués sur plusieurs serveurs⁸⁸. L'hétérogénéité des formats, en revanche, nécessite généralement la mise en place d'un modèle d'abstraction de niveau supérieur (tel qu'une ontologie *top-level*) faisant le lien entre les éléments communs des modèles plus spécifiques (Sheth, 1999).

Les technologies du Web Sémantique (e.g. modèles, thésaurus, ontologies) contribuent à plusieurs aspects de l'interopérabilité sémantique, facilitant ainsi le dialogue entre les organisations. Leur usage dans le contexte de la communication de crise constitue donc un domaine de recherche particulièrement actif.

Modèles pour la communication de crise

Un certain nombre d'ontologies ont déjà été développées pour les besoins de la gestion et de la communication de crise. Elles permettent de représenter des connaissances relatives aux catastrophes, aux dégâts, aux organisations, à leurs ressources, à la géographie ou encore à la météorologie (S. Liu et al., 2013).

Certaines d'entre elles sont des « ontologies de domaine », modélisant les connaissances propres à un type précis de crise, ou aux besoins informationnels d'une organisation donnée. L'ontologie BACAREX, par exemple, est dédiée à la représentation des connaissances requises pour la gestion des feux de forêts (de la Asunción et al., 2005). DO4MG (*Domain Ontology for Mass Gatherings*), quant à elle, se concentre sur la gestion des urgences médicales lors de grand rassemblements (e.g. événements sportifs, concerts, défilés) (Haghighi, Burstein, Zaslavsky, & Arbon, 2013). Ces modèles, direc-

88. Le langage SPARQL dispose d'un mécanisme de « requêtes fédérées » (*federated queries*) permettant d'interroger plusieurs *triplestores* à partir d'une seule requête : <https://www.w3.org/TR/sparql11-federated-query/>

tement basés sur les besoins informationnels des acteurs de la gestion des crises, sont conçus pour répondre à des difficultés de communication concrètes et bien identifiées entre les organisations participantes.

D'autres ontologies, en revanche, sont développées sur un domaine plus large. Ainsi, l'ontologie SoKNOS (*Service-Oriented Architectures Supporting Networks of Public Security*) est dédiée à la représentation des dommages, des ressources, et des liens entre ces deux classes de connaissances (Babitski, Probst, Hoffmann, & Oberle, 2009). Elle étend l'ontologie *top-level* DOLCE (*Descriptive Ontology for Linguistic and Cognitive Engineering*) (Gangemi, Guarino, Masolo, Oltramari, & Schneider, 2002) afin d'offrir un modèle haut-niveau, c'est à dire peu spécifique à un type de crise ou d'organisation. L'*Information Ontology*, elle, se concentre spécifiquement sur la représentation des informations, de leurs supports, de leurs sources et de leurs processus de création dans les situations de crise (Galton & Worboys, 2011). Ces ontologies peuvent ainsi contribuer à l'interopérabilité entre un plus grand nombre d'acteurs de la gestion des crises.

Plutôt que de chercher à remplacer ou même modifier les systèmes d'informations actuellement utilisés pour la gestion de crise⁸⁹, les ontologies sont souvent conçues comme des passerelles, permettant l'interopérabilité sémantique entre des systèmes initialement incompatibles. Le vocabulaire MOAC (*Management Of A Crisis*), facilite ainsi l'échange d'informations entre les organisations « traditionnelles » de gestion de crise (e.g. sécurité civile), les systèmes d'information collaboratifs (tels que Ushahidi⁹⁰) et les citoyens (Ortmann, Limbu, Wang, & Kauppinen, 2011). L'ontologie HXL (*Humanitarian eXchange Language*), basée sur MOAC, s'inscrit dans un écosystème d'outils facilitant la conversion de données depuis les bases de données des organisations existantes, mais aussi depuis la multitude de feuilles de tableur généralement utilisées pour la gestion de crise (Kessler & Hendrix, 2015) (Figure 2.24). En effet, le développement de modèles sémantiques ne peut contribuer à résoudre les problèmes d'interopérabilité qu'à condition de s'accompagner d'outils facilitant leur intégration dans les procédures existantes de gestion de crise.

À ce jour, malgré ces travaux, les ontologies dédiées à la gestion des situations de crise restent majoritairement des objets de recherche. Les avantages des technologies sémantiques pour la communication de crise et les résultats prometteurs de ces premières ontologies n'ont pas encore abouti à leur intégration dans les pratiques des acteurs de

89. Comme nous l'avons vu dans le cas des médias sociaux, les organisations participant à la gestion de situations de crise manquent souvent des ressources et du temps nécessaires au développement et à l'adoption de nouveaux outils (Tapia et al., 2011)

90. <https://www.ushahidi.com/>

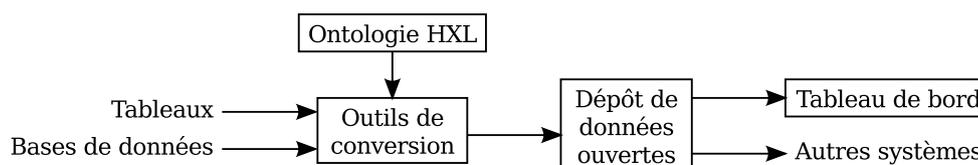


FIGURE 2.24 – Interopérabilité avec l'ontologie HXL et son écosystème d'outils, adapté de (Kessler & Hendrix, 2015)

la gestion de crise sur le terrain. Dans cette thèse, nous nous efforcerons de développer des solutions permettant au plus grand nombre d'exploiter et de bénéficier des outils du Web Sémantique.

Synthèse

Le développement des technologies de l'information et de la communication s'est accompagné d'une évolution des pratiques de communication de crise. Depuis plusieurs années, les personnes affectées par une situation de crise se tournent vers les médias sociaux pour rechercher des informations et partager leur expérience. En effet, ces plateformes constituent la base d'un Web social, facilitant la publication de contenus générés par les utilisateurs. Elles permettent ainsi aux citoyens de participer activement à la communication de crise, à travers le développement d'usages spécifiques destinés à favoriser la diffusion et la vérification collaborative des informations. Ces dernières années ont par ailleurs vu la création de dispositifs conçus pour outiller ces usages citoyens.

Parallèlement au développement de ce Web social, sont apparus un ensemble de techniques et d'outils visant à la construction d'un Web Sémantique. Cette extension du Web est dédiée à la description formelle des connaissances, afin de faciliter leur exploitation par des agents logiciels automatisés. Les modèles conçus pour représenter les connaissances d'un domaine contribuent à l'interopérabilité sémantique, permettant ainsi une communication plus claire et moins ambiguë entre différents acteurs. Ces outils sont donc particulièrement intéressants pour la communication des crises dont la gestion implique une multitude d'organisations. De nombreux modèles ont ainsi été produits pour représenter des données relatives aux crises et à leur gestion.

Nous avons précédemment montré que la communication de crise nécessite un dialogue entre l'ensemble des parties-prenantes. Dans le cas des phases post-

accident nucléaires, toutefois, la mise en place d'un tel dialogue se heurte à d'importantes divergences en termes de perception de la crise, à une forte méfiance à l'égard des autorités et à des stratégies de communication encore trop unidirectionnelles et descendantes. Les nouvelles pratiques et opportunités issues des deux évolutions du Web – social et sémantique – sont susceptibles d'apporter des réponses à certains de ces problèmes. En favorisant les échanges et l'intercompréhension entre les différents acteurs de la gestion de crise, elles peuvent contribuer au succès de la communication de crise.

Au cours de cette thèse, nous avons cherché à évaluer cette hypothèse à travers l'étude de la problématique suivante : **L'usage des technologies de l'information et de la communication peut-il contribuer à la mise en place d'une communication de crise plus adaptée aux spécificités des phases post-accidentelles nucléaires ?** Dans les chapitres suivants, nous présentons les travaux que nous avons réalisés à cet effet et les conclusions qui peuvent en être tirées.

Chapitre 3

Partage des mesures de la radioactivité via les médias sociaux

À trois ans,
Ma fille sait dire « césium » ...
Averse de printemps

Seegan Mabesoone, *Après Fukushima*

Les mesures de la radioactivité jouent un rôle central dans la gestion de la phase post-accidentelle nucléaire. Nous avons précédemment vu l'importance des mesures de la radioactivité pour la gestion d'une phase post-accidentelle nucléaire. Seule la mesure permet d'évaluer la contamination radioactive de l'environnement, des aliments et des personnes. Par conséquent, elle est indispensable à la mise en place et au suivi des contre-mesures destinées à limiter l'exposition des personnes aux rayonnements ionisants. Ainsi, en phase PAN, il est crucial pour la population d'avoir accès à des dispositifs permettant la production, l'exploitation et le partage des mesures de la radioactivité.

En accord avec notre problématique, nous avons cherché à déterminer si les technologies du Web peuvent être utilisées à cet effet. Ce travail a été guidé par les deux premières questions de recherche de cette thèse :

- Quels sont les usages existants des TIC, et notamment des médias sociaux, pour la communication de crise lors d'un accident nucléaire ?
- Dans quelle mesure ces usages sont-ils adaptés aux spécificités de la phase post-accidentelle et aux besoins informationnels des personnes affectées ? Et comment peut-on soutenir les usages les plus appropriés ?

Dans ce chapitre, nous présentons une série de contributions portant sur le partage automatique des mesures de la radioactivité via les médias sociaux. Nous dressons tout d'abord un état de l'art des pratiques de partage des mesures qui ont émergées suite à l'accident de Fukushima Daiichi (3.1) suivi de quelques rappels méthodologiques sur l'analyse des médias sociaux (3.2). Nous discutons ensuite les résultats d'une première étude réalisée au cours de cette thèse, décrivant les « robots-radiamètres » – des dispositifs utilisés pour le partage de mesures – et mettant en évidence plusieurs de leurs faiblesses (3.3). Puis, avec les résultats d'une seconde étude, nous nous focalisons sur le problème plus spécifique de la complétude des mesures publiées par ces dispositifs et proposons un ensemble de recommandations et d'outils pour y répondre (3.4).

3.1 Partage des mesures de la radioactivité après Fukushima

En mars 2011, dès les premiers jours de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi, les Japonais ont cherché à obtenir des informations sur la contamination radioactive de leur environnement. Nous allons voir que, les mesures officielles de la radioactivité leur faisant défaut, ils se sont tournés vers des sources d'information alternatives. Nous décrivons ensuite deux communautés qui ont utilisé des services web pour partager des mesures et dont l'activité perdure encore aujourd'hui.

3.1.1 « No data and bad data »

Au moment de l'accident de Fukushima (mars 2011), deux agences gouvernementales étaient chargées de la sûreté nucléaire au Japon : l'Agence pour la sûreté nucléaire et industrielle (NISA – *Nuclear and Industrial Safety Agency*), rattachée au Ministère de l'économie, du commerce et de l'industrie (METI – *Ministry of Economy, Trade and Industry*), et la Commission de sûreté nucléaire (NSC – *Nuclear Safety Commission*), officiellement indépendante. Les mesures et les prévisions étaient principalement fournies par le réseau de capteurs SPEEDI (*System for Prediction of Environment Emergency Dose Information*) (Chino, Ishikawa, & Yamazawa, 1993), géré par la division « sûreté nucléaire » du Ministère de l'éducation, de la culture, des sports, de la science et des technologies (MEXT – *Ministry of Education, Culture, Sports, Science and Technology*). Suite aux difficultés rencontrées dans la gestion de l'accident, l'Autorité de régulation nucléaire (NRA - *Nuclear Regulation Authority*) a été créée en septembre 2012, notamment pour mieux assurer l'indépendance de la sûreté nucléaire

vis-à-vis du METI. Sous la responsabilité du Ministère de l'environnement, la NRA rassemble les fonctions de la NISA et de la NSC, ainsi que la gestion du système SPEEDI¹.

Aux premiers jours de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi, la diffusion des données fournies par le système SPEEDI a été limitée par plusieurs facteurs. Certaines des stations de mesure du réseau ayant été endommagées par le tsunami, les mesures des deux préfectures les plus proches de la centrale – Fukushima et Miyagi – ne pouvaient être affichées en temps réel sur le site web de SPEEDI. Ce site, saturé par les trop nombreuses requêtes des Japonais inquiets, s'est en outre révélé lent et régulièrement indisponible (Plantin, 2015). La transmission des données de SPEEDI au gouvernement a par ailleurs été laborieuse. En raison de la faible qualité des données (liée aux stations de mesure endommagées), le MEXT n'a pas immédiatement communiqué les mesures disponibles. Les agences gouvernementales, manquant d'expérience, ont ensuite rencontré des difficultés pour traiter ce type de données. Par conséquent, les autorités ont très peu communiqué à propos de la contamination des territoires. Dans le contexte d'urgence, le gouvernement a rapidement été suspecté de cacher les mesures de la radioactivité aux citoyens (Li et al., 2014; Plantin, 2015).

Ces derniers n'étaient pas totalement privés d'informations officielles quant à la situation radiologique. Mais les rares données disponibles étaient transmises de manière souvent inadaptée ou imprécise. Par exemple, TEPCO (*Tokyo Electric Power Company*), l'exploitant de la centrale, ne diffusait pas les mesures produites par les capteurs de la centrale et se contentait généralement de fournir des indications qualitatives (e.g. « le niveau de radionucléides dépasse le niveau habituel »²) (Plantin, 2015). Les mesures publiées sur le Web par les autorités étaient généralement fournies dans des formats non structurés – tels que des fichiers PDF – qui rendaient difficile leur extraction automatique et leur réutilisation (Plantin, 2015). Enfin, dans ces documents, les unités de mesure de la radioactivité étaient fréquemment utilisées de manière inconsistante, avec parfois des changements inexplicables d'unité au milieu des données d'une même source (Plantin, 2015). L'information des citoyens japonais par les organisations gouvernementales peut ainsi être caractérisée à la fois par le manque de données et par la présence de « mauvaises » données (« *a case of no data and bad data* ») (Plantin, 2011).

1. Japan gets a new nuclear safety body, now needs to write rules : <http://ajw.asahi.com/article/0311disaster/fukushima/AJ201209200081>

2. « *radioactive materials level is getting higher than ordinary level* » (traduction personnelle) : <http://www.tepco.co.jp/en/press/corp-com/release/11032805-e.html>

3.1.2 Partage, agrégation et mesures collaboratives

Pour pallier ces difficultés, des développeurs logiciels et des scientifiques se sont efforcés de « nettoyer » les données librement disponibles sur le Web. Ils ont tout d’abord collecté les mesures, provenant non seulement du système SPEEDI mais aussi des nombreux autres systèmes de mesure officiels, plus modestes, existant dans les préfectures et les municipalités (Plantin, 2011). Puis, dans le cas des mesures publiées dans des formats inadaptés ou inconsistants, ils ont procédé aux traitements et conversions nécessaires – parfois manuellement mais le plus souvent en créant des programmes afin d’automatiser les procédures – pour les rendre plus facilement réutilisables (Plantin, 2011). Le résultat de ces opérations a enfin été mis à disposition de tous sur le Web.

Parallèlement à cette activité, les internautes ont également mis en place des sources de mesures alternatives. Les scientifiques et les citoyens disposant de compteurs Geiger ont entrepris de partager leurs propres mesures sur le Web³. Certains publiaient régulièrement les valeurs sur leur site web personnel ou via les médias sociaux, tandis que d’autres utilisaient des webcams pour diffuser en temps réel l’image de l’écran du radiamètre (Plantin, 2011). Aux données officielles collectées et nettoyées par les volontaires se sont ainsi ajoutées des mesures participatives, réalisées par les citoyens eux-mêmes.

L’ensemble des mesures, de sources officielles comme citoyennes, ont en outre fait l’objet d’un processus collaboratif d’agrégation. Pour cela, les internautes ont notamment utilisé la plateforme Pachube⁴, dédiée à la publication de données issues de capteurs connectés⁵ (Sprake & Rogers, 2013) (Figure 3.1). Les données agrégées ont ainsi été rendues accessibles via une interface de programmation (API – *Application Programming Interface*), dans des formats standards tels que XML, CSV ou JSON⁶ (Plantin, 2011). Elles ont également été exploitées pour créer des cartes représentant la contamination radioactive des territoires (Plantin, 2011 ; Zeng, Guo, & Cheng, 2011), mais aussi des applications mobiles dont certaines croisent ces mesures avec les données météorologiques pour prévoir la propagation des radionucléides⁷.

3. iPhone Versus Soviet Subterfuge Make Fukushima No Chernobyl : <http://www.bloomberg.com/news/articles/2011-03-27/iphone-apps-versus-soviet-subterfuge-make-fukushima-no-chernobyl>

4. Désormais Xively : <https://www.xively.com/>

5. Pachube a d’ailleurs apporté son aide à ces utilisateurs, en leur fournissant davantage d’espace de stockage (Plantin, 2011)

6. Ces formats de données structurées constituent des standards ouverts, ce qui facilite la réutilisation des données : <http://5stardata.info/en/>

7. App tracks direction of Fukushima radiation : <http://www.cnet.com/news/app-tracks-direction-of-fukushima-radiation/>

8. <http://japan.failedrobot.com/>



FIGURE 3.1 – Carte collaborative affichant des mesures agrégées sur Pachube⁸

L'efficacité de ces pratiques d'agrégation de mesures doit néanmoins être relativisée. En effet, si plusieurs centaines de flux de mesures ont été mis à disposition sur Pachube (Plantin, 2011 ; Courtland, 2011), ce nombre reste insuffisant pour restituer une image précise de la contamination de l'environnement (Courtland, 2011). Leur agrégation pose en outre la question de l'homogénéité des instruments et des conditions de mesure (Sprake & Rogers, 2013). Nous développerons cette problématique – pour des dispositifs différents mais avec les mêmes enjeux – dans la Section 3.4.

3.1.3 Communautés de mesure et de partage

Ce n'est pas seulement la critique des mesures publiées par les organismes officiels qui a conduit tant de citoyens, au Japon et dans le monde entier, à réaliser et partager leurs propres mesures de la radioactivité. Beaucoup d'entre-eux étaient avant tout poussés par le besoin de connaître de manière plus précise la contamination de leur environnement proche (Kera, Rod, & Peterova, 2013). Grâce à la réalisation de ces mesures, les citoyens ont pu reprendre – au moins partiellement – le contrôle de leur environnement, de la gestion de la crise et, par conséquent, réduire leur sentiment d'impuissance face à l'immensité de la catastrophe (Kera et al., 2013).

Les internautes impliqués dans ces démarches collaboratives ont constitué des communautés de partage de connaissances sur le Web, souvent réunies autour d'un dispositif de mesure, dont certaines sont encore très actives à ce jour. Nous allons maintenant décrire deux de ces communautés parmi les plus importantes, Safecast et Pokega.

Safecast

Dès le début de l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi, des membres du hackerspace⁹ de Tokyo¹⁰ ont diffusé des mesures de la radioactivité sur Internet, notamment à l'aide du système Pachube précédemment mentionné. Ils ont également distribué des appareils de mesure de la radioactivité, d'abord fournis par une entreprise proche des hackerspaces américains, puis d'autres acquis grâce à une campagne de financement collaboratif (*crowdfunding*) sur la plateforme Kickstarter¹¹ (Kera et al., 2013). En raison de la pénurie de compteurs Geiger au Japon dans les mois suivant l'accident, ils ont finalement développé par eux-mêmes toute une gamme d'appareils de mesure. Ce groupe de volontaires, initialement baptisé RDTN (pour RaDiaTioN), a pris le nom de Safecast le 24 avril 2011¹² (Brown, Franken, Bonner, Dolezal, & Moross, 2016).

En mars 2015, Safecast a annoncé avoir construit 600 exemplaires de son radiamètre le plus populaire, le bGeigie (Safecast, 2015). Cet outil, basé sur des technologies libres telles que le microcontrôleur Arduino, est doté d'un système GPS géolocalisant automatiquement chaque mesure (Figure 3.2a)¹³. Les données collectées par les radiamètres de Safecast sont publiées sur le site web de la communauté¹⁴ selon les termes de la licence Creative Commons Zéro¹⁵ (CC0, équivalente au domaine public), autorisant leur libre diffusion et réutilisation. Les bGeigies sont parfois installés sur des voitures pour effectuer des mesures dans les villes ou le long des axes routiers (Plantin, 2011). Le site propose différentes cartes illustrant la distribution de ces mesures (Figure 3.2b)¹⁶, ainsi qu'une interface de programmation permettant à des développeurs tiers d'accéder librement aux données et de les réutiliser¹⁷. Entre avril 2011 et juillet 2016, plus de 50 millions de mesures de la radioactivité ont ainsi été publiées¹⁸.

9. « Les hackerspaces sont des espaces physiques gérés par une communauté, où les personnes peuvent partager leur goût pour les technologies, se rencontrer et travailler sur leurs projets et apprendre les unes des autres » (« *Hackerspaces are community-operated physical places, where people share their interest in tinkering with technology, meet and work on their projects, and learn from each other* », traduction personnelle) (<http://hackerspaces.org/>)

10. <http://tokyohackerspace.org/en>

11. <https://www.kickstarter.com/projects/1038658656/rdtnorg-radiation-detection-hardware-network-in-ja>

12. <http://blog.safecast.org/2011/04/24/rdtn-is-now-safecast/>

13. <https://github.com/Safecast/bGeigieNanoKit/wiki/NANO-MANUAL>

14. <http://safecast.org>

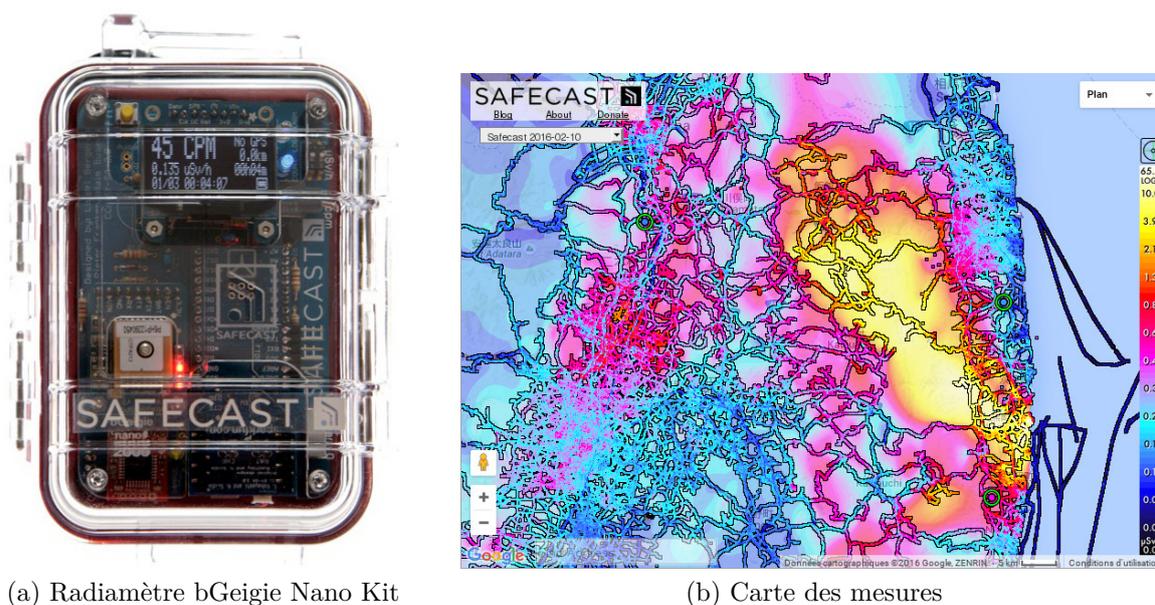
15. <https://creativecommons.org/publicdomain/zero/1.0/deed.fr>

16. <http://map.safecast.org/>

17. <https://api.safecast.org/en-US/home>

18. <http://blog.safecast.org/2016/07/50-million-data-points/>

19. Images tirées du site officiel de Safecast



(a) Radiamètre bGeigie Nano Kit

(b) Carte des mesures

FIGURE 3.2 – Outils de Safecast¹⁹

Les principaux contributeurs de Safecast sont environ une centaine de volontaires, généralement étudiants, techniciens ou activistes, et souvent proches des réseaux des hackerspaces. Leur activité collaborative peut être qualifiée de « science participative » (*citizen science*) (Brown et al., 2016). En effet, de telles démarches sont caractérisées par l'implication d'un grand nombre de contributeurs – dans une logique de *crowdsourcing* (production participative) – mais aussi par la mise à disposition des outils et des données de manière ouverte (Franzoni & Sauermann, 2014). Comme Safecast, elles facilitent la résolution rapide et peu coûteuse de problèmes complexes.

Les membres de Safecast se focalisent particulièrement sur la qualité des mesures de la radioactivité et leur diffusion auprès du grand public (Kera et al., 2013). Ces objectifs ont été réunis sous forme d'un code déontologique (Tableau 3.1) qui prône la transparence, l'indépendance, la rigueur et l'ouverture à tous de la démarche de mesure. La communauté Safecast travaille également à la mise en place d'un réseau de radiamètres fixes, afin de publier régulièrement et en temps réel des mesures de la radioactivité en de nombreux points du Japon. Ses membres ont par ailleurs investi d'autres domaines critiques tels que la mesure de la pollution atmosphérique²⁰ (Safecast, 2015). Leurs efforts et leur engagement ont reçu une reconnaissance institutionnelle en 2014, lorsque des représentants de Safecast ont été invités à un congrès de l'AIEA (Agence internationale de l'énergie atomique) consacré à la radioprotection après Fukushima²¹.

20. <http://blog.safecast.org/2016/08/air-quality-beta-kit/>

21. <http://blog.safecast.org/2014/02/safecasting-the-iaea/>

- ALWAYS OPEN** : We strive to make everything we do transparent, public and accessible.
- ALWAYS IMPROVING** : We can always do better so use agile, iterative design to ensure we're always refining our work.
- ALWAYS ENCOURAGING** : We aim to be welcoming and inclusive, and push each other to keep trying.
- ALWAYS PUBLISHING** : Results are useless behind closed doors, we try to put everything we're doing out to the world regularly.
- ALWAYS QUESTIONING** : We don't have all the answers, and encourage continued learning and critical thinking.
- ALWAYS UNCOMPROMISING** : Our commitment to our goals keeps us moving closer towards them.
- ALWAYS ON** : Safecast doesn't sleep. We're aware and working somewhere around the world 24/7
- ALWAYS CREATING** : Our mission doesn't have a completion date, we can always do more tomorrow.
- ALWAYS OBJECTIVE** : Politics skews perception, we focus on the data and the questions it presents.
- ALWAYS INDEPENDENT** : This speaks for itself.

TABLEAU 3.1 – Code de Safecast²²

Pokega

Les radiamètres Pocket Geiger (souvent désignés sous l'appellation Pokega) ont eux aussi été développés pour répondre au besoin de la population japonaise de mesurer la radioactivité dans l'environnement. Ces appareils ont été conçus à l'initiative de chercheurs de l'Université d'Électro-communication de Tokyo, à travers un processus de design participatif, favorisant le dialogue avec les experts et les utilisateurs finaux et financé lui aussi à l'aide d'une campagne de *crowdfunding*²³. Pour le capteur, ces chercheurs ont exploité une technologie beaucoup moins chère que les habituels tubes Geiger-Muller, mais d'une précision similaire²⁴ (Ishigaki, Matsumoto, Matsuno, & Tanaka, 2015). Ces dispositifs, une fois connectés à un smartphone, permettent de mesurer le niveau de radioactivité ambiante en quelques minutes (Figure 3.3a). Le site Radiation-watch.org²⁵ a été créé pour distribuer les Pocket Geiger et promouvoir leur utilisation.

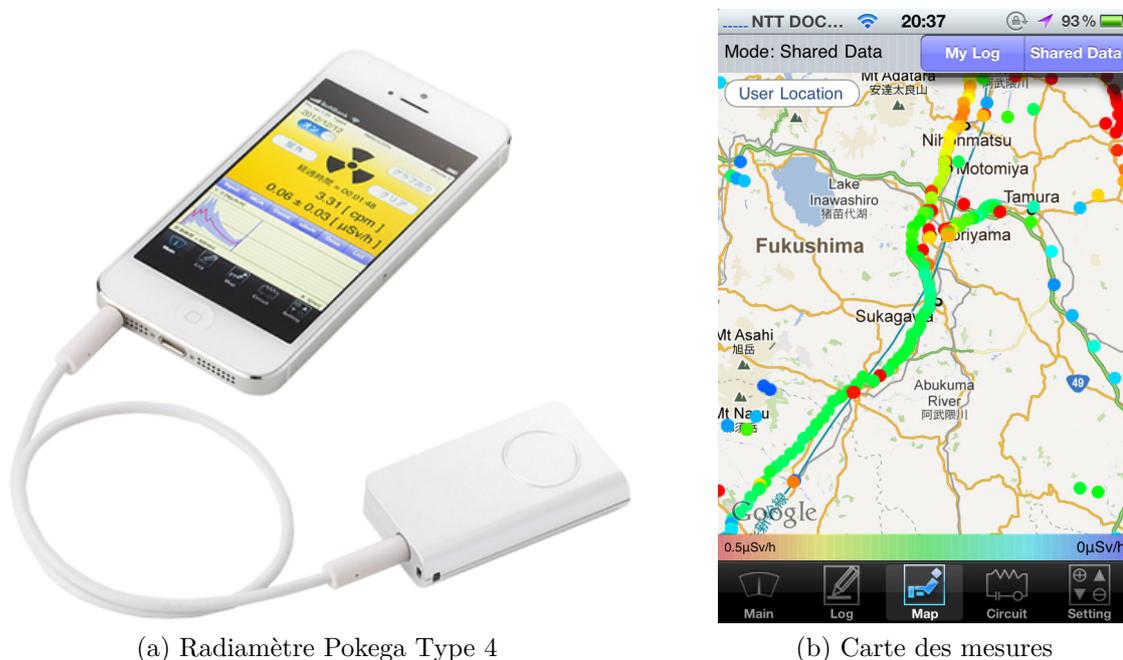
22. <http://blog.safecast.org/2014/09/safecast-code/>

23. <https://www.kickstarter.com/projects/1517658569/smart-radiation-detector>

24. Il a été certifié par le Dutch Metrology Institute : http://www.radiation-watch.co.uk/pdfs/VSL_cert_3320408.pdf

25. <http://www.radiation-watch.org/>

Les premiers Pokega étaient vendus en kit, pour la somme de 46 dollars (contre environ 200 pour un compteur Geiger classique et 600 pour un bGeigie Nano de Safecast²⁶), sans boîtier, dans une démarche de type *Do It Yourself*²⁷. Aujourd'hui, les différentes versions du capteur – ne requérant plus d'assemblage après achat – sont compatibles avec les smartphones sous iOS et Android, les ordinateurs sous Windows et les mini-ordinateurs ouverts tels que le Raspberry Pi²⁸. Des logiciels sont fournis pour collecter et traiter les données des capteurs sur ces différentes plateformes. Certains, comme l'application Pocket Geiger Pro pour iOS²⁹, offrent des fonctionnalités complémentaires tel que l'enregistrement des mesures effectuées et l'agrégation des données de tous les utilisateurs sous la forme d'une carte (Figure 3.3b).



(a) Radiamètre Pokega Type 4

(b) Carte des mesures

FIGURE 3.3 – Outils de Pokega

La communauté des utilisateurs de Pokega s'est développée au cours de la seconde moitié de l'année 2011, un peu plus tard que Safecast. Elle rassemble environ 1200 personnes principalement japonaises, généralement moins expertes que les membres de

26. <https://shop.kithub.cc/products/safecast-bgeigie-nano>

27. Les développeurs recommandaient d'utiliser une boîte de pastilles à la menthe pour abriter le circuit imprimé, ainsi qu'une pièce de monnaie et une feuille d'aluminium afin de protéger le capteur de certains rayonnements! (<https://www.newscientist.com/blogs/onepercent/2012/02/diy-geiger-counter-smartphone.html>, <http://www.radiation-watch.org/p/assembly-manual.html>)

28. <http://www.radiation-watch.co.uk/fullfeatures>

29. <https://itunes.apple.com/us/app/pocket-geiger-counter-pro/id448043815?mt=8>

Safecast. Ces citoyens souhaitent avant tout mesurer la contamination de leur propre lieu de vie pour mieux comprendre leur degré d'exposition au risque radiologique : « J'ai commencé de m'intéresser à la mesure quand j'ai entendu que mes amis, ayant trois enfants, s'inquiétaient des radiations ... Je voulais savoir si mon environnement était suffisamment sûr. Et je voulais aussi avoir mes propres ressources pour prendre des décisions »³⁰ (Kera et al., 2013, p.15). Plus que le développement de procédures de mesure rigoureuses, c'est l'implication des citoyens dans la démarche de mesure qui constitue le principal l'objectif de cette communauté (Kera et al., 2013). Les utilisateurs de Pokega disposent d'une page Facebook très active³¹ pour partager des résultats et des conseils, mais aussi pour faire remonter des problèmes ou des suggestions aux développeurs³² (Ishigaki et al., 2015).

3.2 Outils pour l'étude des médias sociaux

Lorsqu'elle avait principalement lieu oralement, au téléphone, ou par radio, la communication de crise était éphémère, volatile. Sur les médias sociaux, en revanche, toute activité de communication en situation de crise produit des traces facilement accessible aux chercheurs (Palen et al., 2009). Dans cette section, nous décrivons les méthodes et les outils permettant de collecter des traces d'usage sur différentes plateformes de médias sociaux. Nous présentons ensuite quelques analyses pouvant être réalisées à partir de ces données, mais aussi les limites et biais d'interprétation qui peuvent y être associés.

3.2.1 Collecte des traces d'usages

La plupart des services web actuels, dont les médias sociaux, constituent des « silos informationnels » : l'information est stockée de manière centralisée, laissant très peu de contrôle à l'utilisateur³³ (Yeung, Liccardi, Lu, Seneviratne, & Berners-Lee, 2009). Beaucoup de ces plateformes disposent cependant d'interfaces de programmation (API) donnant accès à certaines de leurs données, pour permettre à des tiers de développer

30. « *[I started to be interested in measuring] when I heard my friends, having three kids, were worrying about radiation ... [I] wanted to know if my neighbourhood was safe enough or not. And [I also] wanted to have my own resource to make decisions* » (traduction personnelle)

31. <https://www.facebook.com/groups/225718720808063/>

32. Une petite communauté anglophone est également représentée sur les médias sociaux mais beaucoup moins active : <https://www.facebook.com/groups/211114495683282/>

33. Par exemple pour supprimer complètement les informations le concernant, ou les transférer vers un autre service

des programmes interagissant avec la plateforme. Ces API peuvent également être utilisées par les chercheurs pour collecter des traces d'usage des médias sociaux : données relatives aux profils des utilisateurs, connexions et interactions entre les utilisateurs, médias et messages publiés. Selon les plateformes, l'accès à certaines informations requiert des autorisations spécifiques ou l'approbation explicite de l'utilisateur dont les données sont collectées.

La collecte de données à travers les API constitue un échange client-serveur – de type *push* ou *pull* – entre le chercheur et la plateforme de médias social. Dans le cas des interfaces *pull*, les plus fréquentes, le client est à l'initiative : le chercheur envoie une requête au serveur (la plateforme de média social) qui, en réponse, fournit les données appropriées (ou, le cas échéant, un message d'erreur) (Figure 3.4a). Certains sites proposent également des interfaces *push* dédiées la collecte de données en temps réel (e.g. les messages d'un utilisateur au fur et à mesure qu'il les publie)³⁴ : après une première requête du client, c'est le serveur qui notifie au client l'existence de nouveaux contenus. Plusieurs médias sociaux (e.g. Flickr³⁵, Instagram³⁶) implémentent pour cela le protocole PubSubHubHub³⁷, qui définit un écosystème d'éditeurs (*Publisher*), d'abonnés (*Subscriber*) et de relais (*Hub*). Pour recevoir les derniers contenus publiés par un éditeur, l'utilisateur envoie une requête d'abonnement à un relais. L'éditeur, de son côté, se contente de notifier le relais lorsqu'il publie un nouveau contenu et le relais transmet l'information à ses abonnés (Figure 3.4b). Twitter, en revanche, utilise une interface *push* spécifique : la requête initiale du client ouvre une connexion permanente, à travers laquelle le serveur envoie en continu les nouveaux contenus à mesure qu'ils sont publiés³⁸ (Figure 3.4c).

Pour aider les développeurs, les plateformes de médias sociaux fournissent généralement quelques implémentations de leurs API sous forme de bibliothèques dans un langage de programmation courant. Des développeurs tiers se chargent ensuite de compléter l'offre en proposant des versions dans d'autres langages. Pour faciliter la collecte des données, des outils « clés en main » ont été développés, dont certains spécifiquement à l'usage des chercheurs. Netvizz³⁹, par exemple, permettait d'extraire des données, no-

34. Avec un système *pull*, la collecte en temps réel peut être simulée en envoyant régulièrement des requêtes au serveur pour obtenir les dernières données disponibles. Plus l'on souhaite s'approcher du temps réel, plus la fréquence de requête devra être élevée, occasionnant un usage excessif des ressources du client comme du serveur (processeur, réseau).

35. <https://www.flickr.com/services/api/flickr.push.subscribe.html>

36. <https://www.instagram.com/developer/subscriptions/>

37. <https://pubsubhubbub.googlecode.com/git/pubsubhubbub-core-0.4.html>

38. <https://dev.twitter.com/streaming/overview>

39. <https://apps.facebook.com/netvizz/>

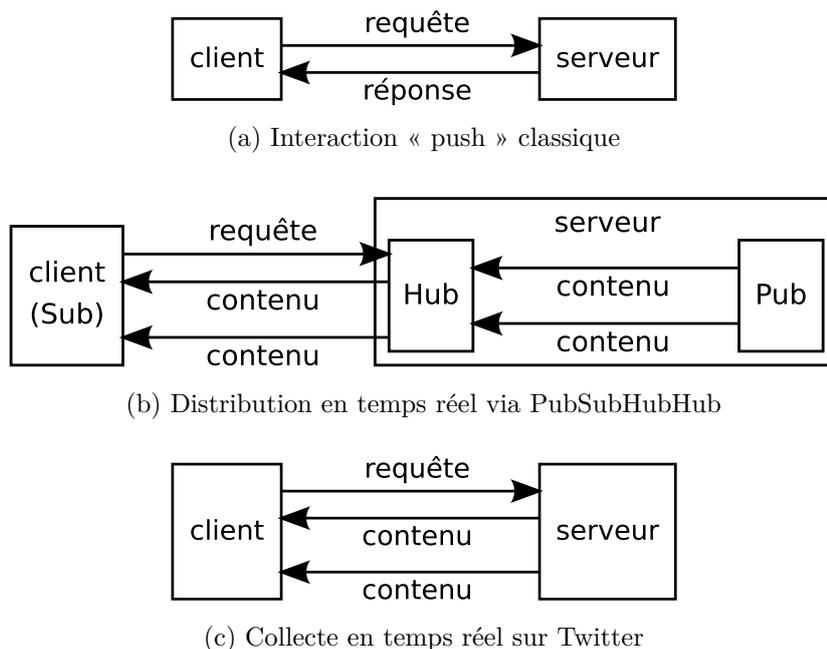


FIGURE 3.4 – Modes d'interaction avec les API des médias sociaux

tamment relatives aux réseaux d'utilisateurs, sur Facebook⁴⁰ (Rieder, 2013). Sur Twitter, l'offre est particulièrement riche, avec entre autres YourTwapperKeeper⁴¹ (Bruns & Liang, 2012) et DMI-TCAT⁴² (*Digital Methods Initiative Twitter Capture and Analysis Toolset*) (Borra & Rieder, 2014), particulièrement adaptés à la collecte en temps réel, AIDR⁴³ (*Artificial Intelligence for Disaster Response*), classifiant les tweets relatifs à des crises, (Imran, Castillo, Lucas, Meier, & Vieweg, 2014), ou encore Chorus Analytics⁴⁴ (Brooker, Barnett, Cribbin, & Sharma, 2015). Enfin, certains autres outils, tels que NodeXL⁴⁵, sont capables de collecter des données sur plusieurs plateformes de médias sociaux simultanément (Smith et al., 2010)⁴⁶.

40. Certaines fonctionnalités ont depuis été retirées, suites à des changements dans le fonctionnement des API de Facebook

41. <https://github.com/540co/yourTwapperKeeper>

42. <https://github.com/digitalmethodsinitiative/dmi-tcat>

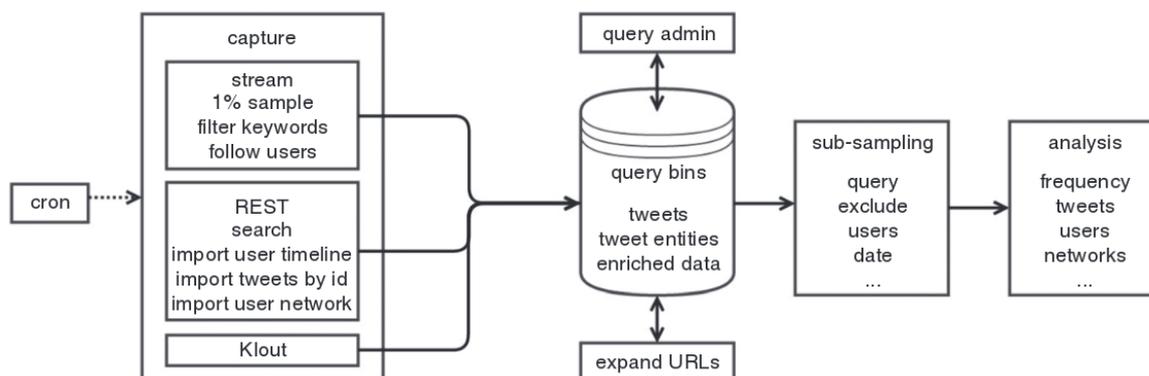
43. <http://aidr.qcri.org/>

44. <http://chorusanalytics.co.uk/>

45. <https://nodexl.codeplex.com/>

46. Une liste assez complète d'outils pour collecter des données sur les médias sociaux, mais aussi pour traiter et analyser ces données, peut être trouvée ici : <https://wiki.digitalmethods.net/Dmi/ToolDatabase>

47. <https://github.com/digitalmethodsinitiative/dmi-tcat/wiki/FAQ>

FIGURE 3.5 – Architecture du système de collecte de tweets DMI-TCAT ⁴⁷

3.2.2 Métriques et outils d'analyse

Les données et métadonnées collectées à l'aide des API offrent de nombreuses possibilités pour l'analyse des profils utilisateurs et des messages qu'ils échangent (Bruns & Liang, 2012). Ainsi, dans le cas de Twitter, les pourcentages de retweets, de réponses ou de messages contenant des URL permettent de déterminer les types d'échanges qui ont lieu sur la plateforme à un moment donné. Ces métriques peuvent notamment être exploitées afin de comparer les processus de communication lors de différents événements ou au sein de différents groupes (Bruns & Stieglitz, 2012). L'évolution de ces indicateurs au cours du temps peut également apporter un éclairage intéressant sur la dynamique temporelle de l'événement étudié (Bruns & Liang, 2012). Il peut en outre être utile de calculer certaines métriques sur différents sous-ensemble de données, tels que les publications des utilisateurs les plus ou les moins actifs, afin de mieux appréhender l'organisation des échanges (Bruns & Stieglitz, 2012).

Différents outils peuvent par ailleurs être utilisés pour le traitement automatique des corpus de données recueillies sur médias sociaux. Des programmes d'analyse de texte permettent d'extraire les thèmes principaux d'un ensemble de messages (Guille, Favre, Hacid, & Zighed, 2013) – par exemple pour comparer les thèmes abordés par différents utilisateurs ou à différentes périodes – mais aussi de classifier automatiquement les messages en fonction des opinions (positif ou négatif) ou des émotions (e.g. joie, peur, tristesse) exprimées dans le texte (Johansson, Brynielsson, & Quijano, 2012) et de leur intensité (Thelwall, Buckley, & Paltoglou, 2012).

La nature des relations et des échanges sur les médias sociaux se prête également bien aux méthodes d'« analyse structurale des réseaux sociaux ». Ces outils qualitatifs s'appuient sur la théorie des graphes pour étudier la structure des relations qui relient les individus ou les communautés. Un réseau est représenté sous la forme d'un graphe

composé d'un ensemble fini de nœuds reliés par des arêtes ou des arcs (Forsé & De-
genne, 2004 ; Mercklé, 2011). Sur les médias sociaux, on peut considérer une grande
variété de réseaux constitués par les connexions, les messages, les mentions entre les
utilisateurs, ou encore les co-occurrences de thématiques ou de mot-clefs au sein des
mêmes messages. L'analyse structurale peut également porter sur des réseaux hétéro-
gènes, associant non plus un seul mais deux types différents de nœuds : les utilisateurs
et les thèmes qu'ils mentionnent, ou encore les mots-clefs et les URL apparaissant dans
les mêmes messages (Bruns & Liang, 2012) (Figure 3.6). L'analyse structurale propose
ensuite de nombreuses métriques locales – qui qualifient la position d'un nœud dans le
graphe (e.g. centralité) – et globales – portant sur le graphe dans son ensemble (e.g.
densité, connexité). Plusieurs logiciels, tels que Gephi⁴⁸ ou NodeXL facilitent le traite-
ment des graphes, le calcul de ces métriques, la création de représentations graphiques
variées. Certains proposent en outre des fonctionnalités additionnelles telles que la dé-
tection automatique des communautés à l'aide d'algorithmes de *clustering* (Bastian,
Heymann, Jacomy, & others, 2009 ; Smith et al., 2010).

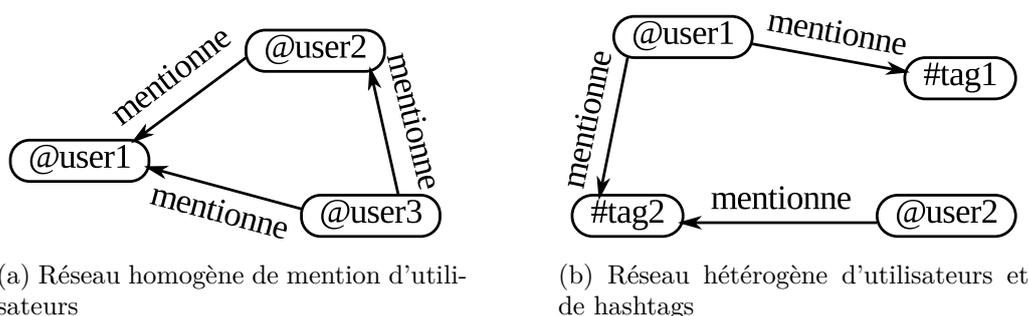


FIGURE 3.6 – Exemples de graphes de données issues de Twitter

Bien entendu, l'interprétation des résultats de ces analyses doit prendre en compte les biais et artefacts générés par l'ensemble des outils et des méthodes utilisés au cours des différentes étapes de collecte, stockage, traitement et présentation de l'information. Par exemple, les critères de collecte des données (e.g. comptes utilisateurs, plage temporelle, mots clefs) sont généralement fondés sur des hypothèses préalables quant à la distribution du phénomène étudié (e.g. personnes impliquées, durée, thématiques). Ces hypothèses, qui définiront les limites du corpus constitué, sont susceptibles d'affecter notre perception et notre compréhension du phénomène (Gerlitz & Rieder, 2013). De même, les métriques d'analyse et les représentations visuelles ne peuvent être considérées comme des outils neutres et objectifs (Barats, 2013). Plutôt que de les utiliser

48. <https://gephi.org/>

comme des « boîte noires », le chercheur se doit d'essayer d'en connaître le fonctionnement, afin de comprendre les biais qu'ils peuvent induire dans ses résultats (Barats, 2013 ; Bruns & Liang, 2012).

3.3 Première étude : des robots pour partager les mesures de la radioactivité

Nous avons décrit comment, après l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi, les Japonais ont développé et utilisé de nouveaux outils pour mesurer la radioactivité et diffuser ces données sur Internet. Certains dispositifs s'appuient sur des programmes informatiques pour automatiser la publication régulière des mesures réalisées par des capteurs connectés. Dans cette section, nous nous intéresserons plus particulièrement à ces outils qui diffusent leurs mesures via les médias sociaux.

3.3.1 Robots, médias sociaux et objets connectés

Une part importante des contenus diffusés via les médias sociaux sont produits par des robots (Chu, Gianvecchio, Wang, & Jajodia, 2010). Dans ce contexte, le terme de « robots », souvent raccourci en « bots », désigne des programmes informatiques créés pour échanger automatiquement des données avec les plateformes de médias sociaux. Un bot peut publier des contenus, posséder un profil, ou encore interagir avec les profils d'autres utilisateurs – humains ou robots – par le biais de messages ou de commentaires. Si, sur les médias sociaux, les bots sont souvent employés dans le cadre de pratiques abusives, comme le *spam* (arrosage) ou le *phishing* (usurpation d'identité), certains sont conçus pour aider les utilisateurs humains, en automatisant des tâches difficiles ou répétitives. Sur Wikipedia, par exemple, des programmes sont chargés d'opérations de maintenance, de la détection des actes de vandalisme, ainsi que de la correction automatique de certaines erreurs (Niederer & Van Dijck, 2010). Sur Twitter, des bots sont très fréquemment employés pour partager automatiquement les nouvelles publications d'un blog ou d'un site d'actualités (Chu et al., 2010).

Des robots peuvent également être utilisés pour publier automatiquement sur les médias sociaux les mesures de capteurs connectés. Dès 2008, par exemple, les artistes de Botanicalls⁴⁹ ont mis au point un système exploitant un capteur d'humidité relié à un logiciel, qui envoie un message sur Twitter lorsqu'une plante a besoin d'être arrosée.

49. <http://www.botanicalls.com/>

Dans un autre contexte, durant plusieurs années, le compte @twrbrdg_itself⁵⁰ a publié en temps réel les ouvertures et fermetures du Tower Bridge, informations susceptibles d'aider les londoniens dans leurs déplacements (Figure 3.7).



FIGURE 3.7 – Tweets du robot @twrbrdg_itself

Les données publiées par ces bots peuvent ensuite être réutilisées par d'autres dispositifs, grâce aux API des médias sociaux (voir Section 3.2) – mais aussi via des technologies d'agrégation de contenu telles que les flux RSS – parfois même en temps réel. D'autres robots peuvent à leur tour traiter ces données, les agréger et les transmettre à des objets communicants⁵¹ (Figure 3.8). Les médias sociaux constituent ainsi un canal de communication clef dans l'écosystème informationnel de l'Internet des Objets (Kranz, Roalter, & Michahelles, 2010).

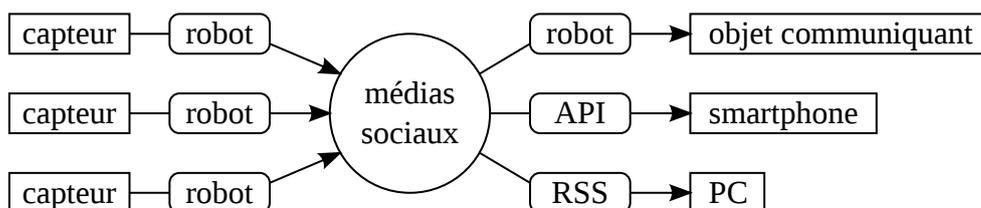


FIGURE 3.8 – Les médias sociaux pour l'échange de données dans l'Internet des Objets

Dans le cadre de nos recherches, nous nous sommes intéressés à des bots Twitter conçus pour publier des mesures de la radioactivité. Ces programmes réalisent à intervalle régulier des mesures à l'aide de radiamètres connectés à un ordinateur et les diffusent sous la forme de tweets (Figure 3.9).

50. https://twitter.com/twrbrdg_itself

51. Allant des simples objets adressables, basés sur les protocoles de communication standards d'Internet (Atzori, Iera, & Morabito, 2010) jusqu'aux « choses qui pensent » (*Things that Think*), de minuscules ordinateurs distribués dans notre environnement (Hawley, Poor, & Tuteja, 1997).



(a) Dispositif de mesure (@rad_tweet)

(b) Exemple de tweet (@musashino_rad)

FIGURE 3.9 – Bots Twitter publiant des mesures de la radioactivité

3.3.2 Construction du corpus

Dans une étude exploratoire (Segault, Tajariol, & Roxin, 2015a) nous avons identifié et documenté une série de « robots-radiamètres » à l'aide des API de Twitter.

