

Etude sur la vulnérabilité de la Suisse en cas d'accident nucléaire majeur sur le territoire national

Analyse stratégique et comparaison internationale

IB, série études stratégiques

Institut Biosphère

secretariat@institutbiosphere.ch

www.institutbiosphere.ch

+41 79 741 52 53

Dr Frédéric-Paul Piguet

Etude réalisée par l'Institut Biosphère sur mandat
de l'association *Sortir du Nucléaire*

Auteur :

Frédéric-Paul Piguet

Docteur en Géosciences et environnement, mention sciences de l'environnement

Responsable enseignement et projets à l'Institut Biosphère

Institut Biosphère

16 B rte de Jussy / CH-1226 Genève

secretariat@institutbiosphere.ch

www.institutbiosphere.ch

+41 79 741 52 53

- Avec nos vifs remerciements à Declan Butler pour la transmission des données de son étude que nous avons utilisées ici. Butler Declan, « Reactors, residents and risk », *Nature*, 21 avril 2011, doi:10.1038/472400a
<http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>
- Avec nos vifs remerciements à Philippe Solms, membre du comité de l'Institut Biosphère, pour sa relecture attentive et ses conseils avisés
- Avec nos vifs remerciements à Anne-Christine Favre, Professeur au Centre de droit public, Université de Lausanne, pour une discussion importante concernant cette recherche.

IB : Série études stratégiques : n°1 (version originale complète)

Genève, Septembre 2015

Etude réalisée sur mandat de l'association *Sortir du Nucléaire*, Philippe de Rougemont, Case postale 9, 1211 Genève 7

© En accord avec le mandant, l'association *Sortir du nucléaire*, ce rapport fait l'objet d'une licence *Creative Commons 2.5*

Etude sur la vulnérabilité de la Suisse en cas d'accident nucléaire majeur sur le territoire national

1 RESUME EXECUTIF

1.1 Introduction

Ce rapport identifie la faiblesse stratégique et la vulnérabilité de la Suisse à un accident nucléaire majeur. Un événement de ce type aurait un impact stratégique pour le pays, sur les plans social, économiques et politique, et il convient d'en prendre la mesure.

Ce rapport compare l'environnement stratégique des 4 centrales nucléaires suisses avec celui des 190 autres centrales nucléaires dans le monde, soit 194 centrales nucléaires en tout. Il classe les centrales nucléaires selon la situation de faiblesse stratégique et de vulnérabilité qu'elles sont susceptibles de créer, ou pas, dans leurs pays respectifs, de par leur proximité ou éloignement des aires urbaines importantes.

Le résultat principal est qu'aucune des quatre centrales nucléaires suisses ne respecte le standard coutumier de sécurité en ce qui concerne la localisation des centrales loin des aires urbaines principales, standard pourtant appliqué par 156 des 194 centrales nucléaires dans le monde (80%). Les 4 centrales nucléaires suisses sont dans les 8 premières, sur 194, à entretenir une situation de faiblesse stratégique exceptionnelle, voire anormalement élevée en comparaison internationale. En terme de déplacement de population, de perte de territoire, d'appauvrissement du pays, de fragilisation institutionnelle, de risque d'éclatement du pays, un accident nucléaire majeur dans l'une des centrales nucléaires aurait un coût équivalent, vu l'exiguïté du territoire suisse, à l'impact d'une guerre.

Cette situation de faiblesse stratégique exceptionnelle est préoccupante car les normes de sécurité des centrales nucléaires suisses ne sont pas calquées sur les normes auxquelles doivent répondre les centrales nucléaires neuves. La redondance des systèmes de sécurité, la séparation physique des systèmes de secours, bref, les exigences de sécurité qui font la qualité d'une « défense en profondeur » sont, dans les centrales nucléaires suisses, d'un niveau inférieur à celui exigé dans les centrales nucléaires neuves, ce qu'accroît encore le vieillissement des éléments qui ne peuvent pas être changés. Il est possible de parler de normes de sécurité au rabais alors que la Suisse se distingue de surcroît par un niveau très élevé de vulnérabilité à un accident nucléaire majeur.

Le fait d'être en dessous de deux standards importants de sécurité en même temps, pour toutes ses centrales nucléaires, mène la Suisse à prendre un risque anormalement élevé et grave en comparaison internationale. Ajoutons que le coût d'un accident nucléaire majeur en Suisse serait égal ou supérieur à 284'000 francs par ménage et que seule 0.23% de cette somme fait l'objet d'une couverture d'assurance.¹

1.2 Sortir l'examen des normes de sécurité d'un enfermement cognitif

Le niveau de sécurité des centrales nucléaires suisses en activité ne correspond pas à celui qu'exigerait la loi suisse pour construire des centrales nucléaires neuves. L'*Inspection fédérale de la sécurité nucléaire* (IFSN) affirme pourtant que les « centrales nucléaires

¹ NB : Les références bibliographiques sont systématiques dans la suite du rapport, à partir de la page 13. En revanche, ce résumé exécutif n'en comporte pas.

suisses sont sûres », ce qui veut seulement dire que les centrales nucléaires suisses répondent aux normes de sécurité des centrales nucléaires anciennes, normes dégradées en regard des normes exigées pour les centrales nucléaires neuves.

L'avis de l'IFSN est insuffisant car il n'intègre pas la dimension stratégique d'un accident nucléaire majeur, événement qui impacterait très gravement la sécurité intérieure et extérieure de la Suisse, ce pays étant, par l'implantation géographique de ses centrales nucléaires, beaucoup plus vulnérables que la plupart des autres pays. Autrement dit, il faut avoir une image réaliste du dommage maximal pour dire si le niveau de sécurité est suffisant.²

D'après le présent rapport, une règle de sécurité généralement suivie dans le monde est dans l'éloignement des centrales nucléaires des aires urbaines stratégiques les plus importantes. Même des petits Etats ont réussi à mettre en œuvre cette norme de sécurité essentielle pour leur sécurité nationale (Les Pays-Bas par exemple).

Ce n'est toutefois pas le cas de la Suisse, d'où l'intérêt de s'interroger sur cette dimension cruciale, ce que n'a pas fait l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (ni aucun autre office fédéral). La présente étude devrait permettre de sortir d'une situation classique de dysfonctionnement institutionnel, où le garant de la sécurité s'appuie sur sa propre interprétation de la législation pour dire que tout est en règle, cependant que le législateur s'appuie sur l'avis du garant de la sécurité pour dire que sa législation est adéquate. Comprendre la situation de faiblesse stratégique exceptionnelle de la Suisse en comparaison internationale offre une chance de sortir d'un enfermement cognitif absurde sur le plan logique. Il faut pour cela voir en quoi les centrales nucléaires suisses créent une situation de vulnérabilité exceptionnelle et très largement anormale.

1.3 Dimension de l'accident majeur pris en compte dans cette étude

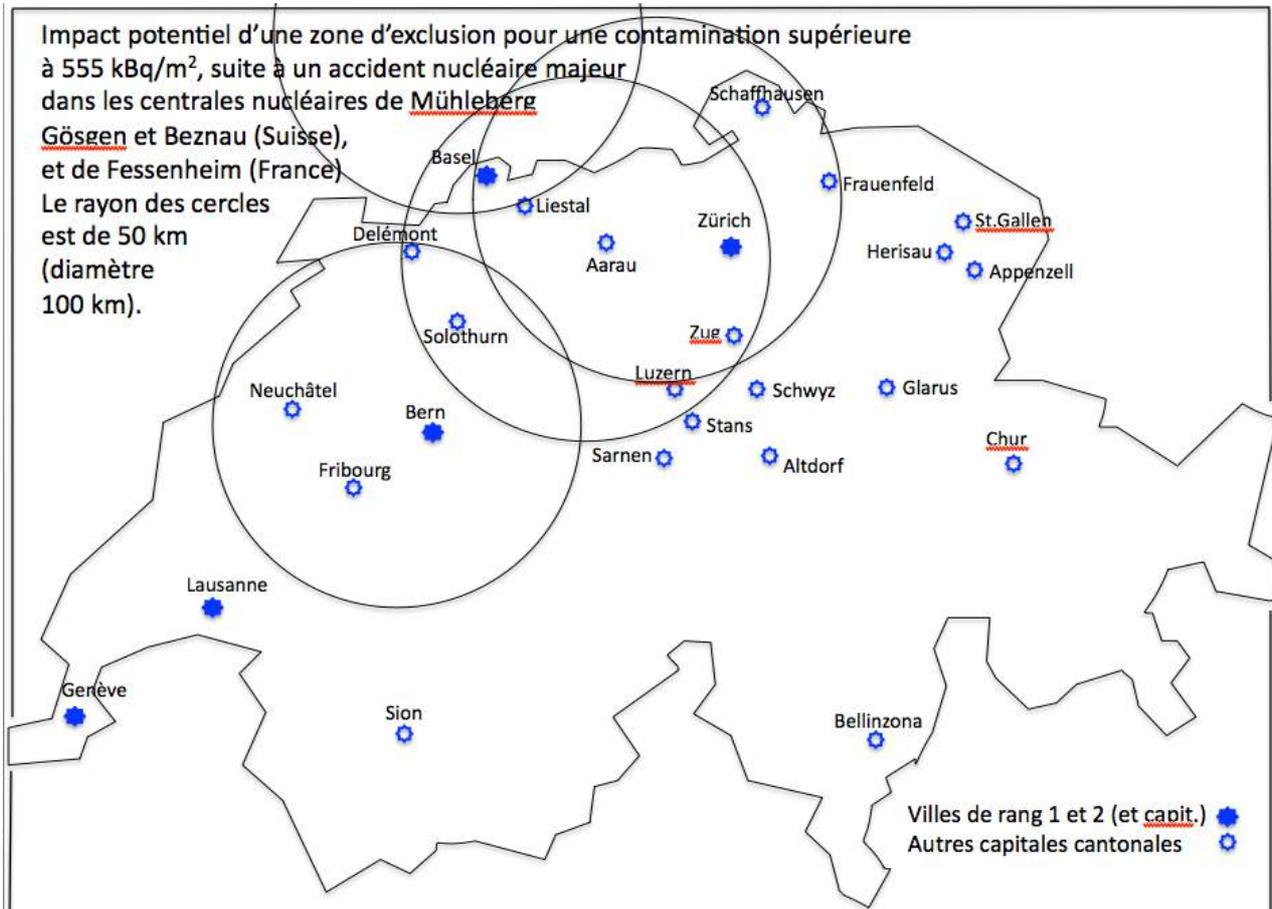
L'accident de référence dans cette étude est un accident de niveau 7 selon INES (échelle des conséquences d'un accident nucléaire éditée par l'Agence internationale de l'énergie atomique). L'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) distingue, au sein de ce niveau 7, trois niveaux dans l'analyse des menaces pour les centrales nucléaires suisses : A4, A5, A6, la menace A6 étant maximale. On remarquera que le rapport de juin 2015 de l'*Office fédéral de la protection de la population* porte sur le seul scénario A4, ce qui suppose des émissions cent fois inférieures à celles d'un scénario A6. Or, pour estimer le degré de faiblesse stratégique de la Suisse, il convient plus particulièrement de s'intéresser aux conséquences du scénario A6.

Concernant le dimensionnement d'une zone d'évacuation durable, qui aurait un impact stratégique considérable sur le pays à long terme, plusieurs sources officielles permettent de conclure qu'elle interviendrait au-dessus d'un niveau d'irradiation du territoire supérieur à 555'000 becquerels par m² (555 kBq/m²). D'après l'expérience, un accident nucléaire majeur pourrait engendrer une aire d'exclusion mesurant entre 2'826 km² (30km de rayon) et 7'850 km² (50 km de rayon – voir carte (a), page suivante), voir davantage.

