

La population autour des sites nucléaires français : un paramètre déterminant pour la gestion de crise et l'analyse économique des accidents nucléaires

A. PASCAL¹

(Manuscrit reçu le 25 juillet 2011, accepté le 20 octobre 2011)

RÉSUMÉ Cet article présente une analyse détaillée de la population autour des sites nucléaires français. Il aborde ensuite la problématique de l'évacuation massive de populations en cas d'accident, puis donne un aperçu des recherches en cours au laboratoire d'analyse économique des risques nucléaires de l'IRSN sur le coût du risque d'accident nucléaire, en particulier celui des territoires contaminés.

ABSTRACT Population around the French nuclear power plant sites: a key-parameter for crisis management and safety economics.

This paper undertakes an analysis of population around the French nuclear power plant sites, tackles the problem of evacuation planning and provides a glimpse into ongoing research at the Laboratory of Nuclear Safety Economics of the IRSN, about the cost assessment of a nuclear accident and long-term land contamination.

Keywords: Nuclear accident / population / evacuation / safety economics / risk analysis

1. Introduction

Rarement abordé dans la presse avant Fukushima, le sujet d'une éventuelle évacuation massive de populations suite à un accident nucléaire, et du manque de préparation à cette éventualité, a fait l'objet de récents articles, d'*Associated Press* (Donn, 2011) à *La Croix* (Réju, 2011).

À partir d'une analyse détaillée de la répartition de population autour des sites nucléaires français, nous abordons cette question de l'évacuation massive, sensée protéger la population du passage d'un panache radioactif en cas d'accident comportant des rejets importants dans l'environnement².

¹ IRSN, Laboratoire d'économie de la sûreté, DSDP/SPIIC/LAERN, BP 17, 92262 Fontenay-aux-Roses, France.

² L'échelle internationale INES (AIEA, 2008) comporte sept niveaux, les niveaux 1 à 3 concernent les incidents, et les niveaux 4 à 7 les accidents. Les niveaux 5, 6 et 7 ont respectivement des conséquences « étendues », « graves » et « majeures », et impliquent des rejets significatifs de matières radioactives hors de l'installation.

Au-delà de cette question, qui relève de la gestion de crise, nous présentons la discipline naissante qu'est l'économie de la sûreté, et l'éclairage qu'elle apporte sur la question de la contamination à long terme de territoires après un accident et la variabilité des phénomènes en jeu. Cela relève de la gestion post-accidentelle des accidents majeurs (de l'ampleur de Tchernobyl ou de Fukushima).

Cet article est le fruit d'un stage de fin d'études d'ingénieur des Ponts, des Eaux et des Forêts, effectué au laboratoire d'analyse économique des risques nucléaires (LAERN) de l'IRSN entre octobre 2010 et juillet 2011.

2. La population autour des sites nucléaires français

2.1. Méthode

Un indicateur de la gravité d'un hypothétique accident nucléaire est la population vivant autour des sites. Celle-ci a été calculée dans des disques concentriques autour des dix-neuf sites français de production d'électricité (CNPE) et de quatre usines liées au cycle du combustible (Marcoule, La Hague, Romans-sur-Isère et Malvési), tous les 5 km d'abord (de 5 à 50 km) puis tous les 10 km (de 50 à 110 km). Le calcul a été effectué sous le logiciel d'information géographique ArcGIS 9.3 (©1999-2008 ESRI Inc.) *via* un script en langage Python permettant d'automatiser les calculs. Les données utilisées sont les populations communales de la base *Route 500*® (©2009 IGN), issues du recensement de 2007 de l'INSEE. Les communes ont vu leur population intégralement comptabilisée dès lors que leur intersection avec la zone d'étude était non vide³.

Dans les cas où les zones d'étude recouvraient des pays étrangers (principalement Belgique, Luxembourg, Allemagne et Suisse, et marginalement Royaume-Uni, Pays-Bas et Espagne), les résultats ont été corrigés par un relevé manuel des subdivisions administratives concernées. Un grand soin a été apporté à ces corrections, commune par commune, jusqu'à un rayon de 40 km (pour Chooz, Cattenom et Fessenheim). Au-delà, on ne peut garantir une grande précision, des circonscriptions plus grandes ayant été utilisées (provinces, districts, arrondissements). Enfin ces corrections étant très longues, seul un disque sur deux a été revu, les autres populations étant interpolées⁴. Les données de population utilisées pour ces corrections sont celles de Wikipedia⁵.

³ Ce qui conduit à des estimations conservatives : ainsi Lyon dont le contour est à cheval sur la limite des 30 km du Bugey, voit-elle sa population entièrement comptabilisée dans les 30 km.

⁴ Par exemple, pour Gravelines, les valeurs à 40, 50, 70, 90 et 110 km ont été corrigées des populations de pays étrangers, et les valeurs à 35, 45, 60, 80 et 100 km ont été interpolées.

⁵ Il n'a pas été possible de se procurer de données publiques homogènes pendant la durée impartie à cette étude. L'incertitude éventuelle liée à l'utilisation de Wikipedia pour ces ajustements ne change en rien l'ordre de grandeur des résultats et les conclusions. Les prochaines études du LAERN utiliseront des données officielles.

LA POPULATION AUTOUR DES SITES NUCLÉAIRES FRANÇAIS

TABLEAU I
Population autour des sites nucléaires français.
Population around the French nuclear power plants.