Identification des bots. La première étape de cette étude a été la constitution d'un corpus de tweets susceptibles de provenir de ces bots. Pour cela, nous avons interrogé l'API Search de Twitter avec des termes relatifs aux unités de mesure de la radioactivité : « *cpm* », « *gy/h* », « *μgy* », « *ngy* », « *usv* », « *μsv* », « *sv/h* ». Parmi les 4000 tweets recueillis, beaucoup n'avaient cependant aucun rapport avec la mesure des radiations (l'acronyme « CPM », par exemple, a de nombreuses autres significations). Un nettoyage de ce corpus a donc été réalisé en deux temps : à l'aide d'expressions régulières reflétant le format des mesures, puis par un tri manuel des tweets. La combinaison de ces deux méthodes a permis d'identifier 48 bots.

Documentation des bots. Dans un premier temps, la collecte des tweets produits par ces bots a été réalisée en temps réel, à l'aide de l'API Streaming de Twitter. Cette procédure s'est cependant avérée peu fiable : les programmes de collecte que nous avons développés se sont arrêtés à plusieurs reprises, ne fonctionnant que rarement de manière continue pendant plus d'une semaine. Une deuxième campagne de collecte a donc été entreprise, cette fois-ci à posteriori, à travers l'API REST, afin de recueillir les 1000 derniers tweets de chaque bot. Cette API a également été utilisée pour collecter des données issues des profils utilisateurs des bots : date de création, descriptions, nombres de tweets ou encore de followers.

Nous avons analysé et croisé ces données pour l’ensemble des bots identifiés, de manière à étudier quatre principales caractéristiques : la source des mesures publiées, la popularité des bots, la fiabilité et la complétude des mesures.

3.3.3 Source des mesures publiées

Langue et origine géographique. Les bots étudiés peuvent en grande majorité être reliés au Japon par un ou plusieurs aspects de leur profil ou de leurs publications :

- la langue renseignée dans le profil utilisateur du bot est le japonais pour 88% d’entre eux, tandis que les autres indiquent l’anglais ;
- le fuseau horaire configuré est celui du Japon (UTC+09) dans 65% des cas (bien qu’il soit désigné sous différentes appellations : Tokyo, Irkutsk, Osaka, Sapporo) ;
- 75% des bots publient des tweets contenant des caractères japonais.

60% (N=29) des bots présentent ces trois caractéristiques à la fois (Tableau 3.2). On peut donc raisonnablement penser que au moins 60% de notre corpus est composé de bots ayant été conçu par des Japonais et/ou pour un public japonais.

Langue du profil	Japonais		Anglais		Total
	oui	non	oui	non	
Caractères japonais dans les tweets					
Fuseau horaire Utc+09	29	1	1	0	31
Autre fuseau horaire	6	6	0	5	17
Total	35	7	1	5	48

TABLEAU 3.2 – Tableau de contingence

Statut de la source. Les bots ont ensuite été classés selon l’origine des mesures publiées. Nous avons pour cela distingué les mesures originales, directement publiées depuis un radiamètre connecté, des mesures rediffusées, récupérées depuis une autre source et donc produites par un autre acteur que le créateur du bot. Il est apparu que seuls 17% des bots indiquent rediffuser les mesures d’une organisation officielle (e.g. préfecture, municipalité). À l’inverse, 35% laissent penser qu’ils publient des données originales car ils donnent des indications quant à l’appareil de mesure utilisé – 25% publient le nom du radiamètre, 10% se contentent d’une photographie ou d’une description plus ou moins vague du dispositif de mesure. En revanche, les 48% de bots restant n’affichent pas de données suffisantes – dans leur tweets et dans leur profil – pour nous permettre de déterminer l’origine des mesures. Malgré la forte proportion de sources inconnues, la production de mesures originales semblent l’emporter sur la rediffusion de mesures existantes. En cela, l’activité de ces robots-radiamètres s’inscrit dans la continuité des pratiques de mesure collaborative précédemment décrites (Section 3.1).

Nous avons également identifié deux logiciels d'aide à la publication employés par les créateurs des bots. Ces outils « clefs en main » permettent à des internautes peu expérimentés en informatique et en électronique de mettre en place leur propre robot-radiamètre. Le premier de ces outils, Radidas, est à l'origine de 27% (N=13) des bots de notre corpus. Il s'agit d'un logiciel permettant de partager automatiquement sur Twitter les mesures d'un radiamètre connecté à un ordinateur, mais aussi de visualiser sous forme de cartes et de graphiques ces mesures et celles publiées par d'autres utilisateurs (Figure 3.10b). Le second outil, employé pour 8% (N=2) des bots de notre corpus, est le radiamètre Mark2, conçu pour publier directement ses mesures sur Twitter une fois connecté à un ordinateur, sans nécessiter un logiciel tiers (Figure 3.10a). Grâce à ces deux outils, la diffusion des mesures de la radioactivité est à la portée d'un public plus large et moins spécialisé.



FIGURE 3.10 – Outils d'aide à la publication des mesures

3.3.4 Popularité des robots

Pour évaluer la popularité des bots, nous avons examiné plusieurs métriques des comptes Twitter, fréquemment exploitées pour déterminer la visibilité des tweets et de leurs auteurs (Bruns & Liang, 2012) :

- les *followers* sont les utilisateurs de Twitter s'étant abonnés aux tweets du bot ;
- les *listed* désignent la présence d'un bot dans une liste de comptes, généralement créée par un autre utilisateur à des fins d'agrégation de contenu ;

52. Figure 3.10a : Image tirée de <http://www.wakamatsu-net.com/mark2/mark2.htm>
 Figure 3.10b : Capture d'écran réalisée sur <http://pow2p.web.fc2.com/pgnet/sample/>

- les *retweets* sont les rediffusions, par d'autres utilisateurs, d'un tweet contenant des mesures ;
- les *favorites* sont les sauvegardes, par d'autres utilisateurs, d'un tweet produit par un bots.

Les données collectées à travers l'API REST nous ont permis de déterminer le nombre de *followers* et de *listed* des profils des bots, tandis que les *retweets* et *favorites* ont été décomptés sur les 1000 derniers tweets de chaque bot.

L'analyse de ces données révèle tout d'abord une distribution en longue traîne des nombres de *followers*, *listed*, *retweets* et *favorites* (Figure 3.11). En effet, la très grande majorité des bots sont peu populaires : les valeurs médianes sont de 23 *followers*, 3 *listed*, 0 *retweets* et 0 *favorites*. Quelques-uns présentent en revanche une popularité relativement importante : N=5 avec plus de 1000 *followers*, N=3 avec plus de 100 *listed*. L'attention des utilisateurs semble donc principalement concentrée sur un petit nombre de bots.

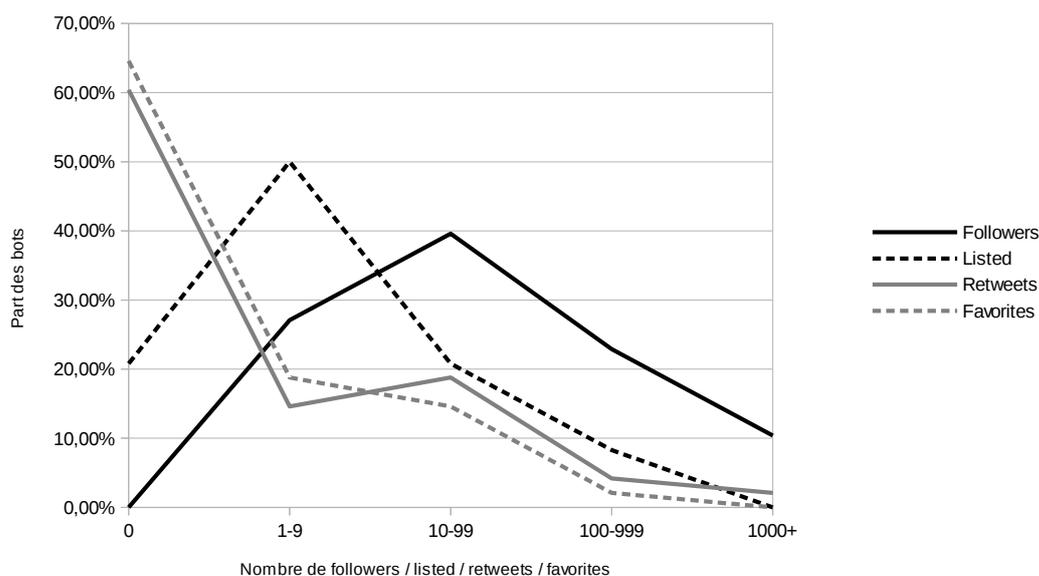


FIGURE 3.11 – Distribution en longue traîne de la popularité des bots

Par ailleurs, l'évolution de la popularité des bots au cours du temps montre l'effet déterminant de l'accident de Fukushima Daiichi sur le développement de ces outils. L'analyse de la « date de naissance » des bots montre que seuls trois d'entre eux sont antérieurs à l'accident : l'un date de septembre 2010, les deux autres de janvier 2011. La majorité des bots étudiés ont été créés après l'accident de Fukushima Daiichi (mars 2011) : 40% (N=19) ont été créés en 2011, 30% (N=14) en 2012 et 25% (N=12) en

2013. Sur les bots créés en 2011, 37% l'ont été au mois de mars (tous après le 11, date du séisme). Deux bots seulement ont été créés en 2014 mais, les données ayant été collectée au cours de l'été 2014, seule la première moitié de l'année est considérée.

Les bots actifs dans les premiers jours de l'accident sont parmi les plus populaires : N=2 créés en janvier 2011 et N=7 créés en mars 2011 comptent plus de 400 *followers* et plus de 25 *listed*. Les bots créés quelques mois après l'accident sont déjà beaucoup moins populaires et cette tendance se poursuit avec le temps, les bots créés récemment sont parmi les moins suivis (Figure 3.12).

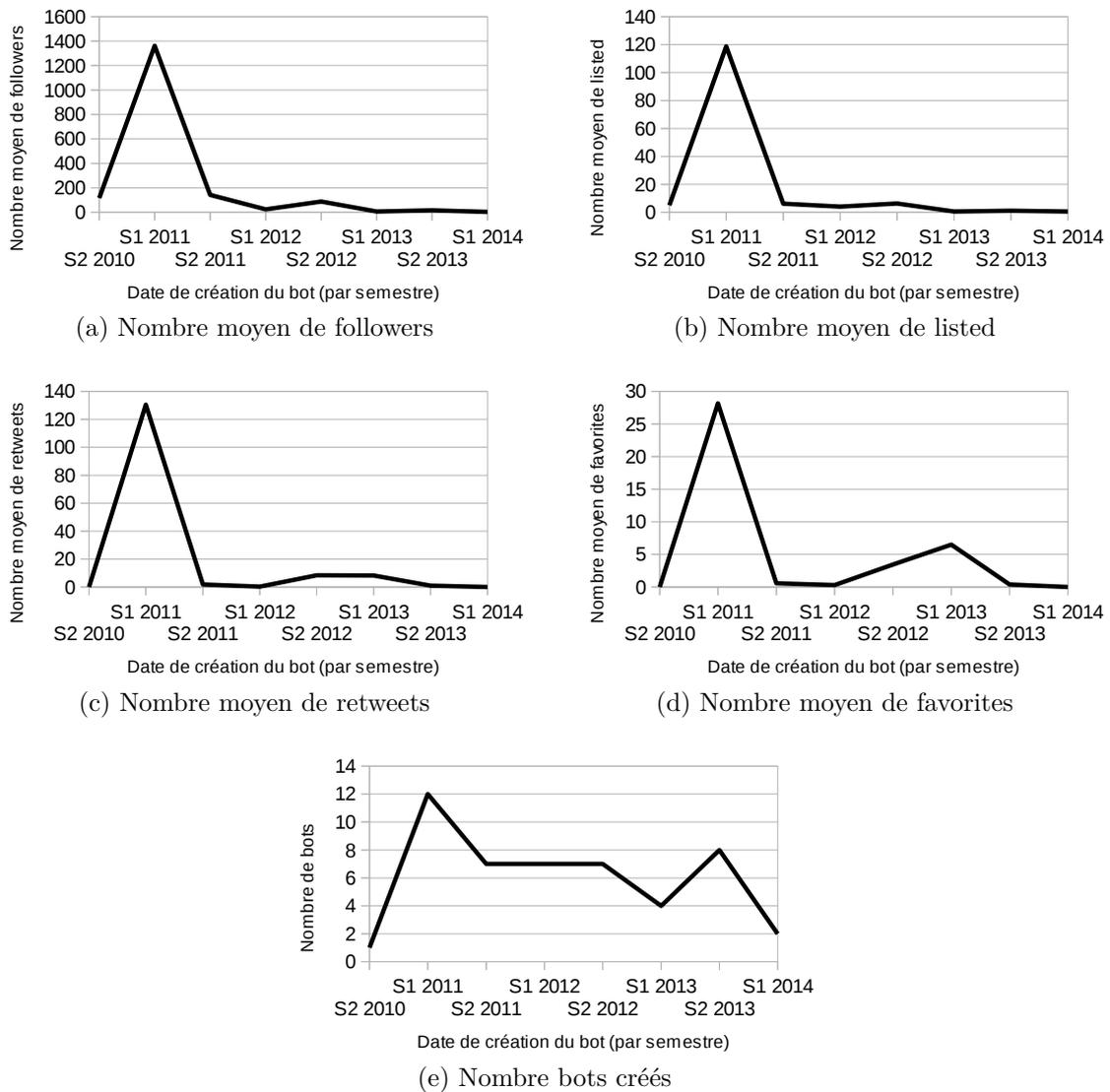


FIGURE 3.12 – Popularité des bots selon leur date de création (par semestres)

Les dates de création et l'évolution de la popularité des bots révèlent un intérêt très fort des internautes pour le partage de mesures durant la phase d'urgence de l'accident nucléaire, avec un pic de création et une très forte popularité des bots au premier semestre 2011 (Figure 3.12e). On constate également une diminution rapide de cet intérêt dans les mois suivant l'accident, correspondant globalement au délai de sortie de la phase d'urgence (définie dans la section 1.2.3).

3.3.5 Fiabilité et complétude des mesures

Nous nous sommes enfin intéressés plus spécifiquement aux caractéristiques des mesures contenues dans les tweets des bots, afin d'évaluer leur fiabilité et leur complétude par rapport aux mesures provenant des sources officielles.

Fiabilité des mesures

Pour déterminer la fiabilité des mesures publiées par les bots, nous les avons comparées avec celles réalisées par les capteurs des stations de mesure officielles de l'Autorité de régulation nucléaire (NRA). Nous avons sélectionné 10 bots dont les mesures étaient exprimées en mSv/h – la même unité de mesure que les stations NRA – et localisés à proximité de l'une de ces stations de mesure (dans la même ville, voire le même arrondissement). Pour chacun de ces bots, les valeurs des mesures indiquées dans les tweets de notre corpus – pour une durée d'une semaine – ont été extraites. En parallèle, nous avons collecté sur le site de la NRA ⁵³ les mesures correspondant à la même plage temporelle. Les graphiques suivants représentent conjointement les mesures d'un bot et celles de la station gouvernementale la plus proche (Figure 3.13).

Les mesures publiées par les bots et la NRA ont globalement le même ordre de magnitude. Dans la plupart des cas, il est cependant impossible de comparer plus précisément les mesures, en raison des importantes fluctuations qui caractérisent les valeurs publiées par les bots (Figure 3.13a), sans doute causées par des mouvements ou des interférences à proximité du capteur. Pour les bots créés avec le système Radidas, la faible précision arithmétique des mesures – à l'origine des « paliers » visibles sur la courbe – limite également les possibilités de comparaison (Figure 3.13b). Cependant, même lorsque le tracé des mesures du bot est relativement lisse – signe que le capteur est à la fois précis et installé loin de tout parasite – il n'est pas forcément possible d'y retrouver les variations visibles sur les mesures officielles (Figure 3.13c). Une telle disparité pourrait s'expliquer par la distance entre le bot et la station de mesure – le

53. <http://radioactivity.nsr.go.jp>

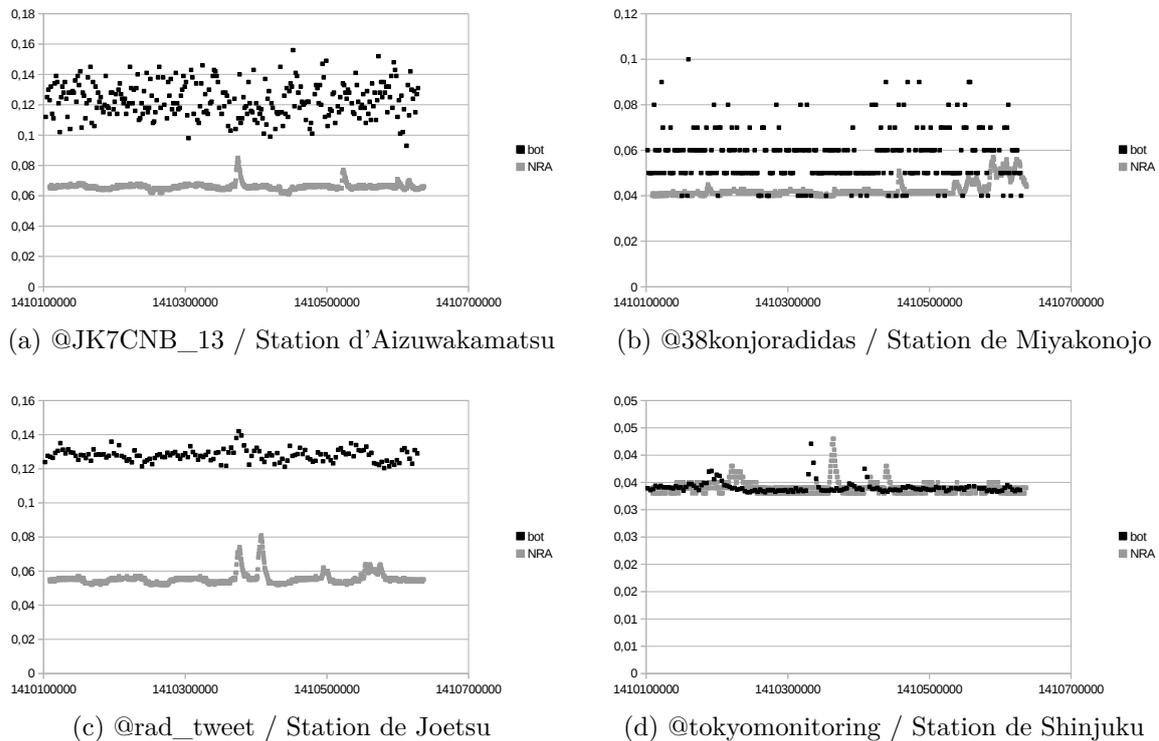


FIGURE 3.13 – Mesures (mSv/h) de quelques bots (en noir) et des stations de la NRA à proximité (en gris) sur une période d'une semaine

débit de dose pouvant varier considérablement à quelques mètres de distance – mais aussi par des différences entre les appareils ou les conditions de réalisation des mesures. Le seul cas dans lequel une forte similarité a pu être relevée entre les deux jeux de données s'est avérée correspondre à un bot ne publiant pas des mesures originales mais rediffusant celles de la NRA. Sur la courbe, le tracé est tout à fait reconnaissable, hormis la différence de fréquence de publication et un petit décalage temporel (Figure 3.13d).

Au vu de ces résultats, il est difficile de tirer des conclusions générales quant à la fiabilité des mesures publiées par les bots-radiamètres. Certains utilisent vraisemblablement des capteurs peu précis et/ou insuffisamment protégés des interférences. Les mesures des autres bots ne pourraient être confirmées qu'à condition de disposer de sources de données produites dans des conditions similaires (e.g. localisation, appareil, réglages).

Complétude des mesures

Nous avons enfin étudié les informations fournies par les bots quant à la « procédure de mesure », c'est à dire des conditions dans lesquelles les mesures sont réalisées⁵⁴. L'utilisation de plusieurs types de métadonnées⁵⁵ – unité de mesure, précision, localisation – a pour cela été examinée, afin de déterminer si les mesures des bots sont diffusées de manière suffisamment complète.

Les *unités de mesure* utilisées sont systématiquement indiquées par les bots étudiés⁵⁶. Les valeurs sont majoritairement exprimées en Sievert par heure (Sv/h) (58,3%), mais aussi en Grays par heure (Gy/h) ou en Coups par minute (CPM). Quelques robots expriment les mesures dans deux unités différentes (21%), notamment en associant Sv/h et CPM. Un seul robot utilise une unité de mesure obsolète, le Röntgen⁵⁷.

La *précision* arithmétique des mesures diffusées dans les tweets est variable. En Sv/h, les mesures sont principalement exprimées avec des précisions de 1 nSv/h (49%) et 0,01 μ Sv/h (44%). En Gy/h, la précision la plus fréquente est de 1 nGy/h, tandis qu'en CPM elle est de 0,1 CPM. Cette précision arithmétique ne décrit cependant que la manière dont les mesures sont représentées dans les tweets. Elle ne révèle pas le degré de précision réel des capteurs et peut être incohérente avec la résolution des capteurs (par exemple si un bot affiche des mesures avec une précision supérieure à celle du radiamètre). Seuls 23% des bots – ceux utilisant le système Radidas – fournissent une indication explicite de la précision de la mesure (e.g. « $\pm 0.02 \mu$ Sv/h »).

La *localisation* des bots est elle aussi affichée avec une précision variable. Seuls 33% des bots indiquent une localisation précise sous forme de coordonnées GPS. Les autres ne fournissent que des indications moins précises, telles qu'un nom de ville (31%) ou de quartier. Enfin, 10% ne donnent aucune information concernant le lieu de réalisation de la mesure. La radioactivité ambiante étant susceptible de varier fortement à l'échelle de quelques mètres, seule une localisation précise permet de construire une représentation fidèle de la contamination des territoires.

Ainsi, de nombreux bots ne fournissent pas certaines des métadonnées étudiées. La publication de métadonnées décrivant la procédure de mesure assure la traçabilité métrologique⁵⁸, indispensable à la réutilisation des mesures (e.g. comparaison, agré-

54. <http://jcgmbipm.org/vim/fr/2.6.html>

55. « Donnée servant à caractériser une autre donnée, physique ou numérique » (www.larousse.fr/dictionnaires/francais/métadonnée/186919)

56. Sans surprise, car ces bots ont été identifiés à l'aide de mots clefs relatifs aux unités de mesure.

57. <http://www.nist.gov/pml/pubs/sp811/sec05.cfm>

58. <http://jcgmbipm.org/vim/fr/2.41.html>

gation). L'incomplétude des données diffusées par les bots est donc susceptible d'en limiter l'utilité pour les personnes affectées par la crise.

3.4 Deuxième étude : complétude des mesures partagées via les médias sociaux

Les résultats de la première étude montrent que les bots publiant des mesures de la radioactivité sur Twitter n'indiquaient pas systématiquement certaines métadonnées, telles que la localisation, l'appareil utilisé, ou la précision. Ces premiers résultats nous ont incités à poursuivre notre recherche sur les bots-radiamètre par une seconde étude portant plus particulièrement sur le problème de la complétude des mesures diffusées par les bots (Segault, Tajariol, Ishigaki, & Roxin, 2016). Dans cette section, nous montrons tout d'abord que la notion même de complétude est problématique (3.4.1), puis nous rapportons nos observations sur l'exploitation des métadonnées par les bots (3.4.2). Nous présentons ensuite notre enquête sur l'utilité perçue des différentes métadonnées (3.4.3) et les recommandations que nous en avons tirées (3.4.4). Enfin, nous décrivons le dispositif que nous avons conçu pour promouvoir la complétude des mesures auprès des utilisateurs et des créateurs de bots (3.4.5).

3.4.1 Complétude des mesures de la radioactivité

Peu de travaux ont été consacrés à la complétude des mesures de la radioactivité. Après l'accident de Fukushima, une étude avait analysé les mesures publiées par les médias de masse (télévision et journaux), concluant à une amélioration progressive de la complétude des mesures au cours des principaux accidents nucléaires (Three Mile Island, Tchernobyl, Fukushima) (Friedman, 2011). Pour évaluer la complétude, l'auteur se basait sur des recommandations développées suite à l'accident de TMI (Rubin, 1979). Celles-ci indiquent 7 éléments nécessaires à la publication d'une mesure complète :

- la mesure de la dose et son unité ;
- l'intervalle de temps pour recevoir cette dose ;
- la date et la durée de réalisation de la mesure ;
- la localisation précise de la mesure ;
- l'élément radioactif en cause ;
- le type d'exposition (ponctuelle ou continue) ;
- une comparaison avec la dose reçue lors d'une radiographie ou avec la dose ambiante normale.

Depuis la publication de ces recommandations, en 1979, deux accidents nucléaires majeurs sont survenus (dans les centrales de Tchernobyl et Fukushima), tandis que des évolutions considérables ont eu lieu dans les domaines de la radioprotection (ICRP, 2007) et de la communication de crise (Section 1.1.2). Pourtant, à notre connaissance, aucune étude plus récente n'a actualisé ces recommandations. Par ailleurs, la technicité de ces dernières en réserve l'usage à des personnes possédant des connaissances scientifiques pointues. Pour cette raison, ces recommandations ne nous semblent pas compatibles avec le caractère amateur des dispositifs de partage de mesure qui sont étudiés ici. Nous avons donc entrepris de concevoir de nouvelles recommandations destinées à assurer la complétude des mesures de la radioactivité partagées via les médias sociaux.

Notre travail s'est appuyé sur une méthodologie centrée utilisateur, de manière à ce que nos recommandations en matière de complétude des mesures reflètent autant que possible les besoins informationnels des personnes susceptibles d'utiliser les médias sociaux pour partager et/ou accéder à des mesures de la radioactivité. Nous nous sommes pour cela inspirés d'une étude portant sur le format des tweets d'un système d'alerte pour les séismes en Italie (Comunello, Mulargia, Polidoro, Casarotti, & Lucciani, 2015). La démarche que nous en avons tirée se compose de deux étapes successives : une analyse des bots existants (3.4.2), puis une enquête auprès des utilisateurs potentiels (3.4.3)..

3.4.2 Exploitation des métadonnées par les robots existants

Dans un premier temps, nous avons étudié les métadonnées exploitées par les bots existants. Suivant la méthodologie mise au point pour la première étude (Section 3.3.2), 44 bots ont été identifiés puis leurs tweets et les données de leur profil utilisateur ont été collectées. À partir de ce corpus, nous avons recensé les différents types de métadonnées publiées par les bots de notre corpus. Le nombre de bots diffusant chacune de ces métadonnées a ensuite été décompté, en repérant si elles étaient diffusées dans le texte des tweets, le champ « description » ou le champ « localisation » du profil utilisateur (Tableau 3.3).

Sur les 15 métadonnées identifiées, seules deux sont fournies par la quasi-totalité des bots : la date (N=40, soit 90.9%) et la localisation (N=39, soit 88.6%) de la mesure. Sept autres métadonnées sont présentes pour une part significative (> 25%) des bots : les coordonnées GPS de la mesure (N=14), le nom du radiamètre utilisé (N=21), la précision du capteur (N=15), la durée de la mesure (N=20), la fréquence de publication

Métadonnée	Bots publiant la métadonnée	Dans le texte du tweet	Dans le champ description	Dans le champ localisation
Autres capteurs	18	18	-	-
Avertissement	6	-	6	-
Coordonnées GPS	14	13	1	1
Date de la mesure	40	40	-	-
Description du lieu	6	2	4	-
Durée de la mesure	20	20	-	-
Évaluation qualitative	1	1	-	-
Fréquence de publication	12	-	12	-
Hashtags géographiques	3	3	-	-
Hashtags thématiques	23	23	-	-
Lieu de la mesure	39	34	16	20
Mesure dans plusieurs lieux	3	3	-	-
Nom du radiamètre	21	4	19	-
Précision de la mesure	15	15	-	-
Valeurs max/min	5	5	-	-

TABLEAU 3.3 – Métadonnées publiées par les bots

des mesures (N=12), les données d'autres capteurs (N=18) et les hashtags thématiques (N=23).

Les métadonnées sont majoritairement publiées dans le texte des tweets, mais quelques-unes d'entre elles apparaissent néanmoins plus fréquemment dans le champ « description » du profil : le nom du radiamètre (N=19 dans la description contre N=4 dans le texte), la fréquence de publication (N=12 contre N=0) et l'avertissement quant à l'origine amateur des données (N=6 contre N=0). Si la localisation est dans certains cas indiquée dans les champs « localisation » (N=20) ou « description » (N=16) du profil, elle est généralement reprise dans le texte des tweets (N=34).

Aucun bot ne publie l'ensemble des 15 métadonnées identifiées. Mais la complétude des mesures est également assez faible, confirmant les conclusions de notre première étude (Section 3.3.5) : la moyenne s'établit à 5,1 métadonnées par bots et la valeur médiane est de 5. La distribution du nombre de métadonnées (Figure 3.14) montre deux pics, suggérant deux types de bots distincts : un premier groupe (41% des bots) ne diffusant que très peu de métadonnées (entre 2 et 4, en gris sur la figure) et un second (59%) diffusant les mesures de manière plus complète (au moins 5 métadonnées, en noir).

La liste des 15 métadonnées étudiées a ensuite été présentée à des experts du CEPN participant au projet SCOPANUM, afin d'en vérifier la clarté et l'exhaustivité. Sur leurs

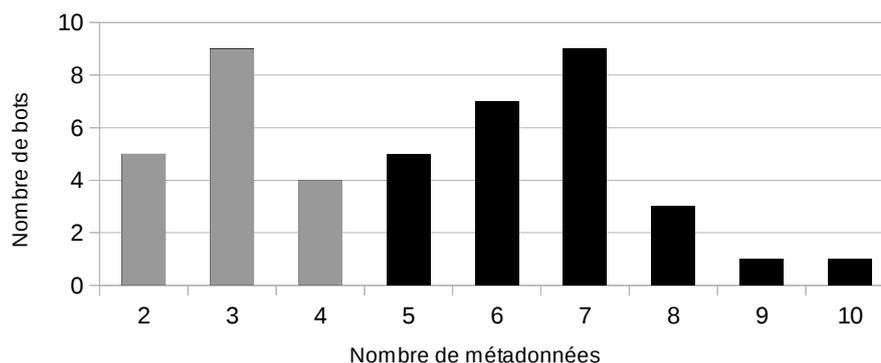


FIGURE 3.14 – Distribution du nombre de métadonnées par bot

conseils, quelques métadonnées, non relevées dans le corpus de bots mais dont l'utilité pourrait être importante⁵⁹ ont été ajoutées. Nous avons ainsi abouti à la liste de 18 métadonnées qui a été utilisée pour la suite de cette étude (Tableau 3.4).

- Autres capteurs (e.g. vent, température)
- Avertissement quant à l'origine amateur des mesures
- Coordonnées GPS du lieu de mesure
- Date de la mesure
- Description du lieu de mesure (e.g. deuxième étage, derrière une fenêtre, murs en bois)
- Durée de la mesure
- Évaluation qualitative (e.g. normal, élevé, inférieur à la moyenne)
- Fréquence de publication
- Hashtags géographique (e.g. #tokyo, #yokohama)
- Hashtags thématiques (e.g. #geiger, #genpatsu)
- Heure de la mesure
- Lieu de mesure (e.g. nom de ville, de quartier, de rue)
- Mesures dans plusieurs lieux (communiquées par le même bot)
- Nom du radiamètre
- Précision de la mesure (e.g. « $\pm 0.02\mu Sv/h$ »)
- Type de mesure (intérieur ou extérieur)
- Valeur de comparaison (e.g. niveau naturel, niveau avant l'accident, norme)
- Valeurs minimales / maximales (durant la mesure)

TABLEAU 3.4 – Liste enrichie (N=18) des métadonnées à évaluer

⁵⁹. Le type de mesure (intérieur ou extérieur) et la valeur de comparaison. La date de mesure a été scindée en deux métadonnées pour la date et l'heure.

3.4.3 Utilité perçue des métadonnées

Pour déterminer l'importance relative des différentes métadonnées précédemment identifiées, nous avons mené deux enquêtes en ligne portant sur l'utilité perçue des métadonnées.

Méthodologie d'enquête

La première enquête a permis d'évaluer la perception de l'utilité des 18 métadonnées par un panel élargi d'experts en radioprotection. Dans notre questionnaire, l'utilité des métadonnées était quantifiée à l'aide d'une échelle de Likert à 5 points (de « inutile » à « indispensable »). Les répondants pouvaient également proposer l'ajout d'autres métadonnées, absentes de la liste mais qui leur semblaient pertinentes. Quelques questions visaient ensuite à évaluer leur profil en termes d'expertise en radioprotection et d'expérience des médias sociaux. Ce questionnaire (Annexe A.1) a été distribué, en français et en anglais, à des experts du CEPN, de l'IRSN et du KIT⁶⁰.

Le questionnaire français a obtenu 15 réponses, contre une seule pour la version anglaise. La majorité des experts (75%) travaillent dans le domaine de la radioprotection depuis plus de 10 ans. Ils ont en revanche un faible usage des médias sociaux : 13% utilisent Facebook fréquemment, 44% occasionnellement ; 6% utilisent Twitter fréquemment, 25% occasionnellement.

En parallèle, nous avons mené une seconde enquête portant sur l'utilité perçue de ces métadonnées par des non-experts. La première partie du questionnaire était similaire à la version « experts », avec l'évaluation de l'utilité des 18 métadonnées et la possibilité d'en proposer de nouvelles. Ensuite, pour 8 métadonnées – celles que les bots ne publient pas seulement dans le texte des tweets – les répondants devaient indiquer leurs préférences en termes de présentation de l'information : devrait-elle être répétée dans chaque tweet, ou seulement indiquée dans le profil du bot ? Les dernières questions, enfin, portaient sur les connaissances et l'expérience du répondant en termes d'usage des médias sociaux et de mesure de la radioactivité. Ce questionnaire (Annexe A.2) a été distribué en anglais et en japonais auprès des membres de la communauté Pokega (voir section 3.1.3), grâce à un message publié sur les sites et pages Facebook dédiées⁶¹.

Le questionnaire japonais a été complété par 40 personnes et la version anglaise par 4. Les répondants sont principalement des hommes (82%, contre 7% de femmes et 11%

60. Institut de technologie de Karlsruhe : <http://www.kit.edu/>

61. Par exemple, sur le site en japonais : <http://www.radiation-watch.org/2015/10/5-radiation-monitoring-questionnaire.html>, sur la page Facebook anglophone : <https://www.facebook.com/groups/211114495683282/permalink/757682944359765/>

non-indiqué), avec une moyenne d'âge de 52 ans (minimum : 37 ans, maximum : 69 ans), vivant majoritairement au Japon mais hors de la préfecture de Fukushima (89%, contre 7% vivant hors du Japon et 5% non-indiqué). Ils utilisent les médias sociaux plusieurs fois par jours : 59% pour Facebook (tandis que 14% ne l'utilisent jamais), 39% pour Twitter (27% ne l'utilisent jamais). Ils sont par ailleurs fortement impliqués dans la mesure de la radioactivité, puisque 93% possèdent un radiamètre (2% n'en possèdent pas, 5% non-indiqué). Nombre d'entre-eux utilisent les médias sociaux pour rechercher des mesures de la radioactivité (50% l'ont déjà fait sur Facebook, 39% sur Twitter) et en publier (27% sur Facebook, 25% sur Twitter).

Résultats

Nous avons analysé en parallèle les réponses obtenues au cours des deux enquêtes. Deux métadonnées sont perçues comme hautement utiles tant par les experts que par les non experts : la date de la mesure et le nom du lieu de mesure. Le faible écart-type indique en outre que cette utilité perçue fait consensus au sein des deux groupes de participants (Figure 3.15)

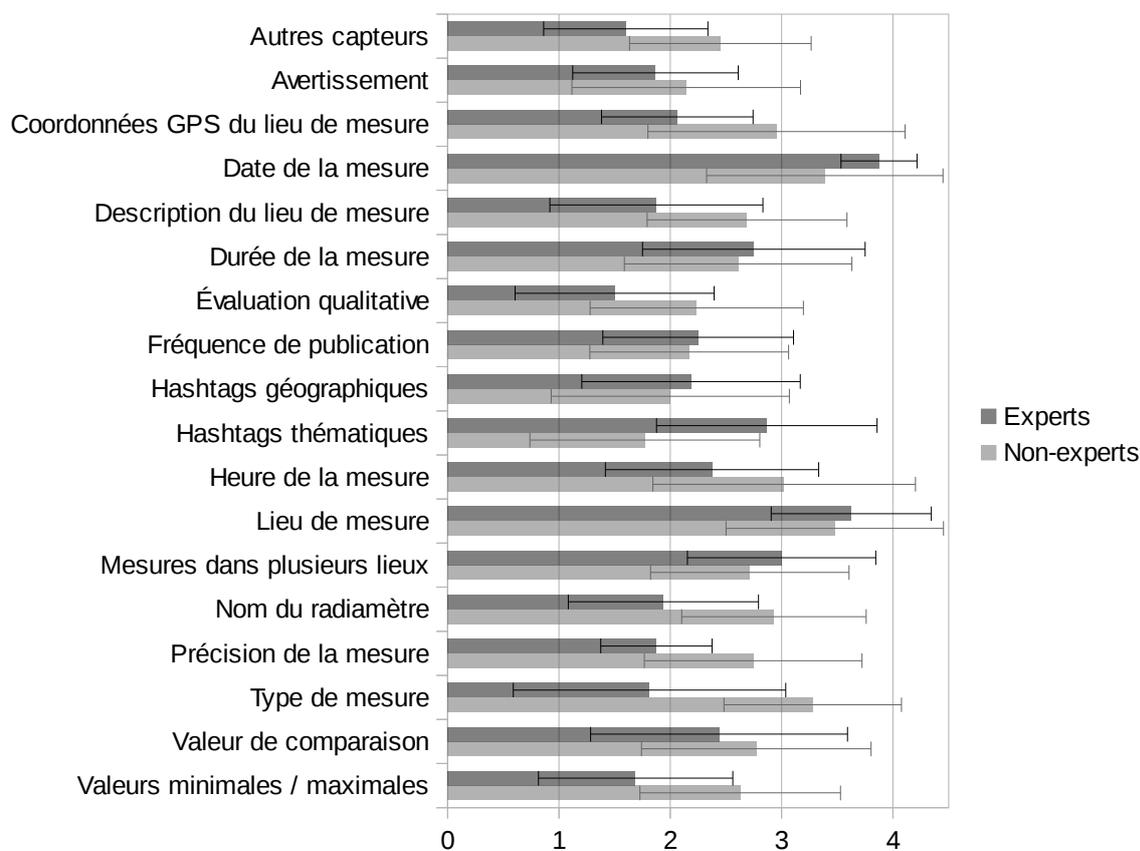


FIGURE 3.15 – Utilité perçue des métadonnées (moyennes et écarts-types)

Pour les autres métadonnées, les résultats sont moins flagrants : la différence de perception entre les experts et les non-experts est parfois très importante (e.g. type de mesure, évaluée en moyenne à 1,8 par les experts et 3,3 par les non experts), de même que les écarts-types (e.g. hashtags géographiques, avec un écart-type atteignant 0.98 pour les experts et 1.07 pour les non-experts). De manière à mieux identifier les métadonnées jugées utiles malgré les divergences entre les deux enquêtes, nous avons croisé, dans un diagramme, les utilités perçues des deux groupes (Figure 3.16).

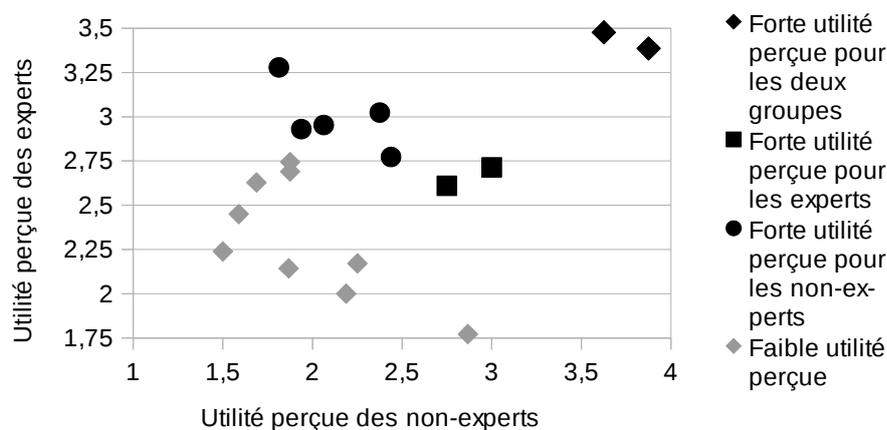


FIGURE 3.16 – Comparaison de l'utilité perçue par les experts et les non-experts

Cette représentation graphique confirme l'accord des deux groupes sur la forte utilité des deux métadonnées précédemment évoquées (date de la mesure et nom du lieu de mesure). En outre, on peut distinguer deux groupes de métadonnées dont l'utilité est perçue comme forte pour un groupe et moyenne pour l'autre :

- utilité forte pour les experts ($> 2,75$) et moyenne pour les non-experts ($> 1,75$) : durée de la mesure, mesure dans plusieurs lieux ;
- utilité forte pour les non-experts ($> 2,5$) et moyenne pour les experts ($> 2,5$) : heure de la mesure, coordonnées GPS, type de mesure, nom du radiamètre, valeur de comparaison.

Enfin, les répondants non-experts ont également indiqué leurs préférences en termes de présentation de certaines métadonnées (Figure 3.17). Une seule de ces métadonnées, « lieu de mesure », a fait l'objet d'un relatif consensus (80%) en faveur de la répétition dans chaque tweet. En ce qui concerne les autres métadonnées, les réponses n'indiquent aucune préférence nette quant au mode de présentation à adopter.

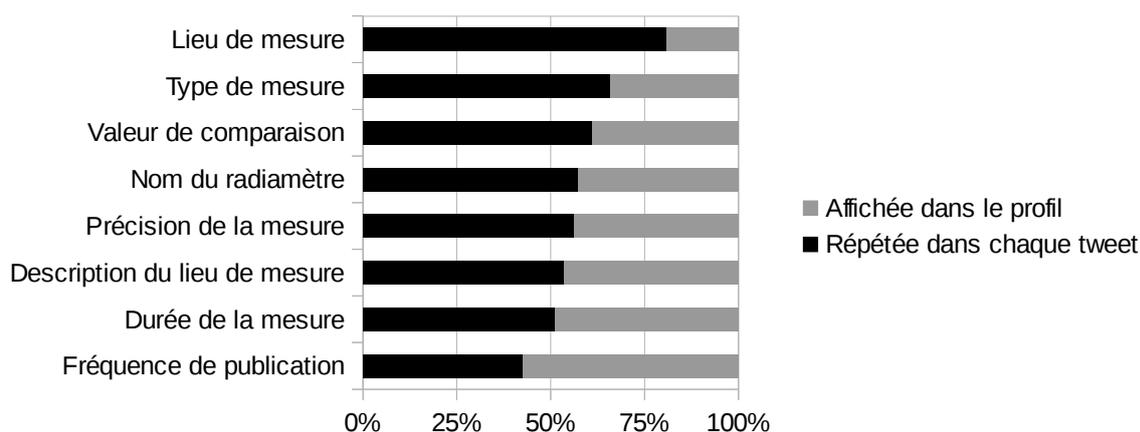


FIGURE 3.17 – Préférences de présentation des métadonnées

3.4.4 Recommandations pour la publication des mesures

Ces résultats nous ont permis de définir une série de recommandations relatives à la publication de mesures de la radioactivité sur Twitter :

- deux métadonnées, jugées très utiles par l'ensemble des participants, devraient être systématiquement indiquées : la date de la mesure et le nom du lieu où elle a été réalisée ;
- sept autres métadonnées, considérées comme très utiles par les experts ou par les non-experts, sont souhaitables : l'heure de la mesure, les coordonnées GPS du lieu de mesure, le type de mesure (intérieure ou extérieure), le nom du radiamètre, la durée de mesure, une valeur de comparaison et la publication de mesures dans plusieurs lieux différents ;
- le nom du lieu de mesure devrait être répété dans chaque tweet.

Aucune des métadonnées étudiées n'a été considérée comme complètement inutile. Elles peuvent donc toutes être utilisées – la plus grande complétude étant toujours souhaitable – tant que ce n'est pas au détriment des métadonnées plus utiles.

Pour illustrer ces recommandations avons créé une maquette graphique représentant le profil et un tweet d'un hypothétique bot publiant des mesures complètes (Figure 3.18). On y retrouve les deux métadonnées indispensables – la date et le lieu de la mesure – dans le texte du tweet, ainsi que cinq des sept métadonnées recommandées : l'heure de la mesure dans le texte du tweet, le type et la durée de mesure dans le champ « description » du profil et les coordonnées GPS dans le champ « localisation ».



FIGURE 3.18 – Infographie d’un bot respectant les recommandations

3.4.5 Prototype de robot

Ces recommandations doivent contribuer à améliorer la complétude des mesures publiées sur Twitter. Elles ne pourront cependant remplir cette fonction qu’à condition d’être largement diffusées et promues auprès des créateurs de bots. Il serait judicieux de cibler particulièrement les créateurs des outils d’aide à la diffusion tels que les systèmes Radidas et Mark2 identifiés au cours de la première étude (voir section 3.3.3). En effet, l’amélioration de la complétude d’un seul de ces outils profiterait à tous les bots qui l’emploient et aurait donc un impact important sur la complétude globale des mesures partagées sur Twitter. Nous avons donc conçu Radbird, un outil d’aide à la création de bot qui favorise la diffusion de mesures plus complètes (Figure 3.19).

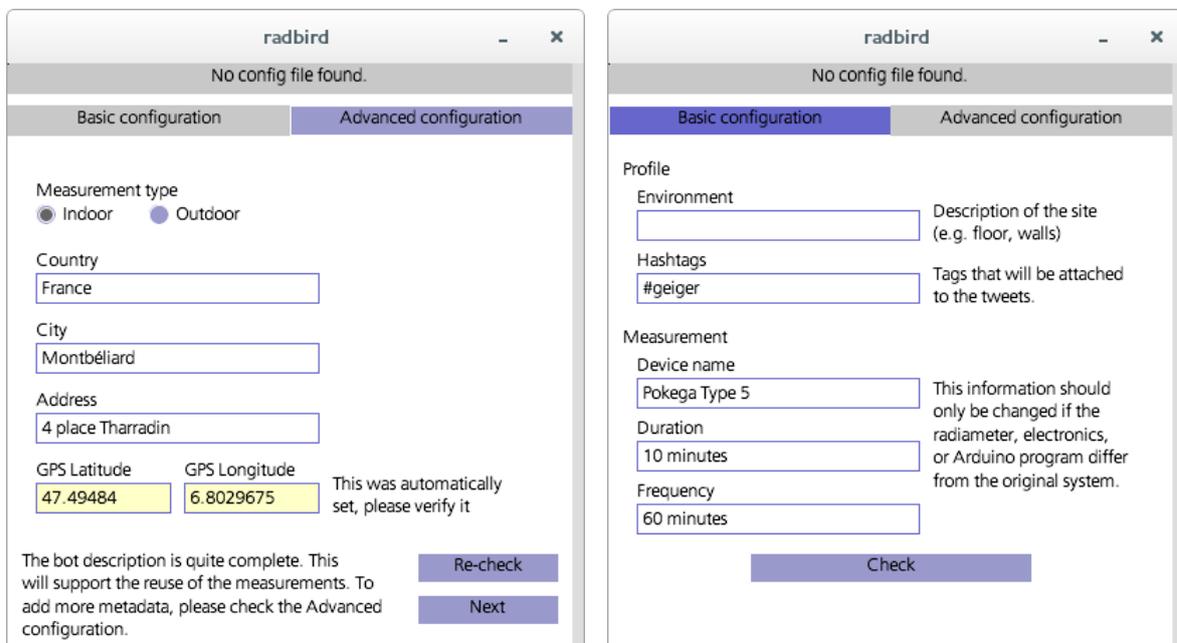


FIGURE 3.19 – Interface graphique du prototype Radbird

Design persuasif

Pour améliorer la complétude des mesures diffusées par les bots, leurs créateurs doivent fournir plus de métadonnées relatives aux conditions de mesure lors de la mise en place du système de publication. Cependant, la configuration des bots peut s'avérer contraignante pour plusieurs raisons : la durée de la procédure, les compétences nécessaires (relatives tant à la métrologie qu'aux médias sociaux), et peut être considérée comme invasive (notamment lorsqu'il s'agit d'indiquer la localisation précise ou de décrire l'environnement d'un capteur installé dans un lieu privé). Pour inciter les créateurs de bots à fournir un maximum de métadonnées malgré ces obstacles, nous nous sommes inspirées des techniques du design persuasif. Cette démarche vise à augmenter la probabilité qu'un utilisateur adopte un certain comportement en agissant sur deux dimensions de sa perception de ce comportement : sa capacité (*ability*) et sa motivation à effectuer la tâche demandée (B. J. Fogg, 2009).

Pour accroître la « capacité » perçue de l'utilisateur – ici le créateur d'un bot –, nous avons tout d'abord limité le nombre et la complexité des actions nécessaires à la configuration « complète » d'un bot. Ainsi, dans notre outil, la saisie de certaines des métadonnées est automatisée. Par exemple, la localisation de l'utilisateur est déterminée à l'aide d'un service d'*IP mapping*⁶² afin d'estimer la ville et le pays depuis lequel le bot effectue ses mesures. La précision de l'*IP mapping* étant en revanche insuffisante pour fournir les coordonnées GPS du bot, un système de *geocoding*⁶³ est utilisé pour obtenir ces données à partir d'une simple adresse postale⁶⁴. Par ailleurs, pour plusieurs métadonnées (e.g. durée de la mesure, fréquence de publication), notre outil intègre des valeurs par défaut susceptibles de convenir à une majorité d'utilisateurs. Les données fournies par l'utilisateur sont également sauvegardées dans un fichier de configuration, de manière à limiter les saisies nécessaires si le programme est relancé (pour modifier un bot préalablement mis en place ou pour déployer plusieurs bots avec une même configuration). Enfin, pour chaque métadonnée, une description de la saisie attendue est affichée afin de guider l'utilisateur et ainsi limiter la complexité de la configuration.

Les techniques de persuasion portant sur la « motivation » de l'utilisateur sont, elles, utilisées pour l'inciter à revoir et compléter sa saisie de manière itérative. Ainsi,

62. Les systèmes d'*IP mapping* utilisent les bases de données des organismes responsables de l'allocation des adresses IP pour déterminer la localisation des internautes. Dans notre prototype, nous utilisons le service fourni par IP-API : <http://ip-api.com/>.

63. Le *geocoding* (ou géocodage) exploite les systèmes d'information géographiques et les bases d'annuaires pour déterminer les coordonnées géographiques d'un point désigné par son adresse postale. Notre prototype s'appuie sur le service d'Open Cage : <https://geocoder.opencagedata.com>.

64. L'utilisateur garde néanmoins la possibilité de modifier les données issues de ces processus automatiques, si elles s'avèrent erronées, imprécises, ou s'il ne souhaite pas qu'elles soient publiées.

lorsque le créateur valide la configuration de son bot, le système en évalue la complétude et fournit un feedback correspondant. Les métadonnées absentes sont listées et leur champ de saisie est coloré de manière à en faciliter l'identification. Selon le niveau de complétude atteint et le panneau de configuration en cours d'utilisation, différents messages d'encouragement et/ou de félicitations sont également affichés (Tableau 3.5). L'objectif de l'action (faciliter la réutilisation des mesures du bot) est systématiquement rappelé pour stimuler les utilisateurs.