Un accident nucléaire majeur peut avoir un impact différent selon les conditions météorologiques, celles-ci influençant nécessairement la forme de la zone d'exclusion et la forme des zones contrôlées où la population ne pourra pas vaquer à ses activités ni se déplacer normalement. Une comparaison internationale exige toutefois de standardiser les critères pris en compte afin de les appliquer à l'ensemble des 194 centrales examinées. Comme nous documentons la vulnérabilité de différents pays, nous n'étudions que deux scénarios, celui d'une zone d'exclusion de 30 km et celui d'une zone d'exclusion de 50 km,

² Ce rapport ne se prononce pas sur la probabilité d'un accident majeur, mais sur ses conséquences pour le pays et pour la population s'il survenait.

en ne prêtant attention aux frontières entre Etats que là où cette attention facilite notre travail.³



Carte (a) : Les villes signalées d'une étoile pleine sont des capitales cantonales de rang 1 et 2 (plus de 240'000 habitants) et les villes signalées d'une étoile plus petite représentent les autres capitales cantonales de la Confédération suisse. Le cercle de 50 km de rayon recouvrant presque entièrement la partie Ouest de la Suisse est centré sur la centrale nucléaire de Mühleberg. Le cercle le plus à l'Est du pays est centré sur la centrale nucléaire de Beznau et le cercle entre les deux est centré sur celle de Gösgen. Le cercle le plus au Nord est centré sur la centrale nucléaire française de Fessenheim. Pour des raisons de lisibilité, ne figurent pas les portions de territoire autour de la centrale nucléaire de Leibstadt (à 6 km au Nord-Nord-Ouest de celle de Beznau). Les cercles illustrent ce que pourrait être l'impact d'une zone d'exclusion de 7'850 km² en Suisse (50 km de rayons), sachant que cette expertise prend aussi en compte l'impact d'une zone d'exclusion 2826 km² (30 km de rayon). D'après l'expérience des catastrophes passées, une zone d'exclusion n'aura pas une forme circulaire et elle pourrait concerner des territoires éloignés des cercles ci-dessus, selon le déplacement des masses d'air.

1.4 Comparaison internationale des situations de faiblesse stratégique et de vulnérabilité potentielle

La comparaison internationale sur la vulnérabilité des pays à un accident nucléaire majeur prend en compte la création éventuelle d'une zone de 30 et 50 km de rayon autour de chacune des 194 centrales. Elle documente la pression durable sur le pays suite au développement d'un nuage radioactif et aux dépôts durables sur les sols qui en

³ Concernant la mesure de la distance des centrales nucléaires aux villes, nous avons utilisé la fonction « mesurer distance » de *Google maps* et calculé les distances en allant jusqu'au point à partir duquel une proportion non négligeable de l'aire urbaine habitée (au moins un quart), telle qu'elle apparaît à l'image satellite, est incluse dans un rayon de 30 km ou de 50 km (respectivement).

résulteraient. L'aspect sanitaire du passage du nuage radioactif est important, mais ce rapport s'intéresse davantage à la dimension stratégique d'une zone d'exclusion durable.

Une comparaison internationale exige une grille d'examen standardisée, de telle sorte que les pays soient tous analysés de la même façon. Nous avons examiné leur situation en comparant les caractéristiques stratégiques principales de l'environnement des centrales nucléaires, dans un rayon de respectivement 30 km et 50 km.

Nous avons notamment pris en compte quatre critères différents pour définir le rang final des 194 centrales nucléaires : 1° l'impact territorial d'une zone d'exclusion en proportion de la grandeur du pays ; 2° l'impact sur la population environnante en proportion de la population totale du pays ; 3° l'importance relative des aires urbaines et leur nombre dans un rayon de 30 et de 50 km, en rapportant la population de ces aires urbaines à la population du pays (approche population) ; 4° l'importance relative des aires urbaines et leur nombre dans un rayon de 30 et de 50 km, selon une approche métropole, en rapportant la population de ces aires urbaines à la population de la principale métropole du pays (voir un extrait du résultat dans le *tableau i* ci-dessous).

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE : rang des 4 centrales nucléaires suisses en regard de leur proximité des aires urbaines principales du pays (le rang de chaque aire urbaine est calculé en fonction de la principale "métropole" du pays – report des résultats du tableau 5 – comparaison avec 194 centrales nucléaires)							
Tableau i: vulnérabilité de la suisse	Population: Aire urbaine (AU) de rang 1		Population: Aire urbaine (AU) de rang 2		Population: Aire urbaine (AU) de rang 3		Vulnérabilité politique de la Confédération
	Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		
Centrale nucléaire	<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	Report des rangs du tableau 5 (sur 194 centrales nucléaires)
	nbr d'AU rang 1	nbr d'AU rang 1	nbr d'AU rang 2	nbr d'AU rang 2	nbr d'AU rang 3	nbr d'AU rang 3	
Nom							Rang
Beznau	Zh		Bs		Wint		1
Gösgen	Zh		Bs		Lu		7
Leibstadt	Zh		Bs		Wint		8
Mühleberg			Be*		Fr Ne Biel Thun		11

Tableau i: les centrales nucléaires suisses ont un environnement stratégique sensible dans un rayon de 30 et 50 km, ce qui leur fait peser une menace anormalement élevée sur le pays en comparaison internationale.

Chacune des quatre caractéristiques stratégiques retenues permet d'attribuer un rang à aux 194 centrales nucléaires, ces rangs permettant ensuite de donner un rang final à chacune d'elles selon la vulnérabilité de son environnement stratégique. La diversité des approches confère une certaine robustesse au classement final.

1.5 Résultats : rang final

Les 3 premières places du classement final – voir *tableau ii* page suivante – sont occupées par les centrales nucléaires de Metsamor (Arménie) et par Kuosheng et Jinshan (Taïwan) et la centrale nucléaire de Beznau (3^e ex æquo). Les places 5 et 6 sont occupées par les centrales de Gösgen et Leibstadt, la 7^e par la centrale nucléaire de Doel (Belgique), la 8^e par la centrale de Mühleberg, la 9^e par la centrale de Tihange (Belgique).

Les places 9 (Kanupp – Pakistan) et 10 (Pickering – Canada) sont occupées par les centrales de deux grand pays où les planificateurs ont prioritairement cherché à réduire le prix de transport du courant électrique au détriment de la sécurité. Cela étant, les centrales de petits pays peuvent présenter un profil de risque moins élevé. Les centrales de Krsko (Slovénie, 14^e) ; Borssele (Pays-Bas, 20^e) sont plus éloignées dans le classement. Ces deux éléments montrent que la taille du pays ne détermine pas tout, même si elle joue un rôle important.

Le classement final pourrait bouger légèrement suite à l'intégration de critères supplémentaires, sans toutefois être bouleversé. Les centrales suisses resteraient probablement dans les 10 premières, sur 194, par leur capacité à créer une situation de grande vulnérabilité, au détriment du pays, de ses institutions et de sa population.

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE : Vulnérabilité de 31 pays en cas d'accident majeur de niveau 7 selon INES dans l'une de leur(s) centrale(s) nucléaire(s) en activité (194 centrales nucléaires).

Tableau ii: Copie du tableau 7 et synthèse des tableaux 2, 3, 5, 6			Vulnérabilité de la population:	Vulnérabilité selon le territoire	Rang de 194 centrales nucléaires selon leur proximité des aires urbaines principales		Synthèse sur la vulnérabilité	
Ligne	Centrale nucléaire	Pays	Pourcentage de la population vivant dans un rayon de 30km d'une centrale nucléaire ^a	Impact d'une aire d'exclusion de 2624 km ²	Rappel: le rang de chaque aire urbaine dépend de la population de chaque pays (approche "population nationale")	Rappel: le rang de chaque aire urbaine dépend de la population de la métropole principale (approche "métropole")	Vulnérabilité potentielle engendrée par chaque centrale	Rang final : 1 = haute vulnérabilité
Nbr	Nom	Nom	Rang	Rang	Rang	Rang	Rangs cumulés valeur illustrative par défaut	Rang final
1	Metsamor	Armenia	1	2	2	2	7	1
2	Kuosheng	Taiwan	2	4	3	3	12	2
3	Jinshan	Taiwan	3	4	3	3	13	3
4	Beznau	Switzerland	6	5	1	1	13	3
5	Goesgen	Switzerland	7	5	8	8	28	5
6	Leibstadt	Switzerland	9	5	7	8	29	6
7	Doel	Belgium	5	3	9	14	31	7
8	Mühleberg	Switzerland	8	5	10	15	38	8
9	Tihange**	Belgium	10	3	12	20	45	9
10	Kanupp	Pakistan	15	21	5	5	46	10
11	Pickering	Canada	13	27	5	5	50	11
12	Kori II / Kori	Korea Rep.	12	10	11	18	51	12
13	Bohunice	Slovakia	11	7	24	13	55	13
14	Krsko**	Slovenia	4	1	23	35	63	14
15	Mochovce	Slovakia	14	7	25	19	65	15
16	Neckarwestheim	Germany	21	15	14	17	67	16
17	Dukovany	Czech Rep.	16	8	16	29	69	17
18	Philippsburg	Germany	20	15	20	16	71	18
19	Darlington	Canada	28	27	8	9	72	19
20	Borssele**	Netherlands	17	6	28	38	89	20
	<i>voir annexe</i>	<i>voir annexe</i>	<i>v. annexe</i>	<i>v. annexe</i>	<i>voir annexe</i>	<i>voir annexe</i>	<i>v. annexe</i>	<i>v. annexe</i>
193	Wolf Creek	USA	193	27	65	79	364	193
194	Billibino	Russian Fed.	193	31	65	79	368	194

Le *tableau ii* est la copie raccourcie du tableau 7. Il prend en compte les résultats principaux des tableaux 2, 3, 5 et 6. Il combine les approches identifiant la vulnérabilité potentielle à travers le nombre d'habitants vivant près des centrales nucléaires (tableau 2), de l'impact territorial (tableau 3), des aires urbaines proches des centrales nucléaires (tableau 5 & 6). Le rang final peut être considéré comme robuste.

a) Les données primaires du tableau 1 sont de Declan Butler de la revue *Nature*: <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>

** Centrales nucléaires menaçant des aires urbaines dans des pays étrangers (pour le détail de ces centrales nucléaires, voir tableau 4).

1.6 Résultats : la sécurité par l'éloignement des centrales nucléaires (norme coutumière) et situation de la Suisse

Sur un plan général, une localisation judicieuse des centrales nucléaires permet de restreindre la vulnérabilité du pays à un accident majeur. Les résultats suivants laissent apparaître une norme implicite de sécurité (d'ordre coutumier) visant à éloigner les centrales nucléaires des lieux fortement habités afin de limiter la vulnérabilité des pays.

	▼ NORME COUTUMIERE DE SECURITE ▼	▼ SITUATION DE FAIT EN SUISSE ▼
1°	130 centrales nucléaires ont moins de 400'000 habitants dans un rayon de 30 km, (soit 2/3 des centrales). La moitié des centrales a moins de 222'000 habitants dans un rayon de 30 km.	Les centrales nucléaires Suisses ont, dans un rayon de 30 km, entre 1'027'780 habitants (Beznau) et 817'983 habitants (Leibstadt)
2°	Dans un rayon de 30 km, 5/6 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 1% de la population du pays abritant ces installations.	Les centrales suisses exposent une population allant de 12.92% (Beznau) à 10.28% (Leibstadt) de la population suisse.
3°	En cas de création d'une zone d'exclusion de 30 km de rayon (2826 km ²) sur 194 centrales nucléaires dans le monde, 161 d'entre elles, 5/6 de l'effectif, entameraient le territoire national de moins de 1% de sa surface.	La Suisse perdrait quant à elle plus de 6,5% de son territoire.
4°	156 centrales nucléaires dans le monde – sur 194 – ont, au plus, une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km (proportion de 4/5 – 80%).	Trois des centrales nucléaires suisses ont, dans un rayon de 50 km, une aire urbaine de rang 1, une de rang 2 et une de rang 3, cependant que la quatrième centrale a, dans ce même rayon, une ville de rang 2 (aussi capitale fédérale), plus quatre aires urbaines de rang 3.

Tableau iii : Si l'on regarde le type de vulnérabilité potentielle entretenue par les centrales nucléaires dans le monde, seule une minorité fait peser une menace stratégique grave sur le pays qui les accueille. L'élément le plus significatifs de ce tableau est celui de la 4^e ligne : 80% des centrales nucléaires dans le monde ont, au plus, une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km. Or, les centrales nucléaires suisses ne respectent pas ce standard international ce qui leur fait entretenir, vu leurs carences en matière de défense en profondeur, une situation de faiblesse stratégique anormale.

1.7 *Commentaire sur la conjugaison de deux points faibles de la sécurité de la Suisse face à un accident nucléaire majeur*

Il convient d'évaluer la pertinence des standards de sécurité concernant l'architecture et la technologie des centrales nucléaires neuves et anciennes (redondance des systèmes de sécurité, séparation physiques des systèmes de secours, défense en profondeur) en fonction du contexte géographique et de l'importance relative du « bien » à protéger.