Site/Distance	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	110
Belleville	9	29	47	64	97	110	140	169	212	268	610	832	1165	1520	1781	2068
Bugey	14	68	114	284	470	1255	1444	1755	2031	2246	2731	3244	4408	5185	5780	6126
Cruas	44	63	105	142	196	279	416	495	549	710	837	1108	1552	2277	3203	3697
Chooz	14	24	51	96	145	214	444	652	836	1039	1634	2271	3736	5263	6743	8381
Nogent	11	21	48	78	101	134	213	279	449	553	836	1419	2558	5056	9130	11422
Tricastin	38	73	107	187	267	343	433	636	762	883	1286	1615	1891	2191	2953	3508
Blayais	6	28	50	82	124	163	245	585	777	1028	1326	1487	1775	1945	2126	2442
Chinon	26	37	87	113	159	189	298	529	627	776	1171	1518	1985	2339	2654	3014
Saint-Alban	41	70	151	306	578	723	1021	1808	2257	2529	2957	3282	3864	4388	4820	5102
Saint-Laurent	23	35	56	94	213	396	492	592	654	711	848	1044	1553	1990	2396	3046
Dampierre	6	40	59	74	102	152	220	266	476	578	772	1119	1485	1899	2629	3711
Flamanville	8	15	50	117	147	161	173	195	207	222	260	296	374	446	556	754
Cattenom	75	101	192	353	598	876	1212	1420	1642	1892	2419	2947	3489	4018	4540	5045
Gravelines	35	138	202	342	401	451	537	637	715	843	1309	1953	3590	4586	5281	5929
Fessenheim	7	62	157	379	875	1036	1281	1485	1742	2014	2734	3779	4924	5917	7287	8580
Penly	6	58	91	116	151	191	224	266	340	417	794	1204	1627	2106	2592	3141
Paluel	9	20	34	73	98	180	242	337	411	700	1162	1369	1538	1765	2089	2545
Golfech	12	22	51	121	161	220	313	366	426	518	677	1383	1621	1891	2175	2477
Civaux	15	22	42	65	175	227	274	343	388	431	529	711	1030	1423	1984	2355
Marcoule	68	90	167	328	441	553	842	906	1072	1234	1487	1714	2141	2803	3918	4205
La Hague	7	35	95	120	136	155	166	180	192	200	223	253	324	379	450	579
Romans	59	85	192	257	315	358	436	522	611	821	1380	2076	3274	4028	4473	4870
Malvési	62	83	113	213	253	281	310	363	467	564	834	1085	1497	1656	1902	2179

Trame gris foncé : maximum de chaque colonne.

Trame gris clair : deux valeurs suivantes.

Gras : valeurs corrigées manuellement

Italique : valeurs interpolées

2.2. Résultats

Les résultats (en milliers d'habitants) figurent dans le tableau I. Ces caractéristiques sont incontestables et accessibles à tous ; néanmoins leur interprétation n'est pas toujours évidente. La distance géographique n'est pas un indicateur parfait de l'exposition au risque, qui dépend de la topographie (les reliefs peuvent opposer un masque à la dispersion du panache), de la rose des vents

(la dispersion atmosphérique suit les vents dominants pendant les rejets), des précipitations... Ainsi, une ville située à 100 km d'un site nucléaire, dans le sens du vent et dans une région pluvieuse, peut-elle se trouver plus exposée qu'une autre située à 30 km de la même installation mais abritée par le relief ou les vents dominants.

Les chiffres suggèrent trois types de vulnérabilité : au voisinage immédiat de l'installation, c'est-à-dire dans un rayon de 5 km ; à moyenne distance, par exemple jusqu'à 30 km ; et à longue distance (une centaine de kilomètres).

2.2.1. Vulnérabilité proche

La zone des 5 km correspond à la distance d'évacuation prévue par les plans particuliers d'intervention. Ses habitants participent régulièrement à des exercices de crise, et seraient atteints au moins psychologiquement par tout accident conduisant à des rejets en dehors de l'installation.

La majorité des sites (treize sur vingt-trois) comptent moins de 15 000 habitants dans un rayon de 5 km (Fig. 1). Parmi les dix sites restant, quatre sont entourés de plus de 60 000 habitants : la centrale de Cattenom et trois usines (Marcoule, Malvési et Romans).

Le cas de Gravelines est très particulier puisqu'on ne compte que 35 000 habitants dans un rayon de 5 km, mais 135 000 (en particulier l'agglomération dunkerquoise) dans un rayon de 10 km, ce qui en fait la centrale « la plus entourée » à cette distance.

2.2.2. Vulnérabilité à 30 km

Cette distance peut représenter une zone d'évacuation d'urgence pour un accident grave. Dans les pires des cas⁶, elle peut aussi correspondre à l'échelle d'une zone d'exclusion, comme l'enseignent les exemples historiques de Tchernobyl et de Fukushima.

De même que pour la vulnérabilité proche, la vulnérabilité à 30 km est relativement faible pour une moitié des sites (douze sur vingt-trois) qui ont une population de moins de 250 000 habitants (Fig. 2). Cinq sites se distinguent avec plus de 500 000 habitants : le Bugey, Fessenheim, Cattenom, Saint-Alban et Marcoule.

⁶ Typiquement en cas de brèche de l'enceinte de confinement et de rejets massifs non contrôlés et non filtrés (cas très peu probables engendrés par des défaillances multiples, convient-il de rappeler).

LA POPULATION AUTOUR DES SITES NUCLÉAIRES FRANÇAIS

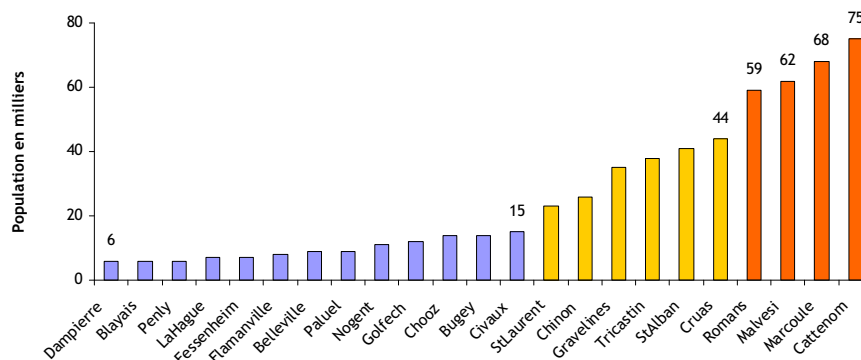


Figure 1 – Population dans un rayon de 5 km autour des sites nucléaires français.
Population within a 5-km radius around French nuclear sites.

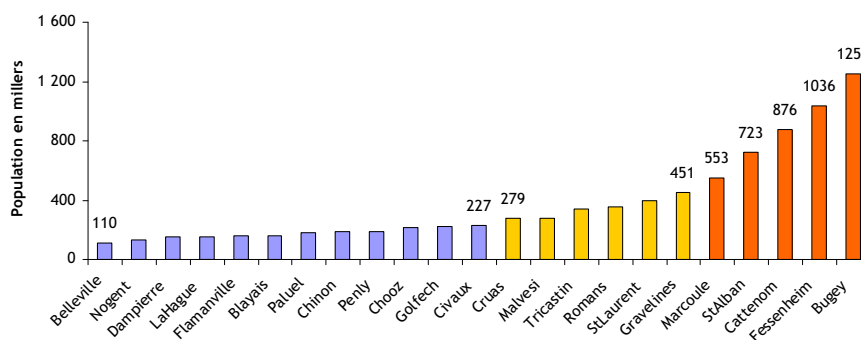


Figure 2 – Population dans un rayon de 30 km autour des sites nucléaires français.
Population within a 30-km radius around French nuclear sites.