	Configuration basique	Configuration avancée
Configuration incomplète	« The bot description is still incomplete, which may hinder the reuse of incomplete the measurements. You can add the following metadata : [liste] »	« The bot description is quite complete. To support the reuse of the measurements, you can still add the following metadata : [liste] »
Configuration complète	« The bot description is quite complete. This will support the reuse of the measurements. To add more metadata, please check the Advanced configuration »	« The bot description is now complete. This will support the reuse of the measurements »

TABLEAU 3.5 – Messages d'encouragement et de félicitation

Développement

Nous avons entrepris de développer un prototype de cet outil, sous le nom de Rad-bird, afin de tester la faisabilité technique des différentes solutions que nous avons proposées au problème de la complétude des données. Ce système permet de connecter un radiamètre Pocket Geiger type 5⁶⁵ (interfacé avec un micro-contrôleur Arduino⁶⁶ de type UNO) avec un compte Twitter existant (Figure 3.20)⁶⁷. Il propose une interface graphique interactive pour la saisie des données relatives à la configuration du bot, mettant en œuvre les techniques de communication engageante précédemment décrites (Figure 3.19). Le programme utilise ensuite ces métadonnées pour mettre à jour les différents champs du profil Twitter du bot et définir le format des tweets qui seront publiés.

65. <http://www.radiation-watch.org/2011/05/professional.html#emb>

66. <http://www.arduino.cc/>

67. Le montage électronique et le programme d'acquisition des données a été repris des travaux réalisés au printemps 2016 par Alexandra Stan et Horia Darastean, deux étudiants de l'Université d'Oradea (Roumanie) en stage au laboratoire ELLIADD dans le cadre du programme ERASMUS+.

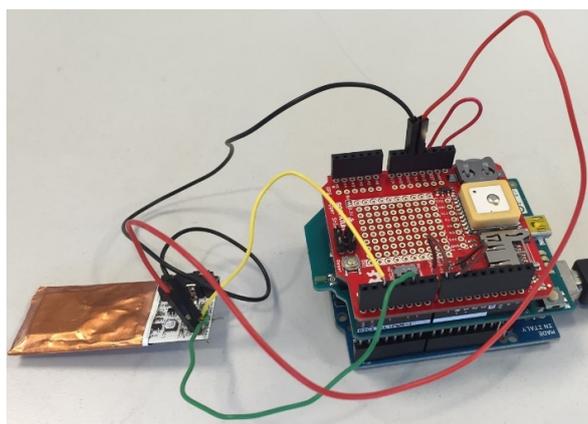


FIGURE 3.20 – Dispositif de mesure exploité par Radbird. Le capteur Pocket Geiger, à gauche, est relié à la carte Arduino (ici équipée d’une puce GPS à des fins de tests)⁶⁸

Une première version de ce programme a été produite à l’aide de l’environnement de développement Processing, un outil facilitant la création rapide de petites applications interactives et de prototypes logiciels (Reas & Fry, 2006). Elle intègre déjà la majorité des fonctionnalités décrites et couvre plus de la moitié des métadonnées que nous avons évaluées dans les sections précédentes (11 sur 18, dont les deux métadonnées « indispensables » et cinq des sept « recommandées »). Le développement étant toujours en cours, ce programme sera amené à évoluer pour prendre en charge l’ensemble des fonctionnalités et cas d’utilisation prévus⁶⁹.

Ce prototype nous permettra d’évaluer l’utilisabilité et l’efficacité des techniques de communication engageante que nous avons adoptées. Il pourra également être utilisé à des fins de communication, pour sensibiliser les créateurs de bots au problème de la complétude des données et pour leur démontrer que des modifications dans la conception des outils peut contribuer à y remédier.

Synthèse

Lors de l’accident nucléaire de Fukushima Daiichi, les médias sociaux ont joué un rôle clef dans la communication de crise. Les internautes ont notamment employé ces outils pour partager des informations relatives à la contamination radioactive des territoires. Grâce aux médias sociaux, des citoyens et des experts du monde

68. Photographie par Alexandra Stan et Horia Darastean

69. Le code source des dernières versions du programme est disponible sur la page GitHub du projet : <https://github.com/asegault/radbird>

entier ont collaboré à la production, la diffusion et la valorisation des mesures de la radioactivité. Ces activités ont été appuyées par la création de nouveaux dispositifs de mesure et de partage, autour desquels se sont constituées des communautés très actives.

Les médias sociaux ont par ailleurs été directement utilisés pour diffuser des mesures de la radioactivité. Ainsi, sur Twitter, des robots-radiamètres publient à intervalle régulier les mesures réalisées par des capteurs connectés. Nos analyses de ces dispositifs a révélé l'existence d'outils visant à étendre leur usage au-delà d'un petit groupe de technophile. Cependant, nos études ont également mis en évidence plusieurs éléments limitant l'intérêt de ces dispositifs pour la phase post-accidentelle : leur popularité a fortement diminué depuis la fin de la période d'urgence, les mesures publiées sont d'une faible précision et manquent de complétude.

L'étude de la complétude des mesures a montré l'absence d'une définition formelle pouvant guider leur publication sur les médias sociaux. Nous avons donc produit une série de recommandations indiquant les métadonnées qui devraient accompagner les mesures partagées par les bots Twitter, ainsi que la manière de présenter ces informations. Nous avons en outre entrepris de développer un outil pour promouvoir la complétude des mesures auprès des créateurs de bots-radiamètres.

À travers ces travaux, nous nous sommes efforcés de répondre aux deux premières questions de recherche qui structurent cette thèse :

- Quels sont les usages existants des TIC, et notamment des médias sociaux, pour la communication de crise lors d'un accident nucléaire ?
- Dans quelle mesure ces usages sont-ils adaptés aux spécificités de la phase post-accidentelle et aux besoins informationnels des personnes affectées ? Et comment peut-on soutenir les usages les plus appropriés ?

Nos travaux ont démontré que, si les médias sociaux sont effectivement exploités pour la communication de crise après un accident nucléaire, leurs usages ne sont pas forcément compatibles avec les exigences de la phase post-accidentelle. Nous considérons que des recommandations ou des outils logiciels tels que ceux présentés dans ce chapitre peuvent aider au développement d'une communication plus adaptée, à condition qu'ils s'intègrent dans les usages existants des citoyens.

Au-delà de la seule diffusion des mesures de la radioactivité, c'est sur la gestion et le partage de l'ensemble des connaissances relatives à la radioprotection en phase post-accidentelle que nous allons porter notre intérêt dans le prochain chapitre.

Chapitre 4

Partage des connaissances en phase post-accidentelle nucléaire

The question of whether Machines Can Think [...] is about as relevant as the question of whether Submarines Can Swim¹.

Edsger Dijkstra, *The threats to computing science (EWD898)*

Durant la phase post-accidentelle nucléaire (PAN), le quotidien des personnes vivant dans les zones contaminées est fortement affecté. Leur exposition aux rayonnements ionisants doit être réduite autant que possible pour limiter les risques sanitaires. Il faut pour cela procéder à des mesures régulières de la contamination de l'environnement, des aliments et des personnes, afin de mettre en œuvre des actions de radioprotection adéquates. Au cours de la phase de long terme, la responsabilité de ces procédures incombe progressivement aux citoyens eux-mêmes, qui doivent donc acquérir et s'approprier de nouvelles connaissances ainsi que de nouveaux savoirs-faire techniques.

Pour soutenir les citoyens dans cette démarche d'information, nous nous sommes intéressés aux systèmes d'organisation des connaissances. Dans une démarche de recherche-développement, nous avons étudié le rôle que de tels système pourraient jouer dans l'accès et le partage des connaissances nécessaires à la gestion de la vie quotidienne en situation PAN. Notre travail s'est appuyé sur les deux questions de recherche suivantes :

1. « Se demander si les machines peuvent penser [...] est aussi pertinent que se demander si les sous-marins peuvent nager. » (traduction personnelle)

- Des systèmes d'organisation des connaissances peuvent-ils être utilisés pour représenter les données relatives à la radioprotection et ainsi appuyer les activités de communication de crise ?
- Comment peut-on intégrer ces systèmes aux usages existants des différents acteurs ?

Dans ce chapitre, nous montrons tout d'abord le potentiel des technologies du Web Sémantique pour organiser les connaissances relatives à la radioprotection (4.1). Nous décrivons ensuite Ginkgo, un prototype d'application web mobile à destination des personnes affectées par une situation PAN, dont les fonctionnalités s'appuient sur ces bases de connaissances (4.2). Enfin, nous présentons le déroulement et les résultats d'une évaluation en vraie grandeur du fonctionnement et de la pertinence de Ginkgo (4.3).

4.1 Organisation des connaissances pour la phase PAN

Nous avons précédemment montré que les outils du Web Sémantique sont particulièrement appropriés pour représenter et organiser les connaissances nécessaires à la gestion et la communication des crises. Ils réduisent l'ambiguïté dans la communication, tant entre les machines et les hommes qu'entre les membres de différentes organisations impliquées, en assurant l'interopérabilité sémantique (2.2.3). Nous proposons donc d'utiliser ces outils pour organiser les connaissances utiles à la gestion de la phase PAN et en faciliter l'utilisation par les citoyens. Dans cette section, nous décrivons successivement la modélisation d'un thésaurus des concepts relatifs à la radioprotection (4.1.1), l'organisation de documents à destination des citoyens (4.1.2) et la représentation sémantique des échanges sur les médias sociaux (4.1.3).

4.1.1 Conception d'un thésaurus de la radioprotection

Dans un premier temps, nous nous sommes intéressés à l'identification et à la représentation des concepts clefs de la radioprotection en phase PAN. Nous montrons tout d'abord que les modèles existants dans ce domaine adoptent le point de vue des experts et ne sont pas adaptés aux besoins des non-experts. Afin de pallier ce défaut, nous présentons la démarche que nous avons mise en œuvre pour construire un thésaurus des concepts utiles aux citoyens en phase PAN (Segault, Tajariol, & Roxin, 2015b).

Modèles sémantiques existants pour la gestion PAN

Les accidents nucléaires sont des situations pour lesquelles l'interopérabilité sémantique est particulièrement critique. La gestion de crise suite à un accident nucléaire à très large échelle (dépassant souvent les frontières étatiques) nécessite en effet la collaboration de nombreuses organisations : protection civile, sûreté nucléaire, professionnels de la santé, industries (Otway, 1991, p. 139). La très longue durée de telles crises implique également de maintenir la compatibilité des données au gré de l'évolution de ces organisations (e.g. changement de personnel, d'organigramme, de systèmes d'information). En outre, en raison de la haute technicité des concepts utilisés en radioprotection (e.g. normes, unités et appareils de mesures), il est capital de limiter les erreurs et les ambiguïtés dans la communication de crise. L'exploitation des technologies du Web Sémantique pour la représentation des connaissances est susceptible d'apporter une réponse pertinente à ces problématiques en assurant l'interopérabilité sémantique.

L'AIEA a très tôt entrepris une réflexion sur l'usage des technologies du Web Sémantique dans l'industrie du nucléaire², annonçant le lancement d'un projet de Plateforme internationale de stockage de la terminologie nucléaire (INTERP : *International Nuclear Terminology Repository Platform*³). Plusieurs chercheurs ont par ailleurs proposé des représentations sémantiques des connaissances du domaine nucléaire. Une première ontologie a été produite dans le but de faciliter l'accès des non-experts aux connaissances du domaine, et ainsi de favoriser la communication du risque et la délibération au cours des actions de prévention (Furuta, Ogure, & Ujita, 2005). Plus récemment, NREO (*Nuclear or Radiological Emergency Ontology*), un thésaurus des concepts spécifiques à la gestion d'accidents nucléaires a été conçu pour annoter des documents et en favoriser la recherche par les citoyens (Konstantopoulos & Ikononopoulos, 2015). Pourtant, malgré les objectifs affichés par leurs auteurs, ces deux modèles sémantiques ne sont que peu adaptés aux besoins informationnels des non-experts. En effet, les concepts qui les composent proviennent de documents écrits par et pour des experts de la radioprotection, utilisant un vocabulaire particulièrement technique (Tableau 4.1).

Or, la terminologie technique utilisée par les experts constitue un obstacle à la communication avec les non-experts (Reuter, Pipek, Wiedenhoefer, & Ley, 2012). En outre, en raison de leurs perceptions idiosyncrasiques du risque, les experts et les ci-

2. https://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/Knowledge_Organization_Systems/Semantic_Tech_in_Nuclear_/index.html

3. https://www.iaea.org/nuclearenergy/nuclearknowledge/Knowledge_Organization_Systems/INTERP.html

AbsorbedDose	CommittedEffectiveDose70	HalfLife
ActivityConcentration	DecontaminationFactor	IncrementalDose
ActivityLevel	DoseRate	Isodose
Activity	Dose	LocationFactor
AerodynamicDiameter	EffectiveDoseRate	OccupancyFactor
AMAD	EffectiveDose	OccupancyTime
CollectiveDose	EquivalentDose	Radioactivity
CommittedEffectiveDose	GammaDoseRate	RelativeBiological
CommittedEffectiveDose50	GastroIntestinalUptakeFactor	Effectiveness

TABLEAU 4.1 – Liste des instances de la classe MeasurementTerm du thésaurus NREO

toyens accordent une importance différente à certaines informations (R. L. Heath et al., 2009). Par exemple, lorsqu’une catastrophe nécessite une évacuation de la population, la protection des animaux de compagnie est cruciale pour les familles – au point que certaines refusent d’évacuer ou tentent de retourner dans des zones dangereuses pour les sauver – mais n’est pas toujours prise en compte par les autorités (Hunt, Al-Awadi, & Johnson, 2008). Les différents acteurs de la gestion de crise ont donc des avis divergents quant aux concepts à intégrer dans les terminologies et modèles de la crise.

Compte tenu de ces limites des modèles existants, nous proposons de créer un nouveau thésaurus, dont les concepts répondront aux besoins informationnels des non-experts affectés par une situation PAN.

Méthodologie

Pour identifier l’ensemble des concepts à intégrer dans ce thésaurus, nous avons dans un premier temps consulté les glossaires publiés par plusieurs organismes de sûreté nucléaire : l’IRSN⁴, l’ASN⁵ et la CIPR⁶. Cependant, ces glossaires souffrent des mêmes défauts que les ontologies précédemment évoquées : vocabulaire très technique, absence de certains concepts essentiels à la gestion du quotidien dans les territoires contaminés tels que la nourriture ou la sécurité des enfants (SAGE Project, 2005). Nous nous sommes par conséquent orientés vers des documents écrits pour des non-experts, dans le but d’y trouver un vocabulaire plus accessible et des concepts plus proches des préoccupations des citoyens. Notre approche est analogue à celle mise en œuvre dans le cadre projet CrisisLex pour extraire une terminologie généraliste pour la gestion des

4. <http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Glossaire/Pages/Glossaire.aspx>

5. <http://www.asn.fr/lexique/mot/%28lettre%29/95097>

6. http://www.irsn.fr/FR/Larecherche/publications-documentation/collection-ouvrages-IRSN/Documents/CIPR_103.pdf

situations d'urgence (EMTerms⁷) à partir d'un large corpus de tweets (Temnikova, Castillo, & Vieweg, 2015).

Notre thésaurus a été construit à l'aide d'un corpus de documents en anglais et en français, écrits à destination de non-experts de la radioprotection :

- un guide rédigé par les experts du projet Ethos à destination de la population des territoires contaminés suite à un accident nucléaire (SAGE Project, 2005) ;
- des extraits d'un document écrit par les experts du CODIRPA (Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle) pour les décideurs locaux des zones affectées par un accident nucléaire (CODIRPA, 2011) ;
- le script d'une série de documentaires présentant les témoignages de Japonais après l'accident nucléaire de Fukushima, diffusés par Arte (de Halleux, 2013)
- un court guide de radioprotection créé par un groupe de citoyennes japonaises, assistées d'un médecin (Tsubokura, 2014) ;
- la transcription d'un entretien d'un expert du CERN, rapportant à un chercheur (non-expert en radioprotection) son travail durant la phase PAN de Fukushima (SCOPANUM, 2014).

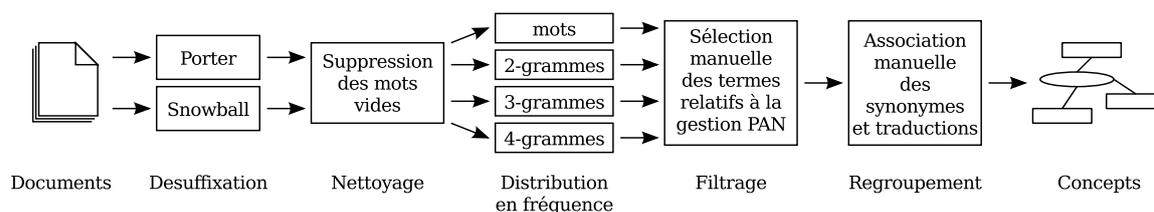


FIGURE 4.1 – Étapes d'extraction des concepts

Les concepts ont été extraits sur la base de leur fréquence d'apparition dans ce corpus de documents (Figure 4.1). Nous avons tout d'abord collecté tout le contenu textuel de chacun des documents. Puis, à l'aide de la librairie NLTK (Bird, 2006), les mots ont été désuffixés (en utilisant l'algorithme de Porter⁸ pour les textes en anglais et ceux de Snowball⁹ pour le français¹⁰) et supprimé les mots vides. Nous avons ensuite calculé la distribution en fréquence de tous les mots, 2-grammes, 3-grammes et 4-grammes¹¹. Les mots et les expressions les plus fréquents – au niveau de chaque texte et sur l'ensemble du corpus – ont été isolés automatiquement, puis

7. <http://crisislex.org/crisis-lexicon.html>

8. <http://tartarus.org/~martin/PorterStemmer/index.html>

9. <http://snowball.tartarus.org>

10. L'algorithme de Porter est le standard *de facto* pour la désuffixation de l'anglais (Willett, 2006). Snowball constitue une extension – par Porter lui-même – de cet algorithme à d'autres langues.

11. Des groupes respectivement constitués des deux, trois et quatre mots

les listes résultantes ont été manuellement filtrées pour ne conserver que les termes concernant la gestion d'une situation PAN. Parmi les 77 expressions retenues, nous avons rassemblé les synonymes et les équivalents français-anglais (Figure 4.2).

```
{
  "id" : "exposure",
  "en" : ["exposur", "expos", "radiat exposur"],
  "fr" : ["exposit", "irradi"]
}
```

FIGURE 4.2 – Concept et ses labels désuffixés

Cette méthodologie nous a permis de constituer une liste de 46 concepts relatifs à la gestion des situations PAN et à la vie en territoire contaminé (Tableau 4.2).

Accident	Effets
Anthropogammamétrie	Effets déterministes
Anthropogammamétriste	Effets stochastiques
Badge en verre	Enfants
Bielorussie	Évacuation
Centrale nucléaire	Exposition
Centrale nucléaire de Fukushima	Exposition externe
Césium	Exposition interne
Champignon	Fukushima
Conseil consultatif des intervenants	Japon
Contamination	Jardin
Contamination de l'environnement	Mesure
Contamination des aliments	Niveau de contamination
Contamination interne	Nourriture
Corps	Port du masque
Culture de la radioprotection	Préfecture de Fukushima
Débit de dose	Professionnel de la santé
Déchet	Radioactivité
Décontamination	Radionucléide
Dose	Radioprotection
Dose externe	Résultats de mesure
Eau	Situation post-accidentelle
Eau du robinet	Situation radiologique

TABLEAU 4.2 – Liste des concepts identifiés dans le corpus

Les relations hiérarchiques entre ces concepts ont été manuellement établies, en liant hyperonymes et hyponymes (e.g. « contamination » et « contamination des aliments »). Puis, nous avons automatiquement extrait les relations associatives à partir du corpus

Le thésaurus résultant a été représenté à l'aide du vocabulaire RDF dédié SKOS (décrit plus longuement dans la Section 2.2.2) et sérialisé dans la syntaxe RDF Turtle (Figure 4.4, le thésaurus complet est en Annexe B.1). Des labels `skos:prefLabel` ont été ajoutés manuellement en français et en anglais. Les labels désuffixés ont été conservés sous forme de `skos:hiddenLabel`, afin de pouvoir être directement utilisables pour des opérations de recherche au sein d'un moteur de recherche sémantique.

```
scopnum-th:external_exposure a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "external exposure"@en ;
  skos:prefLabel "exposition externe"@fr ;
  skos:hiddenLabel "extern irradi"@en ;
  skos:hiddenLabel "extern exposur"@en ;
  skos:hiddenLabel "extern radiat exposur"@en ;
  skos:related scopnum-th:glass_badge ;
  skos:broader scopnum-th:exposure .
```

FIGURE 4.4 – Concept représenté avec le vocabulaire SKOS

Limites

Le thésaurus construit à l'aide de cette méthodologie reste largement incomplet. Nous avons identifié deux principales limites de notre démarche ayant contribué à ce résultat imparfait.

Tout d'abord, certains concepts essentiels, comme ceux liés aux unités de mesure de la radioactivité ou à la sûreté des enfants, n'apparaissent pas dans le thésaurus. La faible taille du corpus de textes analysés nous semble être la principale cause de ces lacunes. Elle a en outre affecté la détection des relations associatives. En effet, si certains concepts comprennent plusieurs racines françaises et anglaises, la plupart (63%, N=29) n'ont qu'un label dans une seule langue, limitant fortement l'identification des cooccurrences. Nous avons collecté de nouveaux documents pour enrichir le corpus, mais le traitement de leurs textes en langue russe et japonaise nécessiterait l'intervention d'un traducteur ou l'utilisation de nouveaux outils de traitement automatique des langues. Par ailleurs, notre corpus pourrait ne pas complètement refléter le point de vue des non-experts sur la situation PAN. En effet, certains documents, bien qu'étant destinés à des citoyens ou des décideurs non-experts, ont néanmoins été produits par des experts. Aucune évaluation n'a été conduite pour attester de leur réelle adéquation avec les besoins informationnels ou encore les connaissances de leurs destinataires.

Nous estimons que l'implication d'experts dans la rédaction de ces documents pourrait avoir limité leur représentativité des concepts utilisés par les non-experts

Au-delà des limites du corpus, la méthodologie d'extraction est par ailleurs affaiblie par la place importante qu'y occupent les procédures manuelles. En effet, nous avons sélectionné les labels pertinents, décidé de leur association au sein des concepts, de la construction des relations hiérarchiques sur la seule base de nos connaissances limitées de la radioprotection. Plus que la compétence des auteurs, c'est la signifiante et la reproductibilité des résultats qui est ici problématique. En outre, à mesure que la taille du corpus augmentera, les interventions manuelles deviendront vite irréalisables. Pour certaines étapes, telles que l'extraction des labels pertinents, des méthodes automatiques pourraient être implémentées. Par exemple, TF-IDF (*Term Frequency - Inverse Document Frequency*) est un algorithme comparant la fréquence d'apparition d'un mot dans un texte (ici, le corpus analysé) avec sa fréquence d'apparition dans un corpus de référence (des textes ne parlant pas de crise nucléaire). Il semble en revanche difficile de supprimer toute intervention humaine pour le groupement des synonymes (formant des concepts) et des hyperonymes / hyponyme (formant les relations hiérarchiques). En effet, les ressources habituellement utilisées à cet effet en traitement automatique des langues, comme les graphes WordNet (Miller, 1995), se concentrent généralement sur les sens les plus communs des mots tandis que leur signification dans un contexte technique spécifique – tel qu'une crise nucléaire – n'est que rarement incluse.

Si les corpus et la méthodologie utilisés n'ont pas permis de construire un thésaurus suffisamment exhaustif, la littérature évoquée dans les précédentes sections confirme le besoin de ressources sémantiques construites pour les non-experts et la pertinence de la démarche d'extraction à partir d'un corpus de documents textuels. Nous envisageons donc de poursuivre ce travail selon ces mêmes principes dès qu'un corpus plus solide aura pu être constitué.

4.1.2 Organisation des connaissances pratiques de radioprotection

Au-delà des seuls concepts de la radioprotection, le deuxième volet de notre travail a porté sur les connaissances pratiques nécessaires aux citoyens vivant en zone contaminée. Nous avons cherché à répertorier ces savoirs et savoirs-faire, selon les besoins spécifiques des non-experts. Nous avons par la suite organisé ces connaissances à l'aide des outils du Web Sémantique, de manière à en faciliter l'accès et l'acquisition par des

personnes confrontées aux problèmes concrets d'une situation PAN (Segault, Cotfas, & Tajariol, 2015 ; Cotfas, Segault, Tajariol, & Roxin, 2015).

Conception des cas d'utilisations

Pour identifier les besoins informationnels des personnes vivant dans les territoires contaminés, nous avons analysé les publications du groupe de travail « Culture pratique de radioprotection situation post-accidentelle nucléaire »¹² du CODIRPA. À partir des retours d'expériences des projets Ethos¹³ et SAGE¹⁴, ce groupe de travail a recensé dans un rapport une liste de onze questions, considérées comme importantes pour la population, articulées autour de trois thématiques : la contamination de l'environnement, l'exposition de la population et les actions de protection (Tableau 4.3). Pour chaque thématique, le document propose ensuite un ensemble d'éléments de réponse à apporter aux citoyens (CODIRPA, 2011).

Ces onze questions ont constitué les points de départ pour définir autant de scénarios, correspondant à des besoins précis des citoyens. Les scénarios sont des outils de conception décrivant des situations d'usage (e.g. les buts des utilisateurs, les étapes à entreprendre pour les atteindre) pour aider les concepteurs à formaliser leurs objectifs en termes de fonctionnalités et d'utilisabilité (Carroll, 2000). Pour chaque question, nous avons identifié les informations susceptibles de répondre aux besoins informationnels, en complétant les éléments de réponse du CODIRPA par d'autres documents à destination des citoyens et décideurs locaux impliqués dans la gestion d'une situation PAN (Tsubokura, 2014 ; SAGE Project, 2005). Nous avons ensuite structuré ces éléments sous forme de séquences d'actions, formalisées à l'aide de diagrammes d'activité UML¹⁵ (*Unified Modelling Language*), dans lesquels chaque étape correspond à un document ou une application à consulter pour acquérir des connaissances (Figure 4.5). Ces scénarios ont été révisés et complétés de manière itérative, puis soumis aux experts scientifiques du CEPN.

Suite aux retours du CEPN, les cas d'utilisation précédemment conçus ont été réorganisés en profondeur : certains ont été fusionnés, d'autres scindés et des questions non mentionnées dans le document du CODIRPA ont été ajoutées, aboutissant à une

12. Ce groupe de travail, qui fait partie de la commission « phase de long-terme » du CODIRPA, regroupe des représentants des organismes de sûreté nucléaire, des éducateurs, des membres d'associations et des chercheurs. Il vise à « identifier les conditions nécessaires au développement d'une culture de radioprotection », c'est-à-dire l'ensemble des connaissances et savoirs-faire requis pour prendre des décisions relatives à la réduction de son exposition aux radiations.

13. <http://ethos.cepnet.asso.fr/>

14. <http://ec-sage.net/>

15. <http://www.omg.org/spec/UML/2.5/>

Contamination de l'environnement :

- Pourquoi et comment mon environnement est-il contaminé ? Est-il contaminé pour long-temps ?
 - Comment cette contamination évolue-t-elle dans l'environnement ? Y a-t-il des lieux de reconcentration et quels sont-ils ?
 - Comment peut-on évaluer la contamination de l'environnement ? Qu'est-ce que l'on peut mesurer ? Quels sont les produits considérés comme contaminés ? À partir de quel niveau un produit est-il considéré comme contaminé ?
-

Exposition de la population :

- Comment suis-je exposé et à quels moments particuliers ?
 - Suis-je moi-même contaminé ?
 - Est-ce que cette radioactivité a un impact sur ma santé (et sur celle de ma famille et de mes descendants) ?
 - Quels sont les radionucléides les plus nocifs pour ma santé (en fonction des phases de l'accident et des voies d'atteinte prépondérantes : irradiation, inhalation, ingestion) ?
-

Actions de protection :

- Que puis-je faire concrètement :
 - pour mieux me protéger et éviter de m'exposer (ainsi que ma famille) maintenant et dans le futur ?
 - pour limiter et traiter les conséquences d'expositions déjà reçues dans le passé ?
 - Comment savoir si ce que je décide de faire pour me protéger est efficace ?
 - Comment seront gérés les produits contaminés et les déchets ?
 - À qui puis-je m'adresser pour connaître les actions possibles et obtenir les moyens et les aides pour leur mise en œuvre ?
-

TABLEAU 4.3 – Questions recensées par le CODIRPA (CODIRPA, 2011, p. 7 à 9)

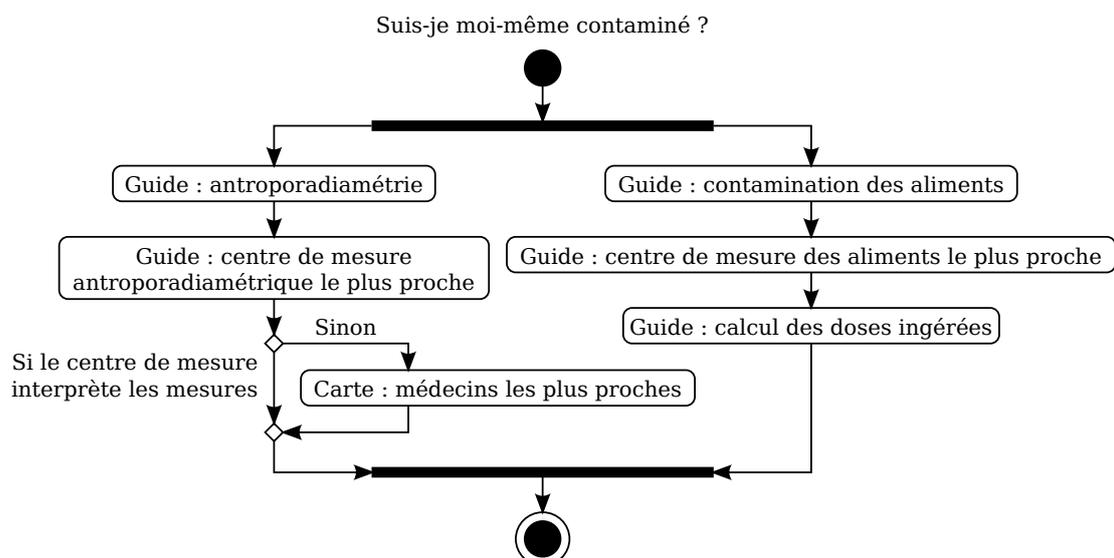


FIGURE 4.5 – Première version de la modélisation UML d'un scénario

liste de neuf scénarios (Annexe B.2). Nous avons également regroupé ces neuf scénarios dans un méta-scénario, afin d'explicitier les relations de dépendances entre les différents scénarios (Figure 4.6). Ce méta-scénario offre un parcours de lecture complet pour aborder l'ensemble des connaissances identifiées et aider à la compréhension de notions spécifiques mais aussi des liens qui les unissent. Par exemple, on ne peut chercher à mettre en place des actions de protection sans connaître les risques sanitaires liés aux radiations, ou bien mesurer son exposition sans comprendre les mécanismes de contamination de l'environnement.

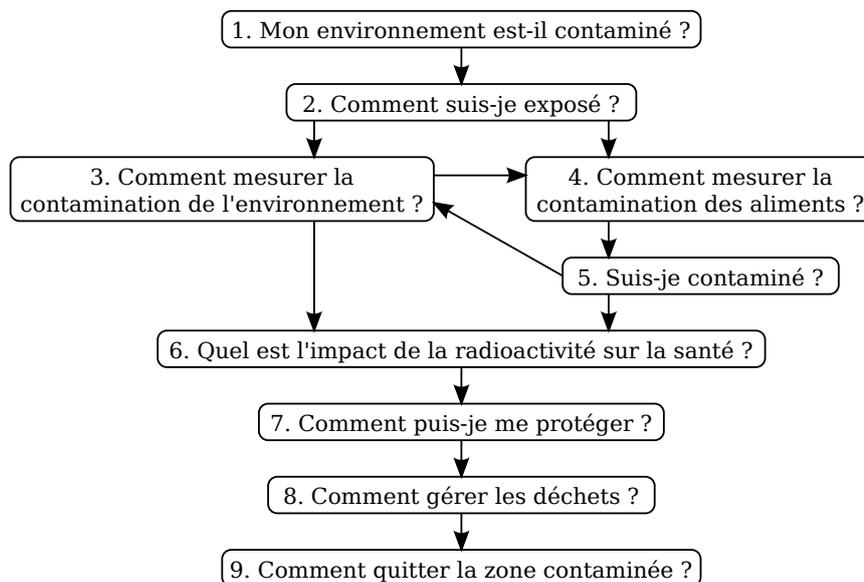


FIGURE 4.6 – Méta-scénario

De même, les étapes des différents scénarios ont fait l'objet d'importantes modifications, aboutissant à une liste de 23 documents (Tableau 4.4). Cette liste inclut l'ensemble des connaissances considérées comme nécessaires pour répondre aux besoins informationnels préalablement identifiés. Trois types de documents ont été distingués dans cette liste :

- des guides : documents multimédias expliquant des notions clés ;
- des cartes : infographies interactives présentant des données géographiques ;
- des outils : petites applications d'aide à la réalisation de tâches précises.

Représentation sémantique des scénarios

Pour décrire ce corpus de connaissances, nous nous sommes appuyés sur les technologies du Web Sémantique. Le modèle RDF (que nous avons présenté en section 2.2.1)

Guides : <ul style="list-style-type: none"> — Contamination de l'environnement — Contre-mesures — Effets des radiations sur la santé — Évolution de la contamination — Gestion des déchets — Irradiation interne et externe — Niveaux de références — Programmes de veille sanitaire — Quitter la zone contaminée — Unités de mesure de la radioactivité — Utiliser un dosimètre — Utiliser un radimètre — Valeurs de comparaison 	Cartes : <ul style="list-style-type: none"> — Cabinets médicaux — Centres de mesure du corps — Centres de mesure de aliments — Centres d'information — Contamination de l'environnement — Stations de mesure — Stockage des déchets
	Outils : <ul style="list-style-type: none"> — Calcul des doses d'irradiation externe — Calcul des doses d'irradiation interne — Communication locale

TABLEAU 4.4 – Liste finale des documents recensés

offre deux solutions différentes (Figure 4.7) pour représenter des ensembles ordonnés d'éléments, tels que les documents au sein des scénarios ou les scénarios au sein du méta-scénario.

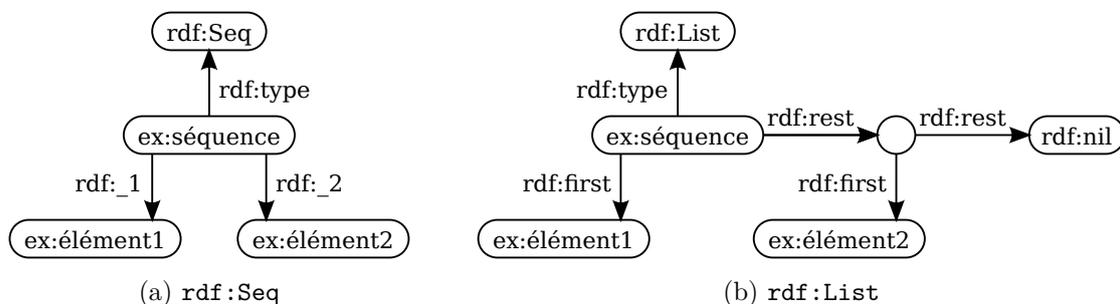


FIGURE 4.7 – Représentation d'ensembles d'éléments ordonnés avec RDF

La classe `rdf:Seq` permet de définir une séquence en utilisant de simples prédicats numérotés (`rdf:_1`, `rdf:_2` ...) pour indiquer l'ordre de ses éléments (Figure 4.7a). La classe `rdf:List`, quant à elle, définit des listes d'éléments grâce à une structure imbriquée organisée autour de nœuds vides¹⁶ : on indique le premier élément de la liste (`rdf:first`) puis le nœud correspondant au reste de la liste (`rdf:rest`), pour lequel on peut à nouveau indiquer le premier élément, et ainsi de suite (Figure 4.7b).

16. Dans un graphe RDF, les nœuds vides (*blank nodes*) sont des nœuds qui ne disposent que d'un identifiant local, et non d'un URI. Ils sont généralement utilisés pour regrouper et organiser d'autres nœuds.

Bien que la solution `rdf:Seq` produise un graphe plus simple, la classe `rdf:List` a finalement été retenue, au regard des fonctionnalités fournies par l'environnement de développement utilisé pour le déploiement de cette base de connaissances¹⁷ (Figure 4.8). Le métascénario est représenté comme une `rdf:List`, dont les scénarios sont les éléments. Chaque scénario comporte également des labels dans plusieurs langues, indiqués à l'aide du vocabulaire SKOS.

```

scopnum-guide:metascenario a rdf:List ;
  rdf:first scopnum-guide:scenario1 ;
  rdf:rest _:s2 .
_:s2 rdf:first scopnum-guide:scenario2 ;
  rdf:rest _:s3 .

[...]

_:s9 rdf:first scopnum-guide:scenario9 ;
  rdf:rest rdf:nil .

scopnum-guide:scenario1 a scopnum-guide:Scenario ;
  skos:prefLabel "Is my environment contaminated ?"@en ;
  skos:prefLabel "Mon environnement est-il contaminé ?"@fr .

```

FIGURE 4.8 – Représentation RDF du méta-scénario et d'un scénario

Au sein d'un scénario, la même structure `rdf:List` est utilisée pour organiser les documents (Figure 4.9). La description RDF des documents s'appuie particulièrement sur le vocabulaire Dublin Core¹⁸ (DC) qui permet de représenter les métadonnées associées à des documents (e.g. date de création, auteur, titre). Des URIs (telles que `scopnum-doc:map` ou `scopnum-doc:guide`) ont également été créées pour désigner le type des documents.

Les préfixes de l'ensemble des URIs (`scopnum-guide` pour les éléments relatifs aux scénarios, `scopnum-doc` pour les documents, `scopnum-th` pour le thésaurus) sont associés à des adresses PURL¹⁹ (*Persistent Uniform Resource Locators*). Ce mécanisme de redirection permet d'utiliser une URL fixe²⁰ pour pointer vers une ressource sus-

17. Le moteur SPARQL ARQ, intégré au serveur de *triplestore* Apache Fuseki, intègre des fonctions permettant de manipuler directement les structures `ref:List` à la manière de tableaux indicés : https://jena.apache.org/documentation/query/rdf_lists.html

18. <http://dublincore.org>

19. <https://purl.oclc.org/>

20. Par exemple, <http://purl.org/NET/scopnum/guide> pour `scopnum-guide`.

```
scopanum-guide:scenario1 a rdf:List ;
    rdf:first scopanum-doc:map_conta ;
    rdf:rest _:x1 .
_:x1 rdf:first scopanum-doc:guide_conta ;
    rdf:rest _:x2 .
_:x2 rdf:first scopanum-doc:guide_evolu ;
    rdf:rest _:x3 .
_:x3 rdf:first scopanum-doc:map_info ;
    rdf:rest rdf:nil .

scopanum-doc:map_conta dct:title
    "Contamination of the environment"@en ;
    dct:title "Contamination de l'environnement"@fr ;
    dct:type scopanum-doc:map .
```

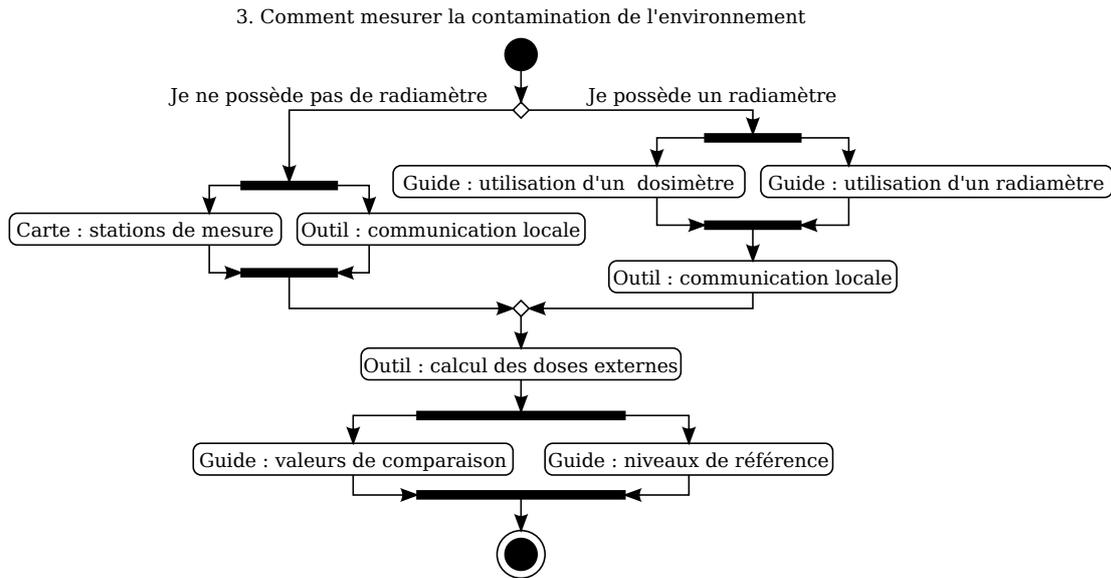
FIGURE 4.9 – Représentation RDF des documents d'un scénario

ceptible de changer de localisation. Ainsi, si les fichiers RDF du guide²¹ devaient être déplacés sur un autre serveur, il suffirait de pointer la redirection PURL vers ce nouvel emplacement pour que les liens des préfixes restent valides.

Notons que la représentation des scénarios sous forme de listes – des structures linéaires – n'exploite pas toute la richesse offerte par les diagrammes d'activité UML (e.g. activités concurrentes, conditions), qui permettraient plusieurs parcours de lecture selon les choix et préférences des utilisateurs. Ainsi certains scénarios ont dû être ré-organisés et simplifiés. Dans le cas de l'exemple (Figure 4.10), une structure utilisant un sous-scénario et des labels a néanmoins été mis en place pour proposer – malgré le parcours linéaire – un choix aux utilisateurs, selon qu'ils possèdent ou non un appareil de mesure.

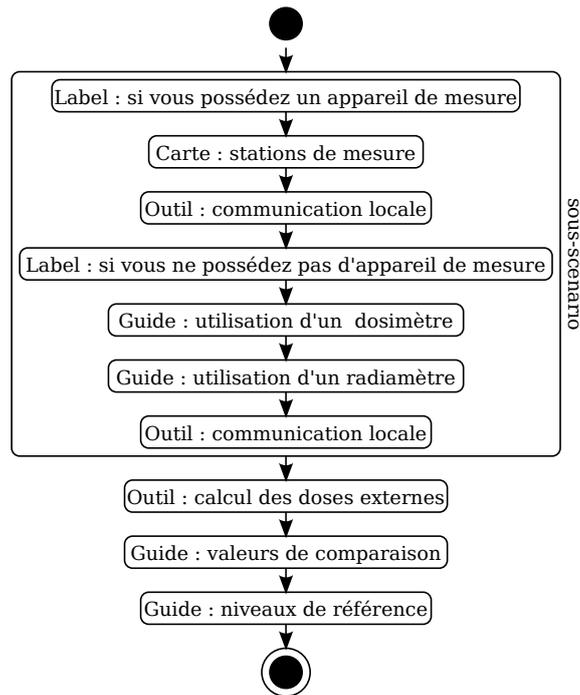
Un système de représentation se basant sur des graphes plutôt que sur des structures linéaires aurait pu être développé de manière à conserver toute la complexité des scénarios. Cependant, une telle transformation de la représentation des scénarios aurait nécessité un important travail, et le modèle se serait alourdi au détriment de la simplicité de traitement (e.g. requêtes, affichage). Dans les prochaines pages, nous allons néanmoins montrer que des scénarios de ce type peuvent être fidèlement représentés à l'aide des technologies du Web Sémantique.

21. Actuellement hébergés sur le site de l'équipe OUN : http://semlearn.pu-pm.univ-fcomte.fr/sites/default/files/192/scopanum-guide_1.n3.



(a) Le scénario original, avec un embranchement conditionnel et des activités parallèles

3. Comment mesurer la contamination de l'environnement



(b) Le scénario linéarisé : dans le sous-scénario, les labels restituent un semblant de parcours conditionnel, tandis que les activités parallèles ont été réorganisées

FIGURE 4.10 – Linéarisation du scénario 3

Généralisation au domaine médical

Parallèlement au travail réalisé dans le cadre du projet SCOPANUM, nous avons étudié l'application de cette méthode de représentation des connaissances à un autre domaine de la gestion de crise. En effet, dans le cadre d'un séminaire doctoral organisé et financé par l'AUF-BECO (Agence Universitaire de la Francophonie, Bureau d'Europe Centrale et Orientale), nous avons exploré le potentiel des outils du Web Sémantique pour la gestion des crises sanitaires liées aux zoonoses²² (Segault & Roxin, 2017).

Dans le domaine médical, les processus de diagnostic peuvent être représentés sous la forme d'algorithmes. À la manière des scénarios précédemment étudiés, ces algorithmes sont composés d'un enchaînement d'actions (e.g. tests, examens) dont les résultats successifs permettent d'aboutir à un diagnostic. En collaboration avec l'Institut de recherches médicales de l'Université de Belgrade, nous avons étudié un algorithme portant sur le dépistage de la toxoplasmose chez la femme enceinte²³ (Figure 4.11).

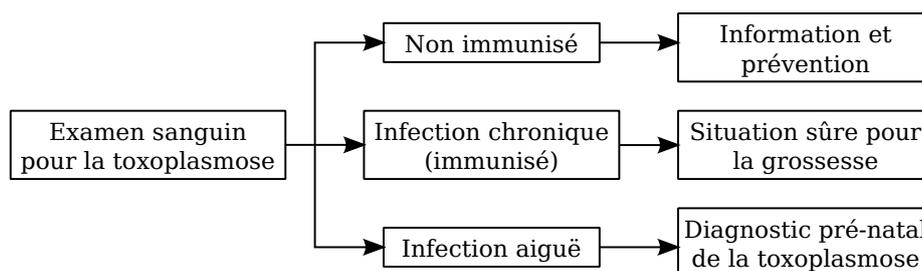


FIGURE 4.11 – Diagnostic de la toxoplasmose chez la femme enceinte²⁴

Afin de représenter formellement ces algorithmes, nous avons développé *Semantic Knowledge on Zoonosis* (SKZ), un vocabulaire RDFS dédié à la représentation des processus de diagnostic des zoonoses (Figure 4.12). Ce modèle comporte un ensemble de propriétés et de classes décrivant les algorithmes (`skz:Algorithm`) et les enchaînements d'étapes (`skz:Step`) qui les composent. Forts de l'expérience acquise lors de la modélisation des connaissances en radioprotection, SKZ dispose d'une structure plus

22. « Maladie infectieuse atteignant les animaux, et qui peut être transmise à l'homme (peste, rage, etc.) » (www.larousse.fr/dictionnaires/francais/zoonose)

23. La toxoplasmose est une parasitose (une maladie causée par un parasite, ici *Toxoplasma gondii*) pouvant être transmise à l'homme par les félins, la viande ou encore les fruits et légumes mal lavés. Bien que relativement bénigne pour l'humain, la contamination d'une femme enceinte peut entraîner une infection congénitale dangereuse pour le développement du fœtus. En Serbie, l'Institut de recherches médicales de l'Université de Belgrade est le centre de référence pour la toxoplasmose, chargé du dépistage chez les femmes enceintes.

24. D'après les données et conseils fournis par Jelena Srblijanovic, doctorante à l'Institut de recherches médicales.

complexe permettant de représenter des scénarios non-linéaires : des étapes conditionnelles (`skz:ConditionalStep`) peuvent être associées à différents cas (`skz:Case`). Dans le diagnostic de la toxoplasmose, par exemple, l'examen sanguin est associé à trois cas (infection aiguë, infection chronique, non-immunité) créant un embranchement dans l'algorithme.

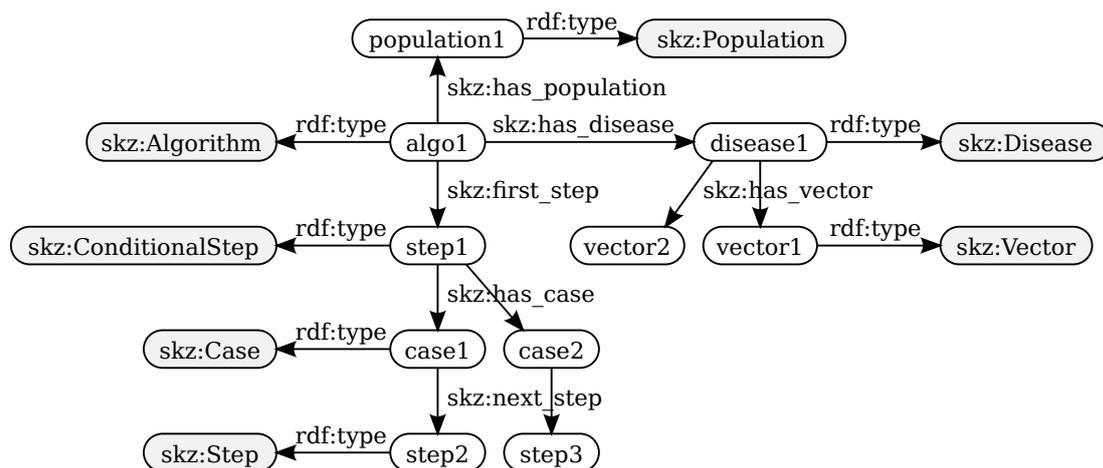


FIGURE 4.12 – Classes et propriétés du vocabulaire *Semantic Knowledge on Zoonosis*

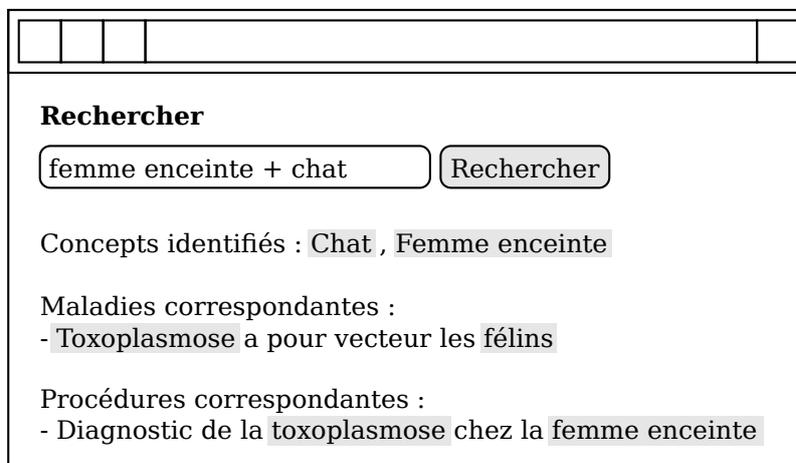
Par ailleurs, le vocabulaire SKZ dispose de classes et de propriétés permettant de représenter le contexte d'utilisation des algorithmes. Chaque algorithme est dédié au diagnostic d'une ou plusieurs maladies (`skz:Disease`) chez un ou plusieurs groupes de personnes ou d'animaux (`skz:Population`). Une maladie peut en outre être associée à ses vecteurs de transmissions (`skz:Vector`).

Le vocabulaire SKZ a été conçu pour faciliter la communication des procédures de diagnostic auprès du grand public. Il s'appuie pour cela sur le modèle SKOS afin d'attribuer à chaque concept décrit – algorithme, étape (conditionnelle ou non), cas, maladie, population, vecteur – des labels et des définitions. L'association de plusieurs labels à un même concept peut contribuer à dépasser les différences terminologiques susceptibles d'entraver la communication entre les experts médicaux et le grand public²⁵.

Nous avons par ailleurs conçu un outil s'appuyant sur SKZ pour représenter les algorithmes sous forme de pages web dynamiques. L'utilisateur peut ainsi facilement naviguer entre les différentes étapes du processus de diagnostic afin de mieux en comprendre le déroulement. Un moteur de recherche sémantique (voir section 4.2.1) permet

²⁵. Nous avons également exploité ces fonctionnalités de SKOS pour fournir des labels et définitions dans plusieurs langues.

de rechercher des algorithmes à partir de termes relatifs à la population vulnérable ou aux vecteurs de transmission²⁶ (Figure 4.13).