La pratique internationale est dominée par l'éloignement des centrales nucléaires des aires urbaines importantes en regard de la taille du pays. Ce lien est réel et de nature coutumière.

Le non alignement automatique des normes de sécurité des anciennes centrales nucléaires sur celles des nouvelles centrales pourrait être acceptable lorsqu'elles ne sont pas entourées d'un environnement particulièrement vulnérable (une aire urbaine de rang 3 au maximum) ni n'entretiennent une situation de faiblesse stratégique extraordinaire. Dans les faits, plus de quatre cinquièmes des centrales nucléaires ne se trouvent pas dans une situation de double exposition au risque.

En revanche, les pays maintenant en activité des centrales d'ancienne conception, dans un contexte de faiblesse stratégique anormalement élevée, prennent un risque considérable en comparaison internationale. En examinant la littérature d'organismes officiels sur cette question et en transposant leurs conclusions à la Suisse, la quasi-totalité du pays, en cas d'accident nucléaire majeur, sera identifié avec la zone sinistrée pour une période de temps indéterminée (plusieurs décennies, voire davantage). Une situation de faiblesse stratégique

aggrave ensuite la situation des populations : un accident majeur déstabilise les institutions politiques, ce qui accentue ensuite le dommage de la population touchée, celle-ci ne pouvant plus compter sur la solidarité nationale vu les grandes difficultés du pays.

Il est évident que des normes de sécurité focalisées sur les coûts, favorables aux intérêts financiers des exploitants de centrales nucléaires, ne conviennent pas à des pays exposés à une vulnérabilité exceptionnellement élevée. Les pays en situation de faiblesse stratégique – qui veulent compenser la vulnérabilité de leur territoire pour ne pas être en dessous des standards de sécurité – doivent aligner leurs exigences de sécurité sur celles des centrales neuves, afin d’avoir le même niveau de sécurité inhérente, de redondance et de défense en profondeur que les centrales neuves. Il n’y a pas lieu de proposer des améliorations « dans la mesure du possible », mais de payer le prix pour ne pas prendre un risque d’ampleur plus élevée que les pays les plus résilients sur le plan stratégique.

Les Etats les plus vulnérables doivent aligner le niveau de sécurité des anciennes centrales sur le niveau de sécurité des centrales neuves (y compris la séparation physique des systèmes de sécurité – quel que soit le prix) et, si ce n’est pas possible, fermer le plus rapidement leurs anciennes centrales. Suite à la catastrophe de Fukushima, l’Allemagne a fermé définitivement 7 de ses réacteurs (les moins fiables), pendant que le Japon fermait toutes ses centrales pendant plusieurs années. Cette façon de faire implique de remplacer l’énergie manquante par des mesures de rationalisation, par le développement des énergies alternatives, voire la construction de centrales nucléaires neuves si le problème des déchets nucléaires est résolu⁴.

1.8 Aspects économique et politique de cette situation de faiblesse stratégique

Concernant le coût d’un accident nucléaire, nous avons examiné les deux études de l’Office de protection de la population (1995 et 2003) et revus les coûts énoncés alors à la lumière d’études faites en France (par un organisme officiel) et en Belgique (par des experts indépendants – selon les standards méthodologiques de l’OCDE pour ce genre d’études).

Selon notre estimation, un accident nucléaire majeur aurait un coût égal ou supérieur à 1’000 milliards de francs (1’000’000’000’000,-), soit un montant égal ou supérieur à 157% du produit intérieur brut de la Suisse (perte à mettre en perspective de la dette publique de la Confédération, des cantons et des communes – 34,5% du PIB – données 2013). Le coût d’un tel accident est tellement élevé que le principe de solidarité nationale serait incapable de venir au secours des victimes,⁵ des personnes déplacées et des personnes perdant leur emploi du fait de cet accident.

Concernant la couverture d’assurance, une somme équivalant à 0.23% du dommage ci-dessus est prévue, et elle serait réduite à 0.13% si un accident majeur était causé par un événement naturel exceptionnel ou un acte terroriste.

Dans l’éventualité d’un tel accident, malgré des disparités régionales, la Suisse et ses productions – agricoles, mais pas seulement – *serait intégralement identifiée*, en tant que pays, à la catastrophe nucléaire impactant son territoire. Ce serait l’échec d’un pays réputé jusque là pour son excellence sur le plan technologique (biotech, pharmacie, microtechnique), ses services de santé et sa qualité de vie, échec qui impacterait durablement ces secteurs économiques et d’autres (dont la gestion de fortune). Un seul accident nucléaire majeur ruinerait l’attractivité du pays pour de nombreuses décennies, voire davantage. Aussi fait-il sens de dire que cet accident créerait une perte de valeur par ménage égale ou supérieure à 284’000 francs. La Suisse deviendrait rapidement un des Etats parmi les plus pauvres d’Europe, son rang dans les instances internationales rétrograderait fortement ce qui constituerait un choc systémique pour l’ensemble des activités.

⁴ La question du stockage définitif des déchets nucléaires ne fait pas partie du champ de cette étude.

⁵ L’Institut de radioprotection et sûreté nucléaire français (IRSN) s’inquiète de ce risque pour la France, un pays plus grand et ayant mieux localisé ses centrales nucléaires que la Suisse.

Sur le plan politique, Beznau est à moins de 50 km de 7 capitales cantonales. Gösgen est à moins de 50 km de 8 capitales cantonales, Leibstadt est à moins de 50 km de 5 capitales cantonales, Mühleberg est à moins de 50 km de 5 capitales cantonales, dont Berne qui est aussi la capitale de la Confédération. Un accident majeur dans l'une des quatre centrales ne créerait pas de dommages majeurs à toutes les capitales cantonales se trouvant dans un rayon de 50 km, mais il mènerait à poser la question de la disparition de plusieurs cantons suisses, vu la quasi interruption de leur fonctionnement politique pendant une période de temps indéterminée. Un accident majeur pourrait couper le pays en deux physiquement (le long de ses axes de transports principaux), déstabilisant de façon profonde et durable ses équilibres politiques. Cette importante déstabilisation sur le plan des équilibres institutionnels et linguistiques serait aggravée par la situation nouvelle de pauvreté du pays, laissant place à un fort ressentiment. Chacun se fera son opinion, mais il n'est pas sûr que l'idée de *Confédération suisse* fasse sens longtemps dans de telles conditions.

1.9 Conclusion et recommandations

Maintenir en activité le réacteur nucléaire la plus vieux du monde (Beznau I), conçu il y a quelque cinquante ans selon une conception périmée de la sécurité, et situé près de la principale métropole suisse, illustre une politique de sécurité nucléaire incompréhensible : 1° le pays abrite des centrales nucléaires ne répondant pas aux critères les plus modernes de sécurité valant pour les centrales neuves (notamment en matière de sécurité passive). 2° Il présente en comparaison internationale un très haut potentiel de vulnérabilité à un accident nucléaire majeur – tant politique vu son fédéralisme et la cohabitation de trois communautés linguistiques – qu'économique et social, chaque centrale étant proche d'aires urbaines cruciales.

Autrement dit, cumuler les défauts des deux situations ci-dessus revient à ne pas respecter les standards de sécurité internationaux écrits et non écrits pour les installations dangereuses et à prendre un risque stratégique considérable, au détriment du pays, des institutions et de la population. Lorsque les centrales nucléaires d'un pays cumulent deux défauts aussi importants, les normes de sécurité d'ordre technique prises dans les anciennes centrales nucléaires ne sont pas proportionnées à la situation réelle du pays et sont en dessous des standards attendus (sous dimensionnement).

Lorsqu'un pays est particulièrement vulnérable à un accident nucléaire majeur (avec toutes ses centrales dans les 10 premières de ce point de vue, sur 194), ses centrales nucléaires doivent répondre aux critères de sécurité des centrales nucléaires neuves. Si ce pays ne peut aligner la sécurité de ses centrales sur ce niveau et qu'il considère son intégrité territoriale, son indépendance politique, ses libertés, sa prospérité et l'intégrité physique et psychique de sa population comme des biens méritant protection, il doit alors fermer ses centrales nucléaires et mettre en œuvre une politique énergétique alternative.

En matière d'énergie nucléaire, un petit pays se montre téméraire et irresponsable quand il adopte le standard de sécurité valant pour les anciennes centrales nucléaires de pays beaucoup plus grands et plus résilients que lui face à un accident nucléaire majeur. La Suisse n'est pas seule dans cette situation, mais il est de son intérêt d'en sortir rapidement.

Etude sur la vulnérabilité de la Suisse en cas d'accident nucléaire majeur sur le territoire national : Analyse stratégique et comparaison internationale

2 SOMMAIRE

1 RESUME EXECUTIF	3
1.1 Introduction	3
1.2 Sortir l'examen des normes de sécurité d'un enfermement cognitif.....	3
1.3 Dimension de l'accident majeur pris en compte dans cette étude	4
1.4 Comparaison internationale des situations de faiblesse stratégique et de vulnérabilité potentielle	5
1.5 Résultats : rang final	6
1.6 Résultats : la sécurité par l'éloignement des centrales nucléaires (norme coutumière) et situation de la Suisse	7
1.7 Commentaire sur la conjugaison de deux points faibles de la sécurité de la Suisse face à un accident nucléaire majeur	8
1.8 Aspects économique et politique de cette situation de faiblesse stratégique	9
1.9 Conclusion et recommandations.....	10
2 Sommaire	11
3 Introduction	13
3.1 Objectifs et raisons de cette étude	13
3.2 Critères de la faiblesse stratégique et de la vulnérabilité des pays à un accident nucléaire majeur	19
3.3 Estimation de la surface de territoire devant être évacuée en cas d'accident nucléaire majeur	21
3.4 Deux aspects de la vulnérabilité : responsabilité morale et faiblesse stratégique du pays (quels sont les indicateurs pertinents ?).....	29
4 VULNERABILITE STRATEGIQUE des pays en cas d'ACCIDENT nucleaire Majeur sur leur territoire : resultats principaux.....	32
4.1 Responsabilité morale et vulnérabilité : nombre de personnes vivant à moins de 30 km d'une des 194 centrales nucléaires en activité dans le monde (Données : Declan Butler)	32
4.2 Faiblesse stratégique et vulnérabilité : part de la population nationale impactée	35
4.3 Faiblesse stratégique et vulnérabilité : part du territoire national impacté	38
4.4 Faiblesse stratégique et vulnérabilité : exportation de la menace potentielle	40
4.5 Faiblesse stratégique et vulnérabilité des aires urbaines (1/2)	43
4.6 Faiblesse stratégique et vulnérabilité des aires urbaines (2/2)	45
4.7 Faiblesse stratégique et vulnérabilité des aires urbaines (synthèse).....	47
5 Vulnérabilité politique et économique de la suisse a un accident nucleaire majeur	55

5.1	Introduction : vulnérabilités politique et économique de la Suisse.....	55
5.2	Capitales cantonales de la Confédération suisse menacées en cas d'accident nucléaire majeur	57
5.3	Vulnérabilité des communications routières	57
5.4	Estimation économique du coût d'un accident nucléaire majeur.....	59
5.5	Conclusion sur la situation politique de la Suisse en cas d'accident nucléaire majeur dans l'une de ses centrales nucléaires	64
6	Bibliographie	67
6.1	Législation et normes officielles.....	67
6.2	Avis et rapports officiels	67
6.3	Articles scientifiques et rapports scientifiques.....	68
6.4	Sites internet officiels	69
6.5	Articles de presse et autres sources.....	70

3 INTRODUCTION

3.1 Objectifs et raisons de cette étude

3.1.1 Faiblesse stratégique et vulnérabilité à un accident nucléaire majeur : le cas de la Suisse

Ce rapport vise à identifier la faiblesse stratégique et la vulnérabilité de la Suisse à un accident nucléaire majeur. Un événement de ce type a nécessairement un impact stratégique négatif pour le pays qui le subit, il a des implications sociales, économiques et politiques. Vu son coût, il pourrait aller jusqu'à briser le principe de solidarité confédérale. Suivant son importance en regard des forces du pays, il pourrait aller jusqu'à menacer la cohésion nationale.