La centrale du Bugey n'est pas la plus densément entourée à 25 km, mais le devient à 30 km en raison de la proximité de l'agglomération lyonnaise. À 40 km, c'est Saint-Alban qui présente la plus grande population, en raison de sa proximité avec Saint-Étienne et Lyon.

2.2.3. Vulnérabilité lointaine

Il est plus délicat d'interpréter les valeurs de populations à grande distance en termes de zonage, compte-tenu de la variabilité due à la météo. Des simulations d'accidents montrent que l'hypothèse d'une configuration nécessitant une évacuation définitive sur plusieurs centaines de kilomètres de long sur quelques

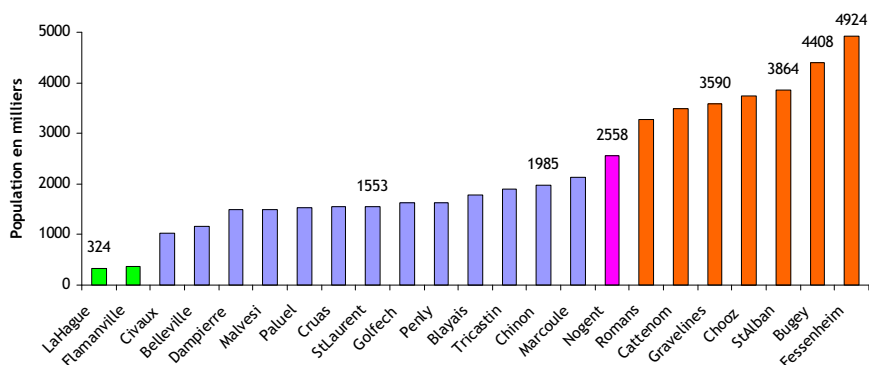


Figure 3 – Population dans un rayon de 80 km autour des sites nucléaires français.
Population within a 80-km radius around French nuclear sites.

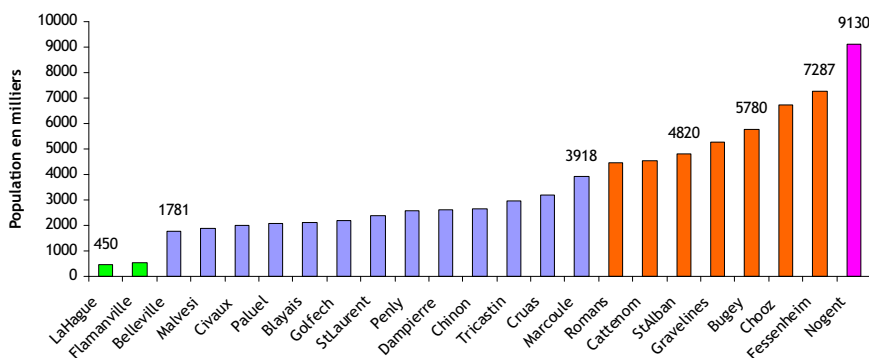


Figure 4 – Population dans un rayon de 100 km autour des sites nucléaires français.
Population within a 100-km radius around French nuclear sites.

kilomètres de large ne peut pas être mise de côté⁷. Le nombre d’habitants à grande distance peut donc être pris comme indicateur des populations habitant dans des zones potentiellement contaminées en cas d’accident majeur, mais il serait très peu probable d’observer des dépôts isotopes à cette échelle.

La Hague et Flamanville se distinguent par des populations nettement plus faibles que les autres sites. Huit sites sont au contraire très densément entourés : Nogent, Fessenheim, Chooz, le Bugey, Gravelines, Saint-Alban, Cattenom et Romans. Selon que l’on considère la vulnérabilité à 80 km ou à 100 km, l’ordre au sein de ce groupe se modifie, le groupe restant inchangé (Figs. 3 et 4).

⁷ Cela correspondrait à un vent soufflant continûment dans une seule direction pendant plusieurs jours de rejets.

LA POPULATION AUTOUR DES SITES NUCLÉAIRES FRANÇAIS

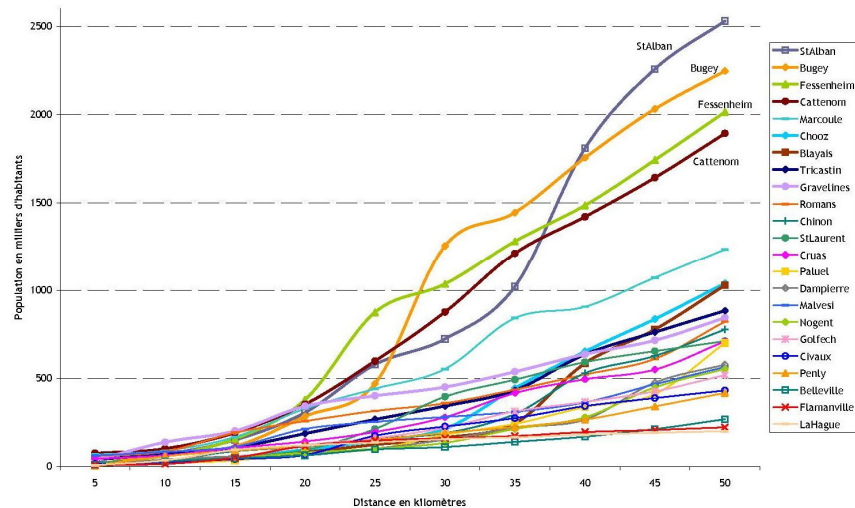


Figure 5 – Population autour des sites nucléaires français (5 à 50 km).
Population around French nuclear sites (5 to 50 km).

Entre ces deux groupes, treize sites dont la population varie de 1 à 2 millions d’habitants dans un rayon de 80 km et de 1,5 et 4 millions dans un rayon de 100 km.