Rechercher

femme enceinte + chat Rechercher

Concepts identifiés : Chat , Femme enceinte

Maladies correspondantes :

- Toxoplasmose a pour vecteur les félins

Procédures correspondantes :

- Diagnostic de la toxoplasmose chez la femme enceinte

FIGURE 4.13 – Proposition de moteur de recherche sémantique basé sur SKZ

À travers cet outil, SKZ pourrait contribuer à la sensibilisation du grand public quant à l'importance du diagnostic de zoonoses telles que la toxoplasmose. Si des travaux complémentaires sont encore nécessaires pour l'intégration de tels modèles sémantiques dans les procédures de communication des organisations de santé publique, ces premières études ont été accueillies avec intérêt par nos collaborateurs du domaine médical. Elles ont également montré que certaines de nos propositions pour faciliter la communication des situations PAN pouvaient être aisément transposées à d'autres types de crises.

4.1.3 Modélisation des échanges sur les médias sociaux

Afin de compléter la plateforme sémantique supportant l'application Ginkgo, nous avons cherché à intégrer à nos modèles de la radioprotection des aspects relatifs à la diffusion des connaissances. Dans ce but, nous avons conçu une représentation sémantique des échanges sur les médias sociaux, tout particulièrement Twitter en raison de son rôle clef dans les situations de crise. Plusieurs vocabulaires et ontologies existants ont pour cela été exploités. Nous avons en outre veillé à ce que l'ensemble des modèles mis en place pour l'organisation de ces différents types de données (thésaurus, scénarios

26. Un prototype de ce service web, développé à titre de démonstration durant le séminaire doctoral, est accessible en ligne : <http://retrodev.net/cgi-bin/skz/skz.cgi>. Il permet l'affichage et la navigation des scénarios, mais ne dispose pas encore d'un moteur de recherche.

et échanges sur les médias sociaux) puissent être aisément associés au sein d'une même base de connaissances.

Vocabulaires existants

L'organisation des données issues des médias sociaux nécessite de représenter à la fois les réseaux d'utilisateurs et les contenus qu'ils produisent. Les outils du Web Sémantique sont particulièrement adaptés pour représenter ces données et les multiples types de liens qui les connectent (Breslin et al., 2009). Ces technologies permettent en outre de définir une représentation unifiée pour les données provenant de différentes plateformes de médias sociaux (Breslin, Harth, Bojars, & Decker, 2005), contribuant ainsi à leur interopérabilité (Breslin et al., 2009). En effet, malgré leurs spécificités, ces différents services s'appuient sur de nombreux concepts communs (e.g. utilisateurs, profils, publications, commentaires). L'utilisation d'un même vocabulaire pour désigner ces éléments crée des ponts entre les données de ces différentes plateformes, permettant leur agrégation et leur analyse conjointe. Ces traitements permettent le développement de services et de métriques cross-plateforme au bénéfice tant des utilisateurs que des chercheurs.

Deux vocabulaires RDF créés spécifiquement pour représenter les données propres aux médias sociaux ont été exploités. L'ontologie SIOC²⁷ (*Semantically Interlinked Online Communities*) a été conçue pour décrire les liens entre les utilisateurs et les contenus publiés dans les communautés en ligne. Le module « types » de l'ontologie propose des classes spécifiques pour certains concepts propres aux blogs et forums : newsletters, sondages, commentaires ...²⁸. L'ontologie FOAF²⁹ (*Friend Of A Friend*) permet de décrire des personnes, leurs réseaux de relations et les groupes dans lesquels elles s'inscrivent. Ces deux modèles, complémentaires, présentent des liens invitant à les utiliser conjointement : `sioc:UserAccount` est une sous-classe de `foaf:OnlineAccount`, `sioc:account_of` est l'inverse de `foaf:account`. Ces vocabulaires spécifiques aux médias sociaux peuvent en outre être associés à des vocabulaires RDF plus généralistes tels que SKOS, pour représenter les folksonomies, Dublin Core pour les métadonnées des contenus générés par les utilisateurs, ou encore Basic Geo WGS86³⁰ pour les métadonnées géographiques. On peut ainsi décrire les données issues des médias sociaux sous forme d'un graphe associant ces différentes ontologies (Figure 4.14).

27. <http://rdfs.org/sioc/spec/>

28. <http://rdfs.org/sioc/types>

29. <http://xmlns.com/foaf/spec/>

30. <http://www.w3.org/2003/01/geo/>

30. <http://sioc-project.org/node/158>

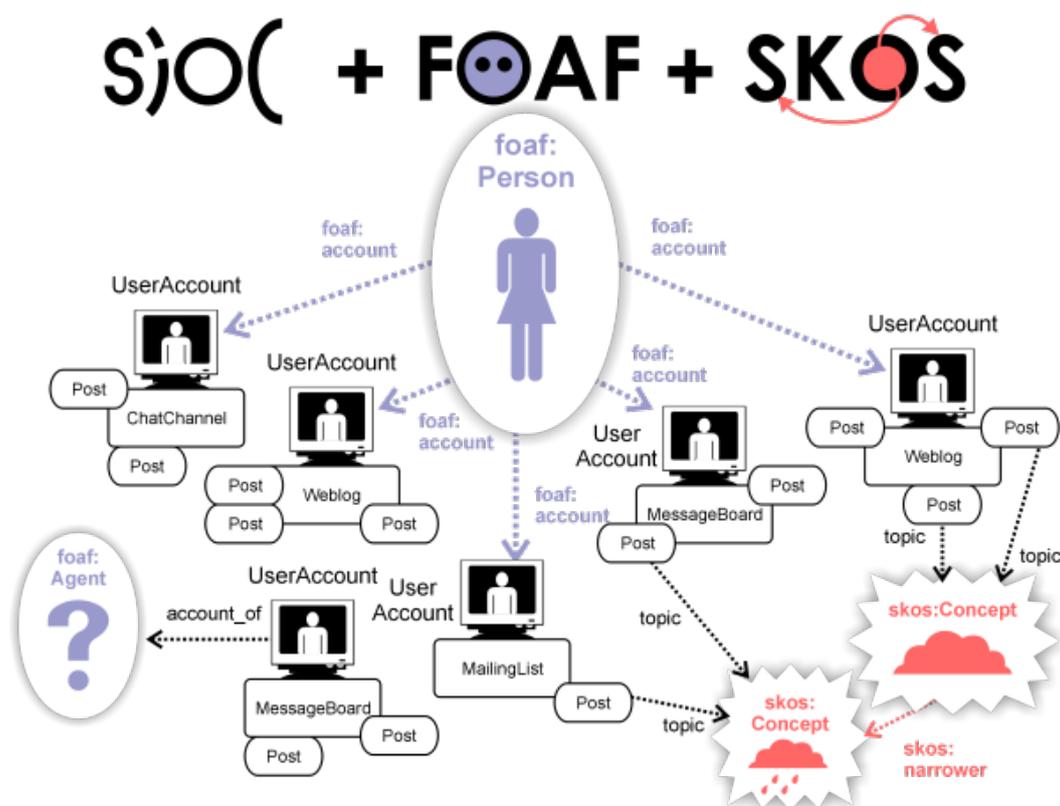


FIGURE 4.14 – Graphe combinant les vocabulaires SIOC, FOAF et Dublin Core (Breslin et al., 2009, p.212)

Modélisation des tweets

Les ontologies précédemment évoquées peuvent être utilisées pour représenter une partie des données provenant de la plateforme Twitter. Cependant, ces vocabulaires ne couvrent pas l'intégralité des métadonnées qui peuvent être collectées à propos d'un tweet³¹ (e.g. nombre de retweets, logiciel utilisé) ou d'un profil utilisateur³² (e.g. date de création du compte, nombre de followers, fuseau horaire). Une ontologie modélisée à partir de l'API REST de Twitter (décrite dans la Section 3.2.1) a été proposée, de manière à fournir une description exhaustive de toutes ces métadonnées (Togias & Kameas, 2012). Cependant, elle n'est liée avec aucun des vocabulaires courants (e.g. FOAF, SIOC), limitant de fait le bénéfice d'interopérabilité offert par les technologies du Web Sémantique. Nous proposons une solution intermédiaire consistant à exploiter les éléments des ontologies précédemment évoqués lorsqu'ils existent et créer nos propres ressources (indiquées ici avec le préfixe *tw*) pour modéliser les métadonnées manquantes

31. <https://dev.twitter.com/rest/reference/get/statuses/show/%3Aid>

32. <https://dev.twitter.com/rest/reference/get/users/show>

(Figure 4.15). Par exemple, les classes `tw:Tweet` et `tw:TwitterAccount` décrivent des types plus précis que ceux fournis par SIOC (`sioc:Post` et `sioc:UserAccount`), tandis que la propriété `tw:hasFollowerCount` permet de représenter des données qui ne sont pas couvertes par SIOC et FOAF.

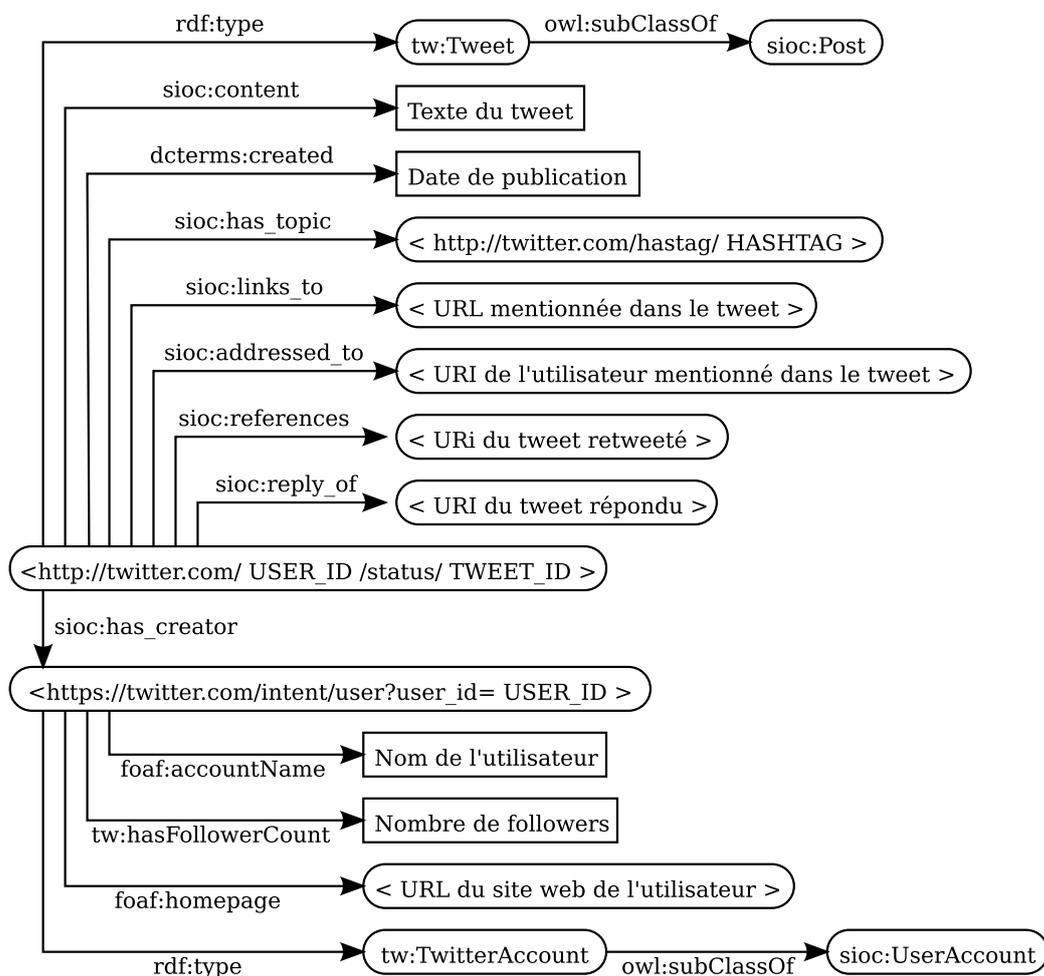


FIGURE 4.15 – Représentation des métadonnées d'un tweet

La modélisation des tweets à l'aide des technologies du Web Sémantique contribue à l'interopérabilité des données, mais favorise également l'analyse des échanges sur Twitter. En effet cette représentation forme un graphe dont les nœuds sont les URIs des comptes utilisateurs, des tweets ou encore des hashtags, et dont les arcs sont matérialisés par les différents prédicats reliant ces nœuds (reprenant les formalismes que nous avons présentés dans la section 3.2.2). Pour l'analyse des métadonnées, de simples requêtes SPARQL permettent l'extraction de composantes de ce graphe telles que les couples de hashtags et leur nombre de cooccurrences au sein d'un même tweet (Figure 4.16), ou encore les réseaux d'utilisateurs mentionnant d'autres utilisateurs

dans des publications (Figure 4.17). Ces sous-ensembles de métadonnées peuvent ensuite être étudiés par le biais des métriques issues de l'analyse structurale des réseaux sociaux (Mercklé, 2011) ou représentés à l'aide d'outils tels que Gephi³³, un logiciel libre de visualisation et de traitement des graphes.

```
SELECT ?tag1 ?tag2 (COUNT(?tweet) AS ?nb_cooc)
WHERE{
    ?tweet sioc:has_topic ?tag1 .
    ?tweet sioc:has_topic ?tag2 .
    FILTER( str(?tag1) < str(?tag2) )
}
GROUP BY ?tag1 ?tag2
ORDER BY DESC(?nb)
```

FIGURE 4.16 – Requête SPARQL comptabilisant les cooccurrences de hashtags

```
SELECT ?user1 ?user2 (COUNT(?tweet) AS ?nb_mentions)
WHERE {
    ?tweet sioc:has_creator ?user1 .
    ?tweet sioc:addressed_to ?user2 .
}
GROUP BY ?user1 ?user2
ORDER BY DESC(?nb)
```

FIGURE 4.17 – Requête SPARQL construisant le graphe de mentions d'utilisateurs

Ce modèle de représentation sémantique des tweets, enfin, est compatible avec la syntaxe de TweetOntoSense (Cotfas, Delcea, Segault, & Roxin, 2016). Cet ensemble d'ontologies, développé parallèlement au projet SCOPANUM, permet d'annoter les tweets de manière à décrire les émotions qu'ils expriment (Figure 4.18) : à chaque tweet (`tw:Tweet`) peut être attribué un résultat d'analyse (`twos:AnalysisResult`), auquel sont associées (à travers un `twos:TweetEmotionSet`) à des instances d'une ontologie décrivant des émotions (`em:Emotion`) telles que la joie, la colère ... Cette annotation peut être réalisée manuellement mais aussi automatiquement, par le biais de programmes analysant les mots, les structures de phrases et les symboles (e.g. ponctuation, smiley) apparaissant dans le texte du tweet.

33. <https://gephi.org/>

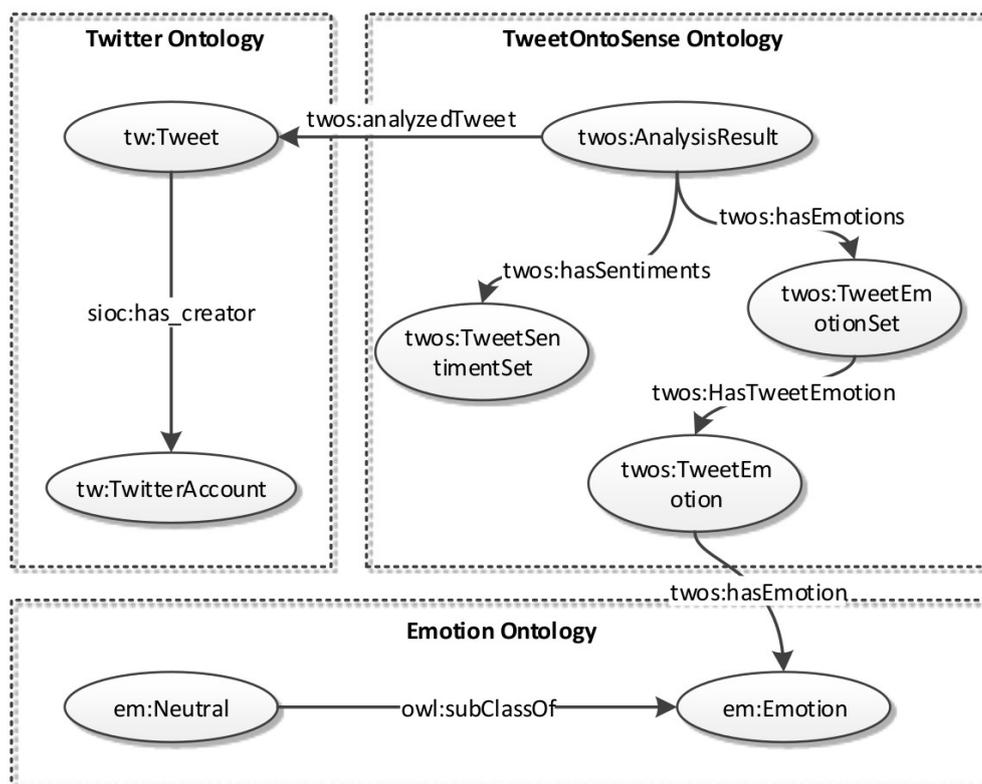


FIGURE 4.18 – Structure de TweetOntoSense, figure tirée de (Cotfas et al., 2016)

Graphe de connaissances

Pour la modélisation des échanges sur les médias sociaux, nous avons exploité autant que possible les vocabulaires d'ontologies existantes et répandues, de manière à favoriser la réutilisation des données et leur interconnexion avec d'autres bases de connaissances existantes. Cela a également facilité l'interopérabilité avec les autres modèles précédemment décrits dans ce chapitre : les concepts de notre thésaurus, les documents, les scénarios et les tweets peuvent ainsi être associés en un même graphe de connaissances (Figure 4.19). Les connaissances fournies par les experts et organisées dans les scénarios peuvent ainsi être connectées aux messages publiés sur les médias sociaux – notamment par les citoyens. Le thésaurus joue alors un rôle clef pour l'interopérabilité, constituant un référentiel commun pour associer ces deux types de documents, mais fournissant également des ressources linguistiques – à travers les labels – susceptibles de faciliter l'intercompréhension entre des groupes utilisant des langues ou des terminologies différentes.

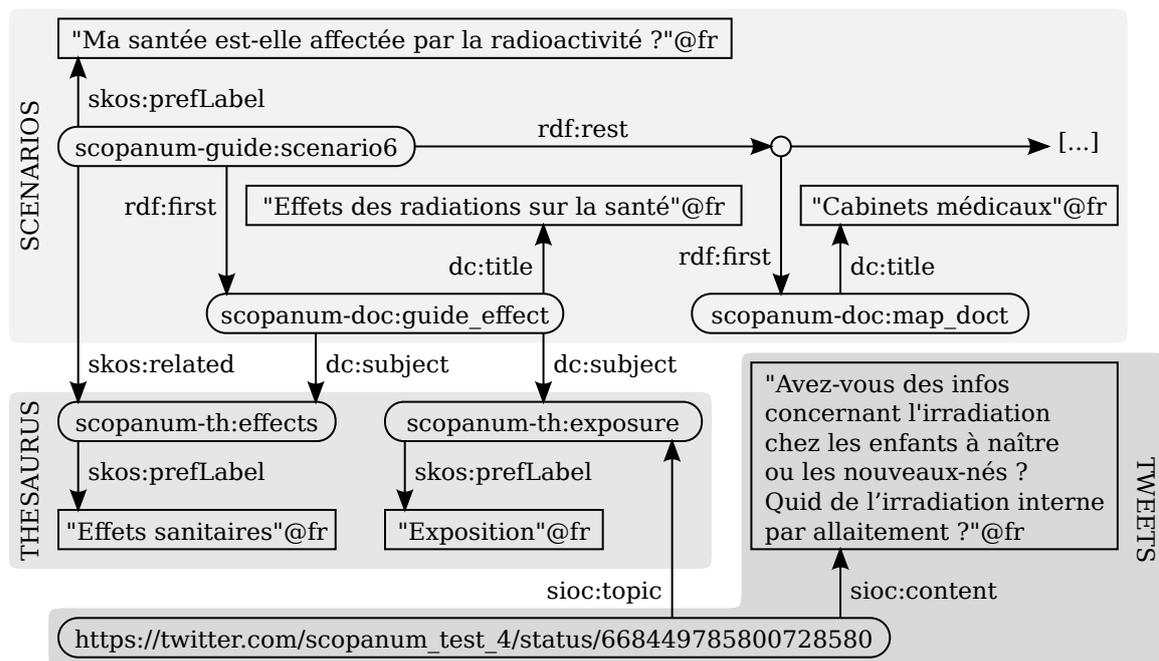


FIGURE 4.19 – Graphe de connaissances combinant des éléments des différents modèles proposés : scénarios et documents (en haut, en gris pâle), thésaurus (à gauche) et tweets (en bas à droite, en gris foncé)

4.2 Application pour le partage des connaissances : Ginkgo

Nous avons vu que les technologies du Web Sémantique pouvaient être utilisées pour représenter et organiser des connaissances relatives à la radioprotection. Dans le cadre de notre démarche de recherche-développement, nous avons conçu Ginkgo, le démonstrateur d'une application web dédiée au partage des connaissances en phase PAN. Ce démonstrateur, s'appuyant sur les modèles sémantiques précédemment présentés, nous a permis de tester la pertinence de nos solutions d'organisation des connaissances et la faisabilité technique d'un certain nombre de fonctionnalités relatives au partage et à la recherche de ces connaissances. L'implémentation de Ginkgo a été principalement réalisée par Liviu Cotfas – enseignant-chercheur en informatique à la Faculté de Cybernétique, Statistiques et Informatique de l'Université des Sciences Économiques de Bucarest, ingénieur de recherche du projet SCOPANUM – avec les outils du framework Microsoft .NET³⁴.

34. <https://www.microsoft.com/net>

L'application Ginkgo utilise une architecture de type client-serveur (Figure 4.20) pour publier sur Internet des connaissances relatives à la radioprotection. Dans les prochaines pages, nous nous intéressons dans un premier temps aux éléments constituant la partie serveur de cette plateforme (4.2.1), avant de décrire la partie client, une interface web mobile que nous avons développée pour permettre aux utilisateurs d'accéder à ces connaissances et de les partager (4.2.2).

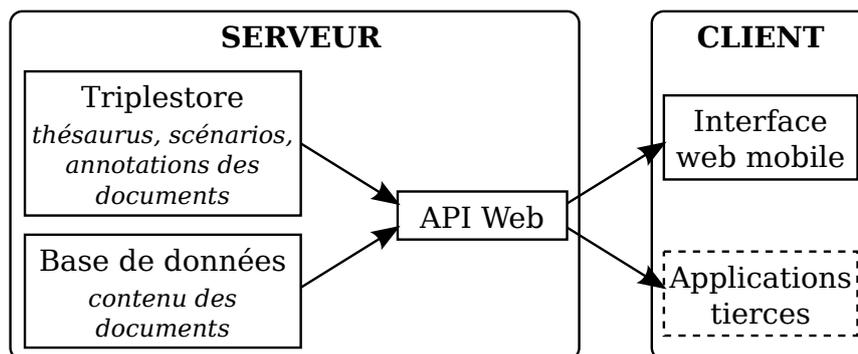


FIGURE 4.20 – Principales composantes de la plateforme Ginkgo

4.2.1 Stockage des données et mécanismes d'accès

Dans cette section, nous détaillons les solutions que nous avons mises en œuvre pour le stockage et l'annotation sémantique des contenus de la plateforme Ginkgo. Nous présentons ensuite le moteur de recherche implémenté pour faciliter l'exploration de ces contenus ainsi que les interfaces de programmation (API) donnant accès à l'ensemble de ces fonctionnalités.

Collecte et stockage des contenus

Dans le chapitre précédent (4.1.2), nous avons constitué une liste de documents (guides, cartes, outils) destinés à répondre aux besoins informationnels des personnes affectées par une phase PAN. Avec l'aide des experts du CEPN, une partie de ces documents (N=16 sur 23) ont été produits et intégrés à Ginkgo : l'intégralité des pages de guide (Annexe B.3) ainsi que plusieurs cartes (Tableau 4.5). Dans l'application, les ressources manquantes ont été remplacées par un message indiquant leur indisponibilité.

Chaque document a été annoté sémantiquement selon les modèles de métadonnées définis dans le chapitre précédent (e.g. scénarios, titre, types). Les données cartographiques ont également été représentées sous forme de triplets RDF (Figure 4.21) :

Guides : — Contamination de l'environnement — Contre-mesures — Effets des radiations sur la santé — Évolution de la contamination — Gestion des déchets — Irradiation interne et externe — Niveaux de références — Programmes de veille sanitaire — Quitter la zone contaminée — Unités de mesure de la radioactivité — Utiliser un dosimètre — Utiliser un radimètre — Valeurs de comparaison	Cartes : — <i>Cabinets médicaux</i> — Centre de mesure du corps — <i>Centres de mesure de aliments</i> — Centres d'information — Contamination de l'environnement — <i>Stations de mesure</i> — <i>Stockage des déchets</i>
	Outils : — <i>Calcul des doses d'irradiation externe</i> — <i>Calcul des doses d'irradiation interne</i> — <i>Communication locale</i>

TABLEAU 4.5 – Ressources incluses dans le Ginkgo et restant à développer (en italique)

chaque point d'intérêt est associé à un type selon la carte à laquelle il appartient (e.g. `scopanam-map:WholeBodyAnalysisCenter` pour les « Centres de mesure du corps par anthropogammamétrie ») et ses coordonnées sont indiquées à l'aide du vocabulaire WGS86 du W3C. La base de connaissances résultante a été chargée dans un *triples-tore*. Un ensemble de graphes nommés³⁵ a été mis en place pour mieux organiser les différents types de données RDF (e.g. données cartographiques, thésaurus, annotations de documents). Ce procédé permet notamment d'optimiser le traitement des requêtes SPARQL : elles sont seulement exécutées sur les graphes requis et non sur l'ensemble de la base de connaissances.

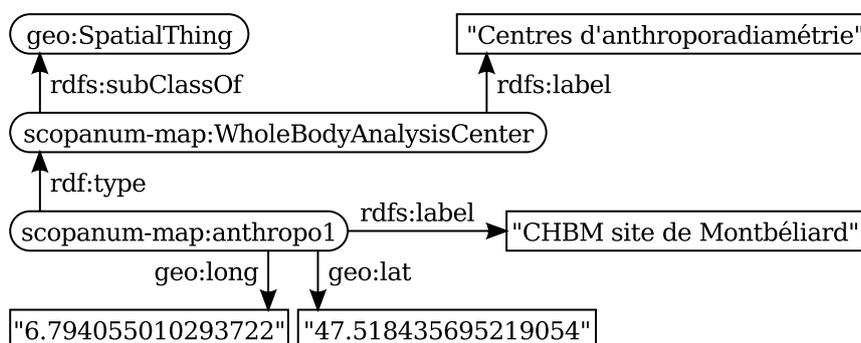


FIGURE 4.21 – Représentation des données cartographiques

35. Des sous-ensembles de la base de connaissances, eux-mêmes identifiés par un URI (<https://www.w3.org/TR/n-quads/>)

Les guides sont stockés sous forme de simples pages web (HTML) dans une base de données. Un quatrième type de documents, les liens web, a par ailleurs été introduit afin d'enrichir la plateforme avec des liens pointant vers des contenus situés sur des sites tiers. Sept de ces liens, sélectionnés pour représenter des sources variées, ont été ajoutés dans le démonstrateur, à des fins de test ³⁶.

Moteur de recherche sémantique

Pour faciliter l'accès aux documents de l'application Ginkgo, nous avons mis en place un moteur de recherche sémantique, en complément des parcours de lecture fournis par les scénarios (définis dans la section 4.1.2). Un moteur de recherche « traditionnel » (ou syntaxique) affiche des résultats correspondant à la syntaxe des termes contenus dans la requête de l'utilisateur (Guha, McCool, & Miller, 2003). En revanche, dans un moteur de recherche sémantique, la requête textuelle est d'abord traitée de manière à en extraire une signification formelle, exprimée à partir des concepts et relations définis dans une base de connaissances. Les résultats fournis par le moteur sont ainsi ceux dont le sens – et non plus seulement la syntaxe – correspond à celle de la requête (Lei, Uren, & Motta, 2006).

La recherche sémantique présente plusieurs avantages sur les méthodes de recherche exclusivement syntaxiques. En s'appuyant sur le sens plutôt que sur la syntaxe, elle permet de dépasser les différences entre le vocabulaire de la requête et celui des documents (Ruotsalo, 2012). Ainsi, deux documents n'ayant pas un seul mot en commun

36. Liste complète :

- « Contamination radioactive » sur l'encyclopédie collaborative Wikipedia : https://fr.wikipedia.org/wiki/Contamination_radioactive
- « Les conséquences de Tchernobyl pour l'homme et l'environnement » sur le site de l'IRSN : http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/Les-accidents-nucleaires/accident-tchernobyl-1986/consequences-homme-environnement/Pages/sommaire.aspx
- « L'essentiel sur la radioprotection » proposé par le CEA : <http://portail.cea.fr/comprendre/Pages/radioactivite/essentiel-sur-la-radioprotection.aspx>
- description de l'échelle INES sur le site de l'IRSN : http://www.irsn.fr/FR/connaissances/Installations_nucleaires/La_surete_Nucleaire/echelle-ines/Pages/sommaire.aspx
- « Les effets des rayonnements ionisants » publié par l'ASN : <http://www.asn.fr/Informer/Dossiers/Les-effets-des-rayonnements-ionisants>
- « Enfants et accidents nucléaires. Bilan » sur le site du réseau Sortir du Nucléaire : <http://www.sortirdunucleaire.org/Enfants-et-accidents-nucleaires-Bilan>
- « La catastrophe nucléaire de Fukushima, trois ans après » publié par le journal Le Monde : http://www.lemonde.fr/planete/article/2014/03/11/la-catastrophe-nucleaire-de-fukushima-trois-ans-apres_4380367_3244.html

peuvent tout de même être considérés comme similaires³⁷ s'ils font référence aux mêmes concepts. La recherche sémantique permet notamment de traiter les cas de synonymie (plusieurs termes renvoient au même concept), de polysémie (un terme désigne plusieurs concepts – le contexte est utilisé pour les départager), de concepts complexes (l'association – dans un ordre donné – de plusieurs termes renvoie à un concept distinct) ou encore de relations entre plusieurs concepts (de type hyponymie ou hyperonymie) (Giunchiglia, Kharkevich, & Zaihrayeu, 2008). Enfin, la recherche peut donner accès à des documents écrits dans une langue différente de celle de la requête mais relatifs aux mêmes sujets – à condition que la base de connaissances utilisée inclue des labels multilingues pour chaque concept³⁸. Pour ces raisons, de nombreux moteurs de recherche grand public, autrefois exclusivement syntaxiques, ont adopté des systèmes de recherche sémantique. Depuis 2012, par exemple, Google exploite le *Knowledge Graph*, une base de connaissances contenant plusieurs milliards d'assertions afin d'affiner les requêtes des utilisateurs et d'apporter des résultats plus pertinents³⁹.

Le moteur de recherche de Ginkgo a été construit autour du thésaurus de la radioprotection décrit précédemment (4.1.1), que nous avons manuellement enrichi de plusieurs nouveaux concepts. Dans un moteur de recherche sémantique, le sens de la requête textuelle peut être extrait sous forme d'une expression complexe, mêlant concepts et opérateurs logiques (Lei et al., 2006). Pour les besoins du démonstrateur, nous nous sommes néanmoins contentés de détecter et de lister les concepts mentionnés dans la requête. Le moteur exploite pour cela les fonctionnalités de recherche plein texte du framework Lucene⁴⁰ à partir des labels désuffixés du thésaurus. Afin de pouvoir être retrouvé par le moteur de recherche, chaque document de la plateforme a été annoté avec un ou plusieurs concepts de ce thésaurus⁴¹.

Les résultats sont sélectionnés en fonction de la proximité entre les concepts associés à la requête de l'utilisateur et les annotations des documents. Le moteur de recherche de Ginkgo fournit une liste de documents ordonnés selon le nombre de concepts qu'ils ont en commun avec la requête de l'utilisateur. Si le nombre de résultats obtenus est inférieur à un seuil donné (N=7 dans le démonstrateur), une fonction d'expansion de

37. <https://blog.semantic-web.at/2010/08/31/why-skos-thesauri-matter-the-next-generation-of-semantic-technologies/>

38. <https://www.w3.org/TR/skos-ucr/#UC-Aims>

39. <https://googleblog.blogspot.fr/2012/05/introducing-knowledge-graph-things-not.html>

40. <https://lucene.apache.org/core/>

41. Cette annotation a été réalisée manuellement, en raison du nombre limité de documents, mais une annotation automatique aurait pu être mise en œuvre en adaptant le système de recherche de Lucene pour exploiter le contenu textuel des documents.

requête permet d'élargir la recherche à des concepts voisins de la requête de l'utilisateur (Hliaoutakis, Varelas, Voutsakis, Petrakis, & Milios, 2006). Cette fonction s'appuie sur le concept de distance sémantique entre les concepts du thésaurus. Cette distance correspond à la longueur minimale du chemin que constituent les relations (associatives et hiérarchiques) entre deux concepts. En ajustant la distance d'expansion de requête, la recherche peut ainsi être étendue à des concepts plus ou moins proches de la requête originale.

Ce moteur de recherche a été implémenté sous forme d'un ensemble de requêtes SPARQL (Figure 4.22). Le système de *Property Paths*⁴² a été exploité pour exprimer l'expansion de requête de manière plus succincte : la syntaxe `(skos:related | ^skos:related | skos:broader | ^skos:broader){0,2}` sélectionne tout chemin composé de 0 à 2 propriétés `skos:related` et/ou `skos:broader` (dans un sens ou dans l'autre). Cette condition liste ainsi, en complément des concepts présents dans la requête de l'utilisateur, tous ceux qui y sont liés directement ou à travers un intermédiaire.

```
SELECT (COUNT(?relatedSubject) AS ?relatedSubjectCount)
       ?document
WHERE {
  VALUES ?subject { <concept1> <concept2> <concept3> }

  ?subject (skos:related | ^skos:related | skos:broader
           | ^skos:broader){0,2} ?relatedSubject .

  ?document dct:subject ?relatedSubject .
}
GROUP BY ?document
HAVING (?relatedSubjectCount > 0)
ORDER BY DESC(?relatedSubjectCount)
```

FIGURE 4.22 – Version simplifiée de la requête SPARQL utilisée pour la recherche

Grâce à ce moteur de recherche sémantique, nous avons également mis en place un système de recommandations de lecture. Pour chaque document, cet outil permet d'identifier une liste de documents abordant des sujets connexes. La sélection des recommandations se base sur les concepts annotant le document de départ, et utilise ensuite les mêmes modèles de proximité sémantique et d'expansion de requête que le moteur de recherche.

42. <https://www.w3.org/TR/sparql11-property-paths/>

Interfaces de programmation

Nous avons mis en place des interfaces de programmation (API) donnant accès à l'ensemble des fonctionnalités du serveur de Ginkgo : contenus des ressources, métadonnées, recherche sémantique (Tableau 4.6). Ces API ont été conçues autour des standards du Web : les requêtes utilisent les méthodes décrites dans les spécifications HTTP/1.0 et HTTP/1.1 (GET, POST, DELETE), tandis que les réponses sont au format XML ou JSON. Des URIs de la base de connaissances sont utilisées comme paramètres pour identifier la plupart des ressources (types, documents, scénarios)⁴³. Les interfaces acceptent en outre des paramètres de langue s'appuyant sur les labels multilingues définis dans la base de connaissances.

GET api/Guide : retourne la liste des scénarios
GET api/Scenario : retourne la liste des documents d'un scénario
GET api/Document : retourne les métadonnées d'un document
GET api/document/content : retourne le contenu HTML d'une page de guide
POST api/document/content : modifier le contenu HTML d'une page de guide
DELETE api/document/content : supprimer le contenu HTML d'une page de guide
GET api/spatialthingtype/get : retourne la liste des types de données géographiques
GET api/spatialthing/find : retourne les données géographiques d'un type et dans une zone donnée
GET api/TokenizeStemStopWord : pré-traite une requête du moteur de recherche sémantique
GET api/Search/QueryConcepts : annote une requête du moteur de recherche sémantique
GET api/Search/QueryRelatedConcepts : recherche les lectures recommandées pour un document
GET api/Search : retourne les résultats d'une recherche sémantique

TABLEAU 4.6 – Méthodes de l'API web donnant accès aux fonctionnalités du serveur⁴⁴

Ces API web sont librement accessibles⁴⁵, afin de permettre à des développeurs tiers de créer leurs propres clients pour le serveur Ginkgo, ou de réutiliser les données et fonctionnalités du serveur au sein de leurs applications. Cependant, ces interfaces sont avant tout destinées à être exploitées à travers le client Ginkgo, une interface web mobile que nous allons maintenant décrire.

43. Malgré ces caractéristiques, on ne peut pas exactement qualifier ces API de REST (*Representational State Transfer*). En effet, l'authentification du client n'est pas « sans état » mais repose sur un système de session.

44. Une documentation complète est disponible en ligne : <http://scopnum.cloudapp.net/api/Help>

45. À l'exception de celles modifiant ou supprimant des contenus, susceptibles d'être associées à un système d'authentification

4.2.2 Présentation et partage des connaissances

La partie « client » de Ginkgo se compose d'une interface utilisateur permettant de consulter les ressources et d'utiliser les fonctionnalités offertes par le serveur. Elle dispose également de quelques outils complémentaires que nous allons décrire.

Application web mobile

L'interface utilisateur de Ginkgo a été conçue sous la forme d'un site web mobile, créé de manière à retirer tout son contenu des API précédemment décrites. Développé à l'aide du framework javascript jQuery⁴⁶, ce site s'appuie sur des requêtes AJAX⁴⁷ pour interroger les API et en traiter les réponses. La compatibilité avec différents types de terminaux (ordinateurs, tablettes, smartphones) est assurée par l'utilisation des technologies du *Responsive Web Design*, à travers le framework Bootstrap⁴⁸. L'application a été développée dans une logique *Mobile First* (Wroblewski, 2012), en définissant en premier lieu les fonctionnalités pour les terminaux mobiles puis en enrichissant l'interface pour les écrans plus larges⁴⁹. L'utilisation de technologies libres a été privilégiée, avec notamment le système de cartographie Leaflet⁵⁰, basé sur les cartes du projet Open Street Map (plutôt que sur l'omniprésent Google Maps).

La charte graphique de l'application et sa première implémentation ont été réalisées avec l'aide de deux étudiants de la Licence 3 « Sciences du Langage, de l'Information et de la Communication », Lisa Estival et Jean Leduc, durant leur stage au laboratoire ELLIADD au printemps 2015. Ce sont également eux qui ont suggéré le nom « Ginkgo », en référence au Ginkgo biloba⁵¹, arbre robuste et très ancien. Dans la ville d'Hiroshima, plusieurs Ginkgos ayant résisté à l'explosion de la bombe atomique sont encore vivants à ce jour⁵².

La page d'accueil (Figure 4.23a) présente des liens rapides vers le guide (basé sur le méta-scénario), ainsi que vers les éléments les plus interactifs de l'application : les outils de calcul de dose, de communication locale et de visualisation des données cartographiques. Dans le guide, la navigation reprend la structure du méta-scénario et

46. <https://jquery.com/>

47. *Asynchronous JavaScript and XML*, technologie permettant à un programme Javascript de communiquer avec un serveur

48. <http://getbootstrap.com/>

49. On parle de *Progressive Enhancement*, par opposition à la *Responsive Degradation*, plus classique, où l'interface est d'abord conçue pour l'ordinateur, puis progressivement dépouillée pour le mobile

50. <http://leafletjs.com/>

51. https://species.wikimedia.org/wiki/Ginkgo_biloba

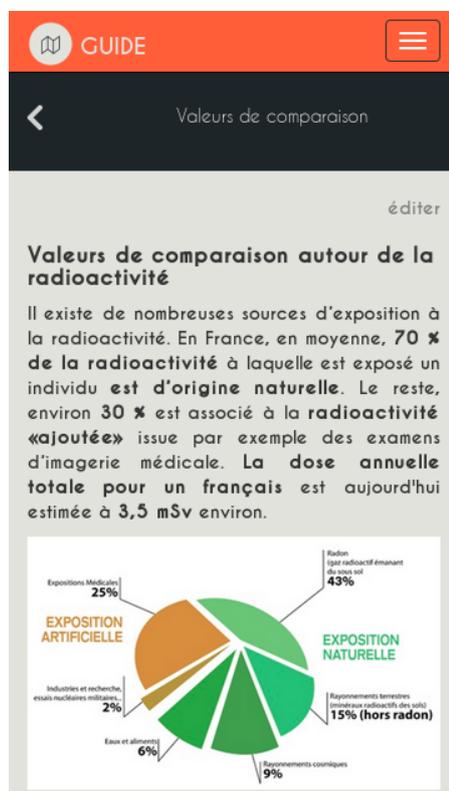
52. <http://kwanten.home.xs4all.nl/hiroshima.htm>



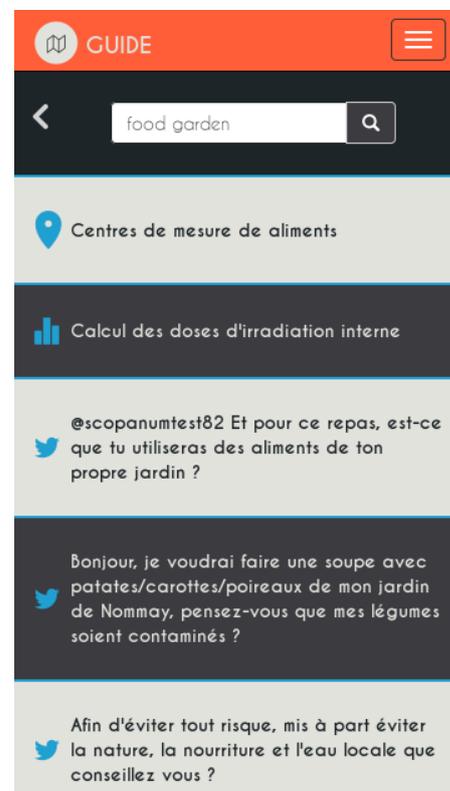
(a) Page d'accueil



(b) Scénario



(c) Page de guide



(d) Résultats de recherche

FIGURE 4.23 – Interface web pour Ginkgo

des scénarios précédemment décrits (Figure 4.23b). Grâce aux boutons « Précédent » et « Suivant », l'utilisateur peut directement parcourir l'ensemble des documents d'un scénario, ou passer facilement d'un scénario à l'autre. Le moteur de recherche et les suggestions de lecture offrent la possibilité d'un parcours non linéaire.

Médias sociaux

Les personnes affectées par une situation de crise utilisent fréquemment les médias sociaux pour partager des informations relatives à la gestion de la crise (comme nous l'avons vu dans la section 2.1.2). À partir de ce constat, nous avons intégré plusieurs fonctionnalités facilitant les échanges entre l'application Ginkgo et la plateforme Twitter. En tout premier lieu, des boutons de partage ont été intégrés dans l'interface utilisateur, de manière à faciliter la publication de l'URL d'un document (e.g. guide, carte) dans un tweet.

Un système de collecte a par ailleurs été mis en place pour intégrer des messages publiés sur Twitter dans l'interface de Ginkgo. Ce système exploite l'API Streaming pour capturer les tweets contenant des mots clefs associés à la situation PAN⁵³. Le contenu textuel de ces tweets est ensuite analysé à l'aide des outils que nous avons développés pour le moteur de recherche sémantique (voir Section 4.2.1), afin d'annoter chaque tweet avec des concepts issus du thésaurus de la radioprotection. Les tweets annotés sont stockés sous forme de triplets RDF, à l'aide des vocabulaires décrits précédemment (Section 4.1.3). Ils peuvent ainsi être intégrés aux résultats fournis par le moteur de recherche sémantique (Figure 4.23d).

Traces d'usage

Pour permettre l'évaluation de la plateforme, un système de collecte et d'enregistrement des traces de l'activité des utilisateurs a été mis en place. Afin de représenter ces traces sous forme de triplets RDF, nous avons exploité le vocabulaire de l'ontologie Prov⁵⁴ du W3C. Cette ontologie est dédiée à la formalisation des « données de provenance », données qui décrivent les étapes et les acteurs contribuant à la production d'un document ou d'un produit. Elle repose sur trois principales classes d'objets : les entités (pouvant être physiques, numériques ou encore conceptuelles), les activités

53. Un système de *focused crawler* (Zielinski, Middleton, Tokarchuk, & Wang, 2013) pourrait être implémenté, afin que les mots clefs utilisés pour la collecte puissent évoluer au cours du temps, de manière à mieux s'adapter à l'évolution des préoccupations de la population

54. <https://www.w3.org/TR/prov-o/>

(créant, modifiant ou utilisant des entités), et les agents (humains ou non, impliqués dans les activités) (Figure 4.24).

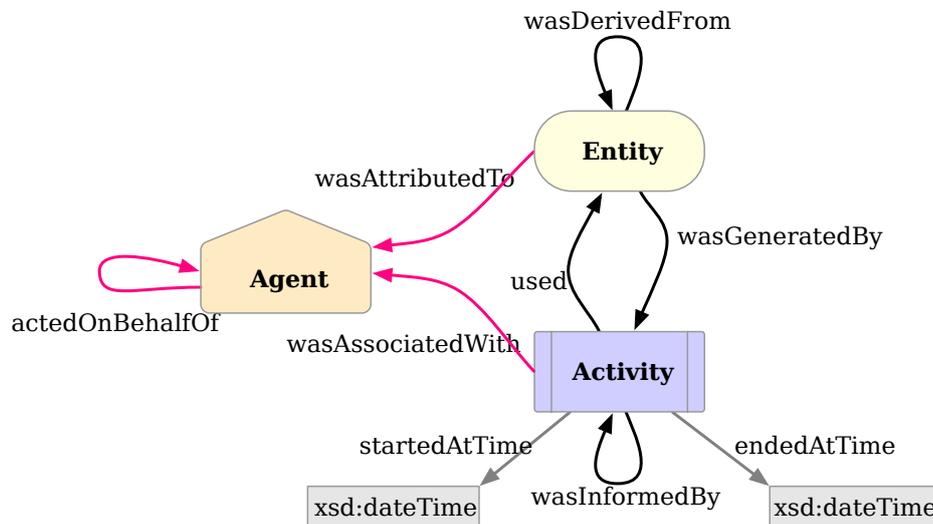


FIGURE 4.24 – Ontologie Prov

Notre système collecte et représente deux types de traces d'activités : la consultation d'un document de la plateforme (e.g. carte, lien) et l'utilisation du moteur de recherche. Deux sous-classes de `prov:Entity`, respectivement `scopnum-log:PageView` et `scopnum-log:Search`, ont pour cela été définies (Figure 4.25).

```
scopnum-log:45645efc-514e-402e-8f8e-e706f1894dd3 a scopnum
-log:PageView ;
prov:atTime "2015-10-22T19:48:53"^^xsd:dateTime ;
prov:used scopnum-doc:guide_irrad ;
prov:wasUsedBy scopnum-account:scopnum_test_1 .

scopnum-log:8bb1d37f-e124-44c2-81b9-60af8abe0d5b >
a scopnum-log:Search ;
prov:atTime "2015-11-18T12:49:55"^^xsd:dateTime ;
prov:used scopnum-th:child, scopnum-th:
  fukushima_accident ;
prov:wasStartedBy [ a prov:Entity ;
  dc:title "fukushima+tchernobyl+enfant" ] ;
prov:wasUsedBy scopnum-account:scopnum_test_1 .
```

FIGURE 4.25 – Traces d'usages : consultation d'un document et recherche

Les instances de la classe `PageView` indiquent seulement l'identifiant de la ressource consultée – dans l'exemple, `guide_irrad` identifie la page de guide décrivant les deux

voies d’irradiation, interne et externe. Les instances de `Search` incluent à la fois la requête saisie par l’utilisateur – ici « fukushima tchernobyl enfant » – et les concepts du thésaurus qui y ont été associés par le moteur de recherche sémantique – `scopnum-th:child` et `scopnum-th:fukushima_accident`. Les données relatives aux comptes utilisateurs ont également été représentées sous forme de triplets RDF, pour associer chaque trace d’activité à l’agent correspondant – `scopnum-account:scopnum_test_1` dans l’exemple. Les API web du serveur ont été modifiées afin d’enregistrer automatiquement ces traces à chaque utilisation.

4.3 Évaluation de la plateforme

Une première expérimentation en vraie grandeur a été conduite pour évaluer le fonctionnement et la pertinence des différents outils de Ginkgo. À travers cette évaluation, nous avons cherché à déterminer si les fonctionnalités de Ginkgo opèrent de manière appropriée mais aussi si l’ensemble des outils sont utilisés et s’ils le sont conformément à nos prévisions. Nos analyses ont également porté sur la pertinence des fonctionnalités du démonstrateur, afin de déterminer dans quelle mesure elles aident effectivement les participants à accéder, comprendre et partager des connaissances. Dans cette section, nous décrivons tout d’abord le dispositif expérimental, puis en présentons les résultats et les conclusions que nous pouvons en tirer.

4.3.1 Méthodologie expérimentale

L’expérimentation se déroulant à Montbéliard, nous avons conçu un scénario de crise selon lequel l’agglomération aurait été contaminé suite à un accident nucléaire majeur. Les réacteurs nucléaires français étant trop éloignés (environ 70km pour la centrale de Fessenheim, la plus proche) et le sens des vents limitant les effets pour le Pays de Montbéliard d’une fuite de radionucléides provenant de ces réacteurs, l’accident fictif a été situé dans la centrale suisse de Muehleberg. La contamination des territoires a été modélisée à partir d’une simulation de l’accident utilisant le programme jRodOS (Raskob, Trybushnyi, Ievdin, & Zheleznyak, 2011), réalisée par la communauté d’agglomération au cours d’un projet antérieur portant sur la contamination des cours d’eau (Biguenet, 2012). Les autres détails de la situation PAN, tels que la localisation des centres d’information ou de mesure, ont été fournis par le CEPN, sur la base des réglementations et des recommandations françaises relatives à la gestion post-accidentelle nucléaire (Figure 4.26).