La vulnérabilité de la Suisse en cas d'accident nucléaire a été étudiée dans deux rapports de l'Office fédéral de la protection civile : le rapport Katanos (1995),⁶ et le rapport Katarisk (2003)⁷. Ces rapports pionniers abordent la question sous un angle économique et social. Le point de départ de la réflexion est la vulnérabilité de la collectivité afin « de définir une planification optimale des moyens de la protection de la population ».⁸ Il s'agit de considérer la difficulté de se relever d'une catastrophe majeure. « Plus les dégâts sont importants, plus la capacité qu'a une communauté de retrouver son équilibre diminue dans de singulières proportions ».⁹ Un nouveau rapport vient de sortir (2015) : *Concept de protection d'urgence en cas d'accident dans une centrale nucléaire en Suisse* et, comme son nom l'indique, il porte sur les mesures d'urgence et la coordination des secours, il prend comme référence un scénario A4, alors que nous prenons comme référence un scénario A6 avec des émissions 100 fois plus élevées.

➤ *Les rapports de l'Office fédéral la protection civile ou commandés par cet office ne disent toutefois rien sur la vulnérabilité politique du pays en cas d'accident nucléaire majeur, ni ne comparent les coûts aux capacités du pays, ni ne font une comparaison internationale de la vulnérabilité des différents pays devant un accident nucléaire majeur.¹⁰ Il convient donc de compléter leur approche.*

Ils estiment les coûts de différentes catastrophes pour la Suisse, dont celui d'une catastrophe nucléaire, et il conviendra de s'y référer en réactualisant ces données et en essayant de comprendre la dimension politique de la vulnérabilité du pays.

⁶ Office fédéral de la protection civile, *Katanos : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une analyse comparative*, 1995, 77 p.

⁷ Office fédéral de la protection de la population, *Katarisk : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une appréciation des risques du point de vue de la protection de la population*, 2003, 83 p.

⁸ Office fédéral de la protection civile, op. cit., 1995, p. 5.

⁹ Ibid, p. 16.

¹⁰ Nous avons consulté : Confédération suisse, *Concept de protection d'urgence en cas d'accident dans une centrale nucléaire en Suisse*, 23 juin 2015, 54 p. Confédération suisse, *Stratégie de la protection de la population et de la protection civile : 2015+, 2012*, 81 p. / Center for Security Studies, *Preparing for Disasters in Global Cities : an International Comparison (3RG report)*, ETH Zürich, 2013, 63 p. / Center for Security Studies, *Swiss Crisis Mapping : Using Geodata and Social Media in Crisis and Disaster Management in Switzerland*, ETH Zürich, 2013, 10 p. / Center for Security Studies, *Analyse des risques et des dangers et protection de la population*, ETH-Zürich, 2011, 45 p. / Confédération suisse, *Protection de la population et protection civile : les défis*, 2010, 13 p. /

3.1.2 *Comparaison internationale du risque stratégique pris par la Suisse en comparaison de celui pris par les autres détenteurs de centrales nucléaires*

Le présent rapport ajoute une dimension politique en comparant la situation de faiblesse stratégique que créent les quatre centrales nucléaires suisses à la faiblesse stratégique que créent les 190 autres centrales nucléaires dans les 30 autres pays disposant de centrales en activité. Ces éléments de comparaison permettent de se faire une meilleure image de l'ampleur du risque stratégique pris et devrait éclairer les politiques sur les enjeux réels. L'hypothèse de recherche est que certaines caractéristiques du territoire peuvent faire varier l'incidence d'un accident nucléaire sur un pays. A ce titre, la distance des centrales nucléaires aux villes importantes, aux espaces où se crée la richesse nationale sont des facteurs à prendre en compte. La vulnérabilité d'un pays sera d'autant plus grande que des intérêts importants seront touchés.

➤ *L'intérêt est de comprendre le type de faiblesse stratégique et de vulnérabilité engendré par les 194 centrales nucléaires dans le monde et de voir où se situent les quatre centrales nucléaires suisses en regard de la tendance générale.*

3.1.3 *Fukushima : quand l'impensable devient réalité*

L'accident nucléaire du 11 mars 2011 à Fukushima est venu rappeler qu'une puissance économique avancée, à la pointe sur le plan technologique, n'est pas à l'abri d'une surprise, l'inimaginable paraissant acquérir – comme le laisse entendre le rapport du parlement japonais¹¹ – ce caractère d'évidence qui fait que sa réalisation paraît après coup dans l'ordre des choses, comme si l'accident était inéluctable au vu des nombreux éléments qui l'ont permis.

3.1.4 *Un parc nucléaire suisse vieillissant et de conception ancienne*

Certains éléments du dossier technique laissent entendre que la Suisse n'est pas dans une situation telle qu'elle échappera nécessairement à un accident d'ampleur équivalente ou supérieure. Pour mémoire, deux des centrales nucléaires suisses comptent parmi les plus anciennes du monde en exploitation : Beznau I et II (1969-1971)¹² ; Mühleberg (1972).¹³ Le réacteur de Beznau I est le plus ancien au monde encore en fonctionnement. Deux autres centrales sont plus récentes : Gösgen (1979)¹⁴ ; Leibstadt (1984).¹⁵

3.1.5 *Plusieurs expertises indépendantes remettent en cause la crédibilité de la sécurité des centrales nucléaires suisses*

Il convient de rappeler les éléments du débat. Deux experts ont montré, indépendamment l'un de l'autre, dans des rapports fouillés, que ces centrales sont structurellement anciennes et qu'il est souvent impossible ou extrêmement onéreux de les mettre à niveau sur des points importants : Christian Küppers, de Öko-Institut de Darmstadt a expliqué pourquoi la centrale nucléaire de Beznau ne répond pas aux standards modernes lors d'un exposé à Brunnen le 5-5-2014, le document mis en ligne

¹¹ The National Diet of Japan, Kiyoshi Kurokawa, Katsuhiko Ishibashi, Kenzo Oshima, Hisako Sakiyama, Masafumi Sakurai, Koichi Tanaka, Mitsuhiko Tanaka, Shuya Nomura, Reiko Hachisuka, Yoshinori Yokoyama, *The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, 2012, 86 p.

¹² Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), Centrale nucléaire de Beznau, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-beznau/>

¹³ Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), Centrale nucléaire de Mühleberg, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-muehleberg/>

¹⁴ Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), Centrale nucléaire de Gösgen, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-goesgen/>

¹⁵ Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), Centrale nucléaire de Leibstadt, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-leibstadt/>

étant sans ambiguïté.¹⁶ Cet exposé fait suite à un rapport très critique sur cette même centrale par trois auteurs du même institut.¹⁷ De façon séparée, Dieter Majer, ancien numéro 1 de la sécurité nucléaire en Allemagne a montré dans une autre étude sur les quatre centrales nucléaires suisses que nombre d'exigences de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) pour les centrales nucléaires neuves ne sont pas remplies en Suisse du fait de l'ancienneté et qu'elles ne peuvent l'être, la situation étant aggravée par le vieillissement de pièces impossibles à changer.¹⁸

3.1.6 Réponse de l'Inspection fédérale de sécurité nucléaire (IFSN) : respect des normes de sécurité

L'IFSN a répondu à Dieter Majer le 23 juin 2014¹⁹ en disant que les centrales suisses remplissent les normes suisses et internationales de sécurité. Majer a précisé publiquement ses critiques quelques jours plus tard.²⁰ Dans l'ensemble, le reproche fait aux 4 centrales nucléaires suisses est que le principe de redondance des systèmes de sécurité – défense en profondeur – est très imparfaitement réalisé au vu de « l'expérience et de l'état de la science et de la technique ».

3.1.7 Ambiguïté des normes de sécurité officielles

La divergence de vue achoppe implicitement sur la question des normes à suivre, tant celles de l'Agence internationale de l'énergie atomique (AIEA) que les normes légales helvétiques. Or, ces normes sont ambiguës comme le montre l'opposition de principe entre les intentions énumérées sous chiffre 1 et 2 en regard des restrictions des chiffres 3 et 4.

3.1.8 Première tendance des normes de sécurité : priorité à la sécurité et à la « défense en profondeur »

1° D'un côté, les normes suisses affirment la priorité de la sécurité sur les autres considérants, elles affirment le principe de redondance et de défense en profondeur, ce qui implique notamment de séparer physiquement ces éléments pour éviter qu'ils ne soient endommagés en cas d'événement sortant du cours ordinaire des événements (tremblement de terre, inondation, terrorisme...). La loi sur le nucléaire (LENu - 732.1) a pour objectif, art. 1, de réglementer « l'utilisation pacifique de l'énergie nucléaire. Elle vise en particulier à protéger l'homme et l'environnement des dangers qui y sont liés. » Cette loi n'a pas d'autre but que la sécurité et elle ne statue jamais explicitement sur d'éventuels objectifs énergétiques ou économiques de la politique nucléaire. Le critère de « l'état de la science et de la technique » préconise que les centrales nucléaires soient au meilleur niveau technique du moment.²¹ Dans cette perspective, le détenteur de l'autorisation d'exploiter doit en particulier « suivre l'évolution de la science et de la technique et les expériences faites par les exploitants d'installations comparables ; »²² On mentionnera encore l'Ordonnance sur la Commission fédérale de sécurité nucléaire (OCSN), commission qui a pour activité, selon l'art. 2 : « Suivi de l'avancement de la science et de la technique ainsi que de la recherche¹ La commission suit l'avancement de la science et de la technique en particulier dans le domaine de la sécurité nucléaire.

¹⁶ Küppers Christian, Wesentlichesicherheits-technische Schwachstellen des AKW Beznau, Öko-Institut e.V., D-Darmstadt, Brugg, 24. Juni 2014, 8 p.

¹⁷ Cf. Brettner Mathias, Pistner Christoph, Kurth Stephan, Analyse der Ergebnisse des EU-Stresstest der Kernkraftwerke Fessenheim und Beznau Teil : Beznau, Öko-Institut, 2012, 130 p.

¹⁸ Majer Dieter, « Risiko Altreaktoren Schweiz », Februar 2014, 44 p.

¹⁹ Cf. Inspection fédérale de la sûreté nucléaire (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat), *Stellungnahme zur Studie „Risiko Altreaktoren Schweiz“*, 23 juin 2014, 16 p.

²⁰ Majer Dieter, « Stellungnahme zur Aktennotiz des ENSI vom 23.6.14 », 2-07-2014, 9 p.

²¹ Confédération Suisse, *Loi sur l'énergie nucléaire*, (LENu - 732.1) art. 4 al. 3.

²² Confédération Suisse, *Loi sur l'énergie nucléaire*, (LENu - 732.1) art. 22, al.2 lettre h.

Art. 5 al.3 : Elle [la commission] se prononce en particulier sur l'adéquation des mesures prévues pour la protection de l'homme et de l'environnement. »²³

2° L'AIEA semble aussi privilégier la sécurité dans son document « Principes fondamentaux de sûreté » : « Le principal moyen de prévenir et d'atténuer les conséquences des accidents est la 'défense en profondeur'. Elle est essentiellement mise en œuvre à travers un ensemble de niveaux de protection consécutifs et indépendants dont la défaillance entraîne des effets nocifs à des personnes ou à l'environnement. (...) L'efficacité indépendante des différents niveaux de défense est un élément nécessaire de la défense en profondeur. »²⁴ Ce concept requiert notamment, « des marges de sûreté, la diversité et la redondance (...) des matériaux de haute qualité et de haute fiabilité (...) une combinaison appropriée de caractéristiques de sûreté intrinsèque et de dispositifs de sauvegarde ». ²⁵

Le principe général est simple : « L'objectif fondamental de sûreté est de protéger les personnes et l'environnement contre les effets nocifs des rayonnements ionisants. »²⁶

3.1.9 Seconde tendance des normes de sécurité : priorité à la limitation des coûts de la sécurité

3° Les sources citées ci-dessus précisent toutefois que ces objectifs peuvent être restreints pour des raisons économiques. L'AIEA limite son objectif de sécurité ainsi : « Cet objectif fondamental de protection des personnes – individuellement et collectivement – et de l'environnement doit être réalisé *sans limiter de manière indue l'exploitation des installations ou la conduite d'activités entraînant des risques radiologiques.* »²⁷ Dans un texte subséquent, il est implicitement dit que les mesures prévues pour les centrales neuves ne s'appliquent pas avec la même rigueur aux centrales nucléaires anciennes : « Les niveaux de protection et les barrières physiques sont indépendants les uns des autres *dans la mesure du possible* ». ²⁸ Ce qui signifie que lorsqu'il n'est pas possible d'avoir une défense en profondeur satisfaisant aux critères actuels, parce que la centrale est ancienne, il est envisageable de se priver d'un niveau de sécurité validé par l'expérience récente.