2.3. Trois catégories de sites

Les résultats suggèrent une classification des sites au regard de la densité de population qui les entoure :

- Faible densité : les deux sites du Cotentin, La Hague et Flamanville, sont largement entourés d’eau, et comptent peu de grandes villes dans leur voisinage : la population se situe autour de 150 000 habitants dans les 30 km, 200 000 dans les 50 km, et ne dépasse pas les 750 000 habitants même à 110 km.
- Situation majoritaire : autour de treize sites, la population est comprise entre 100 000 et 500 000 habitants dans un rayon de 30 km, entre 400 000 et un peu plus d’un million dans un rayon de 50 km, et entre 2 et 4 millions dans un rayon de 110 km.
- Forte densité : Fessenheim, le Bugey, Cattenom, Saint-Alban, Gravelines, Chooz, Romans et Nogent présentent les caractéristiques suivantes :
 - Des grandes villes à 35 km : Fessenheim, le Bugey, Cattenom et Saint-Alban se distinguent du groupe majoritaire dès 20 à 30 km (Fig. 5). Dès 35 km, on compte 1 à 1,5 million d’habitants, à 50 km, entre 1,9 et 2,5 millions,

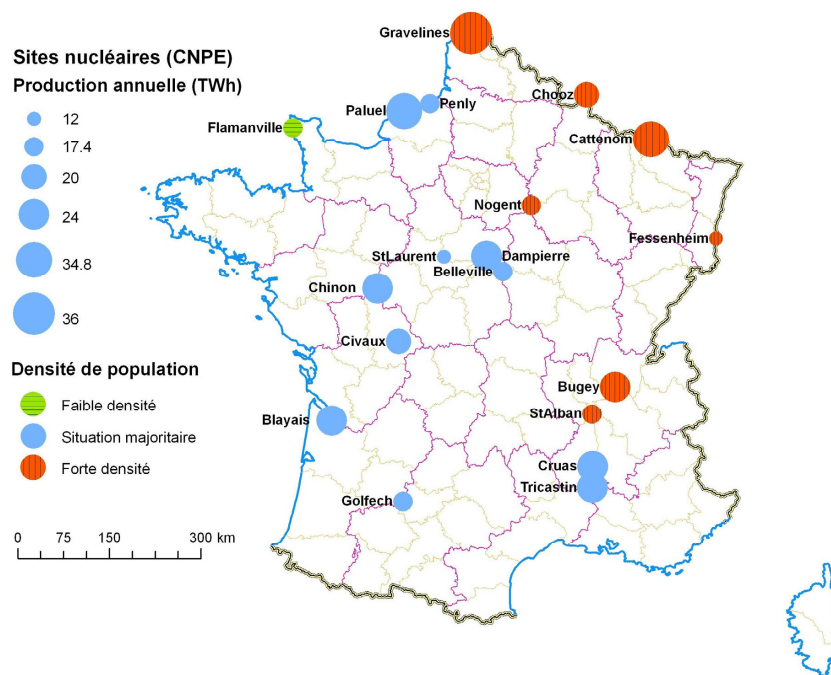


Figure 6 – Les sites nucléaires français, leur production et la population qui les entoure.
The French nuclear sites, their production and surrounding population.

à 110 km, autour de 5 millions pour Cattenom et Saint-Alban, 6 pour le Bugey, 8 pour Fessenheim.

- De fortes densités au-delà de 60 km : Gravelines, Chooz et Romans se comportent comme le groupe majoritaire jusqu'à environ 60 km, puis s'apparentent davantage aux précédents, la courbe de Chooz rejoignant presque celle de Fessenheim, et celle de Gravelines rejoignant presque celle du Bugey.
- La région parisienne à 80 km : enfin, Nogent est dans le groupe majoritaire jusqu'à environ 80 km, distance à laquelle on rencontre la banlieue parisienne où la densité de population explose (5 millions dans un rayon de 90 km, près de 12 millions dans un rayon de 110 km).

Sur la carte de la figure 6, les sites apparaissent avec deux caractéristiques : la catégorie ci-dessus, repérée par la couleur, qui fournit une indication sur les conséquences d'un accident grave ; et la production annuelle d'électricité, représentée par la taille du disque, qui correspond aux bénéfices liés au fonctionnement des centrales.

TABLEAU II
Tchernobyl et Fukushima : des sites peu peuplés.
Chernobyl and Fukushima are low-populated areas.

Site/distance	5	10	15	20	25	30
Bugey	14	68	114	284	470	1255
Fessenheim	7	62	157	379	875	1036
Cattenom	75	101	192	353	598	876
Saint-Alban	41	70	151	306	578	723
Gravelines	35	138	202	342	401	451
Saint-Laurent	23	35	56	94	213	396
Tricastin	38	73	107	187	267	343
Cruas	44	63	105	142	196	279
Civaux	15	22	42	65	175	227
Golfech	12	22	51	121	161	220
Chooz	14	24	51	96	145	214
Penly	6	58	91	116	151	191
Chinon	26	37	87	113	159	189
Paluel	9	20	34	73	98	180
<i>Fukushima</i>				85		172
Blayais	6	28	50	82	124	163
Flamanville	8	15	50	117	147	161
Dampierre	6	40	59	74	102	152
<i>Tchernobyl</i>	48	61	69	81	96	135
Nogent	11	21	48	78	101	134
Belleville	9	29	47	64	97	110

3. L'évacuation massive de populations dans un contexte d'accident nucléaire grave

Comme le montre le tableau II, un profil de population du type de celui de Tchernobyl ou même de Fukushima correspond à des zones peu peuplées en France (à ceci près que Tchernobyl comptait une grande ville, Pripiat, dans son voisinage immédiat).

Quelques grands ensembles urbains attirent l'attention : Lyon, dont la banlieue n'est qu'à une vingtaine de kilomètres du Bugey et environ 35 km de Saint-Alban ; Bordeaux, à une quarantaine de kilomètres du Blayais ; Thionville et Luxembourg, à 10 et à 22 km de Cattenom ; Dunkerque, à 10 km de Gravelines ; autour de Fessenheim enfin, Fribourg (20 km), Mulhouse (25 km) et Bâle (40 km).

Fessenheim et Gravelines comptent le plus de villes importantes dans un rayon de 110 km, souvent situées à l'étranger.

Quant au reste de l'Europe, d'autres sites se trouvent dans des zones encore plus peuplées : d'après une étude de Declan Butler (Butler, 2011 ; GéoPopulation, 2011)⁸, les centrales allemandes de Philippsburg, Neckarwestheim et Biblis (leur fermeture est prévue entre 2019 et 2022) et la centrale belge de Doel (à proximité d'Anvers) figurent parmi les vingt-et-une centrales comptant plus d'un million d'habitants dans un rayon de 30 km.

La possibilité d'une évacuation massive de population dans un contexte de crise radiologique doit donc être prise en compte.