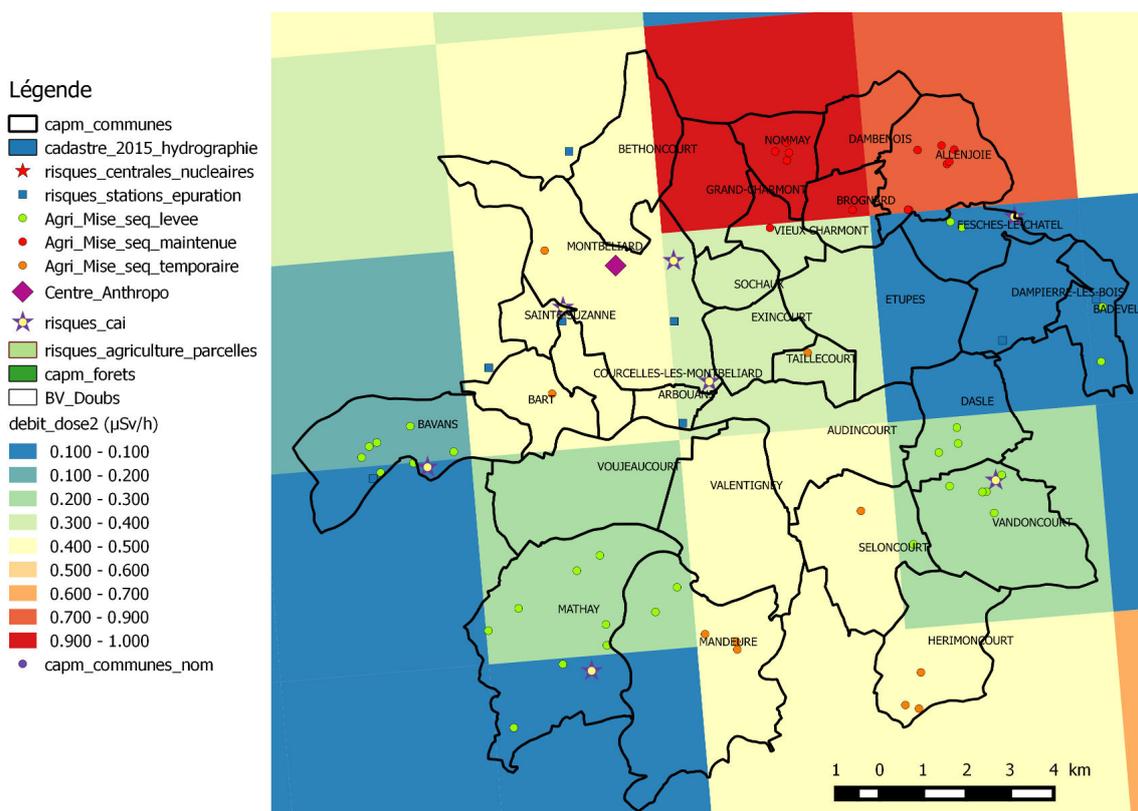


FIGURE 4.26 – Scénario post-accidentel

Les participants à l'évaluation disposaient de Ginkgo pour rechercher des informations relatives à la radioprotection. De manière à couvrir l'ensemble des fonctionnalités et des contenus de l'application, nous avons eu recours à la méthode des *personas*. Les *personas* sont des personnages fictifs – avec une histoire et des objectifs – souvent utilisés pour la conception de l'expérience utilisateur d'artefacts (*user experience design*) (Grudin & Pruitt, 2002). Pour l'évaluation de Ginkgo, cinq profils principaux ont été établis, ayant chacun un dilemme spécifique à résoudre :

- arrivant : une personne vivant hors de la zone contaminée, ayant reçu une offre d'emploi dans la zone et devant décider si elle allait l'accepter ;
- départ : une personne vivant et travaillant dans la zone contaminée, dont certains amis ont déjà quitté la zone, et devant décider si elle allait faire de même ;
- jardinier : une personne vivant dans la zone contaminée où elle cultive un jardin potager, et devant décider si elle allait continuer de jardiner et d'en consommer les produits ;
- futur parent : une personne vivant dans la zone contaminée, attendant un enfant avec son/sa conjoint(e), et devant décider si elle allait quitter la zone ;

- parent : une personne vivant dans la zone contaminée avec de jeunes enfants et devant décider si elle allait quitter la zone.

Chaque profil disposait d'une série de tâches de recherche d'information spécifiques à réaliser. Des comptes Twitter, créés pour l'occasion, permettaient aux participants de communiquer entre-eux et de partager des informations. En se basant sur les connaissances acquises au cours des tâches de recherche, chaque participant devait ensuite répondre au dilemme auquel son *persona* était confronté, en justifiant sa réponse.

L'évaluation a été conduite avec un panel d'étudiants volontaires. Travaillant dans le domaine du multimédia, ceux-ci n'avaient qu'une connaissance limitée des concepts liés à la radioactivité et à la radioprotection. Ils étaient en revanche rompus aux usages des TIC (e.g. sites web, médias sociaux, smartphones). Parmi les 90 étudiants sollicités, 22 ont complété l'ensemble des étapes de l'évaluation, répartis de manière relativement équilibrée entre les cinq personas (Tableau 4.7).

Profil	Nombre de participants
Arrivant	4
Départ	4
Jardinier	4
Futur parent	6
Parent	4
Total	22

TABLEAU 4.7 – Répartition des participants par persona

Dans un premier temps, les participants ont été réunis pour une session d'information sur le contexte de l'étude et ses objectifs. Nous leur avons ensuite transmis par courriel les instructions relatives à l'évaluation (Annexe C.1). Ils ont tout d'abord complété un premier questionnaire portant sur leurs connaissances et attitudes préalables concernant la radioactivité (Annexe C.2). Le descriptif de leur *persona* ainsi que le second questionnaire, portant sur les tâches à réaliser, leur étaient ensuite communiqués (Annexe C.3). Les participants disposaient de deux jours pour compléter et valider ce questionnaire.

Les traces d'usage de l'application – consultation de ressources et utilisation du moteur de recherche – ont été collectées durant toute l'évaluation (à l'aide du système décrit dans la section 4.2.2). Tous les tweets émis via les comptes créés pour l'expérimentation ont également été capturés et sauvegardés par Ginkgo. Grâce à un identifiant unique, les traces de chaque participant ont pu être associées avec ses réponses aux deux questionnaires, permettant de croiser ces données.

4.3.2 Analyses et résultats

À l'aide des données collectées, le fonctionnement et la pertinence des outils de Ginkgo ont été analysés. Nous allons détailler les résultats relatifs aux principales fonctionnalités de l'application : le guide et les ressources, le moteur de recherche sémantique et les tweets collectés.

Guide et ressources

Les traces collectées lors de l'accès aux documents de la plateforme donnent une première idée de l'intérêt porté aux différents types de documents (Tableau 4.8). Les cartes sont les documents les plus consultés, avec 32,7 consultations en moyenne, juste devant les pages de guide, 31,8 consultations. Les « outils » semblent également attirer beaucoup de visites, 31 en moyenne, alors même qu'ils ne sont pas implémentés dans le démonstrateur mais affichent simplement une notice d'indisponibilité. Les liens web, en revanche, sont très peu consultés.

Type	Nombre de documents	Nombre de consultations	Moyenne par document
Carte	7	229	32,7
Page de guide	13	413	31,8
Outil	3	93	31
Lien web	7	8	1,1

TABLEAU 4.8 – Consultations par type de ressource

Cependant, au regard de la répartition des documents dans le guide (Tableau 4.9), cette forte différence de consultation entre les liens et les autres ressources semble moins causée par le type de ces documents que par leur accessibilité via le guide. En effet les ressources les moins consultées comprennent les liens web, mais aussi une page de guide (« Unités de mesure de la radioactivité ») qui partage avec eux la particularité de n'être intégrée dans aucun scénario, et de n'être donc accessible qu'à travers le moteur de recherche ou les suggestions de lecture. À l'inverse, les ressources les plus consultées apparaissant dans plusieurs scénarios, comme le guide « Valeurs de comparaison » (3 scénarios) ou les cartes « Contamination de l'environnement » et « Centres d'information » (respectivement 2 et 5 scénarios).

Ces données indiquent que le guide, plus que la recherche ou les suggestions de lecture, constitue la voie d'accès principale aux documents. L'observation des traces confirme également qu'une part importante des utilisateurs a eu recours à une lecture

Ressource	Nombre de consultations	Scénarios liés
Guide : Valeurs de comparaison	80	3, 4, 5
Carte : Contamination de l'environnement	74	1, 9
Carte : Centres d'information	52	1, 6, 7, 8, 9
Guide : Contamination de l'environnement	48	1
Outil : Communication locale	46	3sub, 7, 9
Guide : Évolution de la contamination	39	1
Guide : Niveaux de références	37	3, 4
Guide : Contre-mesures	36	7
Guide : Effets des radiations sur la santé	36	6
Outil : Calcul des doses d'irradiation interne	35	4
Carte : Centres de mesure de aliments	33	4
Guide : Utiliser un dosimètre	30	3sub
Guide : Utiliser un radiamètre	30	3sub
Guide : Quitter la zone contaminée	25	9
Carte : Stations de mesure	25	3sub
Guide : Irradiation interne et interne	24	2
Carte : Centre de mesure du corps	21	5
Guide : Programmes de veille sanitaire	18	6
Carte : Cabinets médicaux	15	6
Outil : Calcul des doses d'irradiation externe	12	3
Guide : Gestion des déchets	9	8
Carte : Stockage des déchets	9	8
Lien : Enfants et accidents nucléaires. Bilan	5	
Guide : Unités de mesure de la radioactivité	1	
Lien : Les conséquences de Tchernobyl pour l'homme et l'environnement	1	
Lien : L'essentiel sur la radioprotection	1	
Lien : La catastrophe nucléaire de Fukushima, trois ans après	1	

TABLEAU 4.9 – Ressources : consultation et présence dans les scénarios

séquentielle de larges portions du guide, notamment les premiers scénarios. Cette utilisation explique également le nombre élevé de consultations des ressources associées à ces scénarios.

Nous nous sommes ensuite intéressés au degré de concordance entre les tâches de recherche d'information attribuées aux participants et les documents qu'ils ont consultés sur la plateforme. Dans ce but, pour quelques-unes des questions du questionnaire

post-test⁵⁵, un ou plusieurs documents, dont la lecture peut être considérée comme essentielle pour répondre à la question, ont été sélectionnés. Nous avons ensuite examiné les traces d’usage de chaque utilisateur afin de déterminer quelle proportion des documents requis ont réellement été consultés (Tableau 4.10). Nous constatons que, dans la plupart des cas, les utilisateurs ont pu accéder aux documents relatifs à leurs tâches. Ces résultats suggèrent que l’utilisabilité des modèles d’organisation de connaissances et de leur présentation dans l’application web est globalement suffisante pour permettre aux participants d’accéder aux informations recherchées.

Question	Documents requis	Consultation
Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ?	Guide : effets sanitaires	86%
Quelles sont les infrastructures d’assistance les plus proches de chez vous / de votre lieu d’installation ?	Carte : centres d’information Carte : centres de mesure des aliments Carte : centres de mesure du corps	79%
Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ?	Guide : utiliser un dosimètre Guide : utiliser un radiamètre	83%
Comment pouvez-vous réduire les risques liés aux radiations ?	Guide : contre-mesures	94%
Comment pouvez-vous connaître l’impact que les radiations ont déjà eu sur votre corps ?	Guide : irradiation interne et interne Carte : centres de mesure du corps	82%
Comment pouvez-vous mesurer le niveau de contamination des produits de votre jardin ? / Comment pouvez-vous mesurer le niveau de contamination de vos aliments ?	Carte : centres de mesure des aliments	93%

TABLEAU 4.10 – Niveau de consultation des ressources relatives à certaines questions

Les réponses apportées à deux de ces questions (en gras dans le Tableau 4.10) ont été analysées plus en détail. Pour cela, le taux d’occurrence d’un certain nombre de termes issus des pages de guide a été analysé (Tableau 4.11). Ces termes ont été choisis car ils relèvent d’un vocabulaire technique (e.g. « nécrose », « débitmètre ») ou parce que leur association au risque radiologique n’est que peu connue du grand public (« cataracte »). L’utilisation fréquente de ces termes dans les réponses au question-

⁵⁵. Nous avons choisi des questions communes à tous ou un grand nombre des personas, de manière à traiter un plus grand nombre de traces

naire confirme que les participants ont bien exploité les pages de guide pour répondre (Tableau 4.11). Par ailleurs, on peut noter une certaine exhaustivité dans les réponses fournies : à la question « Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ? », 78% des répondants ont mentionné à la fois « dosimètre » (ou « débitmètre ») et « radiamètre » (ou « radiomètre »). De même, la majorité des participants ont listé plusieurs types de risques en réponse à la question « Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ? ».

Question	Terme	Occurrence
Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ?	« cancer »	55%
	« leucémie »	36%
	« cataracte »	27%
	« brûlure »	27%
Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ?	« nécrose »	23%
	« radiamètre »	72%
	« dosimètre »	67%
	« débitmètre »	17%
	« radiomètre »	11%

TABLEAU 4.11 – Occurrence de termes dans les réponses des participants

Moteur de recherche sémantique

Au cours de l'évaluation, les participants ont effectué 27 requêtes à l'aide du moteur de recherche. Parmi ces requêtes, 13 n'ont pas abouti : le moteur de recherche n'a pu y associer aucun concept et donc aucun résultat n'a été affiché. Il s'agissait dans certain cas de requêtes ne contenant qu'un terme trop erroné pour être automatiquement associé à un concept (e.g. « radiemètr », « radiologiqued »). Dans d'autre cas, cependant, il s'agissait de mots pourtant simples (e.g. « risque », « grossesse ») voire de termes utilisés dans les énoncés du questionnaire (e.g. « assistance », « sanitaire ») mais n'ayant pas été intégrés dans le thésaurus.

Les recherches ayant abouti se concentrent sur un nombre restreint de concepts (Tableau 4.12). Par ailleurs, la grande majorité des requêtes n'ont été associées qu'à un seul concept. On constate donc que, même pour les requêtes ayant abouti, les lacunes du thésaurus n'ont permis qu'une annotation limitée. L'efficacité du moteur de recherche sémantique dépendant notamment de sa capacité à identifier l'ensemble des concepts évoqués dans les requêtes, ce défaut d'annotation est susceptible d'affecter la pertinence des résultats.

Concept	Nombre d'occurrences
Bébé	5
Jardin	4
Radiamètre	2
Enfant	1
Dose	1
Effets sanitaires	1
Nourriture	1
Contamination des aliments	1
Centre d'information	1
Champignon	1
Déchets	1

TABLEAU 4.12 – Concepts associés aux requêtes réalisées sur le moteur de recherche sémantique durant l'évaluation

Les recherches ont été effectuées par un petit nombre de participants à l'évaluation (N=9 sur 22). Plusieurs d'entre-eux ont abandonné après une seule requête infructueuse. En examinant les traces de chaque utilisateur, nous avons identifié les recherches (N=10 sur 14 requêtes ayant retourné des résultats) ayant abouti à la consultation d'un document fourni parmi les résultats (Tableau 4.13). On constate que les documents consultés ont systématiquement une forte proximité sémantique avec les termes de la requête (e.g. le lien « Enfants et accidents nucléaires. Bilan » pour la requête « bébé »). Malgré les limites du thésaurus, il semblerait que le moteur de recherche ait permis à des utilisateurs d'accéder aux informations recherchées.

Requête	Document	Nombre d'occurrences
« bébé »	Lien : Enfants et accidents nucléaires. Bilan	2
« aliment »	Outil : Calcul des doses d'irradiation interne	1
« centre »	Guide : Programmes de veille sanitaire	1
« centre »	Carte : Centres d'information	1
« déchet »	Guide : Gestion des déchets	1
« enfant »	Lien : Enfants et accidents nucléaires. Bilan	1
« jardin »	Carte : Centres de mesure des aliments	1
« potager »	Carte : Centres de mesure des aliments	1
« risque bébé »	Lien : Enfants et accidents nucléaires. Bilan	1

TABLEAU 4.13 – Ressources consultées via la recherche

Tweets collectés

Durant l'évaluation, 49 tweets ont été collectés par la plateforme. Leur annotation automatique a été assez inégale (Figure 4.27) : si certains ont reçu plusieurs (jusqu'à huit) concepts, plus de la moitié n'ont pu être associés à aucun concept. La longueur des tweets (généralement une courte phrase), supérieure à celle des requêtes soumises au moteur de recherche (un ou deux mots), semble avoir partiellement compensé les limites du thésaurus.

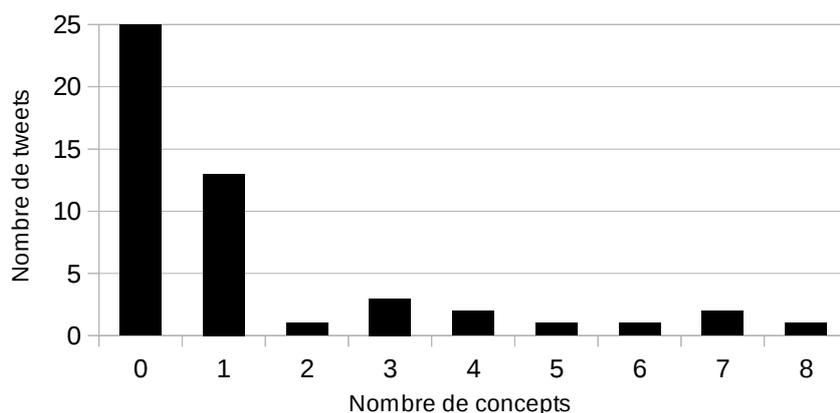


FIGURE 4.27 – Annotation des tweets

Beaucoup de tweets sont à la forme interrogative (31% – e.g. « Avez-vous des infos concernant l'irradiation chez les enfants à naître ou les nouveaux-nés? Quid de l'irradiation interne par allaitement? », « Qui reste aux alentours de Sainte-Marie? Dois-je m'inquiéter du taux de radiation? ») ou indiquent explicitement la recherche d'informations complémentaires (e.g. « Bonjour, je suis dans le même cas que vous et je m'inquiète également! Si vous avez des infos prévenez moi »). Les mesures de la radioactivité sont parmi les sujets les plus fréquents dans les tweets (six tweets contiennent des mesures et de nombreux autres les évoquent – e.g. « Ces doses restent acceptables si on en croit les informations trouvées sur internet »). Plusieurs utilisateurs s'interrogent ou remettent en question la fiabilité (ou l'objectivité) des données fournies dans les pages de guide et les cartes de Ginkgo (e.g. « Ma femme et moi avons de sérieux doutes concernant cette carte... Quand a-t-elle été actualisée? », « Personnellement, je n'y fais pas confiance. »). Par ailleurs, 19 tweets contiennent des mentions d'utilisateurs, utilisées pour répondre à d'autres tweets. La conversation a cependant lieu entre un nombre limité de participants, puisque seuls sept utilisateurs différents sont mentionnés.

Parmi les 49 tweets publiés, 13 contiennent des liens : cinq pointent vers des documents de Ginkgo, et une sixième vers un des liens web inclus dans l'application. Les

autres liens pointent vers des articles de presse, une page de l'encyclopédie Wikipedia, des images (une capture d'écran d'une carte de Ginkgo, et une autre d'une page Wikipedia), et une vidéo Youtube. Ces liens externes sont généralement présentés dans les tweets comme des sources d'informations complémentaires à l'application (e.g. « J'ai trouvé cet article, je n'ai pas trouvé plus clair ! Cependant cela reste de Wikipédia ! », « Ces doses restent acceptables si on en croit les informations trouvées sur internet »).

4.3.3 Discussions et propositions

Au cours de cette évaluation initiale, nous avons étudié le fonctionnement et la pertinence de plusieurs des fonctionnalités du démonstrateur. Quelques conclusions générales se dégagent de nos résultats, ainsi que plusieurs corrections et améliorations à apporter à l'application.

Guide et recherche

Les participants ont eu recours aux ressources de l'application (notamment les pages de guide et les cartes) pour effectuer les tâches de recherche d'information qui leur ont été soumises. Le guide a été le principal moyen d'accès aux documents. Cela ne signifie pas nécessairement qu'il est le plus adapté, mais peut-être simplement que les autres outils (suggestions de lecture et moteur de recherche) ne sont pas assez visibles. Des modifications de l'interface utilisateur, facilitant l'accès à ces fonctionnalités, pourraient être testées afin de valider cette hypothèse.

Dans le moteur de recherche sémantique, un nombre important de requêtes ne renvoient aucun résultat. En revanche, lorsque la recherche fonctionne, les utilisateurs consultent souvent l'un des résultats, et celui-ci est généralement pertinent par rapport à la recherche. On peut en déduire que le thésaurus est beaucoup trop pauvre pour rendre le moteur réellement fonctionnel mais que, en revanche, le modèle de distance sémantique adopté est plutôt approprié. La faiblesse du thésaurus se retrouve également dans l'annotation trop limitée des tweets. Pour tester de manière plus avancée ces fonctionnalités, un thésaurus plus important devra donc être créé, suivant les recommandations précédemment établies (Section 4.1.1 : constitution d'un corpus plus large et emploi de méthodes automatisées).

Médias sociaux

Twitter a permis aux participants de demander des informations, de partager des documents (internes ou externes à Ginkgo) et de les commenter, confirmant la perti-

nence d'une gestion collective de la situation de crise. Il semble donc utile de poursuivre le développement d'outils favorisant ces échanges, tels que le système de communication locale initialement prévu dans les scénarios.

Nous pensons également qu'il serait judicieux de créer encore davantage de liens entre Ginkgo et les plateformes de médias sociaux existantes – Twitter, mais aussi de sites de réseaux sociaux comme Facebook, ou des systèmes de messagerie tels que WhatsApp. Nous avons notamment envisagé d'utiliser les tweets pour interroger le moteur de recherche sémantique. Tout tweet contenant un certain hashtag ou mentionnant un compte utilisateur donné serait capturé par la plateforme. Son contenu textuel serait traité comme une requête saisie dans le moteur de recherche et, sur Twitter, un lien vers les résultats de la recherche serait alors publié en réponse au tweet initial. En outre, des comptes Twitter spécifiques pourraient être mis en place pour publier automatiquement tous les nouveaux contenus (documents, liens, tweets) associés à un certain concept. De tels comptes automatiques pourraient notamment être exploités pour effectuer une veille relative à un lieu précis (à condition que ce lieu soit bien présent dans le thésaurus).

Participation

Les réactions de doute exprimées par les participants quant à la fiabilité des données intégrées à Ginkgo, ainsi que l'échange de liens externes à l'application, montrent que les utilisateurs attendent des fonctionnalités leur permettant d'ajouter et/ou de modifier des contenus sur Ginkgo. Un système d'édition collaborative de type Wiki offrirait aux utilisateurs la possibilité de corriger et d'enrichir directement les pages du guide. De même, dans les prochaines versions de l'application Ginkgo, les utilisateurs auront la possibilité d'ajouter par eux-mêmes de nouveaux liens web. Des systèmes de vote ou de signalement permettront une modération collaborative des contenus erronés ou inappropriés.

Pour renforcer le contrôle des utilisateurs sur la plateforme, nous avons également envisagé de leur donner accès aux traces d'usage collectées. Des outils de fouille et de visualisation de données ont été intégrés à Ginkgo afin d'afficher, pour une plage temporelle donnée, la liste des documents les plus consultés ainsi que, pour chaque document, un graphe représentant l'évolution du nombre de consultations au cours du temps. De même, on peut lister les concepts du thésaurus les plus fréquemment utilisés lors des recherches, et l'évolution temporelle de leur popularité. Grâce à l'ouverture de ces données, nous espérons que les utilisateurs pourront enrichir leurs usages, dévelop-

per un regard critique sur le fonctionnement de l'application et, ainsi, mieux évaluer la crédibilité et la légitimité des informations qu'ils y trouvent.

Limites

Un certain nombre de limites du dispositif expérimental ont affecté la portée des analyses consécutives à cette première évaluation. L'incomplétude du démonstrateur – notamment les lacunes du thésaurus et l'absence de certaines ressources dans les scénarios – a vraisemblablement dégradé l'expérience des utilisateurs. Le système de collecte de traces, conçu pour enregistrer la consultation des documents et l'usage du moteur de recherche, n'a par ailleurs pas permis d'étudier certaines autres pratiques, tels que la manipulation des cartes ou encore le recours aux suggestions de lecture. Enfin, si le panel d'utilisateurs a fourni de nombreuses indications quant au fonctionnement des principaux composants de la plateforme (e.g. scénarios, guide, cartes), leur faible nombre a limité les analyses sur les fonctionnalités moins centrales, telles que le moteur de recherche.

Des tests complémentaires, avec un panel plus large et un démonstrateur plus complet, devraient être réalisés pour valider et approfondir ces premières conclusions, et ainsi mieux appréhender les faiblesses et le potentiel de notre application.

Synthèse

La gestion d'une crise nécessite la collaboration de l'ensemble des parties-prenantes, qu'ils soient experts ou non-experts. L'utilisation des technologies du Web Sémantique pour l'organisation des connaissances peut contribuer à l'interopérabilité et donc à une collaboration plus efficace entre ces acteurs. Cependant, les modèles existants des connaissances en matière de radioprotection sont centrés sur les besoins informationnels des experts, et peu exploitables par les non-experts. Nous avons donc entrepris de développer des représentations sémantiques centrées sur la perception de la crise du point de vue des non-experts.

Une méthode a tout d'abord été proposée afin d'extraire les concepts et relations d'un thésaurus à partir d'un corpus de texte. Nos tests, basés sur un ensemble de documents écrits à destination de non-experts affectés par une phase PAN, ont montré que cette méthode était exploitable malgré quelques faiblesses. Pour recenser et organiser les connaissances pratiques en matière de radioprotection, nous avons en-

suite exploité une approche par scénarios basée sur les besoins informationnels des citoyens. Les technologies du Web Sémantique ont été utilisées pour représenter, dans une même base de connaissances, le thésaurus, les scénarios et des données issues de Twitter.

Afin de faciliter l'accès à ces connaissances et leur partage lors d'une phase PAN, nous avons conçu Ginkgo, un démonstrateur logiciel. Cette application web mobile comprend une interface de navigation utilisant les scénarios précédemment développés pour donner accès à différents types de documents : guides, cartes, outils interactifs. Elle dispose également d'un moteur de recherche et d'outils facilitant son intégration aux pratiques de communication sur les médias sociaux. Nous avons procédé à une évaluation de Ginkgo à travers un test utilisateur, confirmant le bon fonctionnement du démonstrateur tout en mettant en évidence quelques améliorations à apporter. Des tests complémentaires sont néanmoins nécessaires pour valider complètement les modèles d'organisation des connaissances et les fonctionnalités intégrées dans cet outil.

Les contributions présentées dans ce dernier chapitre ont été guidées par l'étude des questions de recherche suivantes :

- Des systèmes d'organisation des connaissances peuvent-ils être utilisés pour représenter les données relatives à la radioprotection et ainsi appuyer les activités de communication de crise ?
- Comment peut-on intégrer ces systèmes aux usages existants des différents acteurs ?

Nos études semblent confirmer que les technologies du Web Sémantique constituent une solution pertinente pour l'organisation des connaissances en termes de radioprotection. Il nous est apparu que ce sont moins les modalités de représentation des connaissances que l'identification des connaissances à représenter qui constituent la principale difficulté dans cette tâche. Par ailleurs, le développement et l'évaluation du démonstrateur ont montré que les démarches d'organisation des connaissances pouvaient être associées aux pratiques de communication de crise existantes sur les médias sociaux.

Nous allons maintenant conclure ce mémoire en réexaminant la problématique de notre thèse au regard des enseignements qui peuvent être tirés de nos différents travaux de recherche.

Conclusions et perspectives de recherche

La science est l'asymptote de la vérité. Elle approche sans cesse, et ne touche jamais.

Victor Hugo, *William Shakespeare*

Les accidents nucléaires provoquent des crises complexes – notamment au cours de la phase post-accidentelle (PAN) – en raison de l'étendue des zones affectées et des spécificités de la perception du risque nucléaire. Une gestion efficace des situations de crise nécessite que la communication prenne la forme d'un dialogue incluant l'ensemble des personnes affectées. Au cours des dernières décennies, l'exploitation des plateformes de médias sociaux a favorisé le partage de connaissances parmi les citoyens, tandis que les technologies du Web Sémantique se sont révélées prometteuses pour faciliter l'interopérabilité entre les différents acteurs de la gestion de la crise.

En France, pourtant, ces outils ne sont pas exploités pour la gestion d'une situation PAN. La communication de crise prévue en cas d'accident nucléaire est principalement à l'initiative des autorités, sous une forme descendante et unidirectionnelle. Notre travail de recherche a donc porté sur la problématique suivante : « **L'usage des technologies de l'information et de la communication peut-il contribuer à la mise en place d'une communication de crise plus adaptée aux spécificités des phases post-accidentelles nucléaires ?** ». Nous avons articulé cette problématique générale autour de plusieurs questions de recherche :

1. Quels sont les usages existants des TIC, et notamment des médias sociaux, pour la communication de crise lors d'un accident nucléaire ?
2. Dans quelle mesure ces usages sont-ils adaptés aux spécificités de la phase post-accidentelle et aux besoins informationnels des personnes affectées ? Et comment peut-on soutenir les usages les plus appropriés ?

3. Des systèmes d'organisation des connaissances peuvent-ils être utilisés pour représenter les données relatives à la radioprotection et ainsi appuyer les activités de communication de crise ?
4. Comment peut-on intégrer ces systèmes aux usages existants des différents acteurs ?

Les enjeux d'une telle recherche sont considérables : d'une part, les zones affectées par les accidents nucléaires des dernières décennies resteront contaminées pour encore des siècles et, d'autre part, la place actuelle du nucléaire dans le monde nous expose à de probables nouveaux accidents. Nous allons récapituler les travaux qui ont été mis en œuvre et les résultats qui en ont été tirés (1). Nous montrons ensuite quels éléments de réponse peuvent être apportés à notre problématique initiale (2), ainsi que les nouvelles directions de recherches qui ont été identifiées (3).

1 Contributions et résultats

Ces recherches ont été conduites selon une méthodologie associant l'étude des usages et une démarche de recherche-développement. Cette approche a permis de produire de nouvelles connaissances relatives à la communication de crise en phase PAN, tout en apportant des solutions concrètes pour pallier les difficultés rencontrées par les personnes affectées par ces situations.

1.1 Partage des mesures de la radioactivité sur les médias sociaux

Afin de répondre à nos deux premières questions de recherche, nous avons présenté une série d'études portant sur l'usage des médias sociaux pour le partage des mesures de la radioactivité en situation PAN.

Les médias sociaux comme sources alternatives d'informations

La revue de littérature a révélé que les médias sociaux ont joué un rôle crucial dans la communication de crise consécutive à l'accident nucléaire de Fukushima Daiichi. En effet, la communication des autorités en charge de la catastrophe a été fortement perturbée en raison des dommages causés par le séisme et le tsunami, mais aussi d'un certain nombre d'erreurs commises par ces institutions. Les citoyens ont par conséquent dû faire face à un manque cruel d'informations fiables quant à la contamination du territoire, occasionnant une forte défiance vis-à-vis des autorités.

Les médias sociaux ont été employés pour commenter et compléter la communication officielle à l'aide de sources alternatives d'informations. Les internautes ont notamment collecté, traité et agrégé de manière collaborative des mesures de la radioactivité provenant de multiples organisations. Ces activités ont contribué à la création de cartes révélant la contamination des territoires, mais aussi à la conception et au déploiement d'outils permettant aux citoyens de mesurer eux-mêmes la radioactivité dans leur environnement. Ces pratiques de « science collaborative » ont donné naissance à des communautés solides, associant des citoyens et des experts du monde entier.

Partage de mesures de la radioactivité sur Twitter

Le site de microblogging Twitter a notamment été utilisé pour diffuser de manière régulière des mesures de la radioactivité. Nous avons étudié les pratiques entourant un ensemble de « robots-radiamètres », des programmes développés pour publier automatiquement sur Twitter les mesures réalisées par des radiamètres connectés. Plusieurs outils facilitant la création de ces dispositifs – des robots « clef en main » – ont pu être identifiés, révélant une tentative de rendre ces pratiques de partage des mesures accessibles à des citoyens ne disposant pas de compétences avancées en informatique.

L'étude de ces dispositifs a néanmoins révélé plusieurs limites à leur usage durant la phase PAN. Tout d'abord, nous avons constaté une baisse de la popularité des « robots-radiamètres » au cours du temps, qui suggère un désengagement progressif des citoyens dans le processus de mesure de l'environnement. Par ailleurs, les capteurs utilisés sont souvent trop peu précis, ou affectés par trop d'interférences. Ils ne sont donc pas adaptés à la mesure de la radioactivité en phase PAN, durant laquelle les niveaux sont plus faibles et les variations plus fines que lors de la phase d'urgence.

Complétude des mesures sur les médias sociaux

Nos analyses ont par ailleurs montré que bon nombre des robots-radiamètres diffusent des mesures sans fournir les informations nécessaires à leur interprétation, comme le type d'appareil de mesure ou ses conditions d'utilisation. La littérature ne proposant pas de définition appropriée de ce qui constitue une mesure complète, nous avons entrepris de formaliser cette notion de complétude des mesures de la radioactivité, en évaluant l'utilité des différentes métadonnées fournies par les robots existants. Une enquête en ligne a été conduite auprès d'experts et de non-experts, de manière à collecter leurs préférences concernant les métadonnées à publier, mais aussi la manière de diffu-

ser celles-ci. Nous avons ainsi pu concevoir des recommandations pour la publication de mesures complètes sur les médias sociaux.

À partir de ces recommandations, un prototype de robot-radiamètre, Radbird, a été conçu pour faciliter la publication de mesures complètes de la radioactivité. Cet outil, en cours de finalisation, doit sensibiliser les créateurs de robots à la problématique de la complétude des mesures. Il pourra par ailleurs être utilisé dans un cadre expérimental, pour évaluer les recommandations que nous avons proposées et leur perception par les créateurs de robots. Une enquête auprès d'un plus large public nous permettrait également d'affiner ces recommandations, notamment de manière à prendre en compte les besoins des différents usagers des robots.

1.2 Partage des connaissances en phase post-accidentelle nucléaire

La seconde série de contributions de cette thèse consistait en une réponse – dans une logique de recherche-développement – aux deux dernières questions de recherche adossées à notre problématique. Nous nous sommes penchés sur l'organisation et le partage des connaissances pratiques nécessaires aux personnes subissant une situation post-accidentelle nucléaire.

Organisation des connaissances en matière de radioprotection

Les technologies du Web Sémantique permettent de créer une représentation explicite et formelle des connaissances partagées d'un domaine, facilitant à l'intercompréhension entre les multiples acteurs impliqués dans la gestion d'une crise. L'analyse des modèles sémantiques existants pour le domaine de la radioprotection a cependant montré qu'ils étaient bâtis à partir du seul point de vue d'experts, ce qui nuit à leur utilisation par les citoyens. Nous avons par conséquent développé une méthodologie pour extraire un thésaurus de la radioprotection à partir d'un corpus de documents écrits pour des non-experts. Si le premier thésaurus ainsi produit reste assez pauvre, un corpus documentaire plus conséquent et une automatisation de certaines procédures permettraient d'y remédier. Cette approche pourrait alors répondre au besoin de modèles basés sur la perception que les citoyens ont de la situation de crise.

Grâce au même corpus documentaire, nous avons listé les principaux besoins informationnels des citoyens vivant dans une zone contaminée en situation PAN puis identifié un ensemble de connaissances susceptibles de répondre à ces besoins. À l'aide des technologies du Web Sémantique, ces connaissances ont été structurées sous forme

de scénarios répondant à des questionnements concrets. Ce mode d'organisation des connaissances est susceptible de faciliter leur repérage et leur appropriation par les citoyens. Un travail similaire a ensuite été réalisé pour la communication de crise relative aux maladies zoonotiques, démontrant que ces modèles sémantiques sont applicables à des types de crises variés.

Conception de l'application Ginkgo

Ce corpus de connaissances et les modèles sémantiques le structurant ont ensuite été implémentés dans un outil à destination des personnes affectées par une situation PAN. Ce système, nommé Ginkgo, s'articule autour d'un serveur fournissant, à travers une série d'interfaces web, les données incluses dans les modèles sémantiques que nous avons précédemment présentés. Une application web, conçue en priorité pour les terminaux mobiles, permet aux utilisateurs de consulter l'ensemble des ressources multimédias relatives à la radioprotection.

La navigation entre les ressources est basée sur le système de scénarios, répondant à des problématiques concrètes des utilisateurs. Nous avons par ailleurs doté Ginkgo d'un moteur de recherche sémantique, utilisant une version enrichie de notre thésaurus de la radioprotection pour faciliter l'accès à une information précise, ainsi que d'un système de suggestion de lecture fournissant des parcours alternatifs. Enfin, un outil collecte les messages relatifs à la crise sur Twitter et les affiche au sein de Ginkgo, de manière à bénéficier des pratiques de partage d'information pré-existantes sur les médias sociaux.

Évaluation en vrai grandeur

Afin d'évaluer les choix effectués en termes de représentation des connaissances et de développement de l'application web mobile, Ginkgo a fait l'objet d'une évaluation en vrai grandeur. Les participants se sont vu attribuer l'identité d'une personne vivant dans une zone affectée par un accident nucléaire et ont exploité les fonctionnalités de Ginkgo pour prendre des décisions en matière de radioprotection. Nous avons constaté que les utilisateurs accédaient facilement aux documents relatifs à leurs besoins informationnels. Le système de scénario a fortement orienté leur navigation au sein de la plateforme, tandis que le moteur de recherche n'a été que peu utilisé. Les échanges survenus sur Twitter lors de l'évaluation ont également montré de fortes attentes des participants en termes de discussions, d'échange d'information et de contribution à la base de connaissances accessible via la plateforme.

Les résultats de cette évaluation ont permis de formuler plusieurs suggestions d'amélioration de Ginkgo et de sa base de connaissances. Plusieurs fonctionnalités du démonstrateur étant encore incomplètes, certaines pratiques de navigation et de partage des connaissances n'ont cependant pas pu être étudiées. De nouvelles évaluations avec un panel d'utilisateurs plus large et une collecte de traces plus complètes permettraient également d'examiner plus en détail la pertinence des fonctionnalités et contenus proposées dans Ginkgo.

2 Bilan de la recherche

Cette thèse visait à répondre à la problématique suivante : « L'usage des technologies de l'information et de la communication peut-il contribuer à la mise en place d'une communication de crise plus adaptée aux spécificités des phases post-accidentelles nucléaires ? ». Les résultats des recherches présentées dans ce mémoire ont permis d'identifier de nombreux points de convergence entre les possibilités offertes par les TIC et les besoins des personnes affectées par une situation PAN. Nous allons détailler trois principaux domaines dans lesquels les TIC peuvent contribuer directement à l'amélioration de la communication de crise.

2.1 Développer le dialogue entre citoyens et autorités

Les situations de crises sont à l'origine d'importants besoins informationnels, tant parmi les professionnels de la gestion de crise que chez les citoyens. Les situations PAN ne font pas exception : les accidents des dernières décennies ont montré l'importance des actions de communication dans la gestion de la crise, ainsi que le développement inévitable d'une communication parallèle à celle des autorités. Les pratiques médiatiques consécutives à l'accident de Fukushima témoignent du rôle clef assuré par les médias sociaux lorsque la communication de crise officielle est jugée insuffisante par les citoyens. Ceux-ci ont fait preuve, dans leurs usages, d'une inventivité et d'une rigueur indiquant une volonté forte de participer activement et concrètement à la gestion de la situation de crise. Ces pratiques ont été confirmées par les résultats de l'évaluation que nous avons menée avec Ginkgo, soulignant le regard critique porté par les citoyens sur les actions institutionnelles de communication de crise dont ils sont destinataires, et la place que peuvent avoir les médias sociaux dans la mise en question et l'appropriation des connaissances nécessaires à la gestion de la crise.

En raison de la nature particulièrement inquiétante et controversée du risque nucléaire, le dialogue – parmi les citoyens mais aussi entre les autorités et les citoyens – constitue une condition nécessaire au développement et à la mise en œuvre d’une gestion efficace des crises radiologiques. Dans la mesure où les citoyens se saisissent systématiquement de ces outils après une crise, les autorités doivent faire de même si elles ne veulent pas être exclues de la communication de crise citoyenne. Ce mouvement, loin d’être anodin, nécessite des modifications en profondeur des procédures de gestion et de communication de crise, permettant une discussion transparente et concrète des actions à mettre en œuvre en réponse à la crise – et non une simple communication *top-down* de décisions prises par les experts. À cette condition, seulement, les deux faces – citoyenne et experte – de la communication de crise pourront être réconciliées et combinées pour une meilleure gestion de la crise.

2.2 Outiller les citoyens dans leurs usages des TIC

La communication de crise nécessite le partage d’une grande variété de données relatives aux menaces, aux dégâts, à l’environnement dans lequel survient la crise, ou encore aux acteurs en présence. Certaines de ces données sont le produit de processus techniques et complexes, en conséquence de quoi leur manipulation doit faire l’objet de précautions, sous peine de les dénaturer ou de les rendre inexploitable. Si les experts sont généralement au fait de ces spécificités, ce n’est pas systématiquement le cas des citoyens qui s’engagent dans des pratiques de science participative. Ainsi, l’inclusion de telles pratiques dans les processus de gestion de crise est susceptible d’entraîner une baisse de la qualité de la production ou de la transmission des données techniques, comme nous avons pu le constater par l’étude des robots-radiamètres sur Twitter. C’est l’utilité même de ces pratiques collaboratives qui est remise en question par ce problème de la qualité des données.

Il nous semble impératif de fournir des solutions simples – afin qu’elles ne constituent pas un frein pour le développement de ces usages – mais efficaces pour assurer un certain niveau de complétude et de précision des données. Les fonctionnalités et les affordances des médias sociaux n’étant pas orientées vers la publication de données techniques, nous recommandons le développement de dispositifs techniques se greffant sur ces plateformes pour outiller les citoyens dans leurs pratiques de communication de crise. Ces outils, à l’image de notre prototype Radbird, seraient l’occasion d’incorporer les connaissances des experts au sein des pratiques collaboratives citoyennes. Il en résulterait une amélioration de la qualité des données, mais aussi une plus grande

appropriation des savoirs techniques par les citoyens, une meilleure reconnaissance de la science participative par les experts et, peut-être, davantage de relations entre ces deux communautés.

2.3 Articuler les multiples perceptions de la crise

La gestion de situations de crise à large échelle, comme les phases PAN, requiert la collaboration d'une multitude d'individus et d'organisations. La représentation et l'organisation des connaissances à l'aide des technologies du Web Sémantique sont susceptibles de faciliter l'intercompréhension entre tous les acteurs de la gestion de crise. En effet, la formalisation de la perception de la crise par les différents groupes met en lumière les divergences de point de vue et d'intérêt qui les séparent. Des ontologies peuvent être conçues comme des passerelles entre ces multiples visions de la crise, offrant un cadre de référence commun sur lequel peut se construire les échanges entre les acteurs. En outre, la description formelle des connaissances peut être facteur d'interopérabilité, permettant l'automatisation de certains processus de « traduction » entre les systèmes d'information auparavant incompatibles.

Cependant, tandis que les perceptions des multiples types d'experts impliqués dans la gestion des accidents nucléaires sont largement documentées dans la littérature scientifique et technique, celles des citoyens sont plus difficiles à cerner. Lors des travaux que nous avons réalisés dans ce sens, il nous est apparu que l'usage de données collectées et restituées par des experts – faute de pouvoir procéder par nous-même à des enquêtes auprès de personnes affectées par une situation PAN – est susceptible d'induire des biais importants. Par ailleurs, la seule distinction experts / citoyens ne rend pas compte de la multitude des situations recouvertes par ces deux termes, certains citoyens ayant par exemple développé une certaine expertise de la mesure de la radioactivité par l'intermédiaire de communautés en ligne. Nous estimons que les médias sociaux peuvent faciliter l'identification de ces différents groupes et l'accès aux traces de leur communication, permettant ainsi une étude plus directe et une meilleure prise en compte des multiples représentations de la crise.

2.4 Limites et perspectives

Au regard de ces résultats, certains aspects de notre problématique de recherche restent néanmoins à développer. Nous avons recensé plusieurs axes de travail additionnels susceptibles d'en compléter l'exploration.

Tout d'abord, les études que nous avons réalisées autour des usages des médias sociaux se cantonnent à la plateforme de micro-blogging Twitter. Si cet outil est fortement utilisé durant les situations de crise, sa sur-représentation dans les travaux scientifiques – les nôtres compris – est également liée aux facilités qu'offrent ses API pour l'accès aux données. Une compréhension plus complète des processus de communication médiatisée qui se jouent en situation de crise ne pourrait être atteinte qu'à travers une étude intégrant et croisant des traces provenant de multiples plateformes. De même, l'outillage des pratiques de gestion collaborative de la crise devrait s'étendre à l'ensemble des médias sociaux exploités par les citoyens. Il serait donc intéressant d'élargir nos recherches à d'autres plateformes telles que le réseau social Facebook et les messageries instantanées mobiles comme WhatsApp ou Snapchat.

Par ailleurs, le travail de conception entrepris pour l'application Ginkgo ne nous permet pas encore d'apporter des réponses définitives aux problématiques d'accès à l'information en phase PAN. En effet, si des solutions – notamment en termes d'organisation et de partage des connaissances – ont été proposées, la procédure d'évaluation mise en œuvre au cours de cette thèse n'a pas été suffisante pour juger avec certitude de leur efficacité. La pertinence de l'ensemble des fonctionnalités Ginkgo ne pourra être établie qu'à travers une étude de plus grande ampleur, auprès d'un public plus représentatif des utilisateurs potentiels.

L'élargissement de nos travaux à d'autres formes de crises, que nous avons évoqué dans les premières pages de ce mémoire, reste à approfondir. Nous avons présenté quelques travaux réalisés dans ce sens lors du séminaire AUF organisé avec les universités de Belgrade et de Cluj-Napoca, portant sur la gestion des crises sanitaires. Ces études montrent que, si la majorité des résultats et outils produits dans le cadre de cette thèse sont spécifiques aux crises post-accidentelles nucléaires, certaines des analyses et méthodes mises en œuvre peuvent s'avérer utiles pour la gestion d'autres types de crises. En effet, les problématiques liées à la complétude et à la diffusion des données sont fortement transversales, de même que les défis liés à l'interopérabilité des systèmes et à la gestion des différentes perceptions de la situation de crise. La transposition des contributions de cette thèse pour d'autres formes de crises doit donc se poursuivre.

3 Nouvelles directions de recherche

Les recherches que nous avons présentées dans ce mémoire ont en outre permis d'identifier plusieurs problématiques nouvelles, dont l'étude nous semble pertinente pour apporter des solutions adaptées à la communication de crise en phase PAN.

La temporalité des phases PAN nécessite de considérer la communication de crise sur un temps très long. Les connaissances relatives à la contamination, au risque radiologique et aux actions de protection doivent perdurer pendant des décennies, à travers les générations successives. La préservation, l'actualisation et la transmission de ces connaissances constituent autant de défis informationnels, organisationnels et techniques pour les chercheurs. Le vécu des habitants des zones contaminées par l'accident de Tchernobyl, il y a 30 ans, est notamment susceptible de nous éclairer sur les difficultés particulières qu'induit la communication à une telle échelle temporelle. Les rôles joués dans ces territoires par la famille, l'école et les collectivités locales nous semblent particulièrement intéressants. Des travaux menés sur le terrain, au contact des populations affectées, sont indispensables pour mieux comprendre et soutenir les processus de gestion durable des connaissances.

La durée de la crise soulève également des questions relatives à l'engagement. À long terme, la gestion des connaissances et la mise en œuvre des actions de protection constituent des charges importantes pour les individus et les collectivités, qui cherchent à s'en défaire pour retrouver une vie « normale ». Au cours des précédents accidents, ce phénomène a pris la forme de comportements de déni, d'une réduction des moyens attribués à la gestion de la crise ou encore – comme nous l'avons montré – d'une diminution de l'intérêt porté à la mesure de la radioactivité. Cependant, un abandon prématuré des actions de protection provoquera une augmentation de l'exposition des citoyens aux rayonnements, aggravant encore la situation sanitaire de la zone contaminée. En situation PAN, la communication de crise constitue ainsi un effort constant pour s'opposer à l'abandon d'une vigilance pourtant pénible. L'étude des mécanismes d'engagement et de persuasion est susceptible d'aider au développement de stratégies de communication prenant en compte cette problématique.

Enfin, le rôle prépondérant que sont susceptibles de jouer les TIC dans la gestion des situations PAN implique de porter une attention particulière aux non-usagers de ces technologies. En effet, les personnes qui, par manque de ressources, de connaissances, de motivation, ou par choix n'utilisent pas les outils numériques se trouveraient exclues de la communication de crise. Elles seraient ainsi moins en capacité de limiter leur exposition aux rayonnements, et donc confrontées à un risque sanitaire accru. Les principes d'équité et d'éthique qui sous-tendent la gestion des crises requièrent de faciliter l'accès à l'information et la participation de tous les citoyens affectés par une situation PAN – sans distinction. La conception de nouveaux dispositifs de communication et de partage des connaissances doit donc prendre en compte l'ensemble des situations d'usage et de non-usage des TIC des populations affectées par la phase PAN.

Liste des publications au cours de la thèse

- Cotfas, L.-A., Delcea, C., Segault, A., & Roxin, I. (2016). Semantic Web-Based Social Media Analysis. In *Transactions on Computational Collective Intelligence XXII* (pp. 147–166). Springer.
- Cotfas, L.-A., Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015). A Semantic Mobile Web Application for Radiation Safety in Contaminated Areas. In *Proceedings of the IE 2015 International Conference* (pp. 607–612). Bucarest, Romania.
- Domenget, J.-C., & Segault, A. (2017). Le live tweeting d'un événement professionnel : une pratique collective de fabrication de l'autorité? *Quaderni*, 93, 85–97.
- Segault, A., Cotfas, L.-A., & Tajariol, F. (2015). A semantic system for knowledge sharing in post-nuclear-accident situations. In *Workshop on Semantics and Analytics for Emergency Response (SAFE2015)*. Kristiansand, Norway.
- Segault, A., Tajariol, F., Domenget, J.-C., & Roxin, I. (2017). Communication de crise sur les médias sociaux : outils pour l'étude des publics. *Interrogations*, 24. Consulté sur <http://www.revue-interrogations.org/Communication-de-crise-sur-les>
- Segault, A., Tajariol, F., Ishigaki, Y., & Roxin, I. (2016a). #geiger 2 : Developing Guidelines for Radiation Measurements Sharing on Social Media. In *ISCRAM 2016 Proceedings of the 13th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Rio de Janeiro, Brazil. Consulté sur http://idl.iscram.org/files/antoninsegault/2016/1394_AntoninSegault_etal2016.pdf
- Segault, A., Tajariol, F., Ishigaki, Y., & Roxin, I. (2016b). Sharing Radiation Measurements Through Social Media : A Methodological User-Oriented Proposal Set of Guidelines. *International Journal of Information Systems for Crisis Response and Management*, 8(2), 17–30.

- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015a). Communication de crise via les médias sociaux : collecte, stockage et analyse des données. *Les Cahiers de la SFSIC*, 11, 254–261. Consulté sur <http://www.sfsic.org/index.php/services-300085/bibliotheque/publications-de-la-sfsic/893-cahiersdelasfsic11>
- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015b). #geiger : Radiation Monitoring Bots on Twitter for Nuclear Post-Accident Situations. In *ISCRAM 2015 Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Kristiansand, Norway. Consulté sur http://idl.iscram.org/files/antoninsegault/2015/1239_AntoninSegault_etal2015.pdf
- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015c). A SKOS Radiation Safety Thesaurus for People Living in Contaminated Territories. In N. B. B. Saoud, C. Adam, & C. Hanachi (Eds.), *Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries* (pp. 116–123). Springer International Publishing. Consulté sur http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24399-3_10
- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015d). Twitter, robots et radiamètres : des objets connectés pour la diffusion de l'information après un accident radiologique. In *H2ptm 2015, Le numérique à l'ère de l'Internet des objets : de l'hypertexte à l'hyper-objet* (pp. 100–112). Paris, France : ISTE Editions.
- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2016). Robots-radiamètres, propositions pour la complétude des mesures de la radioactivité. In *Nouveaux défis de l'Internet des Objets : Interaction Homme-Machine et Facteurs Humains*. Paris, France. Consulté sur <https://ido2016.sciencesconf.org/122772>
- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2017). Tweets de Fukushima : Capteurs connectés et médias sociaux pour la diffusion de l'information après un accident radiologique. In *Internet des objets : Evolutions et innovations* (pp. 179–198). ISTE Editions.