➤ *Vu qu'il n'est pas question de s'aligner sur les standards de sécurité des centrales récentes, les raisons économiques de l'exploitant d'une centrale nucléaire ancienne ont un poids comparativement très importants quand il est question de dépenses de sécurité.*

4° L'Ordonnance du Conseil fédéral sur l'énergie nucléaire prévoit les mesures suivantes en précisant implicitement ne pas exiger leur complète réalisation quand la centrale est de conception ancienne et que la mesure paraît impossible ou à coût infiniment plus élevé que dans une centrale neuve : « si le fonctionnement s'écarte de la norme, l'installation doit réagir par un comportement *autant que possible* autorégulateur, peu sensible à l'erreur ; à cet effet, on devra choisir *autant que possible* un comportement se caractérisant par la sécurité inhérente; on entend par là un état dans lequel un système technique fonctionne de manière sûre de lui-même, c'est-à-dire sans avoir besoin de systèmes auxiliaires ». ²⁹ Ce décalage avec les mesures de sécurité les plus élevées se retrouve de façon exemplaire dans

²³ Confédération Suisse, *Ordonnance sur la Commission fédérale de sécurité nucléaire* (OCSN).

²⁴ Agence internationale de l'énergie atomique, « Principes fondamentaux de sûreté n° SF-1 », *Normes de sûreté de l'AIEA*, 2007, 3.31.,p. 14

²⁵ *Ibid.*, pp. 14-15

²⁶ *Ibid.*, p. 5

²⁷ *Ibid.*, p. 5 (Nous soulignons.)

²⁸ Agence internationale de l'énergie atomique, « Evaluation de la sûreté des installations et activités N°GSR Part 4 », *Normes de sûreté de l'AIEA*, 2009, 4.47.b, p. 23.

²⁹ Confédération suisse, *Ordonnance du Conseil fédéral sur l'énergie nucléaire* (OENu), art. 7 al. b. (Nous soulignons).

l'Ordonnance du Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication (DETEC) sur les hypothèses de risque et sur l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires. Le concept de défense en profondeur est réaffirmé pour faire face aux agressions, dont les chutes d'avion, en prenant uniquement en compte « le type d'avion civil ou militaire en service au moment de dépôt de la demande d'autorisation de construire, qui est, selon des hypothèses réalistes, susceptibles de provoquer les charges de choc les plus élevées sur les bâtiments ».³⁰ Le risque terroriste est clairement pris en compte dans *l'Ordonnance du DETEC sur les hypothèses de risque et sur les mesures de sûreté pour les installations et les matières nucléaires.*³¹

➤ *Le risque terroriste n'est pas ignoré, mais les hypothèses de calcul préconisées par le DETEC pour les anciennes centrales nucléaires prennent en compte les avions – plus petits qu'aujourd'hui – qui existaient au moment de la dépose de l'autorisation de construire des centrales actuellement en fonctionnement, il y a plus de quarante ans et jusqu'à cinquante ans pour Beznau.*

Autrement dit, les attentats par projection d'avion gros porteurs contre une cible (selon l'exemple du 11 septembre 2001) ainsi que les cas avérés de suicide de pilotes ne sont envisagés qu'avec des avions datant des années 1965 pour la centrale nucléaire de Beznau, 1967 pour celle de Mühleberg, 1973 pour celle de Goesgen et 1975 pour celle de Leibstadt,³² donc des avions qui volaient il y a 50, 48, 43 et 40 ans respectivement. Cet exemple de décalage de la réalité du risque aujourd'hui est là à titre illustratif ; il ne s'agit pas de réduire la question de la sécurité nucléaire au seul risque d'un « attentat suicide » par voie aérienne, même si les six accidents de ce type ayant eu lieu sont inquiétants.³³

3.1.10 Normes de sécurité nationales et internationales : priorité à la limitation des coûts de sécurité pour les anciennes centrales nucléaires (niveau de sécurité inférieur à celui des centrales neuves)

L'exemple ci-dessus est symptomatique d'une certaine ambiguïté consistant à exiger d'abord un haut niveau de sécurité puis de le revoir à la baisse pour tenir compte des exigences économiques.

Du fait d'un certain irréalisme dans les hypothèses servant à évaluer les risques, cet exemple et les autres éléments d'analyse ci-dessus montrent que les politiques de sécurité pour les anciennes centrales nucléaires accordent davantage de poids à la limitation des coûts de sécurité qu'à la sécurité elle-même dans la mesure où les instances officielles – Agence internationale de l'énergie atomique, Conseil fédéral,

³⁰ Confédération suisse, *Ordonnance du DETEC sur les hypothèses de risque et sur l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires* (732.112.2), art. 5, al. 5. (Nous soulignons.)

³¹ Confédération suisse, *Ordonnance du DETEC sur les hypothèses de risque et sur les mesures de sûreté pour les installations et les matières nucléaires* (732.112.1).

³² Les dates indiquées ici sont celles de la première autorisation de construction de ces centrales (source : Office fédéral de l'énergie, section Droit et sécurité, « Procédures d'autorisation en cours », 23 janvier 2006, 11 p.). A la fin des années soixante, les principaux avions en circulations sont des Boeing 707 et des Douglas DC8 (le premier DC10 apparaît en 1971. (Wikipedia, « Avion de ligne », http://fr.wikipedia.org/wiki/Avion_de_ligne#_de_ligne_.C3.A0_r.C3.A9action_commercialis.C3.A9s – consulté 18 mai 2015). Il faudrait aussi savoir à partir de quelles hypothèses (vitesse de l'avion, acte volontaire ou non) ces calculs sont faits : la probabilité d'une chute accidentelle sur une centrales est de toute évidence nettement plus faible que celle d'un attentat-suicide : un impact à 250 km/h ce n'est la même chose qu'à 700 km/h. Autrement dit, la prise en compte des hypothèses du risque terroriste en 1965 était différente de ce qu'il faut considérer aujourd'hui.

³³ Besson Sylvain, « *Crash Germanwings : Les pilotes de ligne ont tué des centaines de passagers depuis 1982* », Le Temps, 27 mars 2015. (Six suicides de pilotes menant sciemment leurs passagers vers la mort, sans parler des 4 avions de ligne impliqués dans les attentats du 11 septembre.)

Parlement, Inspection fédérale de la sécurité nucléaire – tolèrent qu’elles soient moins sûres que les centrales récentes. La priorité à la limitation des coûts de la sécurité est encore renforcée par toute politique visant à les maintenir en activité au-delà du temps initialement prévu, telle qu’envisagée par les autorités fédérales,³⁴ malgré le vieillissement des matériaux, la difficulté de vérifier certaines pièces déterminantes et ne pouvant être changées et une conception obsolète de la séparation architecturale de certains systèmes de sécurité (les pompes de secours pour ne citer que cet exemple – *supra* 3.1.5, 3.1.6). En un mot, la priorité accordée à la limitation des coûts de sécurité, au détriment de la sécurité, est évidente pour les anciennes centrales (en comparaison des mesures de sécurité exigées des centrales nucléaires mises en chantier actuellement).

3.1.11 Affirmer qu’une « centrale nucléaire ancienne est sûre », signifie que celle-ci répond à des normes de sécurité accordant la priorité à la limitation des coûts des dispositifs de sécurité

Lorsque l’Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN) dit que telle « centrale nucléaire est sûre »³⁵ – alors que sa conception architecturale remonte à 42, 43, 48 ou 50 ans – elle affirme simplement que la non mise à niveau, sur certains points déterminant de la sécurité, est autorisée par les normes en vigueur, au vu d’une exception accordée par le législateur pour raisons économiques.

3.1.12 Du jeu dangereux de l’enfermement d’un processus décisionnel et comment en sortir

Le schéma décisionnel de la politique nucléaire en Suisse pourrait être le suivant (hypothèse) :

1° une interprétation « scolaire » des normes légales permet à l’IFSN – garant de la sécurité nucléaire devant le Conseil fédéral et le Parlement – de dire que les « centrales nucléaires suisses sont sûres »³⁶ – bien qu’anciennes pour des installations de ce type.

2° Cette expertise rassure le Conseil fédéral et le Parlement, ce qui permet, à la majorité des membres de ces Conseils, d’autoriser un prolongement de l’exploitation des centrales nucléaires suisses moyennant des mises à niveau importantes de la sécurité – mais encore lacunaires en comparaison des centrales récentes.

➤ *Autrement dit, l’IFSN s’appuierait sur la législation et les désirs du législateur, et ces derniers s’appuieraient sur l’IFSN... les responsabilités sont diluées et personne n’est responsable ni garant de la politique menée, alors même que la législation désigne l’IFSN comme garante de la sécurité nucléaire auprès du Conseil fédéral.*

Ce jeu peut être dangereux s’il procède d’une logique d’enfermement, hostile à tout examen sérieux de l’évolution de la menace, processus connu et documenté.³⁷ Un processus d’enfermement empêche un retour objectif vers le réel. Revenir à un processus décisionnel sain implique de poser et d’affronter de nouvelles questions et réponses et être prêts, le cas échéant, à sortir de l’habitude.

³⁴ Inspection fédérale de sécurité nucléaire, « Mise hors service des centrales nucléaires » <http://www.ensi.ch/fr/installations-nucleaires/mise-hors-service-des-centrales-nucleaires/> (consulté mai 2015)

³⁵ Idem

³⁶ Idem

³⁷ Cf. Thomas Reverdy. *Sociologie des organisations. Master. Sociologie des organisations*, Grenoble-INP, 2013, p. 33.

- *Il convient donc d'envisager un changement de perspective pour sortir l'évaluation du risque des habitudes de pensée et déterminer si le niveau de sécurité est vraiment adéquat.*

3.2 *Critères de la faiblesse stratégique et de la vulnérabilité des pays à un accident nucléaire majeur*

- *Il convient de poser la question de la sécurité en termes de faiblesse stratégique et de vulnérabilité. Celle-ci permettra de situer les standards de sécurité internationaux en regard de la vulnérabilité potentiellement créée par chacune des 194 centrales nucléaires en activité dans le monde.*

3.2.1 *Prendre en compte les caractéristiques stratégiques de l'environnement humain autour de chaque centrale nucléaire (comparaison internationale)*

La création d'une zone d'exclusion autour d'une centrale nucléaire, après un accident majeur, n'aura pas le même effet si elle a lieu dans une zone peu peuplée appartenant à un grand pays ou si cette zone touche le poumon économique d'un petit pays. Lorsque le pays est grand et que seule des zones marginales sont impactées, le coût ne mènera pas le pays concerné à la banqueroute (les 146'520 habitants évacués suite à la catastrophe de Fukushima³⁸ représentent à peine plus d'un millième de la population japonaise).

La valeur morale de la population est la même au Japon ou en Suisse ou ailleurs et, toutes, elles ont un droit identique à être protégées. Mais fait est que le coût économique et organisationnel d'un tel déplacement pour le pays peut être proportionnellement plus élevé pour un pays de plus petite taille, même s'il n'y a pas règle absolue. L'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN – Institut officiel français), s'interrogeant sur la capacité de la France à secourir les victimes d'un accident nucléaire majeur, conclut que rien ne garantit *a priori* que la solidarité nationale puisse encore fonctionner après un tel accident.³⁹ Pourtant la France compte au nombre des grands pays (au moins en comparaison de la Suisse).

3.2.2 *Evaluer la faiblesse stratégique et la vulnérabilité du pays à un accident nucléaire majeur permet de dire s'il doit, ou non, adopter les standards de sécurité en vigueur pour les centrales nucléaires les plus récentes*

Cela étant, cette étude compare l'environnement de 194 centrales nucléaires dans le monde pour situer l'ampleur de la faiblesse stratégique entretenue par l'une ou l'autre des centrales suisses. Sont-elles dans le milieu du classement, dans le premier tiers ou en tête des centrales ayant la capacité de menacer une proportion importante de la population et une proportion considérable du territoire national ?

Il s'agit de situer la faiblesse stratégique et la vulnérabilité du pays et, de là, de savoir si les standards suisses de sécurité doivent être plus exigeants, ou non, que les standards de sécurité internationaux. Le palmarès que nous tentons d'établir est donc un élément crucial pour déterminer une politique de sécurité. Ce n'est pas le seul, mais sa dimension stratégique est essentielle.