3.1. Peu d'expériences historiques

En France, les expériences d'évacuation massive sont rares. En 1987, 25 000 à 30 000 habitants durent quitter Nantes après la libération d'un nuage toxique depuis un dépôt d'engrais en pleine ville (Guillemois, 1999). En 1999, Dugny (8 500 habitants) fut évacuée pour permettre la neutralisation d'une bombe de la Seconde Guerre mondiale, avec un mois et demi de préparation (Lapostolle *et al.*, 2007). En 2001 ce fut au tour de Vimy (12 000 habitants dans un rayon de 3 km), pour permettre le transfert d'un dépôt de munitions (Laengy, 2001). Plus de 2 000 militaires, pompiers et policiers avaient permis le succès de cette opération dans une relative urgence (une semaine). Le témoignage de Rémy Pautrat, alors Préfet du Nord-Pas-de-Calais (Pautrat, 2009), est significatif :

« Si d'emblée, il semble évident que l'on s'achemine vers l'évacuation d'une partie de la population, il s'agit de se mettre d'accord sur l'ampleur de cette évacuation : les experts militent pour une zone d'un rayon de 20 kilomètres et plus autour du site. Cela se traduirait par l'évacuation de 150 000 personnes ! C'est impossible en si peu de temps dans de bonnes conditions. Le Nord-Pas-de-Calais est une région très urbanisée, très dense. J'ai pris parti pour une solution plus facilement réalisable. »

Dans la même tonalité, récemment interrogé sur la question, le Ministre de la défense suisse Ueli Maurer a répondu : « si une telle catastrophe se produisait et qu'il fallait reloger définitivement des dizaines de milliers de personnes après les avoir évacuées, je ne sais pas pour l'instant où elles le seraient » (ATS, 2011).

⁸ Cette étude, parue sur *Nature online* peu après l'accident de Fukushima, référence les populations dans des rayons de 30, 75, 150, 300, 600 et 1200 kilomètres autour de deux-cent-onze centrales nucléaires dans le monde. Il nous semble peu raisonnable d'interpréter les trois plus grands de ces périmètres, pour les raisons évoquées plus haut. En France, les valeurs de Butler sont légèrement inférieures aux nôtres (environ 10 %) en raison de la méthode de calcul moins conservative employée (bien inférieure dans le cas du Bugey à 30 km, déjà évoqué).

Si l'on met de côté les « bonnes conditions » auxquelles fait allusion le Préfet Pautrat, les accidents de Tchernobyl et de Fukushima montrent qu'il est malgré tout *possible* d'évacuer en urgence une population de l'ordre de 100 000 habitants (135 000 personnes dans la zone d'évacuation initiale des 30 km à Tchernobyl et 85 000 dans la zone des 20 km à Fukushima (IRSN, 2011)). Après l'accident de Three Mile Island, « près de 150 000 personnes ont été évacuées, bien qu'aucun ordre d'évacuation officielle n'ait jamais été donné » (Detsyk, 2010).

Au-delà de cet ordre de grandeur, on doit faire référence à des catastrophes naturelles (l'expérience étatsunienne des grands ouragans : Andrew en 1992, avec deux millions de personnes déplacées, et Katrina en 2005, avec plus de 1,2 million de personnes) ou des temps de guerre (par exemple les déplacements de populations de la Seconde Guerre mondiale).

3.2. Des plans de crise insuffisants

On trouve dans des brochures officielles de préparation au risque nucléaire des phrases rassurantes comme : « Des cars vous conduiront aux centres d'accueil hors de la zone à risque » (Préfecture de la Seine-Maritime, 2005). Il n'est pourtant pas imaginable que les routes soient rendues impraticables par un séisme, une inondation ou des embouteillages⁹... et même qu'il n'y ait pas assez de véhicules : si l'on devait, par exemple, évacuer 500 000 personnes et que 200 000 utilisaient des véhicules individuels, il faudrait encore réquisitionner quelques 6 000 autobus et autocars en quelques heures. À supposer que cela soit possible, seules trois régions possèdent un parc suffisant : l'Île-de-France, Rhône-Alpes (avec une dizaine de milliers d'autobus et autocars de moins de vingt ans) et Provence-Alpes-Côte-d'azur (environ 7 500) (MEDDTL, 2009)¹⁰.

D'une manière générale, les plans de crise sont sous-dimensionnés par rapport aux accidents les plus graves qui pourraient se produire.

Dans le document de référence de l'IRSN consacré aux accidents graves (Cénérimo, 2008), un paragraphe est consacré à l'« intervention », mais seulement dans le cas d'un terme source « S3 », correspondant à des rejets maîtrisés, pour lequel il n'y aurait de fait pas d'importantes populations à évacuer :

« Au début des années 80, les pouvoirs publics français ont examiné quelles étaient les possibilités réalistes de mise en œuvre de mesures de protection des populations autour des sites nucléaires. Ils ont alors estimé

⁹ Cet aveuglement est coutumier : d'aucuns exercices de crise de submersion à Nice prévoient dans leur scénario que l'aéroport, situé au niveau de la mer, fonctionne normalement ; ceux du CEA de Saclay n'envisagent pas que la N118 soit bloquée, alors que c'est le cas tous les soirs, etc.

¹⁰ Il n'y a en outre pas de CNPE dans deux de ces trois régions...

A. PASCAL

que, compte tenu des caractéristiques des sites français, il serait possible de mettre en œuvre, dans un délai de 12 à 24 heures après le début d'un accident, l'évacuation de la population présente dans un rayon de 5 km autour du site et la mise à l'abri de la population, ainsi que la distribution d'iode stable, dans un rayon de 10 km autour du site. Il a alors été constaté que la mise en œuvre de ces mesures permettrait d'assurer une protection "satisfaisante" des populations pour un rejet correspondant au "terme source" S3, compte tenu des niveaux d'intervention recommandés à l'époque par les organisations internationales. »

Aucun mot sur les termes sources « S2 » et « S1 », respectivement dix et cent fois plus graves, pourtant identifiés comme possibles par les études de sûreté¹¹.

De la part des forces de secours et de sécurité, il est difficile d'obtenir des informations quantitatives sur les capacités d'évacuation. Un colonel des sapeurs pompiers nous a rapporté oralement qu'une ville de la taille de Metz (123 000 habitants) pourrait être évacuée en urgence. Mais tous les sites nucléaires français se situent au-dessus de cet ordre de grandeur d'une centaine de milliers d'habitants dans un rayon de 30 km. C'est même le cas dès les 20 km pour la majorité des sites.

Le Codirpa note quant à lui qu'un accident grave de fusion totale du cœur constituerait « un scénario dont les conséquences dépassent le dimensionnement actuel des PPI [plans particuliers d'intervention] autour des CNPE (la distance maximale d'intervention prise en compte dans les PPI est de 10 km) », et qu'« il n'existe pas, en France, de loi pour obliger à évacuer les populations, ni de plan prenant en compte l'évacuation d'agglomérations denses » (Codirpa, 2009a, p. 30).