Références

- Abbott, P., Wallace, C., & Beck, M. (2006). Chernobyl : Living with risk and uncertainty. *Health, risk & society*, 8(2), 105–121.
- Adkins, G. L. (2010). Organizational Networks in Disaster Response : An Examination of the US Government Network's Efforts in Hurricane Katrina. In *The handbook of crisis communication* (pp. 93–114). UK : Chichester.
- Ait Ouarab-Bouaouli, S. (2008). Pour une équité dans l'accès à l'information en cas de catastrophes. *Communication*, 26(2), 174–193. Consulté sur <http://communication.revues.org/850>
- Albaladejo, C., & Casabianca, F. (1997). Éléments pour un débat autour des pratiques de recherche-action. *Études et Recherches sur les Systèmes Agraires et le Développement*, 30, 127–149.
- Andrews, C., & Russ, S. (1953). The British X-ray and Radium Protection Committee Valedictory. *British Medical Journal*, 1(4808), 511. Consulté sur <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2015374/>
- ASN. (2005). *Nucléaire ou radiologique : quel terme utiliser ?* (Fiche d'information ASN N° 3).
- Atzori, L., Iera, A., & Morabito, G. (2010). The internet of things : A survey. *Computer networks*, 54(15), 2787–2805.
- Baader, F., Horrocks, I., & Sattler, U. (2008). Description logics. *Foundations of Artificial Intelligence*, 3, 135–179.
- Babitski, G., Probst, F., Hoffmann, J., & Oberle, D. (2009). Ontology Design for Information Integration in Disaster Management. In *Informatik 2009 : Im Focus das Leben* (pp. 3105–3119). Consulté sur <http://subs.emis.de/LNI/Proceedings/Proceedings154/article2822.html>
- Bacon, F. (1627). *New Atlantis*.
- Badillo, P.-Y., & Péliissier, N. (2015). Usages et usagers de l'information numérique. *Revue française des sciences de l'information et de la communication*(6). Consulté sur <https://rfsic.revues.org/1448>

- Balicco, L., & Paganelli, C. (2011). Access to health information : going from professional to public practices. In *Information Systems & Economic Intelligence : 4th International Conference - SIIE'2011* (p. 135). Marrakech, Morocco. Consulté sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00652111>
- Ball-Rokeach, S. J., & DeFleur, M. L. (1976). A dependency model of mass-media effects. *Communication research*, 3(1), 3–21.
- Bandazhevskaya, G. S., Nesterenko, V. B., Babenko, V. I., Babenko, I. V., Yerkovich, T. V., & Bandazhevsky, Y. I. (2004). Relationship between Caesium (137cs) load, cardiovascular symptoms, and source of food in " Chernobyl" children-preliminary observations after intake of oral apple pectin. *Swiss medical weekly*, 134(49-50), 725–729.
- Barats, C. (2013). Le Web : outils de communication, objet de connaissance. In *Sciences de l'information et de la communication. Objets, savoirs, discipline.* (pp. 155–174). Presses universitaires de Grenoble.
- Bastian, M., Heymann, S., Jacomy, M., & others. (2009). Gephi : an open source software for exploring and manipulating networks. In *ICWSM 2009 : Proceedings of the Third International Conference on Weblogs and Social Media* (Vol. 8, pp. 361–362).
- Beck, U. (2000). Risk Society Revisited : Theory, Politics and Research Programmes. In *The Risk Society and Beyond : Critical Issues for Social Theory* (pp. 211–229). London : SAGE Publications.
- Beck, U. (2001). *La société du risque : sur la voie d'une autre modernité.* Paris : Flammarion.
- Bellinger, G., Castro, D., & Mills, A. (2004). *Data, information, knowledge, and wisdom.* Consulté sur <http://www.systems-thinking.org/dikw/dikw.htm>
- Berners-Lee, T. (1989). *Information Management : A Proposal* (Rapport technique). CERN. Consulté sur <https://www.w3.org/History/1989/proposal.html>
- Berners-Lee, T., Hendler, J., & Lassila, O. (2001). The semantic web. *Scientific american*, 284(5), 28–37.
- Biguenet, S. (2012). *Analyse préliminaire des conséquences d'une contamination radiologique du milieu aquatique sur le territoire du Pays de Montbéliard.* (Rapport technique). Pays de Montbéliard Agglomération.
- Bird, S. (2006). NLTK : The Natural Language Toolkit. In *Proceedings of the COLING/ACL on Interactive Presentation Sessions* (pp. 6–72). Stroudsburg, PA, USA : Association for Computational Linguistics. Consulté sur <http://dx.doi.org/10.3115/1225403.1225421>

- Borra, E., & Rieder, B. (2014). Programmed Method : Developing a Toolset for Capturing and Analyzing Tweets. *Aslib Journal of Information Management*, 66(3), 262–278.
- Borst, W. N. (1997). *Construction of engineering ontologies for knowledge sharing and reuse* (Thèse de doctorat). Universiteit Twente.
- Borvon, G. (2007). *Les Rayons X et les rayonnements radioactifs, quand on ne parlait pas encore de principe de précaution*. Consulté sur <http://seaus.free.fr/spip.php?article228>
- Bouchardon, S. (2013). The research and creation approach in digital literature..
- Boullier, D. (1997). Les usages comme ajustements : services propriétaires, moteurs de recherche et agents intelligents sur Internet. In *Colloque Penser les usages*. Bordeaux.
- Boullier, D. (2016). *Sociologie du numérique*. Armand Colin.
- Bouzon, A. (2012). Risque et communication dans les organisations contemporaines. *Communication & Organisation*, 20. Consulté sur <https://communicationorganisation.revues.org/2548>
- Boyd, D. M., & Ellison, N. B. (2008). Social Network Sites : Definition, History, and Scholarship. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 13(1), 210–230.
- Bradbury, J. A. (1994). Risk communication in environmental restoration programs. *Risk Analysis*, 14(3), 357–363.
- Brenner, D. J., Doll, R., Goodhead, D. T., Hall, E. J., Land, C. E., Little, J. B., . . . Zaider, M. (2003). Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation : Assessing what we really know. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(24), 13761–13766. Consulté sur <http://www.pnas.org/content/100/24/13761>
- Breslin, J. G., Harth, A., Bojars, U., & Decker, S. (2005). Towards semantically-interlinked online communities. In *The Semantic Web : Research and Applications* (pp. 500–514). Springer.
- Breslin, J. G., Passant, A., & Decker, S. (2009). *The Social Semantic Web*. Springer.
- Brooker, P., Barnett, J., Cribbin, T., & Sharma, S. (2015). Have We Even Solved the First ‘Big Data Challenge?’ Practical Issues Concerning Data Collection and Visual Representation for Social Media Analytics. In *Digital Methods for Social Science : An Interdisciplinary Guide to Research Innovation* (pp. 34–50).
- Brown, A., Franken, P., Bonner, S., Dolezal, N., & Moross, J. (2016). Safecast : successful citizen-science for radiation measurement and communication after

- Fukushima. *Journal of Radiological Protection : Official Journal of the Society for Radiological Protection*, 36(2), S82–S101.
- Bruns, A., & Burgess, J. E. (2012). Local and global responses to disaster : #eqnz and the Christchurch earthquake. In *Proceedings of the Disaster and Emergency Management Conference* (pp. 86–103).
- Bruns, A., & Liang, Y. E. (2012). Tools and methods for capturing Twitter data during natural disasters. *First Monday*, 17(4).
- Bruns, A., & Schmidt, J.-H. (2011). Produsage : a closer look at continuing developments. *New Review of Hypermedia and Multimedia*, 17(1), 3–7.
- Bruns, A., & Stieglitz, S. (2012). Quantitative approaches to comparing communication patterns on Twitter. *Journal of Technology in Human Services*, 30(3-4), 160–185.
- Bucher, H.-J. (2002). Crisis Communication and the Internet : Risk and Trust in a Global Media. *First Monday*, 7(4). Consulté sur <http://uncommonculture.org/ojs/index.php/fm/article/view/943>
- Bush, V. (1945). As We May Think. *The Atlantic*, 176(1). Consulté sur <http://www.theatlantic.com/magazine/archive/1945/07/as-we-may-think/303881/>
- Béclère, A. (1904). Les moyens de protection du médecin et des malades contre l'action nocive des nouvelles radiations : rayons de Röntgen et rayons du radium. *Le Radium*, 1(11), 133–140. Consulté sur <http://www.edpsciences.org/10.1051/radium:01904001011013301>
- Canaday, J. (2000). *The Nuclear Muse : literature, physics, and the first atomic bombs*. Univ of Wisconsin Press.
- Carbou, G. (2015). Presse en ligne et communautés cognitives. *Réseaux*(193), 193–223. Consulté sur <http://www.cairn.info/revue-reseaux-2015-5-p-193.htm>
- Carey, J. W. (2009). A Cultural Approach to Communication. In *Communication as Culture : Essays on Media and Society* (pp. 11–28). New York : Routledge.
- Carroll, J. M. (2000). Five reasons for scenario-based design. *Interacting with computers*, 13(1), 43–60.
- Chambru, M. (2015). La critique du régime technopolitique des sciences par la mouvance antinucléaire : un éclairage sur le concept d'espace public oppositionnel. *Les Enjeux de l'information et de la communication*, 3A(16), 29–38. Consulté sur <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01358105>
- Charlet, J. (2002). *L'ingénierie des connaissances : développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales* (Habilitation à diriger des recherches).

- Chaudiron, S., & Ihadjadene, M. (2010). De la recherche de l'information aux pratiques informationnelles. *Études de communication*(35), 13–30. Consulté sur <http://edc.revues.org/2257>
- Chino, M., Ishikawa, H., & Yamazawa, H. (1993). SPEEDI and WSPEEDI : Japanese Emergency Response Systems to Predict Radiological Impacts in Local and Workplace Areas due to a Nuclear Accident. *Radiation Protection Dosimetry*, 50(2-4), 145–152. Consulté sur <http://rpd.oxfordjournals.org/content/50/2-4/145>
- Chu, Z., Gianvecchio, S., Wang, H., & Jajodia, S. (2010). Who is tweeting on Twitter : human, bot, or cyborg ? In *ACSAC '10 Proceedings of the 26th Annual Computer Security Applications Conference* (pp. 21–30). ACM.
- CODIRPA. (2011). *Rapport du groupe de travail « Culture pratique de radioprotection en situation post-accidentelle »* (Rapport technique). ASN. Consulté sur http://post-accidentel.asn.fr/Media/Files/00-Codirpa/CODIRPA-Rapport_final_Culture_-_2012
- CODIRPA. (2012). *Éléments de doctrine pour la gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire* (Rapport technique). ASN. Consulté sur http://post-accidentel.asn.fr/content/download/53098/365511/version/1/file/Doctrine_CODIRPA_NOV2012.pdf
- Comunello, F., Mulargia, S., Polidoro, P., Casarotti, E., & Lauciani, V. (2015). No Misunderstandings During Earthquakes : Elaborating and Testing a Standardized Tweet Structure for Automatic Earthquake Detection Information. In *ISCRAM 2015 Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Kristiansand, Norway.
- Coombs, W. T. (1999). *Ongoing Crisis Communication : Planning, Managing, and Responding*. SAGE Publications.
- Coombs, W. T. (2009). Conceptualizing crisis communication. In *Handbook of risk and crisis communication* (pp. 99–118). New York : Routledge.
- Coombs, W. T. (2010). Parameters for crisis communication. In *The handbook of crisis communication* (pp. 17–53). Blackwell Publishing Ltd.
- Cotfas, L.-A., Delcea, C., Segault, A., & Roxin, I. (2016). Semantic Web-Based Social Media Analysis. In *Transactions on Computational Collective Intelligence XXII* (pp. 147–166). Springer.
- Cotfas, L.-A., Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015). A Semantic Mobile Web Application for Radiation Safety in Contaminated Areas. In *Proceedings of the IE 2015 International Conference* (pp. 607–612). Bucarest, Romania.

- Courtland, R. (2011). Radiation Monitoring in Japan Goes DIY. *IEEE Spectrum*, Mar, 25.
- Couzinet, V. (2006). Les connaissances au regard des sciences de l'information et de la communication : sens et sujets dans l'inter-discipline. *Semaine de la connaissance*, 26–30.
- Couégnas, N., & Halary, M.-P. (2002). Signification et communication du risque : le cas du nucléaire. *Quaderni*, 48(1), 89–99. Consulté sur http://www.persee.fr/doc/quad_0987-1381_2002_num_48_1_1746
- Covello, V. T. (1983). The perception of technological risks : A literature review. *Technological Forecasting and Social Change*, 23(4), 285–297.
- Covello, V. T. (2003). Best practices in public health risk and crisis communication. *Journal of Health Communication*, 8(S1), 5–8.
- Cutter, S. L. (2014). Building Disaster Resilience : Steps toward Sustainability. *Challenges in Sustainability*, 1(2). Consulté sur <http://www.librelloph.com/challengesinsustainability/article/view/89>
- Davallon, J. (2004). Objet concret, objet scientifique, objet de recherche. *Hermès*, 38, 30–37. Consulté sur <http://hdl.handle.net/2042/9421>
- De Certeau, M. (1990). Lire : un braconnage. In *L'invention du quotidien - 1. arts de faire*. Paris : Gallimard.
- de Halleux, A. (2013). *Récits de Fukushima*. ARTE France. (Transcript)
- de la Asunción, M., Castillo, L., Fdez-Olivares, J., García-Pérez, O., González, A., & Palao, F. (2005). SIADEx : An interactive knowledge-based planner for decision support in forest fire fighting. *AI Communications*, 18(4), 257–268.
- Descours, C., & Guglielmoni, L. (1996). *La Sécurité des personnels utilisant des appareils à rayonnements ionisants dans les établissements de santé : rapport au Premier ministre* (rapport public). Consulté sur <http://www.ladocumentationfrancaise.fr/rapports-publics/964129700/index.shtml>
- DiNucci, D. (1999). Fragmented Future. *Print*, 53(4). Consulté sur http://darcy.com/fragmented_future.pdf
- Domengot, J.-C. (2013). La fragilité des usages numériques. *Les Cahiers du numérique*, 9(2), 47–75.
- Domengot, J.-C. (2017). *Des usages des dispositifs socionumériques à la reconfiguration des identités professionnelles : une approche des temporalités en SIC* (Habilitation à diriger des recherches).

- Dreyfus, S., & Assange, J. (1997). *Underground : tales of hacking, madness and obsession on the electronic frontier*. Random House Australia.
- Dupuy, J.-P. (2009). *Pour un catastrophisme éclairé. Quand l'impossible est certain*. Le Seuil.
- Engelbart, D. C., & English, W. K. (1968). A research center for augmenting human intellect. In *Proceedings of the December 9-11, 1968, fall joint computer conference, part I* (pp. 395–410). ACM.
- Fairlie, I., & Sumner, D. (2006). *The other report on Chernobyl (TORCH)*. Altner Combecher Foundation, Berlin.
- Fischhoff, B., Slovic, P., & Lichtenstein, S. (1983). “The Public” Vs. “The Experts” : Perceived Vs. Actual Disagreements About Risks of Nuclear Power. In *The analysis of actual versus perceived risks* (pp. 235–249). Springer.
- Fogg, B., Cuellar, G., & Danielson, D. (2007). Motivating, influencing, and persuading users. In *The Human-Computer Interaction Handbook* (pp. 134–147). L. Erlbaum Associates Inc.
- Fogg, B. J. (2009). A behavior model for persuasive design. In *Proceedings of the 4th international Conference on Persuasive Technology* (p. 40). ACM.
- Forsé, M., & Degenne, A. (2004). *Les réseaux sociaux*. Armand Colin.
- Frame, P. W. (1996). *How the Curie Came to Be*. Consulté le 2016-04-23, sur <http://www.orau.org/ptp/articlesstories/thecurie.htm>
- Franzoni, C., & Sauermann, H. (2014). Crowd science : The organization of scientific research in open collaborative projects. *Research Policy*, 43(1), 1–20. Consulté sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733313001212>
- Freimuth, V., Linnan, H. W., & Potter, P. (2000). Communicating the threat of emerging infections to the public. *Emerging infectious diseases*, 6(4), 337–347.
- Friedman, S. M. (2011). Three Mile Island, Chernobyl, and Fukushima : An analysis of traditional and new media coverage of nuclear accidents and radiation. *Bulletin of the Atomic Scientists*, 67(5), 55–65.
- Fugate, C. (2011). *Understanding the power of social media as a communication tool in the aftermath of disasters* (Rapport technique). Senate Committee on Homeland Security and Governmental Affairs, Subcommittee on Disaster Recovery and Intergovernmental Affairs : Federal Emergency Management Agency. Consulté sur https://beta.fema.gov/pdf/about/programs/legislative/testimony/2011/5_5_2011_use_of_social_media_in_disasters.pdf

- Furuta, K., Ogure, T., & Ujita, H. (2005). Nuclear Safety Ontology-Basis for Sharing Relevant Knowledge among Society. *Systems and Human Science for Safety, Security and Dependability*, 397–408.
- Galton, A., & Worboys, M. (2011). An ontology of information for emergency management. In *ISCRAM 2011, Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Lisbon.
- Gangemi, A., Guarino, N., Masolo, C., Oltramari, A., & Schneider, L. (2002). Sweetening ontologies with DOLCE. In *Knowledge engineering and knowledge management : Ontologies and the semantic Web* (pp. 166–181). Springer.
- Gao, H., Barbier, G., & Goolsby, R. (2011). Harnessing the crowdsourcing power of social media for disaster relief. *Intelligent Systems, IEEE*, 26(3), 10–14.
- Geiger, H., & Müller, W. (1928). Elektronenzählrohr zur Messung schwächster Aktivitäten. *Naturwissenschaften*, 16, 617–618.
- Gerlitz, C., & Rieder, B. (2013). Mining One Percent of Twitter : Collections, Baselines, Sampling. *M/C Journal*, 16(2).
- Giunchiglia, F., Kharkevich, U., & Zaihrayeu, I. (2008). Concept Search : Semantics Enabled Syntactic Search. In *Proceedings of the Workshop on Semantic Search (SemSearch 2008) at the 5th European Semantic Web Conference (ESWC 2008)* (Vol. 334, pp. 109–123). CEUR-WS.
- Goldfine, E. (2011). *Best practices : The use of social media throughout emergency & disaster relief* (Mémoire de master).
- Goolsby, R. (2010). Social media as crisis platform : The future of community maps/-crisis maps. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 1(1), 7 :1–7 :11.
- Gorre, F. (2014). *Tremblement de terre, tsunami et accident nucléaire de la centrale de Fukushima : état des lieux des conséquences et des actions engagées trois ans après* (Rapport technique). Consulté sur <http://www.ccr.fr/-/avis-expert-fukushima-3-ans-apres>
- Grudin, J., & Pruitt, J. (2002). Personas, Participatory Design and Product Development : An Infrastructure for Engagement. In *Proceedings of Participation and Design Conference (PDC2002), Sweden* (pp. 144–161). Consulté sur http://www.itee.uq.edu.au/comp4501/_2003/_Readings/GrudinPersonas.pdf
- Guarino, N. (1998). *Formal ontology in information systems : Proceedings of the first international conference (FOIS'98), June 6-8, Trento, Italy* (Vol. 46). IOS press.

- Guha, R., McCool, R., & Miller, E. (2003). Semantic Search. In *Proceedings of the 12th International Conference on World Wide Web* (pp. 700–709). New York, NY, USA : ACM. Consulté sur <http://doi.acm.org/10.1145/775152.775250>
- Guichon, N. (2007). Recherche-développement et didactique des langues. *Recherches en Didactique des Langues et Cultures : les Cahiers de l'acedle*, 4(1), 37–54.
- Guille, A., Favre, C., Hacid, H., & Zighed, D. A. (2013). SONDY : An Open Source Platform for Social Dynamics Mining and Analysis. In *Proceedings of the 2013 ACM SIGMOD International Conference on Management of Data* (pp. 1005–1008).
- Gunn, A. M. (2007). *Encyclopedia of disasters : Environmental catastrophes and human tragedies* (Vol. 2). Greenwood Publishing Group.
- Hagar, C., & Haythornthwaite, C. (2005). Crisis, Farming & Community. *The Journal of Community Informatics*, 1(3). Consulté sur <http://ci-journal.net/index.php/ciej/article/view/246>
- Haghighi, P. D., Burstein, F., Zaslavsky, A., & Arbon, P. (2013). Development and evaluation of ontology for intelligent decision support in medical emergency management for mass gatherings. *Decision Support Systems*, 54(2), 1192–1204.
- Hawley, M., Poor, R. D., & Tuteja, M. (1997). Things that think. *Personal Technologies*, 1(1), 13–20.
- Heath, R. L., & O’Hair, H. D. (2009). The significance of crisis and risk communication. In *Handbook of Risk and Crisis Communication* (pp. 5–30). Routledge New York.
- Heath, R. L., Palenchar, M. J., & O’Hair, H. D. (2009). Community building through risk communication infrastructures. *Handbook of risk and crisis communication*, 471–487.
- Heath, T., & Bizer, C. (2011). Linked data : Evolving the web into a global data space. *Synthesis lectures on the semantic web : theory and technology*, 1(1), 1–136.
- Hecker, M. (2014). Le tsunami numérique. *Études*(7), 9–18.
- Helmond, A. (2015). The platformization of the web : Making web data platform ready. *Social Media+ Society*, 1(2).
- Hemmi, A., Bayne, S., & Land, R. (2009). The appropriation and repurposing of social technologies in higher education. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25(1), 19–30.
- Hliaoutakis, A., Varelas, G., Voutsakis, E., Petrakis, E. G., & Milios, E. (2006). Information retrieval by semantic similarity. *International journal on semantic Web and information systems (IJSWIS)*, 2(3), 55–73.

- Hohenemser, C., Kasperson, R., & Kates, R. (1977). The distrust of nuclear power. *Science*, 196(4285), 25–34.
- Hudon, M., & El Hadi, W. M. (2010). Organisation des connaissances et des ressources documentaires. *Les Cahiers du numérique*, 6(3), 9–38.
- Hughes, A. L., & Palen, L. (2009). Twitter adoption and use in mass convergence and emergency events. *International Journal of Emergency Management*, 6(3), 248–260.
- Hui, C., Tyshchuk, Y., Wallace, W. A., Magdon-Ismail, M., & Goldberg, M. (2012). Information cascades in social media in response to a crisis : a preliminary model and a case study. In *Proceedings of the 21st International Conference on World Wide Web* (pp. 653–656). ACM.
- Hunt, M., Al-Awadi, H., & Johnson, M. (2008). Psychological sequelae of pet loss following Hurricane Katrina. *Anthrozoös*, 21(2), 109–121.
- IAEA. (1988). *The Radiological Accident in Goiânia* (Rapport technique). Consulté sur <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/3684/The-Radiological-Accident-in-Goinia>
- IAEA. (2005). *Chernobyl's Legacy : Health, Environmental and Socio-Economic Impacts and Recommendations to the Governments of Belarus, the Russian Federation and Ukraine* (Rapport technique). Consulté sur <https://www.iaea.org/sites/default/files/chernobyl.pdf>
- IAEA. (2014). *Experiences and Lessons Learned Worldwide in the Cleanup and Decommissioning of Nuclear Facilities in the Aftermath of Accidents* (IAEA Nuclear Energy Series N° NW-T-2.7). Consulté sur <http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10621/Experiences-and-Lessons-Learned-Worldwide-in-the-Cleanup-and-Decommissioning-of-Nuclear-Facilities-in-the-Aftermath-of-Accidents>
- ICRP. (2007). *Publication 103 : The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection* (Annales de l'ICRP N° 37(2-4)). Consulté sur <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20103>
- ICRP. (2009). *Publication 111 : Application of the Commission's Recommendations to the Protection of People Living in Long-term Contaminated Areas after a Nuclear Accident or a Radiation Emergency* (Annales de l'ICRP N° 39). Consulté sur <http://www.icrp.org/publication.asp?id=ICRP%20Publication%20111>
- Imran, M., Castillo, C., Lucas, J., Meier, P., & Vieweg, S. (2014). AIDR : Artificial intelligence for disaster response. In *Proceedings of the 23rd International Conference on World Wide Web* (pp. 159–162). ACM.

- Ishigaki, Y., Matsumoto, Y., Matsuno, Y., & Tanaka, K. (2015). Participatory Radiation Information Monitoring with SNS after Fukushima. In *ISCRAM 2015, Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Kristiansand, Norway.
- Jeanneret, Y. (2002). Communication, transmission, un couple orageux. *Sciences humaines. Hors série*(36), 24–27.
- Johansson, F., Brynielsson, J., & Quijano, M. N. (2012). Estimating Citizen Alertness in Crises using Social Media Monitoring and Analysis. In *Intelligence and Security Informatics Conference (EISIC)* (pp. 189–196).
- Jorgensen, T. J. (2016). *Strange Glow - The Story of Radiation*. Princeton, NJ : Princeton University Press.
- Jouët, J. (2000). Retour critique sur la sociologie des usages. *Réseaux*, 18(100), 487–521.
- Juanals, B., & Minel, J.-L. (2016). La construction d'un espace patrimonial partagé dans le Web de données ouvert. *Communication*, 34(1). Consulté sur <http://communication.revues.org/6650>
- Kaplan, A. M., & Haenlein, M. (2010). Users of the world, unite! The challenges and opportunities of Social Media. *Business horizons*, 53(1), 59–68. Consulté sur <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007681309001232>,
- Kapoor, B., & Sharma, S. (2010). A comparative study ontology building tools for semantic web applications. *International journal of Web & Semantic Technology (IJWesT)*, 1(3), 1–13.
- Kasperson, R. E., Renn, O., Slovic, P., Brown, H. S., Emel, J., Goble, R., . . . Ratick, S. (1988). The social amplification of risk : A conceptual framework. *Risk analysis*, 8(2), 177–187.
- Katz, E., & Lazarsfeld, P. F. (1966). *Personal Influence, The part played by people in the flow of mass communications*. Transaction Publishers.
- Kera, D., Rod, J., & Peterova, R. (2013). Post-apocalyptic citizenship and humanitarian hardware. In R. Hindmarch (Ed.), *Nuclear Disaster at Fukushima Daiichi : Social, Political and Environmental Issues* (pp. 97–115). Londres : Routledge.
- Kessler, C., & Hendrix, C. (2015). The Humanitarian eXchange Language : Coordinating disaster response with semantic web technologies. *Semantic Web*, 6(1), 5–21.
- Khare, P., Nair, P., Khare, A., Singh, V., & Chatterjee, R. (2014). The Road To Radiation Protection : A Rocky Path. *Journal of Clinical and Diagnostic Research* :

- JCDR*, 8(12), ZE01–ZE04. Consulté sur <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4316358/>
- Konstantopoulos, S., & Ikononopoulos, A. (2015). A conceptualization of a nuclear or radiological emergency. *Nuclear Engineering and Design*, 284, 192–206.
- Kostyuchenko, V. A., & Krestinina, L. Y. (1994). Long-term irradiation effects in the population evacuated from the east-Urals radioactive trace area. *The Science of the Total Environment*, 142(1-2), 119–125.
- Kranz, M., Roalter, L., & Michahelles, F. (2010). Things That Twitter : Social Networks and the Internet of Things. In *What can the Internet of Things do for the Citizen (CIoT) Workshop at The Eighth International Conference on Pervasive Computing (Pervasive 2010)* (pp. 1–10).
- Lagadec, P. (1987). *Le risque technologique majeur*. Paris : Encyclopedia Universalis.
- Lagane, J. (2013). L’apport des partenariats solidaires entre producteurs agricoles et consommateurs en temps de crise. *Géographie et cultures*(86), 101–117. Consulté sur <http://gc.revues.org/2913>
- Lamboux-Durand, A. (2016). *Production et usage de l’audiovisuel en contexte scientifique : Les témoignages pour des lieux d’exposition*. Éditions universitaires européennes.
- Latzko-Toth, G. (2001). L’Internet Relay Chat : un dispositif sociotechnique riche d’enseignements. *XIIe congrès de la SFSIC, Paris*.
- Le Breton, D. (2012). *Sociologie du risque (Que sais-je ? N. 3016)*. Presses universitaires de France.
- Lei, Y., Uren, V., & Motta, E. (2006). Semsearch : A search engine for the semantic web. In *Managing Knowledge in a World of Networks* (pp. 238–245). Springer.
- Lerbinger, O. (1997). *The crisis manager : facing risk and responsibility*. New Jersey : Lawrence Erlbaum Associates.
- Li, J., Vishwanath, A., & Rao, H. R. (2014). Retweeting the Fukushima nuclear radiation disaster. *Communications of the ACM*, 57(1), 78–85.
- Liu, S., Shaw, D., & Brewster, C. (2013). Ontologies for Crisis Management : A Review of State of the Art in Ontology Design and Usability. In *ISCRAM 2013 Proceedings of the 10th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.
- Liu, S. B., Palen, L., Sutton, J., Hughes, A. L., & Vieweg, S. (2008). In search of the bigger picture : The emergent role of on-line photo sharing in times of disaster. In *ISCRAM 2008, Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.

- Lochard, J. (2002). Expertise et gestion des risques en matière nucléaire. *Revue française d'administration publique*, 103(3), 471–481. Consulté sur http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=RFAP_103_0471
- Loiselle, J., & Harvey, S. (2007). La recherche développement en éducation : fondements, apports et limites. *Recherches qualitatives*, 27(1), 40–59.
- Macias, W., Hilyard, K., & Freimuth, V. (2009). Blog Functions as Risk and Crisis Communication During Hurricane Katrina. *Journal of Computer-Mediated Communication*, 15(1), 1–31. Consulté sur <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1083-6101.2009.01490.x/abstract>
- Malizia, A., Bellucci, A., Diaz, P., Aedo, I., & Levialdi, S. (2011). eStorys : A visual storyboard system supporting back-channel communication for emergencies. *Journal of Visual Languages & Computing*, 22(2), 150–169.
- Mander, J., & McGrath, F. (2017). *GlobalWebIndex's quarterly report on the latest trends in social networking (Q1 2017)* (Rapport technique). London : GlobalWebIndex. Consulté sur <https://www.globalwebindex.net/>
- Martland, H. S., Conlon, P., & Knef, J. P. (1925). Some unrecognized dangers in the use and handling of radioactive substances : With especial reference to the storage of insoluble products of radium and mesothorium in the reticulo-endothelial system. *Journal of the American Medical Association*, 85(23), 1769–1776. Consulté sur <http://dx.doi.org/10.1001/jama.1925.02670230001001>
- McCombs, M. E., & Shaw, D. L. (1972). The agenda-setting function of mass media. *Public opinion quarterly*, 36(2), 176–187.
- McLuhan, M. (1968). *Pour comprendre les médias : les prolongements technologiques de l'homme*. Seuil.
- Medvedev, Z. (1976). Two decades of dissidence. *New Scientist*, 72(1025), 264–267.
- Mendoza, M., Poblete, B., & Castillo, C. (2010). Twitter Under Crisis : Can we trust what we RT? In *Proceedings of the first workshop on social media analytics* (pp. 71–79). ACM.
- Mercklé, P. (2011). *Sociologie des réseaux sociaux*. La découverte.
- Miles, A., Matthews, B., Wilson, M., & Brickley, D. (2005). SKOS core : simple knowledge organisation for the web. In *International Conference on Dublin Core and Metadata Applications* (pp. 3–10). Consulté sur <http://dcpapers.dublincore.org/index.php/pubs/article/view/798>
- Miller, G. A. (1995). WordNet : a lexical database for English. *Communications of the ACM*, 38(11), 39–41.

- Morin, E. (1976). Pour une crisologie. *Communications*, 25(1), 149–163. Consulté sur http://www.persee.fr/doc/comm_0588-8018_1976_num_25_1_1388
- Nelson, T. H. (1965). Complex information processing : a file structure for the complex, the changing and the indeterminate. In *Proceedings of the 1965 20th national conference* (pp. 84–100). ACM.
- Neuwirth, K. (2009). Risk, crisis, and mediated communication. In *Handbook of Risk and Crisis Communication* (pp. 398–411). Routledge New York.
- Niederer, S., & Van Dijck, J. (2010). Wisdom of the crowd or technicity of content ? Wikipedia as a sociotechnical system. *New Media & Society*, 12(8), 1368–1387.
- Norman, D. A. (2013). *The design of everyday things : Revised and expanded edition*. Basic books.
- Ogden, C. K., & Richards, I. A. (1923). *The Meaning of Meaning. A Study of the Influence of Language upon Thought and of the Science of Symbolism*. JSTOR.
- O'Reilly, T. (2005). *Web 2.0 : Compact Definition ?* Consulté sur <http://radar.oreilly.com/2005/10/web-20-compact-definition.html>
- Ortmann, J., Limbu, M., Wang, D., & Kauppinen, T. (2011). Crowdsourcing linked open data for disaster management. In *Proceedings of the Terra Cognita Workshop on Foundations, Technologies and Applications of the Geospatial Web in conjunction with the ISWC* (pp. 11–22).
- Otlet, P. (1934). *Traité de documentation : le livre sur le livre, théorie et pratique*. Editiones Mundaneum.
- Otway, H. (1991). The Media and Crisis Management. In B. Segerståhl (Ed.), *Chernobyl, A Policy Response Study* (pp. 133–147). Springer Berlin Heidelberg. Consulté sur http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-642-84367-9_7
- Palen, L., Anderson, K. M., Mark, G., Martin, J., Sicker, D., Palmer, M., & Grunwald, D. (2010). A vision for technology-mediated support for public participation & assistance in mass emergencies & disasters. In *Proceedings of the 2010 ACM-BCS Visions of Computer Science Conference* (pp. 8 :1–8 :12). British Computer Society.
- Palen, L., Hiltz, S. R., & Liu, S. B. (2007). Online forums supporting grassroots participation in emergency preparedness and response. *Communications of the ACM*, 50(3), 54–58.
- Palen, L., Vieweg, S., Liu, S. B., & Hughes, A. L. (2009). Crisis in a networked world features of computer-mediated communication in the April 16, 2007, Virginia Tech Event. *Social Science Computer Review*, 27(4), 467–480.

- Perko, T. (2011). Importance of risk communication during and after a nuclear accident. *Integrated Environmental Assessment and Management*, 7(3), 388–392.
- Perko, T. (2015). How to Communicate about Radiological Risks? A European Perspective. *Fukushima Global Communication Programme Working Paper Series*(19). Consulté sur <http://collections.unu.edu/view/UNU:3361>
- Perriault, J. (1989). *La logique de l'usage : essai sur les machines à communiquer*. L'Harmattan.
- Perry, D. C., Taylor, M., & Doerfel, M. L. (2003). Internet-based communication in crisis management. *Management communication quarterly*, 17(2), 206–232.
- Peterson, T. R., & Thompson, J. L. (2009). Environmental risk communication : responding to challenges of complexity and uncertainty. In *Handbook of Risk and Crisis Communication* (pp. 591–606). Routledge New York.
- Pidcock, W. (2003). *What are the differences between a vocabulary, a taxonomy, a thesaurus, an ontology, and a meta-model ?* Consulté sur <http://www.citeulike.org/group/258/article/166888>
- Plantin, J.-C. (2011). 'The Map is the Debate' : Radiation Webmapping and Public Involvement During the Fukushima Issue. In *A Decade in Internet Time : OII Symposium on the Dynamics of the Internet and Society*.
- Plantin, J.-C. (2015). The politics of mapping platforms : participatory radiation mapping after the Fukushima Daiichi disaster. *Media, Culture & Society*, 37(6), 904–921.
- Plough, A., & Krinsky, S. (1987). The emergence of risk communication studies : social and political context. *Science, Technology, & Human Values*, 12(3/4), 4–10.
- Potts, L., Seitzinger, J., Jones, D., & Harrison, A. (2011). Tweeting disaster : hashtag constructions and collisions. In *Proceedings of the 29th ACM international conference on Design of communication* (pp. 235–240). ACM.
- Proulx, S., Milette, M., & Heaton, L. (2012). Introduction. In *Médias sociaux : enjeux pour la communication* (pp. 1–7). Canada : Presses de l'Université du Québec.
- Rapoport, R. N. (1973). Les trois dilemmes de la recherche-action. *Connexions*, 7, 115–131.
- Raskob, W., Trybushnyi, D., Ievdin, I., & Zheleznyak, M. (2011). JRODOS : Platform for improved long term countermeasures modelling and management. *Radioprotection*, 46(06), S731–S736.
- Reas, C., & Fry, B. (2006). Processing : programming for the media arts. *AI & Society*, 20(4), 526–538.

- Renn, O. (1992). Concepts of risk : a classification. In S. Krimsky & D. Golding (Eds.), *Social theories of risk* (pp. 53–79).
- Renn, O. (2008). *Risk governance : coping with uncertainty in a complex world*. Routledge.
- Reuter, C., Pipek, V., Wiedenhoefer, T., & Ley, B. (2012). Dealing with terminologies in collaborative systems for crisis management. *ISCRAM 2012 Proceedings of the 9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Consulté sur <http://www.iscramlive.org/ISCRAM2012/proceedings/181.pdf>
- Reynolds, B., & Seeger, M. W. (2005). Crisis and emergency risk communication as an integrative model. *Journal of health communication*, 10(1), 43–55.
- Rieder, B. (2013). Studying Facebook via data extraction : the Netvizz application. In *Proceedings of the 5th annual ACM web science conference* (pp. 346–355). ACM.
- Roberto, A. J., Goodall, C. E., & Witte, K. (2009). Raising the alarm and calming fears : Perceived threat and efficacy during risk and crisis. In *Handbook of Risk and Crisis Communication* (pp. 287–303). Routledge New York.
- Ropeik, D. (2008). Risk Communication, More Than Facts and Feelings. *IAEA Bulletin*, 50(1).
- Rubin, D. M. (1979). *Staff report to the President's Commission on the accident at Three Mile Island* (Report of the Public's Right to Information Task Force). Consulté sur <http://www.threemileisland.org/downloads/192.pdf>
- Ruotsalo, T. (2012). Domain Specific Data Retrieval on the Semantic Web. In E. Simperl, P. Cimiano, A. Polleres, O. Corcho, & V. Presutti (Eds.), *The Semantic Web : Research and Applications* (pp. 422–436). Springer Berlin Heidelberg.
- Rutherford, E., & Geiger, H. (1908). An Electrical Method of Counting the Number of α Particles from Radio-Active Substances. *Proceedings of the Royal Society of London A : Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 81(546), 141–161. Consulté sur <http://rspa.royalsocietypublishing.org/content/81/546/141>
- Sack, H. (2013). *Semantic Web Technologies - Knowledge Representations - Ontology Types*. Consulté sur <http://fr.slideshare.net/lysander07/open-hpi-semweb04part4>
- Safecast. (2015). *The Safecast Report Vol. 1* (Rapport technique). Consulté sur <http://blog.safecast.org/the-safecast-report/>

- SAGE Project. (2005). *Guidance on Practical Radiation Protection for People Living in Long-Term Contaminated Territories*. Consulté sur http://www.ec-sage.net/members/wp4_handbook.pdf
- Sandman, P. (2006). Tell It Like It Is : 7 Lessons from TMI. *IAEA Bulletin*, 47(2).
- Sansare, K., Khanna, V., & Karjodkar, F. (2011). Early victims of X-rays : a tribute and current perception. *Dentomaxillofacial Radiology*, 40(2), 123–125. Consulté sur <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3520298/>
- Sarter, N. B., & Woods, D. D. (1991). Situation awareness : A critical but ill-defined phenomenon. *The International Journal of Aviation Psychology*, 1(1), 45–57.
- Sato, A. (2015). Understanding Effective Risk Communication in the Context of a Radiological Accident. *Fukushima Global Communication Programme Working Paper Series*(7). Consulté sur <http://collections.unu.edu/view/UNU:3298>
- SCOPANUM. (2014). *Recueil et analyse des témoignages des victimes et des autorités responsables de la gestion de communication en situations de crise de type PAN* (Livrable N° D 1.2). Laboratoire ELLIADD.
- Seeger, M. W. (2013). Introduction to Crisis Communication Theory. In *Theorizing Crisis Communication*. Wiley-Blackwell.
- Seeger, M. W., Sellnow, T. L., & Ulmer, R. R. (2003). *Communication and organizational crisis*. Greenwood Publishing Group.
- Segault, A., Cotfas, L.-A., & Tajariol, F. (2015). A semantic system for knowledge sharing in post-nuclear-accident situations. In *Workshop on Semantics and Analytics for Emergency Response (SAFE2015)*. Kristiansand, Norway.
- Segault, A., & Roxin, I. (2017). Représentation sémantique des connaissances médicales pour le grand public. In *Séminaire doctoral AUF : Représentation des connaissances en zoonoses*. Belgrade, Serbie.
- Segault, A., Tajariol, F., Ishigaki, Y., & Roxin, I. (2016). #geiger 2 : Developing Guidelines for Radiation Measurements Sharing on Social Media. In *ISCRAM 2016 Proceedings of the 13th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Rio de Janeiro, Brazil. Consulté sur http://idl.iscram.org/files/antoninsegault/2016/1394_AntoninSegault_etal2016.pdf
- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015a). #geiger : Radiation Monitoring Bots on Twitter for Nuclear Post-Accident Situations. In *ISCRAM 2015 Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Kristiansand, Norway. Consulté sur http://idl.iscram.org/files/antoninsegault/2015/1239_AntoninSegault_etal2015.pdf

- Segault, A., Tajariol, F., & Roxin, I. (2015b). A SKOS Radiation Safety Thesaurus for People Living in Contaminated Territories. In N. B. B. Saoud, C. Adam, & C. Hanachi (Eds.), *Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries* (pp. 116–123). Springer International Publishing. Consulté sur http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-24399-3_10
- Sellnow, T. L., & Seeger, M. W. (2013). Theories of communication and crisis outcomes. In *Theorizing Crisis Communication*. Wiley-Blackwell.
- Sheth, A. P. (1999). Changing focus on interoperability in information systems : from system, syntax, structure to semantics. In *Interoperating geographic information systems* (pp. 5–29). Springer. Consulté sur http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4615-5189-8_2
- Shklovski, I., Burke, M., Kiesler, S., & Kraut, R. (2010). Technology adoption and use in the aftermath of Hurricane Katrina in New Orleans. *American Behavioral Scientist*, 53(8), 1228–1246. Consulté sur <http://abs.sagepub.com/content/53/8/1228.short>
- Simon, H. A. (1957). *Models of Man : Social and Rational : Mathematical Essay on Rational Human Behavior in a Social Setting*. Wiley & Sons.
- Singer, J. B. (2005). The political j-blogger ‘normalizing’ a new media form to fit old norms and practices. *Journalism*, 6(2), 173–198.
- Slovic, P. (1996). Perception of risk from radiation. *Radiation Protection Dosimetry*, 68(3-4), 165–180.
- Smith, M., Milic-Frayling, N., Shneiderman, B., Mendes Rodrigues, E., Leskovec, J., & Dunne, C. (2010). *NodeXL : a free and open network overview, discovery and exploration add-in for Excel 2007/2010*. Social Media Research Foundation.
- Spencer, M. L. (2013). Lessons from Japan : resilience after Tokyo and Fukushima. *Journal of Strategic Security*, 6(2), 70–79.
- Sprake, J., & Rogers, P. (2013, septembre). Crowds, citizens and sensors : process and practice for mobilising learning. *Personal and Ubiquitous Computing*, 18(3), 753–764. Consulté sur <http://link.springer.com/article/10.1007/s00779-013-0715-6>
- Starbird, K., Maddock, J., Orand, M., Achterman, P., & Mason, R. M. (2014). Rumors, false flags, and digital vigilantes : Misinformation on twitter after the 2013 boston marathon bombing. *iConference 2014 Proceedings*, 654–662.
- Stenger, T., & Coutant, A. (2013). Médias sociaux : clarification et cartographie. Pour une approche sociotechnique. *Décisions marketing*(70), 107–117.

- Sutton, J., Palen, L., & Shklovski, I. (2008). Backchannels on the front lines : Emergent uses of social media in the 2007 southern California wildfires. In *ISCRAM 2008, Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management* (pp. 624–632).
- Szilagyi, I. (2014). *Technologies Sémantiques pour un système actif d'apprentissage* (Thèse de doctorat). Université de Franche-Comté.
- Taleb, N. N. (2010). *Le Cygne noir, La puissance de l'imprévisible* (2^e éd.). Les Belles Lettres.
- Tapia, A. H., Bajpai, K., Jansen, B. J., Yen, J., & Giles, L. (2011). Seeking the trustworthy tweet : Can microblogged data fit the information needs of disaster response and humanitarian relief organizations. In *ISCRAM 2011, Proceedings of the 8th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.
- Tapia, A. H., Moore, K. A., & Johnson, N. J. (2013). Beyond the Trustworthy Tweet : A Deeper Understanding of Microblogged Data Use by Disaster Response and Humanitarian Relief Organizations. In *ISCRAM 2013 Proceedings of the 10th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.
- Temnikova, I., Castillo, C., & Vieweg, S. (2015). EMTerms 1.0 : A Terminological Resource for Crisis Tweets. In *ISCRAM 2015 Proceedings of the 12th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*. Consulté sur <http://iscram2015.uia.no/wp-content/uploads/2015/05/8-b.pdf>
- Thelwall, M. (2009). Social network sites : Users and uses. *Advances in computers*, 76, 19–73.
- Thelwall, M., Buckley, K., & Paltoglou, G. (2012). Sentiment strength detection for the social web. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(1), 163–173.
- Thomson, R., Ito, N., Suda, H., Lin, F., Liu, Y., Hayasaka, R., . . . Wang, Z. (2012). Trusting Tweets : The Fukushima Disaster and Information Source Credibility on Twitter. In *ISCRAM 2012, Proceedings of the 9th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.
- Toffler, A. (1990). *Power shift : Knowledge, wealth, and violence at the edge of the 21st century*. Bantam Books.

- Togias, K., & Kameas, A. (2012). An ontology-based representation of the Twitter REST API. In *Tools with Artificial Intelligence (ICTAI), 2012 IEEE 24th International Conference on* (Vol. 1, pp. 998–1003). IEEE.
- Topçu, S. (2006). Nucléaire : de l'engagement « savant » aux contre-expertises associatives. *Natures Sciences Sociétés*, 14(3), 249–256. Consulté sur http://www.cairn.info/resume.php?ID_ARTICLE=NSS_143_0249
- Topçu, S. (2007). Les physiciens dans le mouvement antinucléaire : entre science, expertise et politique. *Cahiers d'histoire. Revue d'histoire critique*(102), 89–108. Consulté sur <https://chrhc.revues.org/214>
- Truptil, S., Bénaben, F., Couget, P., Lauras, M., Chapurlat, V., & Pingaud, H. (2008). Interoperability of information systems in crisis management : Crisis modeling and metamodeling. In *Enterprise Interoperability III* (pp. 583–594). Springer.
- Tsubokura, M. (2014). *Radiation and Health Seminar* (Rapport technique). Veteran Mothers' Society.
- Turner, F., & Vannini, L. (2012). *Aux sources de l'utopie numérique : de la contre-culture à la cyberculture*. C&F éditions.
- Van Loon, R., & Van Tiggelen, R. (2004). Radiation Dosimetry in Medical Exposure : A Short Historical Overview. *Annales de l'Association belge de Radioprotection*, 29(2), 163–174.
- Vieweg, S., Hughes, A. L., Starbird, K., & Palen, L. (2010). Microblogging during two natural hazards events : what twitter may contribute to situational awareness. In *Proceedings of the SIGCHI conference on human factors in computing systems* (pp. 1079–1088). ACM.
- Vieweg, S., Palen, L., Liu, S. B., Hughes, A. L., & Sutton, J. (2008). Collective intelligence in disaster : An examination of the phenomenon in the aftermath of the 2007 Virginia Tech shootings. In *ISCRAM 2008, Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*.
- Virilio, P. (2005). *L'accident originel*. Galilée.
- Weart, S. R. (1991). La controverse nucléaire et ses origines. *AIEA Bulletin*, 1991(3), 30–36.
- Wiggins, R. W. (2001). The effects of September 11 on the leading search engine. *First Monday*, 6(10). Consulté sur <http://uncommonculture.org/ojs/index.php/fm/article/view/890>
- Wilensky, H. (2012). Disaster symbolism and social media. In *CHI'12 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems* (pp. 801–810). ACM.

- Willett, P. (2006). The Porter stemming algorithm : then and now. *Program*, 40(3), 219–223.
- Winkin, Y. (1984). *La nouvelle communication*. Ed. du Seuil.
- Wohn, D. Y., & Na, E.-K. (2011). Tweeting about TV : Sharing television viewing experiences via social media message streams. *First Monday*, 16(3). Consulté sur <http://firstmonday.org/ojs/index.php/fm/article/view/3368>
- Wolton, D. (2016). *Communiquer c'est vivre*. Paris : Cherche midi.
- Wroblewski, L. (2012). Préface de Jeffrey Zeldmann. In *Mobile first*. Editions Eyrolles.
- Yeung, C.-m. A., Liccardi, I., Lu, K., Seneviratne, O., & Berners-Lee, T. (2009). Decentralization : The future of online social networking. In *W3c Workshop on the Future of Social Networking Position Papers* (Vol. 2, pp. 2–7).
- Zacklad, M. (2010). Évaluation des systèmes d'organisation des connaissances. *Les Cahiers du numérique*, 6(3), 133–166.
- Zeng, D., Guo, S., & Cheng, Z. (2011). The web of things : A survey. *Journal of Communications*, 6(6), 424–438.
- Zielinski, A., Middleton, S., Tokarchuk, L., & Wang, X. (2013). Social media text mining and network analysis for decision support in natural crisis management. *ISCRAM 2013 Conference Proceedings - 10th International Conference on Information Systems for Crisis Response and Management*, 840–845.