Le raisonnement stratégique permet de dire si le pays pourra retrouver plus ou moins rapidement un fonctionnement normal. Il permet de prendre une décision informée quant à l'alignement des critères suisses de sécurité sur les standards des centrales

³⁸ The National Diet of Japan, *The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, 2012, p. 38

³⁹ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, *Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté*, Annexe du rapport DSR n°157, Réunion du groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007, p. 64

nucléaires les plus récentes ou s'il convient seulement d'améliorer les niveaux de sécurité en se pliant aux exigences économiques de la production de d'électricité.

3.2.3 Poser la question de l'impact économique et politique pour la Suisse en fonction des caractéristiques du pays

Outre les résultats de la comparaison internationale des niveaux de sécurité, les coûts d'un accident majeur méritent une attention particulière. Nous reprendrons des études existantes et verrons dans quelle mesure ils peuvent être mis à jour. Il s'agit moins de résumer cette question par un chiffre que de donner un ordre de grandeur pertinent et de comparer ce chiffre à différents indicateurs de la capacité financière du pays (PIB – budget de la Confédération) et des dépenses faites dans le domaine de la sécurité (dépenses pour la défense nationale, etc.).

3.2.4 S'interroger sur la probabilité d'un accident majeur ?

L'étude ne vise pas à évaluer la probabilité d'un accident nucléaire, mais à classer les 31 pays étudiés selon leur vulnérabilité dans l'hypothèse d'une catastrophe majeure sur l'un de leurs réacteurs. Il convient toutefois de statuer sur l'importance de ce facteur dans l'appréciation de la politique de sécurité.

Remarquons toutefois que selon l'*Ordonnance du DETEC sur les hypothèses de risque et sur l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires* (732.112.), art 1 lettre a, les défaillances de catégorie 3 qualifient les défaillances dont la fréquence est inférieure ou égale à 10^{-4} et supérieure à 10^{-6} par an.

Aussi l'occurrence d'un accident majeur devrait-elle être supérieure à 1 risque sur 10'000 (10^{-4}) par an. L'histoire du nucléaire, avec 15'660 ans de vie cumulée pour les (435) réacteurs en fonction à début 2015,⁴⁰ permet de constater la fonte de quatre cœurs avec contamination extérieure (à Fukushima et Tchernobyl). Au lieu d'un risque d'accident sur 10'000 on constate une probabilité d'un accident majeur sur 4'000 (1/4'000). Selon Dieter Majer, ancien directeur général de la sécurité nucléaire en Allemagne, l'erreur possible dans l'estimation probabiliste d'un accident majeur dans une centrale ancienne est d'un facteur 100.⁴¹

Ces avis ne sauraient trancher la question quant au respect, ou non, de la législation. Retenons qu'il y a une interrogation sur la fiabilité des calculs de probabilité d'un accident majeur, notamment depuis qu'il convient de prendre en compte les suicides par avion, dont six avérés,⁴² sans parler des quatre avions de lignes envoyés sur des cibles le 11 septembre 2001. Les éléments ci-dessus appellent seulement l'IFSN et le DETEC à davantage de pertinence dans les hypothèses servant au calcul des probabilités d'un accident majeur.

➤ *Cela étant, la présente étude ne traite pas de la probabilité d'un accident nucléaire majeur, elle s'intéresse à la vulnérabilité des pays en cas d'accident nucléaire majeur.*

⁴⁰ International Atomic Energy Agency, *Annual report 2013*, Table A9: Nuclear power reactors in operation in the world (as of 31 December 2013) p. 113 (Data are from the Agency's Power Reactor Information System – PRIS - <http://www.iaea.org/pris>)

⁴¹ Majer Dieter, «Risiko Altreaktoren Schweiz», Februar 2014, 44 p. « Kernschadenshäufigkeit 1:100? Wenn also die Kernschadenshäufigkeit z.B. mit einmal in 10'000 Jahren angegeben wird, dann kann der wahre Wert auch bei einmal in 100 Jahren liegen: Ein für die Sicherheit völlig inakzeptabler Wert. » p. 5

⁴² Besson Sylvain, « Crash Germanwings : Les pilotes de ligne ont tué des centaines de passagers depuis 1982 », Le Temps, 27 mars 2015.

3.2.5 *Prendre en compte le dommage maximal envisageable (7 selon INES et A6 selon IFSN)*

L'accident de référence dans cette étude est un accident de niveau 7 selon INES (*International Nuclear and Radiological Event Scale – INES – échelle des conséquences d'un accident nucléaire éditée par l'Agence internationale de l'énergie*)⁴³. Les catastrophes de Tchernobyl et Fukushima sont de ce niveau. Précisons que l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire distingue au sein de ce niveau 7 trois niveaux dans l'analyse des risques pour les centrales nucléaires suisses : A4, A5, A6, le risque A6 étant le risque maximal au sein du niveau 7 selon INES.⁴⁴ Lorsqu'il est possible de distinguer les niveaux, nous prenons en compte le scénario A6 dans l'estimation de la faiblesse stratégique de la Suisse, celui susceptible de créer un dommage maximal.

3.2.6 *Les autres facteurs déterminants à prendre en compte dans une étude stratégique*

Modéliser par avance les conséquences d'un accident nucléaire majeur suppose l'intégration d'un grand nombre de facteurs, telle que la quantité exacte d'éléments radioactif sortant de l'enceinte de confinement, la durée du rejet, sa diffusion par voies hydrographiques ou aériennes, les conditions météorologiques du moment, la pluie, la force du vent et sa direction, celle-ci pouvant diriger les éléments radioactifs dans des directions différentes à un certain moment puis dans une autre direction ensuite (sachant que la quasi absence de vent est la condition la plus dommageable pour la population). On ajoutera que la capacité de résilience de la population et le degré de préparation du gouvernement comptent aussi.

La présente étude se borne toutefois à relever et qualifier les populations et les aires urbaines qui sont les plus proches de chaque centrale nucléaire, sachant que l'effet de concentration des éléments radioactifs devrait être plus élevé à proximité de la centrale ayant subi un accident nucléaire majeur que loin d'elle.

3.3 *Estimation de la surface de territoire devant être évacuée en cas d'accident nucléaire majeur*

3.3.1 *Sélection d'un scénario standard de contamination nucléaire d'un territoire*

Avant de regarder les caractéristiques à retenir des catastrophes de Tchernobyl et Fukushima, voyons quel type de contamination présente un risque pour la santé et surtout à partir de quel seuil. Nous nous intéressons aux contaminations durables qui empêchent les personnes de retourner vivre sur leur territoire ou d'y vivre normalement après contamination. C'est à partir de ces données qu'il est envisageable d'avoir une idée de l'impact territorial et stratégique d'un accident nucléaire majeur sur un pays.

3.3.2 *Principes à prendre en compte dans l'évaluation de la dangerosité d'une contamination radioactive*

Les mesures de radioactivité en millisievert servent à estimer les doses de radiation ionisante effectivement reçues par les personnes. Par comparaison, les doses exprimées en becquerels indiquent le rayonnement d'un environnement tel que le sol ou l'eau. Il n'y a pas de lien mécanique entre les deux dans la mesure où différentes personnes s'approcheront différemment d'une source radioactive, en restant plus ou moins longtemps dans son voisinage immédiat ou en mettant en contact, ou non, leur

⁴³ International Atomic Energy Agency, The International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), IAEA (<http://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf> – consulté 14-01-2015).

⁴⁴ Inspection fédérale de sécurité nucléaire, *Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires*, IDA NOMEX, pp. 13-14.

corps avec le sol par exemple (on pense ici aux enfants ou aux jardiniers). De plus, le lien entre becquerel et millisievert peut dépendre de l'élément radioactif, il ne sera pas le même si l'on parle de Césium ou de Plutonium notamment.

Il est toutefois possible de trouver dans la littérature des textes cherchant à quantifier le lien entre une contamination en becquerel et une dose effectivement reçue en millisievert ; il s'agit alors de moyennes, souvent calculée pour le césium et qui permettent de se faire une première idée (*infra* 3.3.5).

La détermination d'un seuil dangereux est difficile parce que ses conséquences sur la santé se remarquent la plupart du temps de façon statistique, par une augmentation de l'incidence de certains cancers notamment. La détermination d'un seuil dangereux est d'autant plus problématique que le principe d'une absence de seuil est admis par la Commission internationale de protection radiologique. Selon cette commission, pour des faibles expositions, l'incidence des effets stochastiques avec une faible probabilité est proportionnelle à l'augmentation des doses de rayonnement, on parle d'effet linéaire sans seuil (LNT).⁴⁵ Nombre d'agences officielles ont adoptés ce modèle mais il demeure discuté par d'autres agences.⁴⁶

Cela étant, la littérature et des textes de référence – dont ceux de la Commission internationale de protection radiologique – déterminent des seuils à partir desquels il vaut mieux éloigner les populations et/ou – suivant la dose – leur demander de modifier leur comportement (*infra* 3.3.5).

3.3.3 Textes légaux : seuils dangereux en millisievert (mSv – dose effective)

La *Commission internationale de protection radiologique*, distingue les doses maximales pour différentes populations. Selon cette commission, la valeur maximale de référence, pour les travailleurs volontaires et informés des dangers pour leur vie, ayant pour tâche de sauver des vies ou empêcher un désastre, est de 100 millisievert (mSv).⁴⁷ Les doses annuelles de 1 à 20 mSv sont envisageables pour les travailleurs qui tireront parti de la situation d'exposition et qui bénéficieront d'un suivi individuel ; cette dose peut être distribuée inégalement sur 5 années (100 mSv sur 5 ans mais pas plus de 50 mSv sur une année) ; les travailleurs féminins qui allaitent ou sont enceintes ne peuvent en aucun cas subir des doses aussi élevées.⁴⁸

Une dose annuelle de moins de 1 mSv par an est la dose maximale pour les individus tirant pas ou peu de bénéfice de la situation d'exposition.⁴⁹ Concernant les doses égales ou inférieurs à 1 mSv, « les doses correspondantes représenteraient une augmentation marginale au-dessus du bruit de fond naturel de rayonnement »⁵⁰ ; une valeur plus élevée pendant une année est envisageable à condition qu'elle ne dépasse pas 5 mSv en 5 ans.⁵¹

L'Ordonnance du Conseil fédéral sur la radioprotection (814.501) distingue aussi les doses en fonction des populations. Selon ce texte légal, la dose effective reçue par les personnes exposées aux rayonnement ionisant dans l'exercice de leur fonction est limitée à 20 mSv par année ; elle peut être de 50 mSv sur une année à condition de ne

⁴⁵ Commission internationale de protection radiologique, *Recommandations 2007*, édition de l'IRSN, France, p. 38.

⁴⁶ Cf. Wikipedia, « Faibles doses d'irradiation », http://fr.wikipedia.org/wiki/Faibles_doses_d%27irradiation, consulté 15 mai 2015.

⁴⁷ Commission internationale de protection radiologique, *Recommandations 2007*, pp.101-102.

⁴⁸ *Ibid.*, p. 102 et 105.

⁴⁹ *Ibid.*, pp. 102.

⁵⁰ Qui est d'environ 2 mSv par an et dont une part infime serait due aux explosions nucléaires atmosphériques, avec des buts militaires (2 événements) ou expérimentaux (520 événements) ayant eu lieu de part le monde de 1945 à 1992 (Wikipedia, « Nuclear Weapons Testings », http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_weapons_testing (consulté mai 2015)).

⁵¹ Commission internationale de protection radiologique, *Recommandations 2007*, p. 103 et p. 105.

pas dépasser 100 mSv sur cinq années en tout (art.35 al.1 et 2). Les entreprises ne doivent pas exposer à une dose ambiante de plus de 0,2 mSv par semaine les personnes n'ayant pas de rapport professionnel direct avec les rayonnements ionisants (art.59). Autrement dit, vu 52 semaines par année, la dose annuelle d'origine industrielle reçue par le public ne doit pas excéder 1mSv par année.

Selon l'*Ordonnance du Conseil fédéral sur l'énergie nucléaire* (732.11), qui reprend les considérations de l'Agence internationale de l'énergie atomique, un incident est grave si un rejet supérieur aux valeurs limites autorisées de substances radioactives a le potentiel d'entraîner, pour l'individu le plus exposé à l'extérieur du site, une dose de quelques dixièmes de millisievert (Annexe 2 de ladite Ordonnance).