Hors contexte nucléaire, le seul exercice de grande ampleur dont nous ayons connaissance est l'évacuation de 400 000 habitants de l'agglomération grenobloise en 2009 (Dollet, 2009). Cet exercice, dont le scénario reposait sur l'hypothèse d'une crue exceptionnelle, avait notamment pour objectif d'étudier les flux de circulation et de fournir des éléments pour l'élaboration d'un guide national.

Il semble bien que la possibilité de devoir évacuer un million de personnes n'ait pas été étudiée. Le Royaume-Uni ne semble guère plus avancé (Detsyk, 2010). Aux États-Unis, le cas d'une évacuation de grande ampleur en contexte d'urgence radiologique a été au moins évoqué dans un rapport au Congrès (Bea, 2005).

¹¹ Heureusement, les accidents les plus graves sont aussi les moins probables. Par exemple, la présence de filtres à sable sur les centrales françaises doit permettre de réduire les rejets, notamment en césium, si l'enceinte n'est pas trop endommagée.

Sans doute le retour d'expérience japonais permettra-t-il d'améliorer la préparation à ce type d'éventualité, lorsqu'il sera intégré aux plans de crise nationaux.

4. Les territoires contaminés : l'approche de l'économie de la sûreté

Après la phase d'urgence qui caractérise l'accident, commence la phase « post-accidentelle » (ASN, 2008 ; Codirpa, 2009b). Celle-ci donne éventuellement¹² lieu à l'interdiction définitive des territoires les plus contaminés (la « zone d'exclusion »). Dans les autres zones contaminées où une population demeure, il faut apprendre à vivre avec la contamination, essentiellement due au césium 137 (contributeur de long terme à la dose due aux dépôts).

Au-delà de la gestion de crise, les données populationnelles présentées plus haut peuvent être utiles pour appréhender cette question des territoires contaminés. Nous adoptons ici le point de vue de l'économie de la sûreté, une discipline naissante¹³ (Momal, 2011), que l'on peut rattacher à l'« économie des catastrophes » (Zajdenweber, 2011), et qui cherche à établir le coût complet du risque nucléaire.

4.1. L'économie de la sûreté

Comme l'écrit Patrick Lagadec, « nous entrons dans l'ère des méga-crisis » (Lagadec, 2010). L'accident nucléaire grave en fait partie, avec ses « enchevêtrements de dynamiques impossibles à séparer ». Pour tenter de le comprendre, « le premier travail consiste donc à ouvrir et légitimer ce chantier de l'appréhension du hors-norme ».

Aborder ce travail multidisciplinaire ne va pas de soi. L'économie de la sûreté étudie l'ensemble des conséquences (imaginables et inimaginables) d'un accident, adopte un langage commun pour les décrire. Elle peut fournir une aide à la décision pour arbitrer entre différentes améliorations de sûreté, différents choix de gestion du parc nucléaire (prolongement des réacteurs) ou différentes options de gestion post-accidentelle. Enfin, le travail descriptif soigné de la complexité d'une contamination à long terme de territoires peut contribuer à transmettre aux décideurs un « sens du risque », à faire « croire » ce que l'on « sait » (suivant une approche de « catastrophisme éclairé » (Dupuy, 2002)).

¹² Dans le cas d'un rejet uniquement d'iode, le retour des populations se ferait rapidement et il n'y aurait *pas* de territoires contaminés à long terme.

¹³ La plupart des outils existants (comme RODOS (Hiete *et al.*, 2010)) sont tournés vers le court terme (la crise) et n'intègrent pas l'ensemble des conséquences des accidents nucléaires.

Le coût du risque d'accident nucléaire est le produit de trois composantes : probabilité d'occurrence (établie par les études probabilistes de sûreté), valorisation de la prévention (forme d'aversion au risque reflétant la prudence du décideur), et coût de l'accident.

On peut distinguer au moins six composantes de ce dernier :

- *coûts sur site* : décontamination de l'installation et perte d'exploitation causée directement par l'accident ;
- conséquences sur la politique énergétique (fermeture d'autres installations, substitution...), regroupées sous le nom d'*effet parc* ;
- *coûts sanitaires*, regroupant les dommages sanitaires (principalement les cancers) et psychologiques (dépressions, absentéisme au travail...) et le suivi médical ;
- *coûts d'image*, pertes occasionnées dans le tourisme et les exportations ;
- *coûts de crise* : mesures d'urgence (évacuations, confinement, relogements temporaires, décontamination d'urgence) et pertes de denrées agricoles. On pourrait les résumer d'un mot en écrivant : « c'est le problème du Préfet » ;
- *coûts des territoires contaminés*, en zone d'exclusion et hors zone d'exclusion.

À cela peuvent éventuellement s'ajouter des effets indirects sur l'économie (perturbation des flux économiques, effets « secondaires » de relance).

Les études conduites à l'IRSN montrent que pour les accidents les plus graves imaginables, les coûts des territoires contaminés dominent largement dans le coût complet de l'accident nucléaire¹⁴. Dans ce cas, il va sans dire que les indemnités prévues de la part de l'exploitant, de l'État, et des contributeurs internationaux par les Conventions de Paris et de Bruxelles (Léger, 2011) sont dérisoirement faibles (plusieurs ordres de grandeur en dessous) par rapport aux scénarii les plus pénalisants.

4.2. Le coût des territoires contaminés

4.2.1. Les deux composantes du coût des territoires contaminés

On distingue deux composantes au coût des territoires contaminés : les aides distribuées à la population en zone contaminée hors zone d'exclusion (aides à l'agriculture, au travail et à la vie en zone contaminée, gestion des déchets, décontamination...), et les coûts des zones d'exclusion (perte du foncier, des bâtiments, des infrastructures et des équipements, fin de l'activité économique, relogements définitifs).

¹⁴ Il s'agit alors de catastrophes ingérables, pas seulement sur le plan économique... Pour des accidents graves « gérables », en l'absence de vastes territoires contaminés, les principales composantes du coût seraient les effets d'image et les effets sur le parc.

- les territoires fortement urbanisés (9 % à 15 % du territoire), où l'on retrouve sans surprise les quatre sites les plus peuplés : Fessenheim, le Bugey, Cattenom et Saint-Alban (ainsi que Gravelines si l'on ignore les surfaces maritimes),
- ceux à dominante agricole (plus de 60 %), Golfech, Civaux, Nogent, Belleville et Chinon, Penly, Paluel et Flamanville exclusion faite des zones maritimes, ainsi que le Blayais et le Tricastin et leurs nombreuses vignes, et Dampierre et Saint-Laurent pour lesquels on peut parler de territoires « agro-forestiers »,
- deux territoires à dominante forestière (plus de 33 %), Chooz et Cruas.