Liste des figures

1.1	Phases de la gestion des crises	19
1.2	Des données à la sagesse	21
1.3	Cycle de gestion des crises	24
1.4	Hiroshima après le bombardement	27
1.5	Centrale nucléaire de Chooz	28
1.6	Compteurs Geiger modernes	30
1.7	Échelle INES	33
1.8	Contamination radioactive et zonage après l'accident de Tchernobyl . .	35
1.9	Nouveau sarcophage de la centrale de Tchernobyl	36
1.10	Contamination radioactive après l'accident de Fukushima	37
1.11	Réacteur numéro 3, dévasté par l'accident	37
1.12	Un des nombreux sites de stockage de déchets radioactifs	37
1.13	Phases et périodes d'un accident nucléaire	41
1.14	Zonage post-accidentel	42
2.1	Station de travail telle que celle utilisée pour la Démo	49
2.2	Station de travail NeXt Cube utilisée comme le premier serveur web . .	51
2.3	WorldWideWeb, le premier client web	51
2.4	Processus de produsage	52
2.5	Premier tweet utilisant un hashtag	56
2.6	Page d'accueil de Google après les attentats du 11 septembre	57
2.7	Premier tweet mentionnant le crash dans l'Hudson River	58
2.8	Usages de Twitter par les autorités durant des situations de crise	59
2.9	Ushahidi déployé au Japon après le Tsunami de mars 2011	62
2.10	Safety Check durant les attentats terroristes de Paris	64
2.11	Triangle sémiotique de Ogden	66
2.12	Assertion simple représentée sous la forme d'un triplet RDF	67
2.13	Graphe de connaissance	67

2.14	Rendre déréférencable une URI	68
2.15	Donnée ouvertes et liées en 2011	69
2.16	Requête SPARQL	70
2.17	Technologies du Web Sémantique	71
2.18	Base de connaissances modélisée grâce à RDFS	72
2.19	Inférences effectuées à partir d'un modèle RDFS	73
2.20	Représentation des éléments d'un thésaurus avec SKOS	74
2.21	Expressivité des ontologies	74
2.22	Inférences effectuées à partir d'un modèle OWL	75
2.23	Interface graphique de Protégé	76
2.24	Interopérabilité avec l'ontologie HXL et son écosystème d'outils	81
3.1	Carte collaborative affichant des mesures agrégées sur Pachube	87
3.2	Outils de Safecast	89
3.3	Outils de Pokega	91
3.4	Modes d'interaction avec les API des médias sociaux	94
3.5	Architecture du système de collecte de tweets DMI-TCAT	95
3.6	Exemples de graphes de données issues de Twitter	96
3.7	Tweets du robot @twrbrdg_itself	98
3.8	Les médias sociaux pour l'échange de données dans l'Internet des Objets	98
3.9	Bots Twitter publiant des mesures de la radioactivité	99
3.10	Outils d'aide à la publication des mesures	101
3.11	Distribution de la popularité des bots	102
3.12	Popularité des bots selon leur date de création	103
3.13	Mesures de quelques bots et des stations de la NRA	105
3.14	Distribution du nombre de métadonnées par bot	110
3.15	Utilité perçue des métadonnées	112
3.16	Comparaison de l'utilité perçue par les experts et les non-experts	113
3.17	Préférences de présentation des métadonnées	114
3.18	Infographie d'un bot respectant les recommandations	115
3.19	Interface graphique du prototype Radbird	115
3.20	Dispositif de mesure exploité par Radbird	118
4.1	Étapes d'extraction des concepts	125
4.2	Concept et ses labels désuffixés	126
4.3	Réseau de cooccurrence des concepts dans le corpus	127
4.4	Concept représenté avec le vocabulaire SKOS	128

4.5	Première version de la modélisation UML d'un scénario	131
4.6	Méta-scénario	132
4.7	Représentation d'ensembles d'éléments ordonnés avec RDF	133
4.8	Représentation RDF du méta-scénario et d'un scénario	134
4.9	Représentation RDF des documents d'un scénario	135
4.10	Linéarisation d'un scénario	136
4.11	Diagnostic de la toxoplasmose chez la femme enceinte	137
4.12	Classes et propriétés du vocabulaire <i>Semantic Knowledge on Zoonosis</i> .	138
4.13	Proposition de moteur de recherche sémantique basé sur SKZ	139
4.14	Graphe combinant les vocabulaires SIOC, FOAF et Dublin Core	141
4.15	Représentation des métadonnées d'un tweet	142
4.16	Requête SPARQL comptabilisant les cooccurrences de hashtags	143
4.17	Requête SPARQL construisant le graphe de mentions d'utilisateurs . .	143
4.18	Structure de TweetOntoSense	144
4.19	Graphe de connaissances combinant les différents modèles proposés . .	145
4.20	Principales composantes de la plateforme Ginkgo	146
4.21	Représentation des données cartographiques	147
4.22	Version simplifiée de la requête SPARQL utilisée pour la recherche . . .	150
4.23	Interface web pour Ginkgo	153
4.24	Ontologie Prov	155
4.25	Traces d'usages	155
4.26	Scénario post-accidentel	157
4.27	Annotation des tweets	164

Liste des tableaux

1.1	Quelques typologies de crises	17
2.1	Sérialisations N-Triple et Turtle	68
2.2	Exemples d'inférences associées à RDFS	73
2.3	Exemples d'inférences associées à des éléments de OWL	75
2.4	Évolution des types d'interopérabilité	78
3.1	Code de Safecast	90
3.2	Tableau de contingence	100
3.3	Métadonnées publiées par les bots	109
3.4	Liste enrichie des métadonnées à évaluer	110
3.5	Messages d'encouragement et de félicitation	117
4.1	Liste des instances de la classe MeasurementTerm du thésaurus NREO	124
4.2	Liste des concepts identifiés dans le corpus	126
4.3	Questions recensées par le CODIRPA	131
4.4	Liste finale des documents recensés	133
4.5	Ressources incluses dans le Ginkgo et restant à développer	147
4.6	Méthodes de l'API web	151
4.7	Répartition des participants par persona	158
4.8	Consultations par type de ressource	159
4.9	Ressources : consultation et présence dans les scénarios	160
4.10	Niveau de consultation des ressources relatives à certaines questions	161
4.11	Occurrence de termes dans les réponses des participants	162
4.12	Concepts associés aux requêtes réalisées sur le moteur de recherche	163
4.13	Ressources consultées via la recherche	163

Liste des abréviations

AIEA	Agence internationale de l'énergie atomique
API	<i>Application Programming Interface</i>
ARPANET	<i>Advanced Research Projects Agency Network</i>
ASN	Autorité de sûreté nucléaire
Bq	Becquerel
CEPN	Centre d'étude sur l'évaluation de la protection dans le domaine nucléaire
CIPR	Commission internationale de protection radiologique
CODIRPA	Comité directeur pour la gestion de la phase post-accidentelle
CPM	Coups par minute
FOAF	<i>Friend Of A Friend</i>
GPS	<i>Global Positioning System</i>
Gy	Gray
HTML	<i>HyperText Markup Language</i>
HTTP	<i>HyperText Transfer Protocol</i>
INES	<i>International Nuclear and Radiological Event Scale</i>
IRSN	Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire
JSON	<i>JavaScript Object Notation</i>
LOD	<i>Linked Open Data</i>
NRA	<i>Nuclear Regulation Authority</i>
ONG	Organisation non gouvernementale
OWL	<i>Web Ontology Language</i>
PAN	Post-accident nucléaire
RDF	<i>Resource Description Framework</i>
RDFS	<i>RDF Schema</i>
REST	<i>Representational State Transfer</i>
RSN	Réseaux sociaux numériques
RSS	<i>Really Simple Syndication</i>

SKOS	<i>Simple Knowledge Organization System</i>
SNS	<i>Social Networking Site</i>
SCOPANUM	Stratégies de communication de crise en gestion post-accident nucléaire via les médias sociaux
SIOC	<i>Semantically Interlinked Online Communities</i>
SPARQL	<i>SPARQL Protocol and RDF Query Language</i>
SPEEDI	<i>System for Prediction of Environment Emergency Dose Information</i>
Sv	Sievert
TIC	Technologies de l'information et de la communication
TMI	Three Mile Island
URI	<i>Uniform Resource Identifier</i>
URL	<i>Uniform Resource Locator</i>
W3C	<i>World Wide Web Consortium</i>
XML	<i>Extensible Markup Language</i>

Annexes

Annexe A

Complétude des mesures de la radioactivité

A.1 Questionnaire « experts »

Nous sommes des chercheurs de l'Université de Franche-Comté, laboratoire EL-LIADD, et nous étudions comment les médias sociaux (Facebook, Twitter, etc.) sont utilisés pour diffuser et partager l'information. Nous nous intéressons à la période temporelle qui suit le déclenchement d'un accident radiologique, notamment pour comprendre les processus de diffusion et de partage des informations concernant les mesures sur les radiations via des systèmes automatiques tels que des robots Twitter (fig. ci-dessous).



Nous étudions actuellement les informations accompagnant, décrivant et enrichissant les mesures, autrement dit les méta-données transmises par ces systèmes automatiques. Nous cherchons à déterminer quelles informations sont pertinentes pour que les citoyens comprennent ces mesures des radiations. Notre objectif est de fournir des recommandations quant aux méta-données que ces systèmes devraient inclure, et le format de ces informations.

Vous trouverez ci-après quelques questions destinées à recueillir votre point de vue sur ces méta-données. Merci de compléter le questionnaire en intégralité, et de nous contacter en cas de problème. Les réponses que vous apporterez ne seront utilisées que dans le cadre de cette étude, et seront stockées de manière sûre et anonyme.

Merci beaucoup de votre investissement et de votre participation.

Antonin Segault (antonin.segault@edu.univ-fcomte.fr), Liviu Cotfas, Federico Tajarol

1. Lorsque les citoyens doivent lire et comprendre des mesures de la radioactivité ambiante, quel est d'après vous le niveau d'utilité de chaque information (méta-donnée) contenue dans le tableau ci-dessous ? (Inutile, Peu utile, Utile, Très utile, Indispensable)
 - Date de la mesure
 - Heure de la mesure
 - Nom du lieu de mesure (ex : Montbéliard, Rue du Château)
 - Coordonnées GPS de la mesure
 - Situation de mesure (à l'intérieur ou à l'extérieur)
 - Description des conditions de mesure (ex : 1er étage, derrière une fenêtre, un mur en bois)
 - Nom du radiamètre
 - Précision de la mesure (ex : +/- 2 μ Sv/h)
 - Durée de la mesure (ex : moyenne sur une heure)
 - Min / max / pic (durant la période de mesure)
 - Valeur de comparaison (ex : bruit de fond, mesure avant accident)
 - Évaluation qualitative (ex : normal, élevé, inférieur à la moyenne)
 - Fréquence de mesure (ex : toutes les 30 minutes, les 2 heures)
 - Mise en garde (rappelant l'origine amateur des données)
 - Autres capteurs (ex : température, vent)
 - Plusieurs lieux (diffuser en même temps les mesures de plusieurs lieux)
 - Hashtags relatifs au lieu (ex : #tokyo, #yokohama)

- Hashtags thématiques (ex : #geiger, #genpatsu)
- 2. Quelles autres informations vous semblent utiles ?
- 3. Depuis combien de temps travaillez vous dans le domaine de la radioprotection ?
(Moins de 5 ans, Entre 5 et 10 ans, Plus de 10 ans)
- 4. Êtes vous utilisateur de Facebook ? (Fréquemment, Occasionnellement, Jamais)
- 5. Êtes vous utilisateur de Twitter ? (Fréquemment, Occasionnellement, Jamais)

A.2 Questionnaire « non-experts »

We are a group of researchers from the ELLIADD laboratory of the University of Franche-Comté (France). We are studying how people use social media (i.e. Facebook, Twitter) to spread and share information during the period following a radiological disaster, to understand the process of radiation measurements sharing through automated systems such as Twitter bots (figure below).



We are currently studying the meta-data conveyed by social media, which are the information describing and enriching the measurements. We are trying to determine which data are relevant to the citizens to understand radiation measurements. We aim to create guidelines regarding the meta-data that should be provided by the automated systems, and the format of these data.

We would like you to answer a few questions about meta-data. Please fill the form entirely and contact us if you encounter any problem.

Thanks for your interest,

Antonin Segault (antonin.segault@edu.univ-fcomte.fr), Liviu Cotfas, Federico Tajarol

Your answers will be safely and anonymously stored, and won't be used outside the scope of this study.

1. To read and understand radiation measurements through social media, do you think that the following information are (Useless, Not very useful, Useful, Very useful, Necessary, I don't know)
 - Date of the measurement
 - Time of the measurement
 - Name of the location of the measurement (e.g. city name, street name)
 - GPS coordinates of the location of the measurement
 - Type of measurement (indoor or outdoor)
 - Description of the measurement site (e.g. second floor, behind a window, wooden walls)
 - Name of the radiometer
 - Precision of the measurement (e.g. +/- 2 μ Sv/h)
 - Duration of the measurement (e.g. mean over one hour)
 - Min / max / peak value (during the measurement duration)
 - Comparison value (e.g. background level, readings before the accident)
 - Qualitative assessment (e.g. normal, high, below the average)
 - Measurement frequency (e.g. every two hours)
 - Warning (regarding the non-professional origin of the measurements)
 - Other sensors (e.g. wind, temperature)
 - Measurements at several locations (communicated at the same time)
 - Place related hashtags (e.g. #geiger, #yokohama)
 - Topical hashtags (e.g. #geiger, #genpatsu)
2. In your opinion, which other information could be useful ?
3. How this information should be presented ? (Repeated in each tweet, Only displayed in bot's user profile)
 - Location of the measurement
 - Type of measurement (indoor or outdoor)
 - Description of the measurement site (e.g. second floor, behind a window, wooden walls)
 - Name of the radiometer
 - Precision of the measurement (e.g. +/- 2 μ Sv/h)
 - Duration of the measurement (e.g. mean over one hour)
 - Comparison value (e.g. background level, readings before the accident)
 - Measurement frequency (e.g. every two hours)
4. Describe your use of social media (More than one time a day, One time a day, A few times a week, Less than a few times a week, Never) :

- Do you use Facebook ?
 - Do you use Facebook to look for radiation measurements ?
 - Do you use Facebook to publish radiation measurements ?
 - Do you use Twitter ?
 - Do you use Twitter to look for radiation measurements ?
 - Do you use Twitter to publish radiation measurements ?
5. Do you own a radiameter ? (Yes, No)
 6. How old are you ?
 7. What is your gender ? (Male, Female, Other)
 8. Where do you live ? (Fukushima Prefecture, Elsewhere in Japan, Outside Japan)
 9. Thank you for your participation. We recall that your answers will be safely and anonymously stored. If you are interested in the outcomes of our study, feel free to indicate your e-mail adress below :

Annexe B

Organisation des connaissances en radioprotection

B.1 Thésaurus de la radioprotection

```
scopanum-th:measure a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Measurement"@en ;
    skos:prefLabel "Mesure"@fr ;
    skos:related scopanum-th:body ;
    skos:related scopanum-th:dose_rate ;
    skos:related scopanum-th:health_professional ;
    skos:related scopanum-th:body_contamination ;
    skos:related scopanum-th:contamination_level ;
    skos:related scopanum-th:external_dose ;
    skos:related scopanum-th:whole_body_measurement ;
    skos:related scopanum-th:stakeholders_advisory_board ;
    skos:related scopanum-th:whole_body_measurement_operator ;
    skos:hiddenLabel "measur"@en ;
    skos:hiddenLabel "level"@en ;
    skos:hiddenLabel "mesur"@fr .
```

```
scopanum-th:measurement_results a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Measurement results"@en ;
    skos:prefLabel "Résultats de mesure"@fr ;
    skos:hiddenLabel "result measur"@en ;
    skos:broader scopanum-th:measure .
```

```
scopanum-th:glass_badge a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Glass badge"@en ;
    skos:prefLabel "Badge en verre"@fr ;
    skos:hiddenLabel "glass badg"@en ;
    skos:broader scopanum-th:measure .
```

```
scopanum-th:radiological_situation a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Radiological situation"@en ;
    skos:prefLabel "Situation radiologique"@fr ;
```

```
skos:hiddenLabel "radiolog situat"@en ;
skos:broader scopanum-th:measure .

scopanum-th:contamination a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Contamination"@en ;
skos:prefLabel "Contamination"@fr ;
skos:related scopanum-th:food ;
skos:related scopanum-th:garden ;
skos:related scopanum-th:waste ;
skos:related scopanum-th:decontamination ;
skos:related scopanum-th:evacuation ;
skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
skos:hiddenLabel "contamin"@en ;
skos:hiddenLabel "contamin"@fr .

scopanum-th:food_contamination a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Food contamination"@en ;
skos:prefLabel "Contamination des aliments"@fr ;
skos:hiddenLabel "foodstuff contamin"@en ;
skos:hiddenLabel "contamin foodstuff"@en ;
skos:broader scopanum-th:contamination .

scopanum-th:body_contamination a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Body contamination"@en ;
skos:prefLabel "Contamination interne"@fr ;
skos:hiddenLabel "bodi contamin"@en ;
skos:hiddenLabel "contamin intern"@fr ;
skos:broader scopanum-th:contamination .

scopanum-th:environment_contamination a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Environment contamination"@en ;
skos:prefLabel "Contamination de l'environnement"@fr ;
skos:hiddenLabel "contamin environ"@en ;
skos:hiddenLabel "contamin environ"@fr ;
skos:broader scopanum-th:contamination .

scopanum-th:contamination_level a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Contamination level"@en ;
skos:prefLabel "Niveau de contamination"@fr ;
skos:hiddenLabel "level contamin"@en ;
skos:broader scopanum-th:contamination .

scopanum-th:dose a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Dose"@en ;
skos:prefLabel "Dose"@fr ;
skos:related scopanum-th:radioactivity ;
skos:related scopanum-th:stochastic_effects ;
skos:related scopanum-th:deterministic_effects ;
skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
skos:hiddenLabel "dose"@en ;
skos:hiddenLabel "dos"@fr .

scopanum-th:external_dose a skos:Concept ;
skos:prefLabel "External dose"@en ;
```

```
skos:prefLabel "Dose externe"@fr ;
skos:hiddenLabel "extern dose"@en ;
skos:broader scopanum-th:dose .

scopanum-th:dose_rate a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Dose rate"@en ;
skos:prefLabel "Débit de dose"@fr ;
skos:related scopanum-th:external_dose ;
skos:hiddenLabel "dose rate"@en ;
skos:broader scopanum-th:dose .

scopanum-th:radioactivity a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Radioactivity"@en ;
skos:prefLabel "Radioactivité"@fr ;
skos:related scopanum-th:exposure ;
skos:related scopanum-th:effects ;
skos:related scopanum-th:radionuclide ;
skos:related scopanum-th:cesium ;
skos:related scopanum-th:stochastic_effects ;
skos:related scopanum-th:deterministic_effects ;
skos:related scopanum-th:glass_badge ;
skos:related scopanum-th:wear_mask ;
skos:related scopanum-th:internal_exposure ;
skos:related scopanum-th:nuclear_power_plant ;
skos:related scopanum-th:evacuation ;
skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
skos:hiddenLabel "radiat"@en ;
skos:hiddenLabel "radioact"@en ;
skos:hiddenLabel "ionis radiat"@en ;
skos:hiddenLabel "radioact"@fr ;
skos:hiddenLabel "nucléair"@fr .

scopanum-th:body a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Body"@en ;
skos:prefLabel "Corps"@fr ;
skos:related scopanum-th:body_contamination ;
skos:related scopanum-th:whole_body_measurement ;
skos:related scopanum-th:whole_body_measurement_operator ;
skos:hiddenLabel "bodi"@en .

scopanum-th:food a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Food"@en ;
skos:prefLabel "Nourriture"@fr ;
skos:related scopanum-th:food_contamination ;
skos:related scopanum-th:whole_body_measurement_operator ;
skos:hiddenLabel "foodstuff"@en ;
skos:hiddenLabel "food"@en ;
skos:hiddenLabel "food product"@en .

scopanum-th:mushroom a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Mushroom"@en ;
skos:prefLabel "Champignon"@fr ;
skos:hiddenLabel "mushroom"@en ;
skos:broader scopanum-th:food .
```

```
scopanum-th:water a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Water"@en ;
    skos:prefLabel "Eau"@fr ;
    skos:related scopanum-th:tap_water ;
    skos:hiddenLabel "water"@en ;
    skos:broader scopanum-th:food .

scopanum-th:tap_water a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Tap water"@en ;
    skos:prefLabel "Eau du robinet"@fr ;
    skos:hiddenLabel "tap water"@en ;
    skos:broader scopanum-th:water .

scopanum-th:exposure a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Exposure"@en ;
    skos:prefLabel "Exposition"@fr ;
    skos:related scopanum-th:cesium ;
    skos:related scopanum-th:glass_badge ;
    skos:hiddenLabel "exposur"@en ;
    skos:hiddenLabel "expos"@en ;
    skos:hiddenLabel "radiat exposur"@en ;
    skos:hiddenLabel "exposit"@fr ;
    skos:hiddenLabel "irradi"@fr .

scopanum-th:internal_exposure a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Internal exposure"@en ;
    skos:prefLabel "Exposition interne"@fr ;
    skos:hiddenLabel "intern exposur"@en ;
    skos:hiddenLabel "intern radiat exposur"@en ;
    skos:broader scopanum-th:exposure .

scopanum-th:external_exposure a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "External exposure"@en ;
    skos:prefLabel "Exposition externe"@fr ;
    skos:related scopanum-th:glass_badge ;
    skos:hiddenLabel "extern irradi"@en ;
    skos:hiddenLabel "extern exposur"@en ;
    skos:hiddenLabel "extern radiat exposur"@en ;
    skos:broader scopanum-th:exposure .

scopanum-th:effects a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Effects"@en ;
    skos:prefLabel "Effets"@fr ;
    skos:hiddenLabel "effect"@en .

scopanum-th:stochastic_effects a skos:Concept ;
    skos:prefLabel "Stochastic effects"@en ;
    skos:prefLabel "Effets stochastiques"@fr ;
    skos:related scopanum-th:deterministic_effects ;
    skos:hiddenLabel "stochast effect"@en ;
    skos:broader scopanum-th:effects .

scopanum-th:deterministic_effects a skos:Concept ;
```

```
skos:prefLabel "Deterministic effects"@en ;
skos:prefLabel "Effets déterministes"@fr ;
skos:hiddenLabel "determinist effect"@en ;
skos:broader scopanum-th:effects .

scopanum-th:radionuclide a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Radionuclide"@en ;
skos:prefLabel "Radionucléide"@fr ;
skos:hiddenLabel "radionuclid"@en ;
skos:hiddenLabel "radioact substanc"@en ;
skos:hiddenLabel "radioact element"@en ;
skos:hiddenLabel "radionucléid"@fr .

scopanum-th:cesium a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Caesium"@en ;
skos:prefLabel "Césium"@fr ;
skos:hiddenLabel "cesium"@en ;
skos:broader scopanum-th:radionuclide .

scopanum-th:garden a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Garden"@en ;
skos:prefLabel "Jardin"@fr ;
skos:related scopanum-th:waste ;
skos:hiddenLabel "garden"@en .

scopanum-th:japan a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Japan"@en ;
skos:prefLabel "Japon"@fr ;
skos:related scopanum-th:bielarus ;
skos:related scopanum-th:evacuation ;
skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
skos:hiddenLabel "japan"@en ;
skos:hiddenLabel "japon"@fr .

scopanum-th:fukushima a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Fukushima"@en ;
skos:prefLabel "Fukushima"@fr ;
skos:related scopanum-th:fukushima_prefecture ;
skos:related scopanum-th:accident ;
skos:related scopanum-th:evacuation ;
skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
skos:hiddenLabel "fukushim"@fr ;
skos:broader scopanum-th:japan .

scopanum-th:fukushima_prefecture a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Fukushima prefecture"@en ;
skos:prefLabel "Préfecture de Fukushima"@fr ;
skos:related scopanum-th:evacuation ;
skos:hiddenLabel "préfectur fukushim"@fr ;
skos:broader scopanum-th:fukushima .

scopanum-th:waste a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Waste"@en ;
skos:prefLabel "Déchet"@fr ;
```

```
skos:hiddenLabel "wast"@en .

scopanum-th:health_professional a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Health professional"@en ;
  skos:prefLabel "Professionnel de la santé"@fr ;
  skos:hiddenLabel "health profession"@en .

scopanum-th:whole_body_measurement_operator a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Whole body measurement operator"@en ;
  skos:prefLabel "Anthropogammamétriste"@fr ;
  skos:hiddenLabel "whole bodi monitor oper"@en ;
  skos:broader scopanum-th:health_professional .

scopanum-th:wear_mask a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Wear mask"@en ;
  skos:prefLabel "Port du masque"@fr ;
  skos:hiddenLabel "wear mask"@en ;
  skos:hiddenLabel "port masqu"@fr .

scopanum-th:whole_body_measurement a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Whole body measurement"@en ;
  skos:prefLabel "Anthropogammamétrie"@fr ;
  skos:related scopanum-th:whole_body_measurement_operator ;
  skos:hiddenLabel "whole bodi measur"@en ;
  skos:hiddenLabel "whole bodi counter"@en ;
  skos:hiddenLabel "whole bodi monitor"@en .

scopanum-th:stakeholders_advisory_board a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Stakeholder advisory board"@en ;
  skos:prefLabel "Conseil consultatif des intervenants"@fr ;
  skos:hiddenLabel "stakehold advisori board"@en ;
  skos:hiddenLabel "local stakehold advisori board"@en .

scopanum-th:nuclear_power_plant a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Nuclear power plant"@en ;
  skos:prefLabel "Centrale nucléaire"@fr ;
  skos:hiddenLabel "nuclear power plant"@en ;
  skos:hiddenLabel "central nucléair"@fr .

scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Fukushima nuclear power plant"@en ;
  skos:prefLabel "Centrale nucléaire de fukushima"@fr ;
  skos:hiddenLabel "central nucléair fukushim"@fr ;
  skos:broader scopanum-th:nuclear_power_plant .

scopanum-th:children a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Children"@en ;
  skos:prefLabel "Enfants"@fr ;
  skos:related scopanum-th:evacuation ;
  skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
  skos:hiddenLabel "enfant"@fr .

scopanum-th:accident a skos:Concept ;
  skos:prefLabel "Accident"@en ;
```

```
skos:prefLabel "Accident"@fr ;
skos:related scopanum-th:evacuation ;
skos:hiddenLabel "accident"@fr .

scopanum-th:post_accidental_situation a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Post-accidental situation"@en ;
skos:prefLabel "Situation post-accidentelle"@fr ;
skos:hiddenLabel "situat post accidentel"@fr ;
skos:broader scopanum-th:accident .

scopanum-th:bielarus a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Biélarus"@en ;
skos:prefLabel "Biélorussie"@fr ;
skos:related scopanum-th:post_accidental_situation ;
skos:hiddenLabel "biéloruss"@fr .

scopanum-th:radioprotection a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Radiation safety"@en ;
skos:prefLabel "Radioprotection"@fr ;
skos:hiddenLabel "radioprotect"@fr .

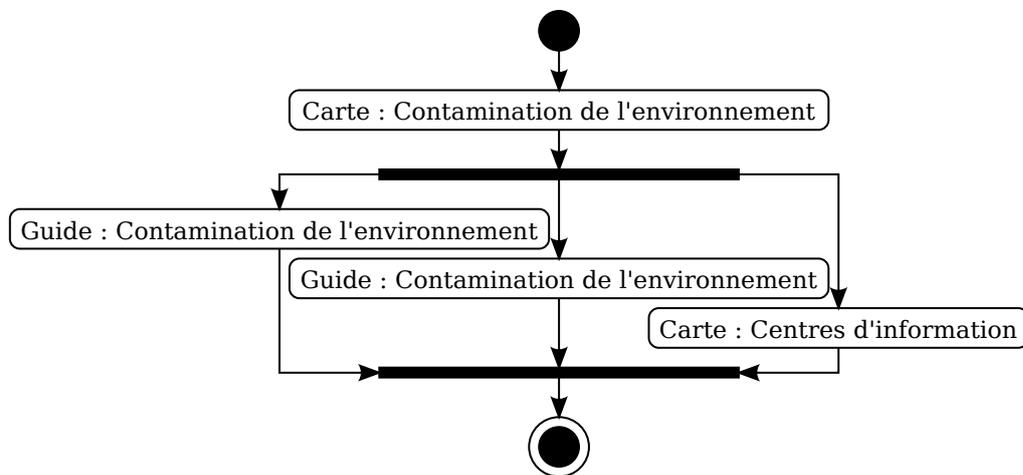
scopanum-th:decontamination a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Decontamination"@en ;
skos:prefLabel "Décontamination"@fr ;
skos:related scopanum-th:fukushima_nuclear_power_plant ;
skos:hiddenLabel "décontamin"@fr ;
skos:broader scopanum-th:radioprotection .

scopanum-th:evacuation a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Evacuation"@en ;
skos:prefLabel "Évacuation"@fr ;
skos:hiddenLabel "évacu"@fr ;
skos:broader scopanum-th:radioprotection .

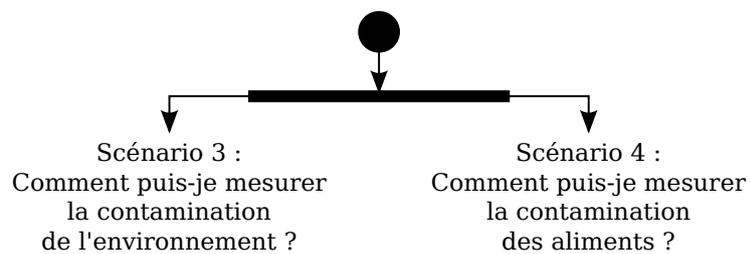
scopanum-th:culture_radioprotection a skos:Concept ;
skos:prefLabel "Radiation safety culture"@en ;
skos:prefLabel "Culture de la radioprotection"@fr ;
skos:hiddenLabel "cultur radioprotect"@fr ;
skos:broader scopanum-th:radioprotection .
```

B.2 Scénarios et documents

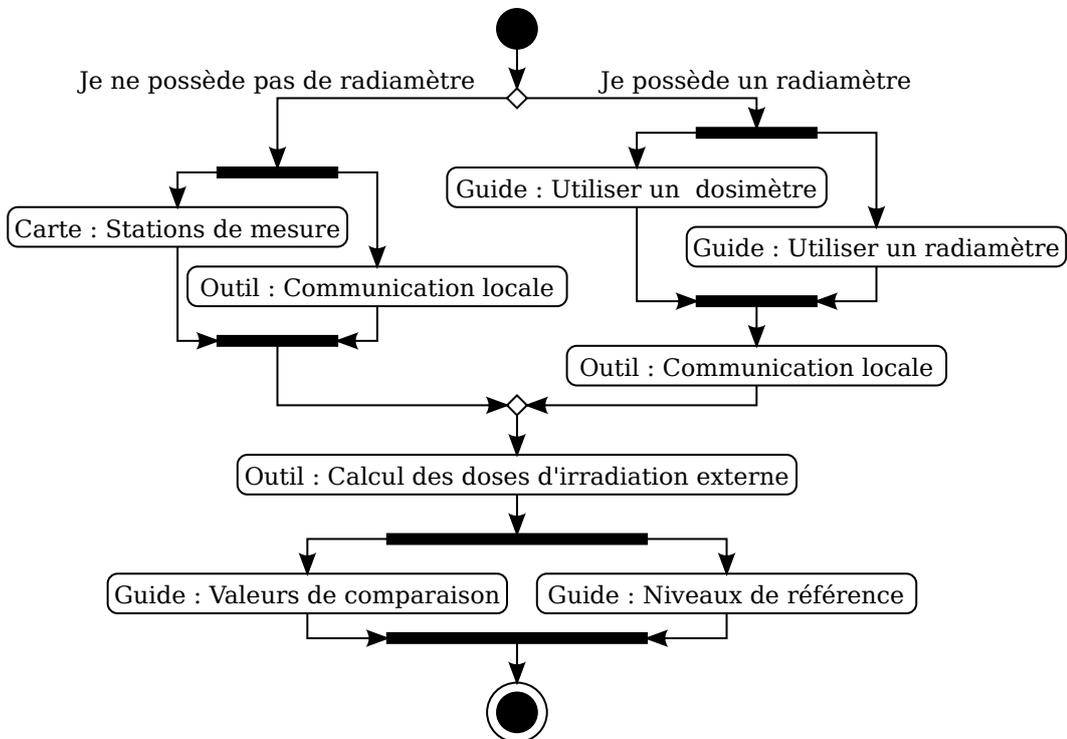
1. Mon environnement est-il contaminé ?



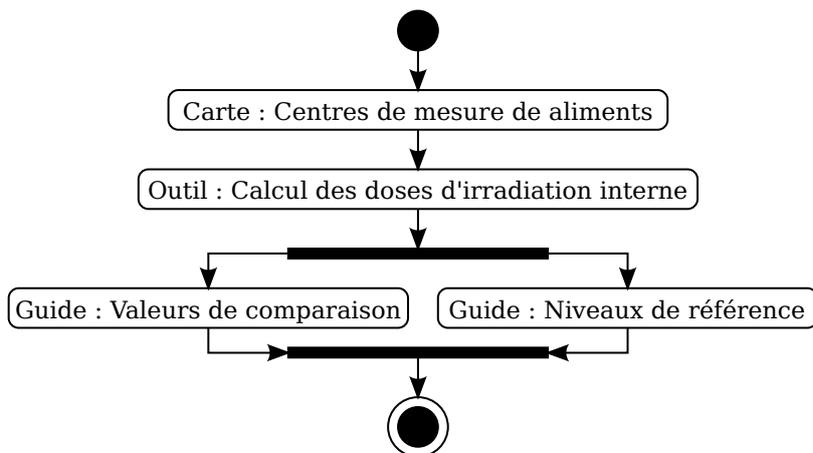
2. Comment suis-je exposé ?



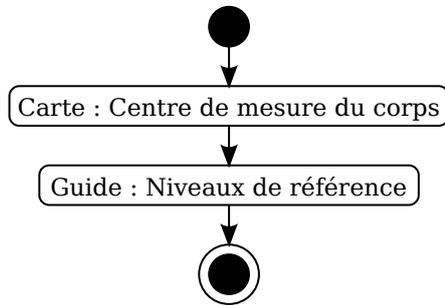
3. Comment puis-je mesurer la contamination de l'environnement ?



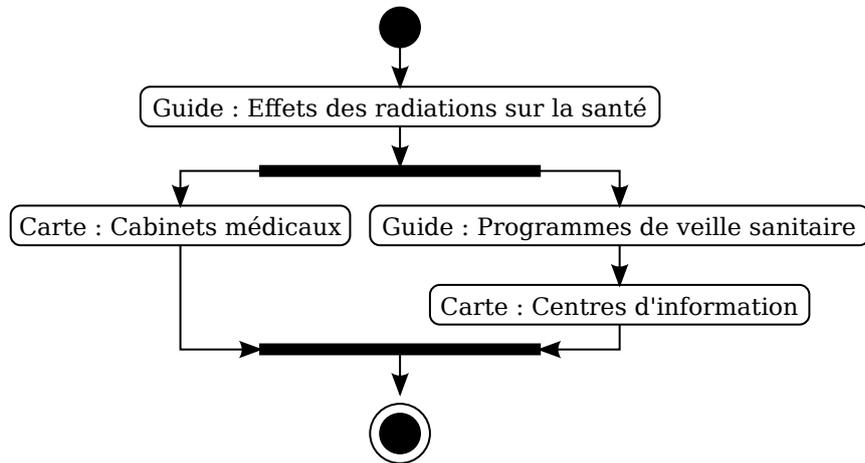
4. Comment puis-je mesurer la contamination des aliments ?



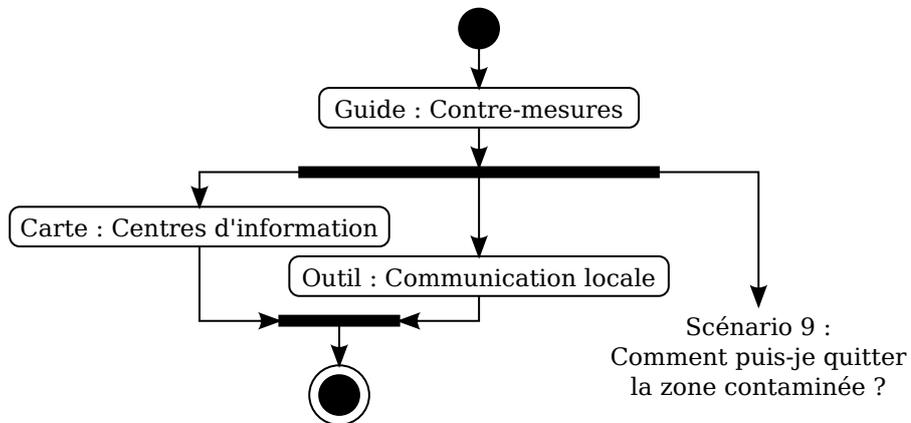
5. Suis-je contaminé ?



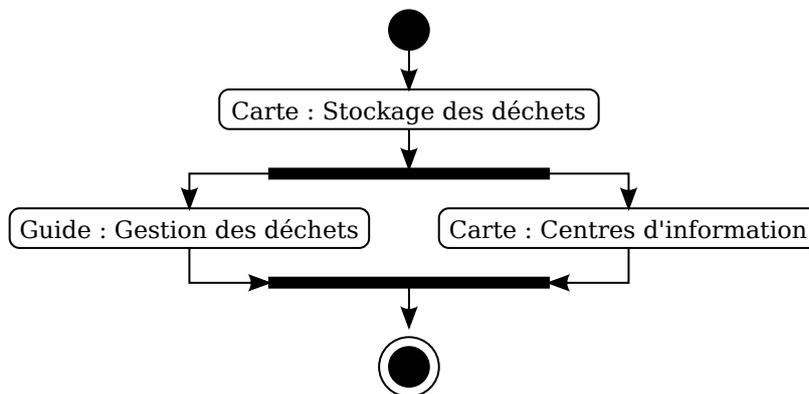
6. Ma santé est-elle affectée par la radioactivité ?



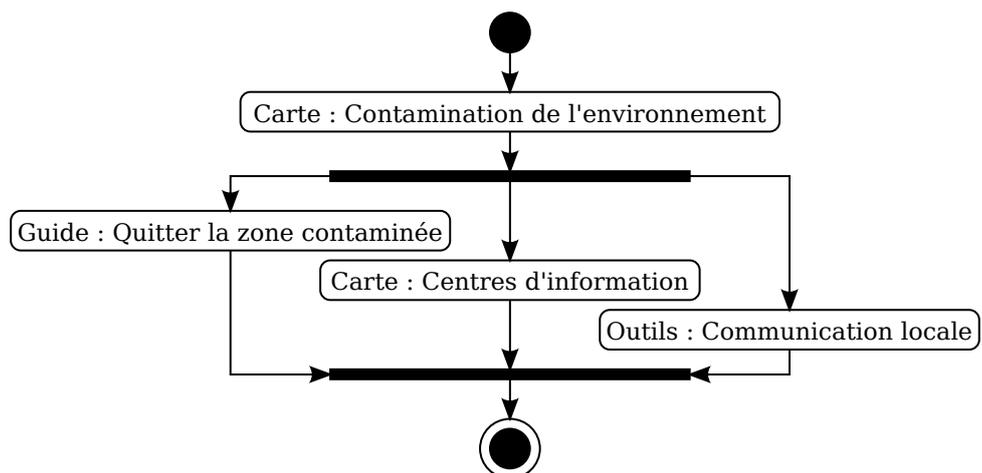
7. Comment puis-je me protéger ?



8. Comme puis-je gérer les déchets contaminés ?



9. Comment puis-je quitter la zone contaminée ?



B.3 Pages du guide

B.3.1 Contamination de l'environnement

Après un accident radiologique ou nucléaire, en cas de rejet de substances radioactives, ces substances se **dispersent** dans l'air. Plus rarement, elles se **dispersent** dans l'eau, c'est le cas de rejets liquides. Pendant la phase de **rejet** et jusqu'à dissipation complète du **panache radioactif** provoqué par l'accident, une partie des radionucléides se dépose au sol sous formes d' **aérosols** (i.e. fines particules) ou de **gaz solubles** dans l'eau (e.g. Iode). Le dépôt suit deux processus complémentaires : le **dépôt sec** et le **dépôt humide**. Ce dernier se réalise uniquement si des précipitations - pluie, neige, brouillard, embruns portés par le vent, etc. - ont lieu.

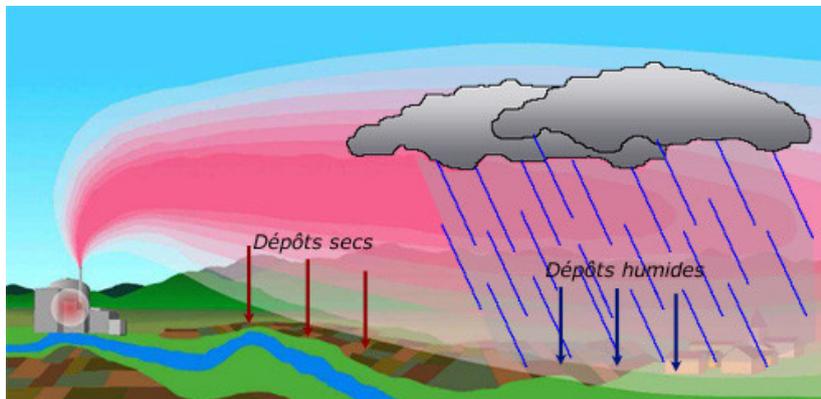


Schéma illustrant la formation de deux types de dépôts (secs & humides) lors de la dispersion atmosphérique d'un panache de rejets radioactifs

Dépôt sec

Le **dépôt sec** se forme aussi bien à l'extérieur qu'à l'intérieur des bâtiments. Les bâtiments sont en effet le siège de dépôts secs lors de rejets radioactifs prolongés, ou lorsque ces derniers ne sont pas ou trop peu confinés (e.g. ventilation ou climatisation maintenue, portes ou fenêtres ouvertes).

L'importance du dépôt sec dépend de plusieurs facteurs :

- la concentration des aérosols radioactifs dans l'air au niveau du sol ;
- la durée de la contamination de l'air au contact du sol ;
- la vitesse de dépôt au sol, elle-même liée à l'état de turbulence de l'air, à la taille des aérosols et aux caractéristiques des surfaces recevant le dépôt.

Plus les objets au sol ont une surface importante, comme par exemple dans une forêt, plus le dépôt sec est important.

Dépôt humide

Le **dépôt humide** survient en cas de précipitations de plus de 5 mm. Les gouttes de pluie ou les flocons de neige lessivent les particules radioactives et gaz solubles de l'air. Elles les ramènent au sol, ce qui entraîne alors un dépôt beaucoup plus intense que le dépôt sec.

L'importance du dépôt humide varie cependant en fonction de l'efficacité du lessivage par la pluie/neige et de la hauteur des précipitations. Cela explique la forte hétérogénéité des dépôts et la formation de « **taches** » de contamination, même à grande distance du point de rejet, correspondant à de fortes précipitations locales, nommé « points chauds ».

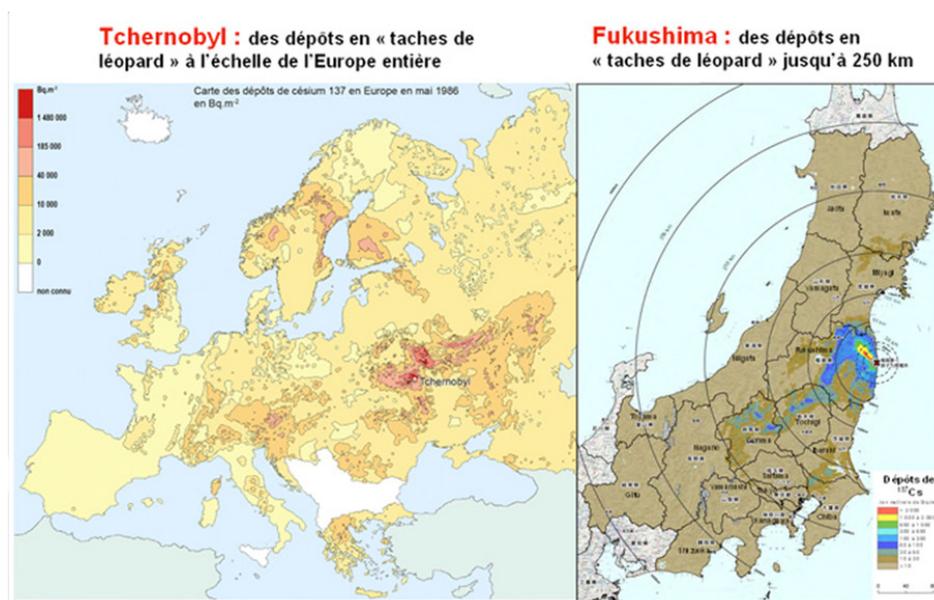


Schéma illustrant, les dépôts en « taches de léopard » à très longues distance, après les accidents de Tchernobyl (1986) et Fukushima (2011).

Deux paramètres décrivent les dépôts radioactifs :

- l'**activité déposée** au cours des rejets, exprimée en $Bq.m^{-2}$, (becquerel par mètre-carré) correspondant **au cumul des retombées dans l'atmosphère du dépôt sec et humide par unité de surface.**
- le **dépôt rémanent** à un instant donné, également exprimé en $Bq.m^{-2}$, correspondant à l'**activité totale des dépôts persistants à un instant donné**

par **unité de surface**. Cette activité peut être superficielle, fixée ou labile, ou peut avoir migré en profondeur, dans les sols meubles notamment. **Le dépôt rémanent détermine l'importance des conséquences post-accidentelles dans la durée.**

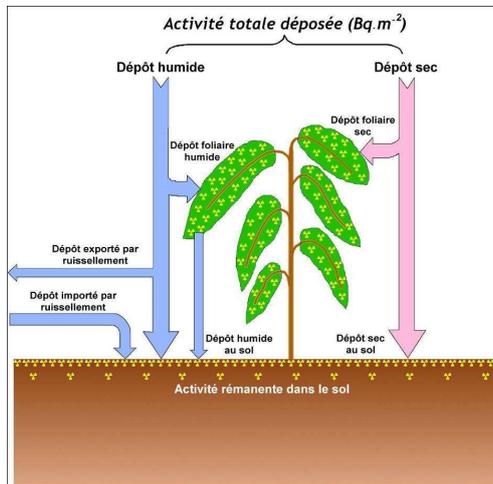


Schéma illustrant, de façon qualitative, les principaux phénomènes impliqués dans la formation d'un dépôt sur un sol et son couvert végétal.

Sources

- Texte : CODIRPA - Évaluation des conséquences radiologiques et dosimétriques en situation post- Rapport du GT 3.
- Illustrations : IRSN, laradioactivite.com, ENSEEIHT

B.3.2 Contre-mesures

En situation post-accidentelle, l'exposition totale d'un individu aux rayonnements ionisants se fait selon deux modes principaux :

- l'exposition interne due à l'**ingestion de denrées contaminées** ;
- l'exposition externe due **aux rayonnements de certains radionucléides**.

En Biélorussie, compte-tenu des habitudes alimentaires des habitants des territoires contaminés, c'est la voie d'exposition par ingestion qui reste prépondérante 30 ans après l'accident de Tchernobyl. Au contraire, au Japon c'est l'exposition externe qui constitue la quasi-totalité de la dose reçue par les populations, 5 ans après l'accident de Fukushima.

Des actions – appelées **contre-mesures** – adaptées doivent donc être menées pour réduire au maximum ces deux voies d'exposition, et ce, le plus tôt possible puis, sur le long-terme.

Les contre-mesures d'urgence

Parmi les premières mesures lancées pour réduire les sources d'exposition, celles portant sur la **voie alimentaire** visent d'abord à réduire l'exposition à l'iode radioactif de période courte. Ainsi, en France, au sein des zones définies par les autorités (ZPP & ZST), des interdictions systématiques de consommation et de commercialisation sont lancées, pour une durée d'au moins un mois, et prorogées en fonction des analyses radiologiques. Ces interdictions visent notamment :

- les productions agricoles ;
- les denrées alimentaires sans protection hermétique ;
- les denrées alimentaires issues des potagers et vergers privés, ainsi que les élevages familiaux ;
- les produits de la chasse, de la pêche et de la cueillette.

Le dépôt de radionucléides au niveau de différentes surfaces (sols, toits, murs, routes, etc) constitue la principale source d'exposition externe. Il faut donc procéder au plus tôt à la **décontamination** des lieux de vie et de passage. Cela consiste essentiellement à gratter et retirer ou retourner (labour profond) la partie supérieure des sols, et à nettoyer les surfaces avec de l'eau.



Exemples d'actions de décontamination

Les contre-mesures sur le long terme

Après la phase d'urgence, les contre-mesures se poursuivent sur le long terme, notamment pour réduire les expositions aux césiums et strontiums radioactifs dont les périodes (demi-vies) sont de 30 ans.

Concernant les denrées alimentaires, leur consommation et leur commercialisation sont ré-autorisées si les niveaux de contamination sont contrôlés et restent inférieurs aux **Niveaux de Référence** (NMA) établis par les autorités.

Ainsi, pour permettre d'améliorer la qualité radiologique des denrées, et préserver les ressources de production agricole, différentes contre-mesures peuvent être engagées dans le temps, parmi lesquelles on peut citer :

- l'amendement des sols (engrais potassiques, chaulage, etc.) ;
- la reconversion des exploitations agricoles (ex. colza pour le biocarburant plutôt que céréales alimentaires, élevage à viande plutôt qu'élevage laitier, etc.) ;
- l'utilisation de produits chimique chélateurs (ex. bleu de Prusse) dans l'alimentation du bétail ;
- la mise en quarantaine et la distribution de fourrage « propre » au bétail avant abattage.

La transformation de certains aliments peut également réduire la contamination, comme par exemple : la transformation du lait en beurre, qui élimine 50 à 98% de l'activité du césium 137 et du strontium 90.

Certaines préparations des denrées avant leur consommation peuvent également être efficaces. À titre d'exemple, le tableau suivant présente différents modes de préparation des champignons et la réduction de contamination associée au césium 137.

Mode de préparation des champignons	% de réduction de la concentration en Césium 137
Pelés et lavés	40%
Portés à ébullition	10-30%
Marinés	10%

Enfin, certaines activités de plein air non indispensables (chasse, pêche, jardins potagers) peuvent également être réduites voire rester interdites au sein des zones contaminées.

Sources

- Texte : CODIRPA – Synthèse du rapport du groupe de travail n.2 « Alimentation, agriculture, vie dans les territoire ruraux » / IRSN – Accident de la centrale nucléaire de Fukushima Dai-Ichi « Décontamination et gestion des déchets » / P. CROUAIL – La gestion des aliments contaminés, Panel PREPARE « consommateurs »
- Illustration : IRSN

B.3.3 Effets de l'irradiation sur la santé

Lorsqu'ils traversent l'organisme, les rayonnements ionisants provoquent **des lésions au sein des cellules** et il les endommagent. Si les processus naturels ne suffisent pas à réparer les cellules endommagées, celles-ci ne peuvent pas survivre, se reproduire ou remplir leurs fonctions de manière normale. Les conséquences sur la santé sont alors **variables**, souvent **graves**, parfois **mortelles** (par exemple, brûlures, nécroses, stérilité, leucémie, cancers).

On différencie les risques associés aux rayonnements ionisants en fonction de la réponse biologique : les **effets** dits **déterministes** (immédiats) et les **effets** dits **stochastiques** (aléatoires, à long terme).

Effets déterministes

Les effets déterministes sont issus de l'altération d'un tissu ou d'un organe du corps humain. En fonction de la dose absorbée et de l'organe touché, le temps de latence, c'est-à-dire le délai d'apparition des symptômes, est compris entre quelques heures (par exemple les brûlures) et quelques mois voire quelques années (par exemple pour la cataracte).

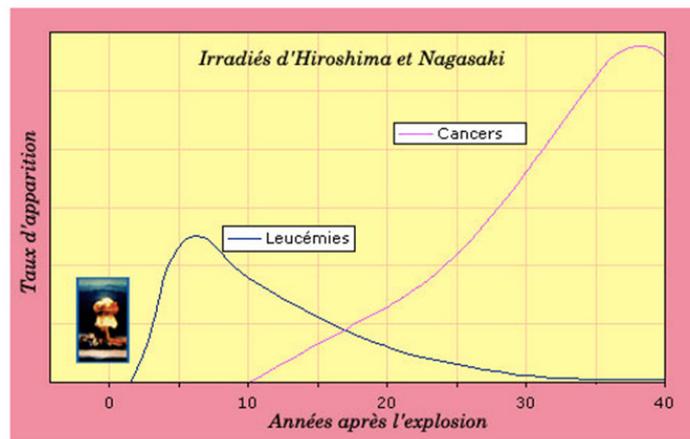
Les effets déterministes apparaissent systématiquement au dessus d'un certain seuil de dose (et n'apparaissent pas en dessous de ce seuil). De plus, **la gravité des effets augmente avec la dose reçue.**

Dose (en Gy)	1	5	10	20	50
Atteinte de la peau	ROUGEURS BRULURES NECROSE				
Atteinte des gonades	TEMPO PROLONGEE IRREVERSIBLE <i>Chez l'homme</i> TEMPORAIRE PROLONGEE <i>Chez la femme</i>				
Atteinte du cristallin	CATARACTE				

Les différents effets d'une irradiation aiguë à dose croissante (en Gray, Gy) en fonction des organes exposés

Effets stochastiques

Les **effets stochastiques** sont associés à des doses plus ou moins élevées de rayonnements ionisants. Les conséquences sur la santé se révèlent le plus souvent sous forme de cancers, de leucémies, ou de modification génétiques. **Ces effets apparaissent longtemps après l'exposition** : 5 à 10 ans pour les leucémies, 20 à 50 ans pour les cancers.



Représentation en fonction du temps du taux d'apparition de leucémies et de cancers suite aux explosions d'Hiroshima et de Nagasaki

Si la gravité des effets stochastiques est indépendante de la dose reçue, leur fréquence d'apparition y est quant à elle reliée. En application du principe de précaution, les organismes de contrôle considèrent que la relation entre la fréquence d'apparition de ces effets et la dose est linéaire (proportionnelle) et sans seuil (il n'existe pas de seuil de dose en-dessous duquel aucun effet n'apparaîtra à long terme).

Sources

- Texte : EC SAGE Project - Guidance on Practical Radiation Protection for People Living in Long-Term Contaminated Territories / IRSN / laradioactivite.com / mesure-radioactivite.fr / C. JIMONET & H. MÉTIVIER – Principes de radioprotection – réglementation.
- Illustrations : IRSN / laradioactivite.com

B.3.4 Évolution de la contamination

La contamination radioactive de l'environnement est un phénomène qui évolue au cours du temps en fonction de nombreux paramètres, qui sont responsables des variations importantes du niveau de contamination d'un territoire et de ses habitants. Autrement dit, **la contamination radioactive de l'environnement est un processus évolutif, multifactoriel, souvent imprévisible**. Il est donc nécessaire de mesurer périodiquement l'état radiologique d'un territoire et de ses habitants afin de monitorer les évolutions et les tendances de la contamination.

Exemple de variations de contamination au sein de denrées alimentaires

Le tableau ci-dessous présente les niveaux de contamination mesurés (valeurs maximales annuelles) au sein de deux villages voisins en Biélorussie, entre 2004 et 2006, sur plusieurs échantillons de lait de vache, de fourrage (herbes de prairies), de champignons et de pommes de terres, collectés chaque année aux mêmes endroits.