Selon l'*Inspection fédérale de la sécurité nucléaire*, « le séjour à domicile pour les enfants, adolescents et femmes enceintes est prévu à partir d'une dose de 1 mSv. Le séjour en milieu protégé à domicile, à la cave ou dans un abri de protection est planifié pour le reste de la population dès 10 mSv. »⁵² Autrement dit, les doses maximales pour les enfants sont plus basses que pour les adultes.

➤ *De façon générale, tant les recommandations de la Commission internationale de protection radiologique que les ordonnances du Conseil fédéral concordent. Les travailleurs du nucléaire ne doivent pas subir une exposition de plus de 20 mSv par année et le public ne doit pas subir une exposition supérieure à 1 mSv par année (en plus de la dose naturelle). La nuance est qu'en cas d'accident nucléaire majeur les niveaux maximaux sont revus à la hausse pour les non professionnels adultes (de 1 à 10 mSv), cependant que celle des enfants, adolescents et femmes enceintes est maintenue à 1 mSv.*

3.3.4 Niveau d'irradiation à 20 km, 50 km, 80 et 100 km de la centrale suite au passage d'un nuage radioactif et évacuation ponctuelle de la population selon les critères helvétiques

Il faut distinguer une dose ponctuelle reçue sur quelque deux jours, de celle reçue année après année suite à une contamination durable des sols et de l'environnement. Ces deux doses s'additionnant chez les personnes vivant le même événement mais elles ont des origines un peu différentes. Cette section traite de la dose ponctuelle et des critères retenus pour décider d'un ordre d'évacuation de la population exposée à ce nuage, pendant le temps de son passage.

Selon l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire, concernant le passage d'un nuage radioactif, les doses efficaces après deux jours d'exposition à ce nuage pourraient s'élever, pour un adulte, suivant les conditions météorologiques, à 1000 mSv à 20 km de distance, de 200 mSv à 50 km de distance et à 100 mSv à 80 km de distance.⁵³ La dose reçue serait plus élevée pour les enfants vu une plus grande sensibilité de leur part : la dose à la thyroïde pour enfants en bas âge en cas de séjour non protégé pourrait être de 500 mSv à 100 km de la centrale nucléaire touchée.⁵⁴

Concernant un ordre d'évacuation, selon un groupe de travail de l'*Inspection fédérale de la sécurité nucléaire* (IFSN), l'évacuation préventive de la population, en cas d'accident nucléaire majeur, « doit être considérée à partir d'une dose prévisible de 100 mSv. »⁵⁵

⁵² Inspection fédérale de sécurité nucléaire, *Rapport du groupe de travail sur la mesure IDA NOMEX 14 : vérification des scénarios de référence*, 2013 (2014), p. 10.

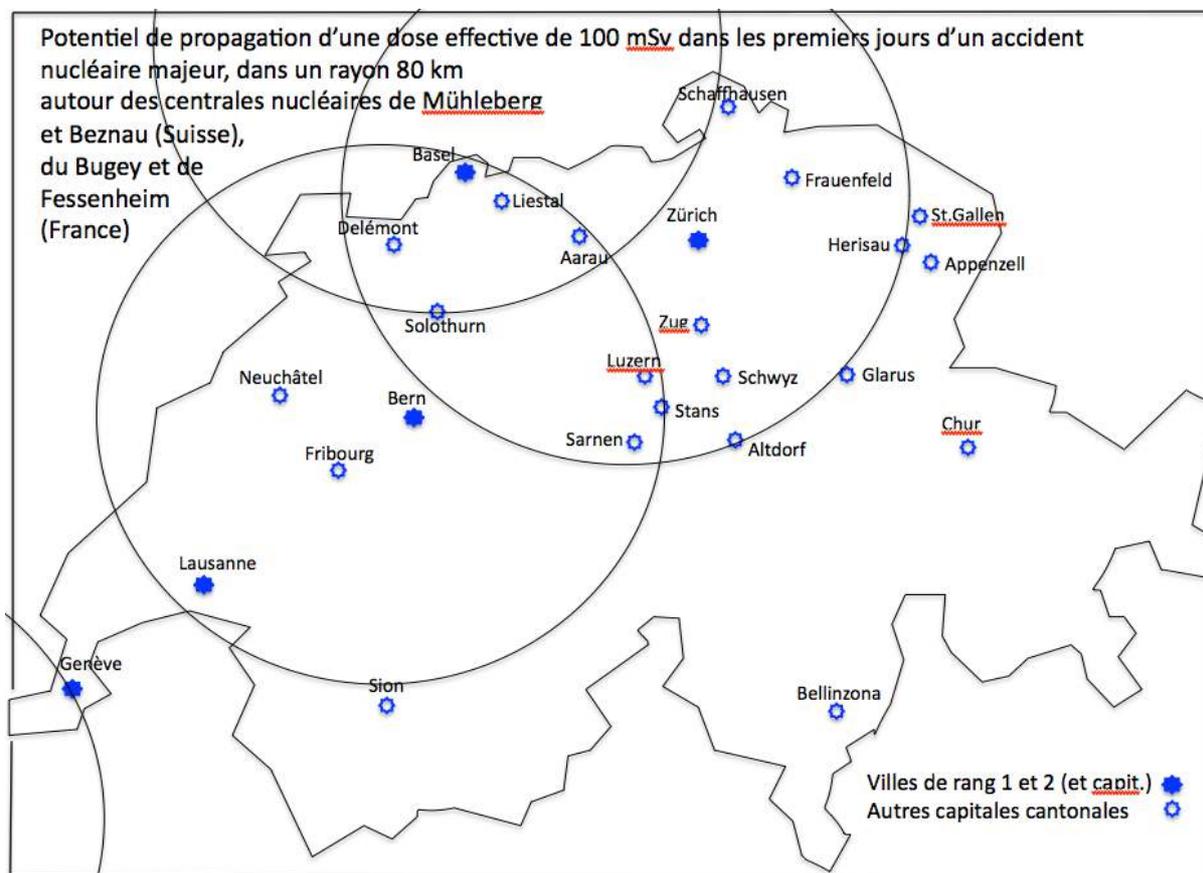
⁵³ Inspection fédérale de sécurité nucléaire, *Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires*, IDA NOMEX, p. 21.

⁵⁴ Ibid., p. 24.

⁵⁵ Inspection fédérale de sécurité nucléaire, *Rapport du groupe de travail sur la mesure IDA NOMEX 14 : vérification des scénarios de référence*, 2013 (2014), p. 10.

- **Un accident nucléaire majeur en Suisse permettrait de commander ou de suggérer une évacuation temporaire de la population jusqu'à 80 km autour du lieu de l'accident nucléaire, ce qu'il est possible de schématiser ci-dessous.**

Les Services de la Confédération ont, dans une perspective préventive, distribué des pastilles d'iode à la population située dans un rayon de 50 km des centrales suisses. Mais les populations se situant entre 50 et 80 km du lieu de l'accident nucléaire restent exposées au risque de recevoir une dose de 100 mSv (sans parler du problème des enfants en bas âge qui sont exposés à des doses effectives bien supérieures).



Carte 1 : Les villes signalées d'une étoile pleine sont des capitales cantonales de rang 1 et 2 (plus de 240'000 habitants) et les villes signalées d'une étoile plus petite représentent les autres capitales cantonales de la Confédération suisse. Le cercle de 80 km de rayon recouvrant presque entièrement la partie Ouest de la Suisse est centré sur la centrale nucléaire de Mühleberg. Le cercle le plus à l'Est du pays est centré sur la centrale nucléaire de Beznau. Les cercles les plus à l'Ouest et au Nord sont centrés, respectivement, sur les centrales nucléaires françaises du Bugey et de Fessenheim. Afin de ne pas surcharger la carte, ne sont pas représentées les portions de territoire autour des centrales nucléaires de Gösgen (qui se trouve entre Mühleberg et Beznau) ni celle de Leibstadt (qui est à 6 km au Nord-Nord-Ouest de celle de Beznau).

3.3.5 Irradiation de longue durée, seuils dangereux en becquerels (mesurés sur le territoire)

Les mesures en becquerels (Bq) ou en milliers de becquerels (kBq) documentent les doses de radiation ionisante telles qu'elles peuvent être mesurées en différents points d'un territoire, après contamination de ce territoire. Suivant le type de relation au territoire, les personnes peuvent subir une contamination d'intensité variable et mesurée en millisievert (on calcule en millisievert par an ou par jour la dose effectivement reçue pour le corps humain – *supra* 3.3.2 ; 3.3.3). Une même dose en becquerels ne présentera pas le même profil de risque si elle est dans un sol foulé par des gens chaussés de bottes ou de tongs. Malgré cette variabilité, il est envisageable

d'établir une relation moyenne entre les becquerels et l'exposition effective des personnes exprimée en millisievert. Cette relation entre les becquerels et les millisievert est importante pour se faire une idée des territoires devenus non habitables suite à un accident nucléaire majeur, les chiffres ci-dessous ne valent que pour le césium.

Différents auteurs s'accordent sur des valeurs similaires. Selon le Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des radiations atomiques (UNSCEAR), dans les territoires dont la radioactivité de césium 137 (¹³⁷Cs) dépasse les 555 kBq/m²,⁵⁶ les mesures comportementales préventives prises à Tchernobyl permirent de maintenir la dose reçue par les personnes à moins de 5 mSv par année.⁵⁷ Selon Okeanov et al., un territoire avec une exposition de 37-185 kBq génère, moyennant des précautions pour limiter l'exposition, une dose effective de 0,4 mSv/an ; un territoire avec une exposition de 185-555 kBq génère, moyennant des précautions pour limiter l'exposition, une dose effective de 2 mSv/an (moyenne sur 10 ans) ; un territoire avec plus de 555 kBq/m² mène, moyennant des précautions pour limiter l'exposition, à une dose effective de 5 mSv/an (moyenne sur 10 ans). Enfin, Valery Kashparov rappelle qu'au dessus de 555 kBq/m² la dose effective est équivalente ou supérieure à 5 mSv/an.⁵⁸ Nous avons donc trois références concordantes sur cette question, plus une quatrième de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire qui va dans le sens d'une évacuation des populations au-dessus de ce seuil de 555 kBq/m² (institut officiel français – *infra* 3.3.8).

3.3.6 Aire d'exclusion et aire de contrôle durable des habitudes et comportements des populations autour de Tchernobyl

L'accident de Tchernobyl a eu lieu le 26 avril 1986 et des nuages radioactifs s'en échappaient encore le 5 mai (soit 10 jours)⁵⁹ ; le vent a tourné dans toutes les directions pendant cette période de temps.⁶⁰

En tout, 350'400 personnes furent forcées de quitter leurs maisons, avec les personnes qui quittèrent la région volontairement dans les mois qui suivirent, il faut compter 492'000 personnes. Si de nombreuses zones sont désormais ouvertes au retour des populations, fait est que tout le monde ne revient pas et que certaines zones proches de la centrale de Tchernobyl ne retourneront pas à la production agricole avant un millénaire du fait de la contamination par certains radionucléides d'uranium.⁶¹

Une zone de 30 km de rayon a été décrétée autour de la centrale dont la population a été évacuée.⁶² Une partie des personnes déplacées dans des zones de relocalisation hors des 30 km ont été déplacées ensuite vu les hauts niveaux de radioactivités rencontrés.⁶³ Ces déplacements ont eu lieu dans les années 1986-87, ce qui a mené à l'évacuation des personnes vivant sur des territoires présentant plus de 15 Ci/km²

⁵⁶ Ou 15 Curie par km² (15 Ci/km²).

⁵⁷ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Source and Effects of Ionizing Radiation: Annex J: Exposures and effects of the Chernobyl accident*, 2000, p. 475. http://www.unscear.org/docs/reports/2000/Volume%20II_Effects/AnnexJ_pages%20451-566.pdf

⁵⁸ Kashparov Valery, « Risks of the potential irradiation », *Assessment of ecological risks caused by the long-living radionuclides in the environment*, NATO Security through Science, Series – C: Environmental Security, 2006 (2004), p. 156.

⁵⁹ International Atomic Energy Agency, *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', VIENNA, 2006, p. 2.

⁶⁰ Alexey V. Yablokov and Vassily B. Nesterenko, « Chernobyl Contamination through Time and Space », *Chernobyl: Consequences of the Catastrophe for People and the Environment*, Alexey V. Yablokov, Vassily B. Nesterenko, and Alexey V. Nesterenko, consulting Editor Janette D. Sherman-Nevinger, New-York Academy of Sciences (NYAS), 2009 (2011), p. 8.