La grande vulnérabilité économique de nombreuses exploitations agricoles, l'attachement plus fort des habitants à « leurs terres » dans les zones rurales et le mode de vie tourné vers l'extérieur feraient des agriculteurs les premiers exposés économiquement et radiologiquement en cas d'accident. À ceci s'ajoute le caractère difficilement transférable (plus difficilement qu'une activité de services) d'une partie des activités agricoles (appellations d'origine, agriculture de montagne...). L'exemple le plus démonstratif est sans doute celui des Grands Crus du Médoc : comment relocaliser loin du Blayais Pauillac et les communes voisines pour continuer à produire Lafites et Margaux ?

En milieu urbanisé, outre l'enjeu des évacuations, un autre élément illustratif des difficultés de gestion en cas d'accident est celui des activités industrielles et de services. Comment démêler l'écheveau des conséquences d'une contamination du port de Dunkerque, situé à 10 km de Gravelines (troisième port français, premier port ferroviaire, premier pour le charbon, le cuivre, les fruits en conteneurs, avec les zones industrielles associées, et bientôt un terminal méthanier à 1,3 milliard d'euros...) ? Des filières entières verraient leur activité durablement affectée, leur logistique devant se redéployer totalement.

Sont également potentiellement exposés le port de Cherbourg, avec ses activités stratégiques de construction navale, l'aéroport de Lyon-Saint-Exupéry, quatrième aéroport français, et les zones industrielles de la vallée du Rhône...

Après Fukushima, la concentration de certaines activités industrielles (pièces détachées d'ordinateurs ou d'automobiles, produits chimiques...) a engendré des pénuries et des dysfonctionnements dans le monde entier, dans des secteurs dont l'activité dépendait de la production de quelques usines. Si cela relève sans doute d'une spécificité japonaise, il n'en demeure pas moins que des perturbations différentes de l'activité économique pourraient se produire inévitablement après un accident nucléaire en France. Et si les conséquences d'un accident pour les filières agricoles ont été étudiées et prises en compte (IRSN-ACTA, 2007 ; Codirpa, 2010), ce n'est pas le cas du redéploiement post-accidentel des activités

industrielles et commerciales¹⁵, avec son lot spécifique de faillites, relocalisations et perturbations en séries (et d'opportunités sans doute pour certains territoires : que l'on pense à l'activité des stations de ski des Pyrénées en cas de contamination des Alpes).

5. Conclusion

L'étude de la population et de l'occupation des sols permet d'aborder deux questions centrales dans la gestion des accidents nucléaires : elle met en évidence l'insuffisance des plans et des moyens d'évacuation actuels en cas d'accident majeur, et l'extrême complexité du phénomène de territoires contaminés.

Si l'on excepte les aides à l'agriculture (dépendant du nombre d'hectares cultivés), la plupart des autres variables du coût des territoires contaminés sont fortement corrélées à la population : valeur foncière élevée en ville et dans les zones industrielles, infrastructures stratégiques, bureaux, bâtiments d'enseignement, coût du relogement, aides de solidarité.

Les données présentées au début de cet article suffiraient donc à évaluer de manière raisonnable le coût des territoires contaminés d'un site à un autre si la météo ne jouait pas un rôle prépondérant en cas d'accident. Si l'urgence conduit à dessiner, comme à Tchernobyl et à Fukushima, les premières zones d'évacuation en forme de disques, les territoires contaminés n'ont pas de raison d'épouser de telles formes.

Des études en cours au laboratoire d'analyse économique des risques nucléaires de l'IRSN utilisent des simulations de dépôts accidentels suivant des météo réelles pour produire une évaluation réaliste du coût des territoires contaminés. La variabilité en est une caractéristique primordiale : le rapport serait d'environ un à dix entre les extrêmes de coûts, sur un site donné et pour un scénario d'accident donné, suivant la météo. Les données de population et d'occupation des sols et les coûts qui en ont été déduits suggèrent également une variabilité de un à dix pour la vulnérabilité des territoires entre les différents sites. Ces variabilités (due à la météo et due au site) se conjuguent, et s'ajoutent à la variabilité des termes source accidentels eux-mêmes. Du point de vue de l'économie de la sûreté (qui n'est pas le seul valable ni le seul à déterminer le décideur), les sites ne sont donc pas égaux : les populations avoisinantes diffèrent, les vulnérabilités économiques des territoires diffèrent, les profils de vents diffèrent. Ce constat

¹⁵ Une circulaire (MEDDTL, 2010) a été adressée en février 2010 par Jean-Louis Borloo, ministre de l'Écologie, au Préfet de département, à propos de la maîtrise des activités industrielles au voisinage des installations nucléaires, mais il s'agissait de limiter les nouvelles installations d'activités à risque.

pourrait influencer la géographie de l'électronucléaire français à long terme (sans occulter l'objectif principal, qui est le renforcement permanent de la sûreté de tous les sites).

Enfin, comme pour tout « risque majeur », la coopération multidisciplinaire se révèle de plus en plus essentielle. Nul organisme, nul décideur, ne peut embrasser toute la complexité des phénomènes en jeu. Si l'analyse économique peut servir de « fédérateur » des différentes disciplines – ingénierie, météorologie, physique, chimie, science des matériaux, agronomie, biologie, médecine, science politique, géographie, écologie, aménagement du territoire, sociologie, droit, gestion de crise, logistique, communication... – qui toutes doivent être convoquées pour une cindynique nucléaire, une vision strictement scientifique, fût-elle intégrée, fût-elle systémique, ne suffit pas non plus. Il faut aussi préparer la crise avec la population, en l'impliquant et en anticipant ses comportements, et en assurant la transmission des savoirs et de la culture du risque à une population qui « oublie » vite et à un personnel politique et administratif sans cesse renouvelé.