		Maximum d'activité mesuré (Bq/kg ou Bq/L)		
		2004	2005	2006
Lait de vache	village 1	150	↗ 200	↘ 100
	village 2	60	→ 60	↗↗ 400
Fourrage	village 1	-	1800	↘↘↘ 100
	village 2	-	1000	↗↗ 6000
Champignons (séchés)	village 1	8200	↘↘ 1200	↗↗↗ 98000
	village 2	-	45000	↘ 37000
Pommes de terre	village 1	1000	↘↘↘ 30	→ 30
	village 2	-	20	→ 20

Niveaux de contamination mesurés de 2004 à 2006 au sein de différentes denrées alimentaires

Les résultats montrent la variation des niveaux de contamination radioactive au cours du temps. Par exemple pour les champignons du village 1, la contamination est divisée d'un facteur 7 entre 2004 et 2005, puis multipliée d'un facteur de plus de 80 l'année suivante.

Pour un même village (village 1 par exemple), on observe la même année une forte augmentation de la contamination radioactive pour un produit, une baisse sensible pour un autre (champignons secs vs. fourrage en 2006). La contamination de l'environnement évolue donc considérablement au cours du temps, suivant des variations en « dents de scie ».

Une contamination de l'environnement en évolution perpétuelle

La décroissance radioactive¹ n'est pas le seul phénomène expliquant ces variations puisque des phénomènes de reconcentration ou de dilution de la contamination sont observés.

1. Diminution régulière de l'activité radioactive d'un isotope au cours du temps selon une loi mathématique connue.

Il faut considérer les **phénomènes météorologiques** (e.g. fortes pluies, épisodes neigeux, inondations, sécheresse, etc.) qui peuvent remobiliser les dépôts radioactifs des sols, les déplacer et ainsi provoquer de nouveaux « points chauds », c'est-à-dire des endroits fortement contaminés. De même, les **activités humaines**, comme les contre-mesures agricoles ou de décontamination, déplacent les éléments radioactifs qui peuvent aussi conduire à la création de nouveaux points chauds au cas où le confinement de leur stockage ne serait pas efficace.

Les difficultés à anticiper l'évolution des niveaux de contamination des populations

La mesure de la contamination des habitants (contamination interne) est également nécessaire. Dans les zones des deux villages biélorusses cités précédemment, le niveau de contamination de 2500 enfants a été mesuré (au césium 137), deux fois par an, au printemps et à l'automne, pendant trois ans.

Les résultats sont présentés au sein du tableau suivant.

Saison de la mesure anthroporadiométrique (corps entier, Cs137)	Moyenne (Bq/kg)	Maximum (Bq/kg)	Nombre d'enfants >50 Bq/kg	Nombre d'enfants >100 Bq/kg
Printemps 2004	27	2056	78	17
Automne 2004	32	↗ 2658	↗↗ 249	↗↗ 64
Printemps 2005	29	↘↘↘ 259	↘ 134	↘↘ 18
Automne 2005	24	↘ 190	↘ 109	↘ 12
Printemps 2006	25	↘ 168	↘↘ 50	↘↘ 4
Automne 2006	31	↗↗ 982	↗↗↗ 242	↗↗↗ 43

Niveaux de contamination interne mesurés chez 2005 enfants de 2004 à 2006

Les valeurs moyennes de la contamination interne paraissent globalement homogènes d'une année sur l'autre (voir colonne « Moyenne », entre 24 et 32 Bq/kg). Toutefois, l'étude des valeurs extrêmes (Maximum, Nombre d'enfants dont la contamination est supérieure à 50 ou à 100 Bq/kg), témoigne de l'importante variation de la contamination interne à 6 mois d'intervalle. Ainsi, par exemple, entre le printemps et l'automne 2004, le nombre d'enfants contaminés à plus de 100 Bq/kg est multiplié par 4, puis est ensuite divisé par 3,5 au printemps 2005, pour être de nouveau multiplié par plus de 10 à l'automne 2006.

La comparaison des deux tableaux ne montre aucun lien évident de causalité. Ainsi, la hausse de contamination du lait de vache en 2005 ne provoque pas de hausse de la

contamination interne chez les enfants. En effet, les familles ont suivi les procédures de radioprotection, notamment en privilégiant l'alimentation des enfants par du lait du commerce plutôt que par du lait tiré des vaches locales. De même, on observe une forte hausse de la contamination des enfants à l'automne 2006, qui est certainement due à la consommation élevée de champignons très contaminés.

Les mesures de terrain ne permettent pas toujours d'anticiper les niveaux de contamination des populations et leur évolution. Il convient donc d'effectuer en parallèle et régulièrement des mesures des expositions internes de la population.

Sachant qu'il est fréquent de mesurer des différences importantes dans les niveaux de contamination interne des personnes au sein d'un même village, voire, d'une même famille, le suivi et l'interprétation de la contamination interne doit donc se faire de manière individuelle et non via des valeurs agrégées ou moyennes.

B.3.5 Gestion des déchets

La gestion des déchets en phase post-accidentelle d'un accident nucléaire est un élément clé dans l'administration du territoire contaminé et la protection de ses populations. Très différents des déchets nucléaires gérés habituellement, que ce soit par leur nature et le volume qu'ils représentent, les déchets produits en phase accidentelle nécessitent une gestion particulière.

Quels sont ces déchets ?

Les contre-mesures mises en place dans le cadre de la décontamination (nettoyage du bâti, retrait de la partie supérieure des sols, lavage des surfaces, etc) ou dans le cadre de la gestion de la production agricole (élimination des denrées alimentaires, abatage du bétail, etc) génèrent des **déchets souvent putrescibles** qui peuvent atteindre des **quantités et des volumes très importants**. Toutefois, les **niveaux d'activités radioactives** de ces déchets **restent relativement faibles**.

Les grands principes de gestion à mettre en œuvre

Pour les déchets post-accidentels, l'ASN recommande de limiter leur impact potentiel sur le public en privilégiant leur gestion, leur confinement et leur stockage **au sein des zones contaminées**. L'ASN recommande également de traiter ces déchets en fonction de la **zone dont ils proviennent** (ZPP, ZST), **de leur nature** (putrescible ou non) et **de leur niveau de contamination**. D'une manière générale, 4 grands modes de gestion se distinguent :

- **Le traitement conventionnel** pour les déchets non contaminés ou présentant une contamination négligeable ou nulle.
- **Le compostage** pour les déchets putrescibles issus des productions agricoles non consommables ou non commercialisables dont les niveaux de contamination sont faibles, mais les volumes importants. L'épandage est également autorisé, mais uniquement au sein des zones contaminées .
- **Le traitement spécialisé** (si existence dans la zone contaminée) ou l'entreposage temporaire pour les déchets les plus contaminés.

Du fait de la collecte à la fois d'eaux de pluie contaminées, et d'eaux usées issues du lavage des lieux de vie pour décontamination, les boues de stations d'épuration concentrent la radioactivité. L'épandage de ces boues est donc interdit. Ces boues doivent être gérées au sein de filières spécialisées.

À l'échelle du particulier

À l'échelle du particulier, la gestion des déchets contaminés implique **le tri** de ces derniers en fonction de leur nature (putrescibles ou non), **leur conditionnement au sein d'emballages hermétiques** (sac plastique) et l'attente de leur prise en charge par les autorités compétentes. Lors de la phase de post-accident, il est par ailleurs interdit de brûler les déchets verts à l'air libre, ou de réaliser du compostage privatif.

Retour d'expérience de la centrale de Fukushima

À ce jour, les déchets liés à l'assainissement des territoires contaminés par l'accident de Fukushima sont estimés entre 28 à 55 millions de mètres cubes. Ces derniers sont essentiellement répartis au sein d'entrepôts municipaux temporaires de taille variable. Le Japon a prévu de regrouper les millions de sacs contenant les déchets les plus contaminés dans un centre d'entreposage temporaire (ISF) géant de 16 km² situé sur les communes de Futaba et Okuma. Ils devraient y rester pendant 30 ans avant d'être redirigés vers un site de stockage définitif.



Exemple d'entreposage temporaire au Japon

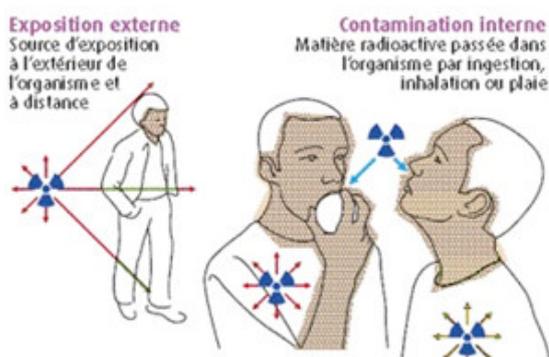
Sources

- Texte : CODIRPA – Synthèse du rapport du groupe de travail n.6 Résumé d la doctrine de gestion des déchets en phase post-accidentelle » / IRSN – Accident de la centrale nucléaire de Fukushima Dai-Ichi « Décontamination et gestion des déchets »
- Illustration : IRSN

B.3.6 Irradiations externe et interne

La **dose d'exposition globale** résulte de la somme de deux processus distincts d'**irradiation** : l'irradiation **externe** et l'irradiation **interne**.

L'irradiation externe



Les différentes voies d'exposition du corps humain

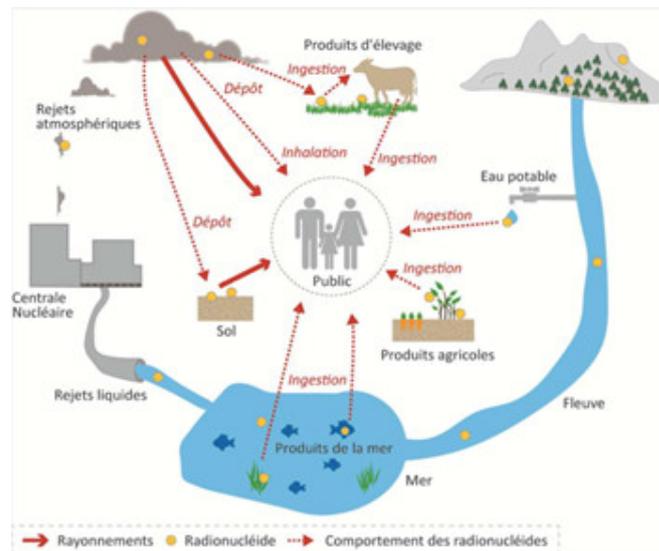
Il s'agit d'une exposition aux rayonnements présents dans l'environnement (air, sol) qui **irradie** l'individu **à distance**, **sans contact direct** avec la source radioactive. L'irradiation externe d'un individu concerne le plus souvent **tout l'organisme**. L'irradiation diminue très fortement voire cesse lorsque on s'éloigne suffisamment de la source radioactive. Le plus souvent, elle diminue avec le temps (par décroissance radioactive, migration des radionucléides dans les sols, dilution, lessivage, etc.) mais peut dans certains cas augmenter (e.g. phénomènes de concentration des radionucléides).

L'irradiation interne

Lors d'une irradiation interne, **des éléments radioactifs pénètrent à l'intérieur de l'organisme**, après **ingestion**, **inhalation**, ou encore **contact cutané** (sur une plaie ou blessure).

Certains organes ou tissus pourront être davantage exposés et affectés en fonction de la voie d'exposition et du radionucléide auquel la personne est exposée : par exemple, les os pour le strontium 90 ingéré, la thyroïde pour l'iode 131 inhalé, etc. L'irradiation interne se poursuit au-delà de l'incorporation du contaminant. Elle diminue au cours du temps, en fonction de la **décroissance radioactive** et de l'**élimination biologique** par les voies naturelles. La vitesse d'élimination biologique varie alors de manière individuelle (e.g. âge, poids, masse musculaire). À titre d'exemple, pour une contamination unique au césium 137, chez un enfant de moins de 5 ans, il ne reste plus que 5% du césium après trois mois environ alors que pour un adulte, il faut attendre plus d'un an.

L'importance relative de l'irradiation externe et de l'irradiation interne varie en fonction des radionucléides dispersés. Ainsi par exemple, le césium 137 contribue à l'irradiation externe via les dépôts au sol, mais aussi à l'irradiation interne par transfert dans le lait. L'iode 131 ou le strontium 90, ont quant à eux pour voie prédominante l'irradiation interne (fixation respective sur la thyroïde et les os). Mais cette contribution relative dépend aussi des pratiques humaines (notamment agricoles et alimentaires) et de l'environnement (e.g. géographie, géologie, météorologie) des zones contaminées.



Présentation des voies d'exposition après l'accident de la centrale nucléaire de Fukushima Daiichi

Sources

- Texte : EC SAGE Project - Guidance on Practical Radiation Protection for People Living in Long-Term Contaminated Territories / IRSN / laradioactive.com

- Illustrations : AST74 / AIEA – L'accident de Fukushima Daiichi, rapport du directeur général.

B.3.7 Niveaux de référence

À l'heure actuelle, en-dessous d'une dose efficace d'environ 50 mSv, les études n'établissent pas de relation directe entre dose de rayonnements reçue et risque de développement de pathologie à long terme (e.g. cancer). Cependant, par précaution et en l'absence de certitudes scientifiques, des valeurs réglementaires (**limites d'exposition**) sont établies en supposant une proportionnalité entre la dose reçue et les effets radio-induits attendus (« **relation linéaire et sans seuil** »). Limites d'exposition en vigueur

En ce qui concerne les doses équivalentes (tissus ou organes cibles), on rencontre les limites d'exposition suivantes :

Quant aux doses efficaces (corps entier), la **dose limite pour le public est aujourd'hui de 1 mSv/an en situation normale d'exposition**, hors expositions médicales et radioactivité naturelle. Pour ce qui concerne **les travailleurs spécialisés, la limite est fixée à 20 mSv sur 12 mois consécutifs**.

À noter que les limites réglementaires ne sont pas des seuils au-delà desquels un danger est avéré ou envisageable. On considère en effet **qu'une dose de 1 Sv (1000 mSv) représente un risque moyen de cancer mortel d'environ 5%**. En adoptant la loi de linéarité sans seuil, une dose de 1 mSv représenterait donc un sur-risque de décès par cancer de 0,005%.

Niveaux de références

En situation d'exposition post-accidentelle, on peut mettre en œuvre des stratégies progressives par le biais de **niveaux de référence** supérieurs aux limites d'exposition en situations normales (i.e. 1 mSv/an). La CIPR admet ainsi des niveaux de référence pouvant aller de **1 à 20 mSv/an** en situation post-accidentelle. L'objectif est bien entendu de retrouver, à terme, des niveaux d'exposition comparables à ceux de situations normales.

Ainsi, dans le cas des territoires contaminés par l'accident de Fukushima, le niveau de référence a été placé à 20 mSv/an (au-delà de cette dose annuelle, le territoire est évacué), avec l'objectif d'atteindre 1 mSv/an sur le long terme. En découle alors des **niveaux de référence dérivés**, exprimés en débit de dose ($\mu\text{Sv/h}$), dont la mesure instantanée permet de juger de l'état de contamination du territoire.

Niveau de référence (mSv/an)	Niveau de référence dérivé ($\mu\text{Sv/h}$)
20 mSv/an	3,8 $\mu\text{Sv/h}$
1 mSv/an	0,23 $\mu\text{Sv/h}$

Dans le même esprit, des **niveaux maximaux admissibles** (NMA) sont définis pour la gestion (production, consommation, commercialisation) des **aliments** potentiellement contaminés. Il s'agit de valeurs (en Bq/kg ou Bq/L) déterminées en fonction d'un objectif dosimétrique à ne pas dépasser pour la contamination par ingestion et d'un régime alimentaire annuel moyen pour le consommateur de ces denrées. A titre d'exemple, le tableau ci-dessous présente des valeurs de NMA relatifs aux aliments contaminés par du césium, qui sont actuellement en vigueur depuis les accidents de Tchernobyl et de Fukushima.

Aliment contaminé par du Césium	Japon - Post Fukushima depuis avril 2012 et [valeur 2011] (Bq/kg)	Bélarus - Post-Tchernobyl depuis 2006 et [valeur 1990 ex-URSS] (Bq/kg)
Aliments pour nourrissons	50 [n.d.]	37 [n.d.]
Viande	100 [500]	180 [592]
Poisson	100 [500]	150 [592]
Lait	50 [200]	100 [185]
Eau	10 [200]	10 [19]

La contamination (dose) par ingestion dépend du niveau de contamination de l'ensemble des aliments consommés, du mode de préparation culinaire de ces aliments, du régime individuel alimentaire réel et de la physiologie (taille, poids, âge, sexe, etc.) de chaque individu. Pour un adulte, on considère généralement que l'ingestion annuelle de 80000 Bq (césium 137) représente une dose efficace de 1 mSv.

Dans chaque situation particulière d'exposition (e.g. importation de produits issus d'un pays touché, production et consommation sur le territoire affecté) et pour chaque radionucléide (césium, iode, strontium, plutonium, américium, etc) des NMA spécifiques doivent être établis pour les différentes denrées alimentaires. Ils peuvent aussi évoluer au cours du temps, notamment en fonction de l'évolution de l'objectif dosimétrique fixé par les autorités compétentes.

Sources

- Texte : laradioactivité.com / ASN - Grandeurs et unités en radioprotection / IRSN / A. SUGIER – Les nouvelles recommandations de la CIPR / P. CROÛAIL – La gestion des Aliments contaminés, Panel PREPARE « consommateurs »

- Illustration : ASN - Grandeurs et unités en radioprotection

B.3.8 Programmes de surveillance sanitaire

Un accident ayant généré des rejets de substances radioactives dans l'environnement présente des enjeux sanitaires forts auxquels il convient de répondre au plus tôt. On distingue deux axes majeurs de gestion post-accidentelle :

- La **prise en charge médicale** des populations exposées, dès que possible ;
- L'**analyse des risques** associés à l'accident, à court et long termes.

Prise en charge médicale et psychologique

À court terme, la prise en charge médicale de la population s'organise sur 4 volets essentiels.

- Le **dépistage des dysfonctionnements thyroïdiens** liés soit à l'exposition au panache radioactif pendant la phase de rejets (iodes radioactifs), soit aux effets secondaires dus à la prise de comprimé d'iode stable, via un système de surveillance spécifique. Le suivi biologique de la fonction thyroïdienne des nouveaux nés, nourrissons et personnes ayant une pathologie thyroïdienne est également recommandé.
- Les **mesures de contamination interne** (anthroporadiométries thyroïdienne et thoracique) pour une bonne estimation des doses reçues par la population et la mise en place d'un suivi médical approprié. Ces mesures sont réalisées en priorité sur les personnes jugées sensibles : femmes enceintes, enfants, personnes à forte souffrance psychologique nécessitant d'être rassurées, etc.
- Le **soutien psychologique**. L'accident nucléaire, la contamination de l'environnement voire l'éloignement temporaire ou définitif des populations de leurs habitations causent des traumatismes psychologiques et génèrent un stress (de nature post-traumatique) qu'il faut donc suivre et tenter de réduire avant l'altération physique et/ou mentale des victimes.
- La **transmission d'informations** au moyen notamment des **centres d'accueil et d'information** (CAI). Ces centres ont pour rôle d'apporter des informations sur l'accident, sur l'état de contamination de l'environnement, les mesures de radioprotection à mettre en œuvre, etc.

La surveillance sanitaire à plus long terme

Les doses susceptibles d'être reçues par la population des territoires contaminés se situent à un niveau trop faible pour que des effets sur la santé soient observables à court terme. Toutefois, après l'accident de Tchernobyl on a observé une augmentation de certaines pathologies comme le cancer de la thyroïde, la cataracte, et probablement le cancer du sein, les maladies cardio-vasculaires, etc. Il convient donc de recueillir un maximum d'informations au plus tôt, qui pourront être exploitées ultérieurement, et permettront de prévenir l'apparition de pathologies à moyen et long termes. Cette prévention se réalise à partir de différentes actions parmi lesquelles on retrouve :

- Le **recensement de la population exposée**, permettant ainsi de connaître l'effectif des populations exposées, leur vulnérabilité (enfant, femmes enceintes, personnes âgées), et leur dose individuelle (via questionnaire ou mesure de contamination). Ce recensement sera également l'occasion de proposer un suivi médical individuel aux personnes exposées.
- Le **suivi épidémiologique** des populations exposées, fondé sur le suivi d'indicateurs tels que : l'incidence de cancers et autres maladies radio-induites ou non, la distribution des causes de décès, l'état de perturbation de la société (crimes, délits, toxicomanie), etc.
- L'**évaluation des expositions et des risques associés** prévoyant à long terme les impacts potentiels sur la santé. Ce qui permet d'optimiser le suivi médical des populations et les actions de radioprotection à mettre en œuvre par la suite.

Par ailleurs, les systèmes de surveillance médicale mis en place à la suite des accidents de Fukushima et de Tchernobyl ont montré qu'il est utile de maintenir, tant pour la réassurance des personnes exposées que pour l'évaluation des doses reçues sur le long terme, un double système de mesures basé sur la **distribution de dosimètres individuels** et une **anthroporadiométrie régulière** et ce, quels que soient les niveaux réels d'exposition (même s'ils sont nuls).

Source

- Texte : CODIRPA – Synthèse du rapport du groupe de travail n.4 « Réponse aux enjeux sanitaires après un accident radiologique »

B.3.9 Quitter la zone contaminée

À la suite d'un accident nucléaire, l'exposition potentielle des populations aux rejets radioactifs peut conduire les autorités compétentes à décider de leur mise à l'abri, leur éloignement temporaire et éventuellement, à plus long terme, de leur évacuation définitive du territoire contaminé.

Périmètre d'Éloignement et mesures d'accompagnement

À partir de modélisations prédictives des dépôts de la radioactivité au sol, une estimation des doses efficaces reçues (expositions externes et internes via ingestion et inhalation) est effectuée par l'Institut de Radioprotection et de Sûreté Nucléaire (IRSN). Ces estimations de dose permettent à l'Autorité de Sûreté Nucléaire (ASN) de définir un zonage évolutif, où des mesures spécifiques seront mises en place. On distingue trois types de zones :

- Le **Périmètre d'Éloignement** (PE) où l'exposition des populations aux rejets radioactifs est jugée trop importante pour le maintien de la population sur place : les doses efficaces y seraient **supérieures à 10 mSv/an** (sans prendre en compte la voie d'exposition par ingestion). Les résidents de cette zone devront quitter leurs domiciles provisoirement.
- 2 autres zones nommées **Zone de Protection des Populations** (ZPP) et **Zone de Surveillance renforcée du Territoire** (ZST) pour lesquelles cette fois-ci l'éloignement n'est pas préconisé. Des mesures visant à réduire aussi bas que raisonnablement possible l'exposition à la radioactivité ambiante et à l'ingestion de denrées contaminées des personnes y sont cependant mises en œuvre.



Exemple de zonage en cas d'accident nucléaire

Parmi les procédures d'accompagnement des victimes dans ces trois zones, on peut citer :

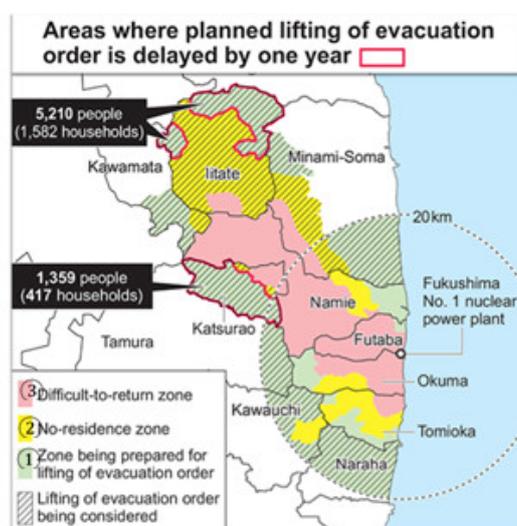
- Le relogement temporaire ou définitif lors de l'éloignement ou de l'évacuation forcée,
- Le suivi de la situation radiologique et l'information de la population sur l'état de l'environnement,
- Le suivi médical et le soutien psychologique des personnes,
- Le suivi de la qualité des produits et denrées alimentaires,
- L'indemnisation financière.

La réévaluation périodique de l'état de contamination du territoire pourra, ou non, donner lieu à des changements du zonage, qui présente donc des **périmètres évolutifs dans le temps**.

Retour d'expérience de la gestion post-accidentelle des territoires de Fukushima

Suite à l'accident de la centrale de Fukushima, les autorités japonaises ont mis en place un zonage pour l'éloignement des populations en prenant comme valeur de référence une dose efficace de 20 mSv/an (exposition externe). Réévalué périodiquement en fonction de la caractérisation radiologique (mesures de débits de dose), le zonage comprend aujourd'hui 3 zones :

- **ZONE 3- Zone interdite d'accès dans un rayon de 20 km autour de la centrale.** La dose reçue est supérieure à 50 mSv/an. Le retour des populations n'est actuellement pas envisagé, même à long terme.
- **ZONE 2 - Zone de résidence interdite.** La dose efficace reçue est à ce jour supérieure à 20 mSv/an. Le retour des populations est envisageable sur le long terme, après décontamination et décroissance radioactive.
- **ZONE 1 - Zone de préparation à la levée de l'ordre d'évacuation.** Après décontamination des lieux de vie, la dose reçue est susceptible d'être inférieure à 20 mSv/an. Le retour des riverains est envisageable à court/moyen terme.



Zones d'évacuation définies suite à l'accident de Fukushima (version 28/02/2014)

Au total, environ 80 000 personnes issues des zones 1, 2, 3 restent encore évacuées (en juillet 2015). Depuis 2014, des retours au sein des territoires évacués sont possibles dans quelques endroits et sous certaines conditions. Les personnes évacuées sont relogés et sont indemnisés tant pour la perte de leurs propriétés que pour les pertes économiques associées ainsi que le préjudice moral causé par l'éloignement.

Sources

- Texte : laradioactivité.com / ASN – La gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire / IRSN
- Illustration : IRSN

B.3.10 Unités de mesure de la radioactivité

La radioactivité se caractérise selon trois unités différentes : le Becquerel (Bq), le Gray (Gy) et le Sievert (Sv).

Le Becquerel (Bq) : unité de mesure de l'activité radioactive

Le **Becquerel** traduit le nombre de désintégrations de noyaux radioactifs par seconde, ce qui permet d'évaluer l'importance des émissions des rayonnements et donc l'**activité radioactive** de l'objet considéré. De manière à pouvoir comparer différentes sources radioactives, l'activité peut être rapportée à un volume (Bq/m³), une masse (Bq/kg), ou une surface (Bq/m²).

À titre d'exemple, voici quelques ordres de grandeur d'activité radioactive, d'origine naturelle ou artificielle :

RADIOACTIVITE D'ORIGINE NATURELLE	
<ul style="list-style-type: none"> — Eau de pluie : 0,5 Bq/L — Eau de mer : 13 Bq/L (^{40}K + U, ^3H, ^{87}Rb en traces) — Eaux minérales : jusqu'à 1 Bq/L (^{238}U, ^{228}Th, ^{226}Ra) 	Lait : 50 à 70 Bq/L (^{40}K)
Poisson : 100 Bq/kg (^{40}K)	Corps humain : environ 120 Bq/kg (^{40}K , ^{14}C , + ^{87}Rb et ^3H en traces)
Engrais phosphatés : 50 à 5000 Bq/kg (^{40}K) + 10 à 500 Bq/kg (^{226}Ra) + 500 à 1000 Bq/kg (U)	Terre granitique : 8 000 Bq/kg (^{238}U , ^{226}Ra)
RADIOACTIVITE D'ORIGINE ARTIFICIELLE	
Viande de rennes (zones norvégiennes contaminées par l'accident de Tchernobyl) : <ul style="list-style-type: none"> — 70000 Bq/kg (^{137}Cs) en moyenne en 1986 — jusqu'à 5000 Bq/kg (^{137}Cs) en 2015 	Lait : <ul style="list-style-type: none"> — Biélorussie, 2005 : 20 à 200 Bq/L (^{137}Cs) — France : 1 Bq/L (^{137}Cs) (accidents et retombées des essais nucléaires)
Champignons : <ul style="list-style-type: none"> — Biélorussie, 2005 : 1000 à 30000 Bq/kg (^{137}Cs) — France : 0 à 150 Bq/kg (^{137}Cs) — (accidents et retombées des essais nucléaires) 	Blé (France) : 0,1 à 1 Bq/kg (^{137}Cs) (accidents et retombées des essais nucléaires atmosphériques)
Pommes de terre (Biélorussie, 2005) : 1 à 50 Bq/kg (^{137}Cs , ^{90}Sr)	Corps humains (centre de la Norvège, population Samis) : <ul style="list-style-type: none"> — 280 Bq/kg (^{137}Cs) en 1987, — 50 Bq/kg (^{137}Cs) en 2010 (en moyenne avec de très fortes variations individuelles selon le sexe, l'âge, et le régime alimentaire)

Le Gray (Gy) : mesure de la dose absorbée

Le **Gray** quantifie la **dose absorbée**, c'est à dire la quantité d'énergie transmise par les rayonnements et ayant été absorbée par l'organisme. Cette unité est souvent utilisée dans le cas d'expositions importantes, provoquant des effets biologiques à court terme, (effets déterministes).

Deux expositions aboutissant à la même valeur de dose absorbée ne conduisent pas nécessairement aux mêmes conséquences biologiques, puisque le type et la nature du rayonnement, les conditions d'exposition et la sensibilité des organes entrent en jeu. On utilise donc deux autres grandeurs pour quantifier l'impact biologique des rayonnements ionisants : la dose équivalente et la dose efficace.

Le Sievert (Sv) : mesure de l'impact biologique

L'impact biologique des rayonnements sur l'organisme s'exprime en **Sievert**. Il s'agit de la valeur de dose absorbée (en Gray) ajustée en fonction du type de rayonnement.

On parle alors de **dose équivalente** pour l'impact biologique des rayonnements sur un tissu ou un organe en particulier, et de **dose efficace** dans le cas d'une exposition « corps entier ».

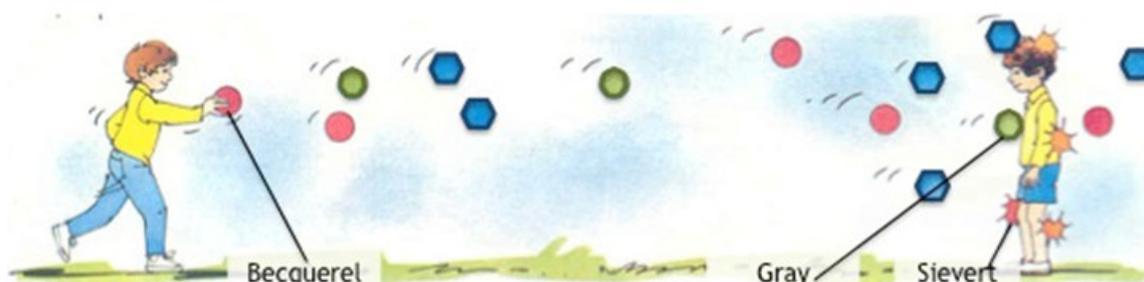


Schéma illustrant les unités de mesure de la radioactivité :

- Le nombre de balles lancées se compare au Becquerel ;
- Le nombre de balles reçues par le joueur est associé au Gray ;
- L'impact des balles (aux poids, tailles différents) sur le corps du joueur se compare au Sievert (effet produit différent selon la taille/ le poids de la balle reçue et l'endroit de l'impact)

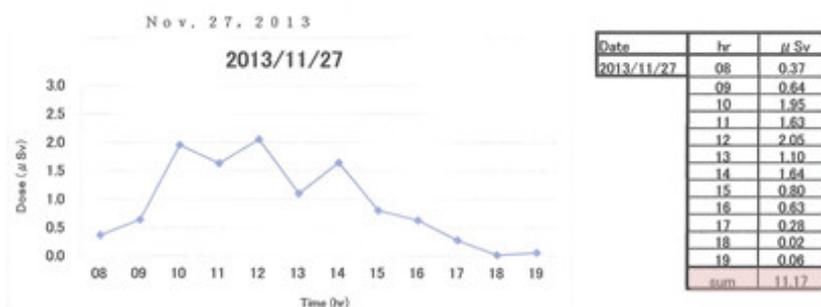
Sources

- Texte : laradioactivité.com / ASN - Grandeurs et unités en radioprotection / IRSN / CEA

— Illustration : mesures-radioactivité.fr

B.3.11 Utiliser un dosimètre

Un dosimètre mesure la **dose de rayonnements ionisants externes reçue par un individu**, exprimée en fraction du Sievert (e.g. microsievert - μSv , millisievert - mSv) **au cours du temps** et en **fonction des différents lieux qu'il a occupés**. Cette mesure fournit une estimation de l'impact biologique sur un organe donné ou, plus souvent, sur le corps entier.



A gauche : courbe présentant les doses reçues heure par heure

A droite : tableau donnant la dose journalière cumulée (enregistrement par dosimètre de type D-Shuttle)

Le dosimètre mesure la **dose cumulée** dans le temps (aux endroits où se trouvent l'appareil) : s'il est correctement utilisé, il permet d'estimer la dose de celui qui le porte. Le radiamètre (ou débitmètre) mesure quant à lui une dose instantanée en un point fixe (en fait, un **débit de dose**) ; il sert donc à réaliser la caractérisation radiologique de l'environnement plutôt qu'à estimer les doses reçues par les individus.

Conseils généraux d'utilisation

Le dosimètre est un outil de mesure individuel, que la personne doit porter pendant son exposition aux rayonnements ionisants. Le plus souvent, le port du dosimètre se fait **au niveau de la poitrine**, emplacement au niveau duquel la dose mesurée évalue le mieux la dose reçue par le **corps entier**.

Les dosimètres et les radiamètres sont conçus pour être utilisés dans des conditions d'utilisation précises (température, humidité, etc.) et ils sont adaptés à un type de rayonnement ionisant particulier. L'appareil utilisé doit donc être adapté au type du (ou des) rayonnement(s), aux radionucléides et aux gammes d'énergie en cause, afin de permettre une interprétation correcte des mesures.

Exemple de dosimètres



Dosimètre D-Shuttle fourni aux habitants de la région de Fukushima



Dosimètre RPL référence pour le suivi radiologique des travailleurs en contact avec des rayonnements ionisants

	Dosimètre D-Shuttle	Dosimètre RPL référence
Récupération des données	Le dosimètre affiche (cf. photo ci-dessus) la dose globale reçue par heure, jour et mois.	Le dosimètre doit être envoyé dans un laboratoire spécialisé tous les mois ou par trimestres et le laboratoire rédige un rapport précisant la dose globale reçue par le travailleur.

Sources

- Texte : IRSN / laradioactivite.com / CHIYODA TECHNOL CORPORATION & NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY – Development of novel personal radiation monitoring service for general public : D-Shuttle / AIST Stories n.3, 2014 – D-Shuttle dosimeter (p.21) ;
- Illustrations : IRSN / CHIYODA TECHNOL CORPORATION & NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY – Development of novel personal radiation monitoring service for general public : D-Shuttle.

B.3.12 Utiliser un radiamètre

La détection et localisation de la radioactivité dans l'environnement – **caractérisation radiologique** – se fait à l'aide d'appareils de mesure spécifiques : les **radiamètres** (ou débitmètres).

Un radiamètre (ou débitmètre) fournit un des deux indicateurs suivants :

- le **flux de rayonnement** – exprimé en chocs par seconde ($c.s^{-1}$) – qui traduit le nombre de d'émissions radioactives (chocs) comptabilisées chaque seconde. Un exemple connu de ce type d'appareil est le **compteur Geiger-Müller**. L'utilisation de ce type d'appareil **n'est cependant pas recommandée** en situation post-accidentelle car la mesure sera difficile à interpréter et convertir en dose en raison de la présence concomitante de plusieurs radionucléides.
- le **débit de dose ambient** – exprimé en microSievert par heure ($\mu Sv.h^{-1}$) – qui révèle la dose d'irradiation externe qui serait délivrée au point de mesure pendant une heure si les conditions restaient inchangées (ou, par extrapolation, pendant un temps plus court ou plus long).

On considère qu'il y a eu une **contamination radiologique accidentelle** au niveau de la surface du sol ou dans l'**air ambient** lorsque la valeur du **flux de rayonnement** ou du **débit de dose ambient** est supérieur au « bruit de fond » dû à la radioactivité d'origine naturelle (provenant des rayonnements **cosmiques** et **telluriques**). Cette valeur est comprise, en France, entre $0,03 \mu Sv.h^{-1}$ et $0,3 \mu Sv.h^{-1}$. Elle dépend de la nature du sol, de l'altitude et des fluctuations liées à la météorologie.

Conseils pour effectuer les mesures

Pour simuler la dose reçue par un adulte en un point fixe, il est d'usage d'effectuer les mesures, sans bouger le radiamètre, à **1 mètre au-dessus du sol** (i.e. au niveau de la poitrine). Il est cependant préférable d'utiliser un **dosimètre** pour cet usage. Les mesures radiométriques peuvent également être réalisées au niveau du sol pour réaliser une cartographie des dépôts radioactifs à la surface après un accident.

Les dosimètres et les radiamètres sont conçus pour être utilisés dans des conditions d'utilisation précises (température, humidité, temps d'acquisition de la mesure, etc.) et ils sont adaptés à un type de rayonnement ionisant particulier. L'appareil utilisé doit donc être adapté au type du (ou des) rayonnement(s), aux radionucléides et aux gammes d'énergie en cause, afin de permettre une interprétation correcte des mesures.

Deux exemples de radiamètres



Radiamètre « RADEX RD 1503 »



Radiamètre « DG5 »

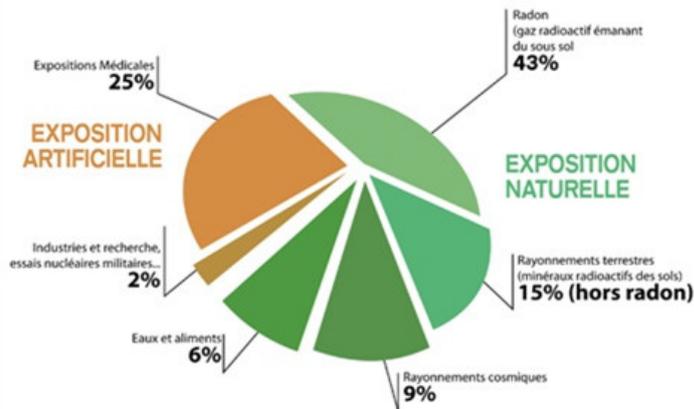
	Radiamètre « RADEX RD 1503 »	Radiamètre « DG5 »
Grandeur mesurée	débit de dose ambiant	comptage brut des irradiations gamma
Unité	$\mu Sv.h^{-1}$	$c.s^{-1}$

Sources

- Texte : EC SAGE Project - Guidance on Practical Radiation Protection for People Living in Long-Term Contaminated Territories / CEA Marcoule SPR - Fiches matériel portable et mobile / QUARTA – Manuel d'exploitation RADEX 1503.
- Illustrations : SAPHYMO, CONRAD.

B.3.13 Valeurs de comparaison

Il existe de nombreuses sources d'exposition à la radioactivité. En France, en moyenne, **70% de la radioactivité** à laquelle est exposé un individu est **d'origine naturelle**. Le reste, environ **30%** est associé à la **radioactivité « ajoutée »** issue par exemple des examens d'imagerie médicale. **La dose annuelle totale pour un français** est aujourd'hui estimée à **3,5 mSv** environ.



Les différentes parts d'exposition d'un individu à la radioactivité naturelle et artificielle

Cas de la radioactivité naturelle

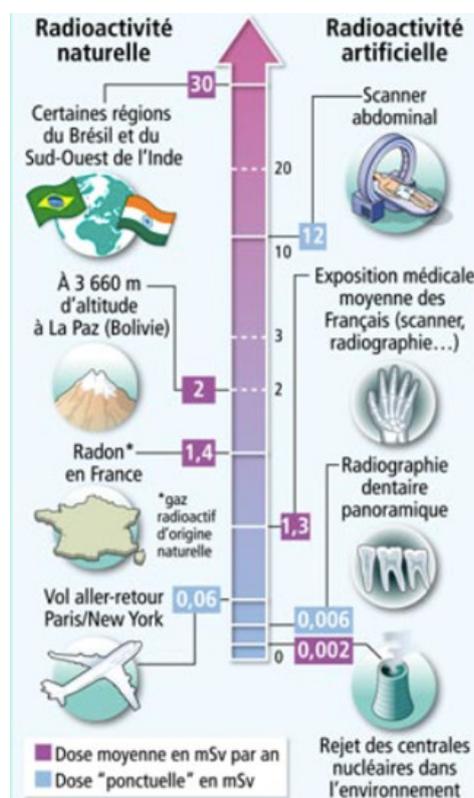
La dose moyenne due à la radioactivité naturelle en France est de **2,5 mSv/an**. Issue de différentes sources (rayons cosmiques, rayonnements terrestres, air, eau, alimentation), la radioactivité naturelle varie notamment en fonction du nombre de voyages en avion, de la localisation géographique (nature du sol), de l'altitude. En France, l'exposition à la radioactivité naturelle est comprise entre 1,2 et 12 mSv/an. Très localement, l'exposition au radon dans les habitations peut atteindre plusieurs dizaines de mSv par an, voire des niveaux encore plus élevés en certains endroits du globe (jusqu'à 900 mSv par an à Kinsarvik, en Norvège!)

Cas des examens médicaux

On estime à **1 mSv/an** la dose moyenne associée aux **examens médicaux** (e.g. radiographie). Cette dose est bien entendu fonction du type et du nombre d'examens réalisés chaque année par un individu. Le tableau suivant présente quelques doses reçues lors de différents examens (par cliché).

scanner : 2 à 20 mSv selon localisation	Mammographie : 0,5 à 4 mSv
radiographie dentaire : < 0,01 mSv (radio-panoramique : 0,03 mSv)	radiographie : 0,02 à 7 mSv selon localisation et technologie (ancienne radiographie pulmonaire : environ 0,1 mSv)

Autres sources d'exposition



Exemples de sources d'exposition

On considère aujourd'hui que le **reste des expositions aux rayonnements ionisants** génère une dose de **0,01 mSv/an** (retombées - hors Polynésie - des essais atmosphériques d'armes nucléaires, retombées de l'accident de Tchernobyl, rejets des installations nucléaires, etc.).

Sources

- Texte : laradioactivité.com / IRSN / CEA
- Illustration : IRSN / AREVA

Annexe C

Evaluation de Ginkgo

C.1 Consignes d'évaluation

C.1.1 Persona « arrivant »

Bonjour,

tout d'abord nous vous remercions de participer à cette expérience.

Comme nous l'avons évoqué le lundi 16 avec les collègues du CEPN, après un accident radiologique, les personnes qui habitent un territoire contaminé savent peu ou mal comment faire face aux problèmes quotidiens : comment se nourrir sans être contaminé ? comment mesurer le niveau de radiation ? où habiter ?

D'une part la radioactivité est difficile à cerner à cause de sa complexité ; d'autre part, les populations victimes montrent une très faible confiance vers les informations diffusées par les autorités. L'expérience récente de Fukushima-Daichi au Japon le confirme.

L'enjeu de cette expérience est de comprendre comment les médias sociaux sont utilisés lors de la phase qui suit un accident radiologique. Sur ce sujet, les scientifiques ont très peu d'informations et souvent incorrectes, aucun service multimédia est actuellement disponible. Donc votre participation est très importante pour enrichir les connaissances scientifiques sur ce sujet.

Nous vous demandons d'accomplir trois phases dans cet ordre. Attention vous avez jusqu'à lundi 23 Novembre à 23 :55.

1. Suivez ce lien pour répondre à quelques questions préliminaires (xxxx).
2. Nous vous demandons maintenant de vous immerger dans le rôle d'un personnage spécifique. Vous occupez depuis 5 ans un poste de commercial dans une ville de province. Vous y vivez seul, sans enfant ni attaches particulières. Au vue du

marché du travail, vous savez qu'il vous faudra sans doute vous déplacer pour développer votre carrière. Vous avez reçu une proposition d'embauche dans le Pays de Montbéliard. Le poste, sur le site de PSA à Sochaux, correspond à vos attentes et vous êtes très motivés à vous y installer. Entre temps, vous prenez connaissance de l'accident radiologique survenu il y a six mois à la centrale de Muehleberg, en Suisse, et dont les retombées ont touché le Nord Franche-Comté. Maintenant vous devez décider si vous allez accepter cette proposition de travail et vous installer dans le Pays de Montbéliard, ou bien, y renoncer.

Pour prendre cette décision, vous avez besoin d'informations. Pour cela

1. Accédez au service Ginkgo suivant le lien : xxxx
 - Login : XXXX
 - Pass : XXXX
2. Partagez vos avis, questions, doutes, etc. avec les autres participants à cette expérience. Toute connaissance n'est jamais complète et le partage est fort utile. Pour cela, utilisez la plateforme Twitter avec le compte que nous avons créé :
 - Login : XXXX
 - Pass : XXXX
3. Quand vous estimez avoir obtenu assez d'informations pour prendre une décision, à savoir accepter cette proposition de travail et vous installer dans le Pays de Montbéliard, ou bien y renoncer, vous devrez suivre ce lien (xxxx). Merci de valider ce questionnaire au plus tard lundi 23 novembre (23 :55).

Nous vous remercions pour votre participation et vous tiendrons informés des résultats de cette étude.

C.1.2 Persona « départ »

[...] Nous vous demandons maintenant de vous immerger dans le rôle d'un personnage spécifique. Vous travaillez comme commercial depuis 5 ans sur le site de PSA à Sochaux. Vous vivez seul à Étupes, sans enfant ni attache particulière. Vous avez suivi avec attention le déroulement de l'accident radiologique survenu il y a six mois à la centrale de Muehleberg, en Suisse, et dont les retombées ont touché le Nord Franche-Comté. Depuis, plusieurs de vos collègues et amis, inquiets, ont quitté la région, alors que d'autres ont décidé de rester. Vous vous posez également des questions sur votre futur, bien que, au vue du marché du travail, vous connaissez les risques de quitter votre emploi.

Maintenant vous devez décider si vous allez rester vivre dans le Pays de Montbéliard ou partir. [...]

C.1.3 Persona « jardinier »

[...] Nous vous demandons maintenant de vous immerger dans le rôle d'un personnage spécifique. Vous habitez depuis 5 ans à XXXX. Vous aimez la nature et vous vous préoccupez de l'impact de votre mode de vie sur votre environnement. Vous consacrez quelques heures par semaine à l'entretien du potager que vous avez installé près de votre logement. Vous aimez manger des légumes produits localement et cultivés sans produits chimiques. Vous avez suivi avec attention le déroulement de l'accident radiologique survenu il y a six mois à la centrale de Muehleberg, en Suisse, et dont les retombées ont touché le Nord Franche-Comté. Depuis, plusieurs de vos collègues et amis, inquiets, ont quitté la région, alors que d'autres ont décidé de rester. Vous avez néanmoins choisi de rester vivre dans le Pays de Montbéliard.

Maintenant vous devez prendre deux décisions :

1. continuer ou arrêter de jardiner ?
2. continuer ou arrêter de consommer les produits de votre potager ? [...]

C.1.4 Persona « futur parent »

[...] Nous vous demandons maintenant de vous immerger dans le rôle d'un personnage spécifique. Vous habitez depuis 5 ans à XXXX avec votre conjoint(e). Vous avez tous les deux un emploi stable dans le Pays de Montbéliard et un cercle d'amis. Vous souhaitez fonder une famille et vous venez d'apprendre que vous attendez un enfant.

Vous avez suivi avec attention le déroulement de l'accident radiologique survenu il y a six mois à la centrale de Muehleberg, en Suisse, et dont les retombées ont touché le Nord Franche-Comté. Depuis, plusieurs de vos collègues et amis, inquiets, ont quitté la région, alors que d'autres ont décidé de rester.

Maintenant vous devez décider si vous allez partir avant la naissance de l'enfant, ou bien rester dans le Pays de Montbéliard. [...]

C.1.5 Persona « parent »

[...] Nous vous demandons maintenant de vous immerger dans le rôle d'un personnage spécifique. Vous habitez depuis 5 ans à XXXX avec votre conjoint(e). Vous avez tous les deux un emploi stable dans le Pays de Montbéliard et un cercle d'amis.

Vous avez un enfant de 7 ans scolarisé dans votre commune et vous vous souciez de son bien-être. Vous avez suivi avec attention le déroulement de l'accident radiologique survenu il y a six mois à la centrale de Muehleberg, en Suisse, et dont les retombées ont touché le Nord Franche-Comté. Depuis, plusieurs de vos collègues et amis, inquiets, ont quitté la région, alors que d'autres ont décidé de rester.

Maintenant vous devez décider si vous allez partir ou bien rester dans le Pays de Montbéliard. [...]

C.2 Questionnaire pré-test

- Un radiamètre fournit une mesure de la somme des radiations reçues ? Du débit de la dose ambiante ? De la distance de sécurité à respecter ?
- L'irradiation externe d'un individu concerne le plus souvent tout l'organisme et ne dure que le temps de l'exposition à la source radioactive ? tout l'organisme et ne dure que quelques jours après l'exposition à la source radioactive ? tout l'organisme et dure quelques mois après l'exposition à la source radioactive ?
- La contamination radioactive d'un territoire évolue selon le temps qui passe ? selon les phénomènes météorologiques ? selon une courbe bien connue ?

- Concernant les recherches et l'exploitation de l'énergie nucléaire, êtes-vous favorable ? Opposé ? Sans avis ?

- Vous utilisez Twitter tous les jours ? Parfois ? Jamais ?
- Vous utilisez Facebook tous les jours ? Parfois ? Jamais ?
- Utilisez-vous d'autres médias sociaux ? Lesquels ?

C.3 Questionnaires post-test

C.3.1 Persona « arrivant »

- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ?
- Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ?
- Quels sont les lieux du Pays de Montbéliard qui vous semblent les plus sûrs pour vous installer ?
- Quelles sont les infrastructures d'assistance les plus proches de votre lieu d'installation ?
- Quels risques faites-vous courir à vos proches, qui habitent hors de la zone contaminée, lorsque vous allez leur rendre visite ?
- Au vu de ces éléments, décidez-vous de vous installer dans le Pays de Montbéliard ? Pourquoi ?

C.3.2 Persona « départ »

- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ?
- Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ?
- Comment pouvez-vous connaître l'impact que les radiations ont déjà eu sur votre corps ?
- Comment pouvez-vous réduire les risques liés aux radiations ?
- Quelles sont les infrastructures d'assistance les plus proches de chez-vous ?
- Quels risques faites-vous courir à vos proches, qui habitent hors de la zone contaminée, lorsque vous allez leur rendre visite ?
- Au vu de ces éléments, décidez-vous de rester dans le Pays de Montbéliard ? Pourquoi ?

C.3.3 Persona « jardinier »

- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de contamination des produits de votre jardin ?
- Quels sont les risques sanitaires pour vivre dans un territoire contaminé ?
- Comment pouvez-vous réduire les risques liés aux radiations ?
- Comment pouvez-vous réduire la contamination des aliments issus de votre jardin ?
- Que faire des déchets issus de l'exploitation de votre jardin ?

- Quelles précautions prendre avant de consommer les produits de la forêt (gibier, baies, champignons) ?
- Quelles sont les infrastructures d'assistance les plus proches de chez-vous ?
- Au vu de ces éléments, décidez-vous de continuer de jardiner ? d'arrêter de jardiner ? Pourquoi ?
- Décidez-vous de continuer de consommer les produits de votre jardin ? d'arrêter de consommer les produits de votre jardin ? Pourquoi ?

C.3.4 Persona « futur parent »

- Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ?
- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ?
- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de contamination de vos aliments ?
- Comment pouvez-vous réduire les risques liés aux radiations ?
- Comment pouvez-vous connaître l'impact que les radiations ont déjà eu sur votre corps ?
- Quelles sont les infrastructures d'assistance les plus proches de chez-vous ?
- Au vu de ces éléments, décidez-vous de rester vivre dans le Pays de Montbéliard ? Pourquoi ?

C.3.5 Persona « parent »

- Quels sont les risques sanitaires liés à la vie dans un territoire contaminé ?
- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de radiation dans votre environnement ?
- Comment pouvez-vous mesurer le niveau de contamination de vos aliments ?
- Comment pouvez-vous réduire les risques liés aux radiations ?
- Comment pouvez-vous connaître l'impact que les radiations ont déjà eu sur votre corps ?
- Quelles sont les infrastructures d'assistance les plus proches de chez-vous ?
- Au vu de ces éléments, décidez-vous de partir du Pays de Montbéliard ? de rester vivre dans le Pays de Montbéliard ? Pourquoi ?