Remerciements. *L'auteur tient à remercier Patrick Momal et Ludivine Pascucci-Cahen, du Laboratoire d'analyse économique des risques nucléaires de l'IRSN, qui l'ont encadré pendant son stage de fin d'études, ainsi que l'ensemble des personnes qui l'ont aidé dans son travail sur les territoires contaminés.*

RÉFÉRENCES

- AIEA (2008) INES, Échelle internationale des événements nucléaires et radiologiques, IAEA fact sheets, http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/French/ines_fr.pdf.
- ASN (2008) La gestion post-accidentelle d'un accident nucléaire, *Contrôle* **180**, juillet 2008.
- ATS (2011) En cas de catastrophe nucléaire, la Suisse ne saurait pas comment reloger la population. Dépêche ATS citée par La Tribune de Genève, 7 juin 2011, <http://www.tdg.ch/cas-catastrophe-nucleaire-suisse-ne-saurait-reloger-population-2011-06-07>.
- Bea K. (2005) Disaster Evacuation and Displacement Policy: Issues for Congress. Rapport au Congrès américain, 2 septembre 2005, <http://www.fas.org/sgp/crs/misc/RS22235.pdf>.
- Butler D. (2011) Reactors, residents and risk, Nature online, 21 avril 2011, <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>.
- Cénérimo G. (2008) Accidents graves des réacteurs à eau de production d'électricité. Rapport IRSN-2008 n° 98.
- Codirpa¹⁶ (2009a) Organisation des pouvoirs publics en situation post-événementielle. Document de travail du GT7, version du 9 juin 2009.
- Codirpa (2009b) Levée des actions d'urgence de protection des populations et réduction de la contamination en milieu bâti. Rapport du GT1, version du 29 octobre 2009.

¹⁶ L'ensemble des rapports et documents émanant des groupes de travail du Codirpa est téléchargeable à la page : <http://www.asn.fr/index.php/Haut-de-page/Professionnels/Situations-d-urgences-radiologiques-et-post-accidentelles-nucleaires/Comite-directeur-gestion-de-phase-post-accidentelle/Synthese-et-rapport-de-chaque-groupe-de-travail>.

LA POPULATION AUTOUR DES SITES NUCLÉAIRES FRANÇAIS

- Codirpa (2010) Alimentation, agriculture, vie dans les territoires ruraux contaminés. Rapport du GT2, version finale, 26 avril 2010.
- Detsyk A. (2010) Préparation à un accident nucléaire : le cas du Royaume-Uni. Thèse, King's College, London.
- Dollet R. (2009) Exercice d'évacuation de l'agglomération de Grenoble. Support de présentation, DIR Centre-Est, 28 mai 2009, http://www.cotita-centre-est.fr/IMG/pdf_14_DIRCE_Presentation_Evacuation_Grenoble.pdf.
- Donn J. (2011) AP IMPACT: Populations around US nuke plants soar, Associated Press, 27 juin 2011, http://hosted.ap.org/dynamic/stories/U/US_AGING_NUKES_PART_3.
- Dupuy J.-P. (2002) *Pour un catastrophisme éclairé*. Points Essais.
- GéoPopulation (2011) Plus de 90 millions de personnes à moins de 30 kms d'un réacteur nucléaire, 23 avril 2011, <http://www.geopopulation.com/20110424/plus-de-90-millions-de-personnes-a-moins-de-30-kms-dun-reacteur-nucleaire>.
- Guillemois C. (2007) Nuage toxique de 1987 : les jours d'après, Ouest-France, 19 octobre 2007, http://www.nantes.maville.com/actu/actudet_-Nuage-toxique-de-1987-les-jours-d-apres..._loc-459889_actu.htm.
- Hiete M., Bertsch V., Comes T., Schultmann F., Raskob W. (2010) Evaluation strategies for nuclear and radiological emergency and post-accidental management, *Radioprotection* **45**, 133-147.
- IRSN-ACTA (2007) Guide d'aide à la décision pour la gestion du milieu agricole en cas d'accident nucléaire, mai 2007, http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/Guide_d_aide_%C3%A0_la_d%C3%A9cision_pour_la_gestion_du_milieu_agricole_en_cas_d_accident_nucl%C3%A9aire-partie_.pdf.
- IRSN (2011) Évaluation au 66^e jour des doses externes projetées pour les populations vivant dans la zone de retombée nord-ouest de l'accident nucléaire de Fukushima – impact des mesures d'évacuation des populations. Rapport DRPH-2011 n° 10.
- Laengy J. (2001) Vimy : une évacuation massive, *Journal des Accidents et des Catastrophes*, 15 mai 2001, <http://www.iutcolmar.uha.fr/internet/recherche/Jcerdacc.nsf/d7bc740ed06c069cc12569-580033c878/f682927f15ea9448c1256a3400446910?OpenDocument>.
- Lagadec P. (2010) Risques et crises en Terra Incognita, *ParisTech Review*, 11 octobre 2010.
- Lapostolle F., Fleury M., Agostinucci J.M., Leclercq G., Adnet F., Magne P., Lapandry C. (1999) Risque explosif en milieu urbain : évacuation d'une ville. L'exemple de Dugny en Seine-Saint-Denis, *Médecine de Catastrophe - urgences collectives* **2**, 48-50.
- Léger M. (2011) L'indemnisation des préjudices en cas d'accident nucléaire, *Radioprotection* **46**, 11-24.
- MEDDTL (2009) Parc des véhicules en circulation au 1^{er} janvier 2008 réparti par genre, http://www.statistiques.equipement.gouv.fr/article.php3?id_article=966.
- MEDDTL (2010) Circulaire du 17 février 2010 relative à la maîtrise des activités au voisinage des installations nucléaires de base (INB) susceptibles de présenter des dangers à l'extérieur du site, adressée par le Ministre de l'écologie aux Préfets de département, http://www.ineris.fr/aida/?q=consult_doc/version_imprimable/2.250.190.28.8.11400/true/pdf.
- Momani P. (2011) L'économie de la sûreté. Document de référence IRSN (en cours d'approbation par enquête probatoire en juillet 2011).
- Pautrat R. (2009) L'évacuation du dépôt de Vimy, du 12 au 20 avril 2001, une coopération civilo-militaire exemplaire, *Doctrine* **2009/01**, 32-34, http://www.monsieur-legionnaire.org/pdf/Urgence_territoire.pdf.
- Préfecture de la Seine-Maritime (2005) Brochure d'information du PPI de la centrale nucléaire de Paluel, <http://www.seine-maritime.gouv.fr/spip.php?article242>.
- Réju M. (2011) Et si un grave accident nucléaire se produisait en France ? *La Croix*, 27 juin 2011, http://www.la-croix.com/Actualite/S-informer/Sciences/Et-si-un-grave-accident-nucleaire-se-produisait-en-France-_NP_-1970-01-01-677566.
- Zajdenweber D. (2011) *Économie des extrêmes*. Champs Flammarion.