⁶¹ International Atomic Energy Agency, *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*, op. cit., 2006, p. 84.

⁶² Ibid., p. 24.

⁶³ Alexey V. Yablokov and Vassily B. Nesterenko, op. cit., 2009 (2011), p. 25.

(555 kBq/m²).⁶⁴ Toutefois, ces politiques et la gestion restrictive des ressources naturelles ont été efficaces en réduisant la dose collective.⁶⁵ Cela étant, des zones avec une contamination de plus de 555 kBq/m² se trouvent parfois à plus de 100 ou 200 km de la centrale nucléaire de Tchernobyl ; l'AIEA cartographie des zones situées à plus de 200 km de Tchernobyl avec des dépôts de ¹³⁷Cs situés entre 1'480 kBq/m² et 3'700 kBq/m².⁶⁶

Suite à cette catastrophe, la surface contaminée avec un niveau supérieur à 555 kBq/m² mesure au minimum 10'300 km² (surface qui peut être illustrée par un cercle de 57 km de rayon ou 114 km de diamètre). Remarquons selon les cartes du Comité scientifique des Nations Unies sur les effets des radiations atomiques (UNSCEAR), des zones ayant des dépôts de ¹³⁷Cs supérieurs à 3'700 kBq/m² représentent un peu moins d'un quart de la zone d'exclusion de 30 km de rayon autour de la centrale nucléaire de Tchernobyl et plusieurs d'entre elles sont à plus de 30 km, dont deux vont jusqu'à 60 km de cette centrale (sachant aussi que cette carte ne décrit pas la région au Nord-Est de Gomel qui a reçu d'importants dépôts de ¹³⁷Cs).⁶⁷

D'autres éléments que le césium ont contribué à la contamination radiologique. Sans les mentionner tous, remarquons que les terres agricoles ont reçu 111 kBq/m² de Strontium 90 (⁹⁰Sr) et 3.7 kBq/m² de différents isotopes du plutonium.⁶⁸ Autres radionucléides, selon Yablokov et Nesterenko, d'avril à mai 1986, des contaminations de Tellure 132 (¹³²Te) et Iode 132 (¹³²I) ont dépassé les 5000 kBq/m² à plus de 100 km de Tchernobyl, à l'ouest de la Biélorussie.⁶⁹

➤ *L'aire d'exclusion et les aires de contrôle des habitudes et comportements des populations autour de Tchernobyl mesurent ensemble environ 10'300 km² (surface qu'illustre un cercle de 57 km de rayon ou 114 km de diamètre).*

Cette surface avait niveau de contamination au césium supérieur à 555 kBq/m² et supposait une dose effective annuelle minimale de 5 mSv/an, dose effective s'additionnant à la dose reçue dans les jours suivants la catastrophe de Tchernobyl.

3.3.7 Aire d'exclusion et aire de contrôle durable des habitudes et comportements des populations autour de Fukushima

L'accident du 11 mars 2011 a eu un impact moins important sur les territoires habités parce que la radioactivité a été d'un niveau moindre.

Selon la commission officielle du Parlement japonais (*National Diet of Japan*), les populations furent évacuées d'abord dans un rayon de 3 km, puis elles durent se retirer dans un rayon de 10 km, puis de 20 km ; le 15 mars, les habitants se situant entre 20 et 30 km reçurent l'ordre de rester sur place, bien qu'ils recevaient des radiations

⁶⁴ Idem

⁶⁵ Idem (« These policies and their subsequent development into a set of measures for land, water and natural resource management have been largely effective in reducing the collective dose. There seem to have been significant achievements in controlling forest fires in contaminated areas and in restricting unauthorised access to territories that are highly contaminated. »)

⁶⁶ International Atomic Energy Agency, *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*, op. cit., 2006, p. 26.

⁶⁷ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Source and Effects of Ionizing Radiation : Annex J : Exposures and effects of the Chernobyl accident*, 2000, pp. 451-566. http://www.unscear.org/docs/reports/2000/Volume%20II_Effects/AnnexJ_pages%20451-566.pdf

⁶⁸ International Atomic Energy Agency, *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of experience*, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', VIENNA, 2006, p. 86.

⁶⁹ Alexey V. Yablokov and Vassily B. Nesterenko, op. cit., 2009 (2011), p. 13. (Les données originelles sont de Zhuravkov et Myronov, 2005.)

élevées ; ces habitants reçurent enfin la possibilité de quitter la zone des 30 km un mois après le 11 mars.⁷⁰

- *Concernant Fukushima, bien qu'ayant eu lieu dans des conditions météorologiques pas trop défavorables, que la centrale est en bord de mer et donc que la moitié de la zone d'exclusion des 30 km de rayon se trouve en mer, la Commission officielle du parlement japonais admet qu'une surface d'environ 1'800 km² a un niveau de contamination menant à une dose effective de 5 mSv par année ou davantage.⁷¹*

Cette surface est donc celle qui mérite une évacuation ou un contrôle ferme et durable des habitudes des populations et une interdiction de jouer à l'extérieur pour les enfants.

3.3.8 Taille de la zone d'exclusion de longue durée selon l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire l'IRSN (jusqu'à 66 km de rayon ou 13'575 km²).

- *Selon l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN – institut public français), une zone d'exclusion est nécessaire pour les territoires contaminés en ¹³⁷Cs pour une dose supérieure à 555 kBq/m², ce qui représenterait entre 3'000 et 13'575 km², soit entre 4‰ et 2% du territoire français.⁷²*
- *Pour se représenter une zone d'exclusion de 13'575 km², on peut imaginer un cercle de 66 km de rayon – ou 132 km de diamètre.⁷³*

Cela étant, le seuil radiologique de 555 kBq/m² pour décider d'une évacuation est encore retenu par l'IRSN en 2013.⁷⁴

3.3.9 Conclusion sur la définition d'une zone d'exclusion en fonction de la contamination de l'environnement et des modifications des habitudes des populations dans les zones de contrôle

Un territoire ayant plus de 555 kBq/m² mène à dépasser les zones recommandées pour l'adulte, ce qui est d'autant plus problématique qu'il convient de considérer deux complications : 1° les populations vivant sur ces territoires sont susceptibles d'avoir déjà reçu une dose non négligeable lors des jours suivants le passage du nuage radioactif, il faut tenir compte du cumul des deux doses ; 2° vivre sur des territoires contaminés à ce niveau là suppose une vigilance de tous les instants, en limitant les sorties à l'extérieur et par le contrôle strict de l'approvisionnement en aliment et en eau ; 3° enfin, ce niveau de contamination implique de vivre sans les enfants, adolescents et femmes enceintes, ou de les confiner dans des lieux sécurisés pour une durée de temps indéterminée.⁷⁵ Une zone d'exclusion ou de contrôle élevé des comportements et habitudes s'impose donc, au moins dès une contamination égale ou supérieure à 555 kBq/m² (nous ne prenons pas position pour les zones en dessous de cette valeur).

⁷⁰ The National Diet of Japan, *The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, 2012, p. 38.

⁷¹ Idem

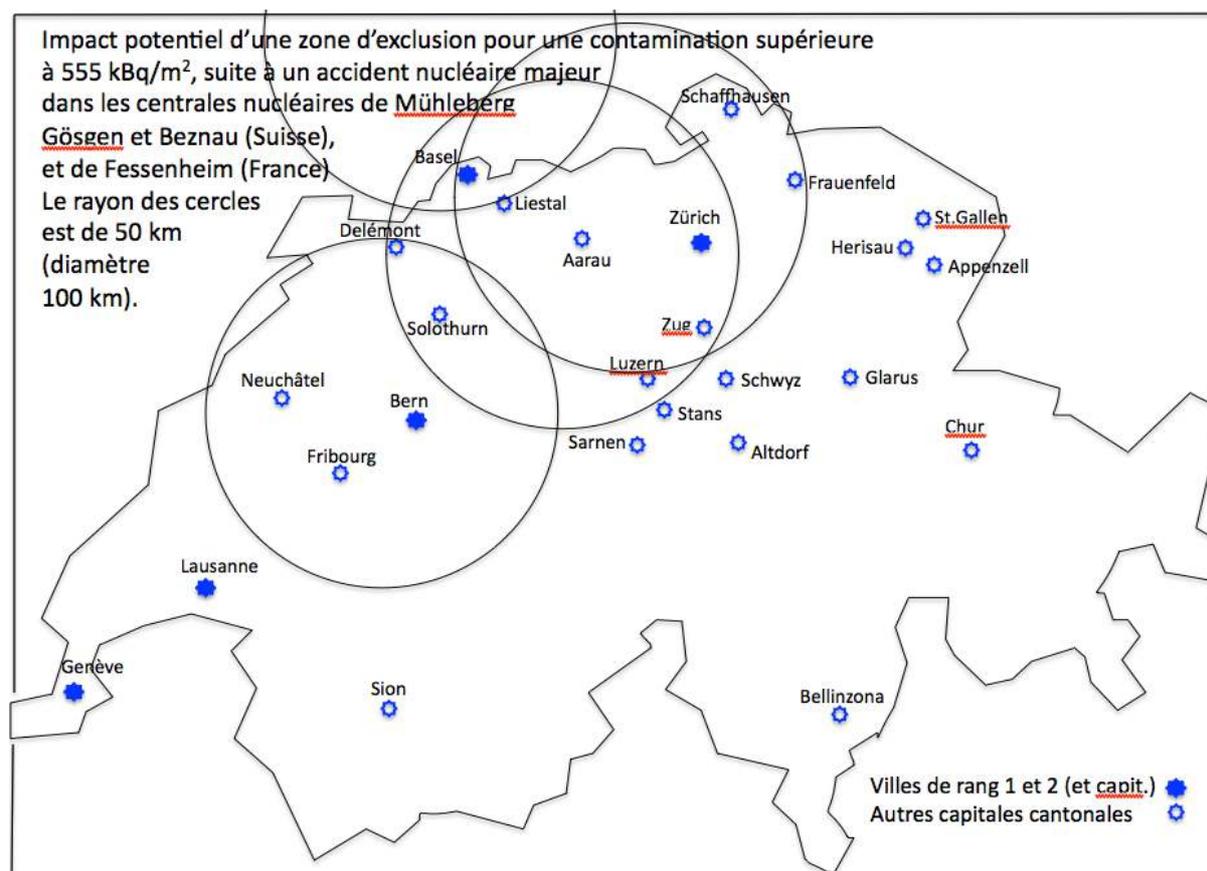
⁷² Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, *Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté*, Annexe du rapport DSR n°157, Réunion du groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007, p. 64

⁷³ Pour illustration, ces 13'575 km² représentent plus de 32% 41'285 km² du territoire de la Confédération suisse.

⁷⁴ Pascucci-Cahen Ludivine et Momal Patrick, « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », *Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, 2013, p. 7.

⁷⁵ Rappel : « Le séjour à domicile pour les enfants, adolescents et femmes enceintes est prévu à partir d'une dose de 1 mSv. Le séjour en milieu protégé à domicile, à la cave ou dans un abri de protection est planifié pour le reste de la population dès 10 mSv. » Inspection fédérale de la sécurité nucléaire, *Rapport du groupe de travail sur la mesure IDA NOMEX 14 : vérification des scénarios de référence*, 2013 (2014), p. 10.

- *En cas d'accident nucléaire en Suisse, de gravité similaire et de contamination « identique » à celui de Fukushima, il faut tenir compte du fait qu'aucune des centrales nucléaires suisses n'est sur un littoral. La surface de territoire habitée et durablement affectée, pour une durée indéterminée, peut être estimée à 3'600 km², ce qu'illustre un cercle de 34 km de rayon (ou 64 km de diamètre). En cas d'accident nucléaire en Suisse, de gravité similaire et de contamination « identique » à celui de Tchernobyl, la surface de territoire habitée et durablement affectée, pour une durée indéterminée, serait de 10'300 km² (rayon de 57 km). Enfin, selon l'IRSN, un accident en France pourrait mener à une évacuation durable d'un espace allant jusqu'à 13'575 km² (66 km de rayon).*



Carte 2 : Les villes signalées d'une étoile pleine sont des capitales cantonales de rang 1 et 2 (plus de 240'000 habitants) et les villes signalées d'une étoile plus petite représentent les autres capitales cantonales de la Confédération suisse. Le cercle de 50 km de rayon recouvrant la partie Ouest de la Suisse est centré sur la centrale nucléaire de Mühleberg. Le cercle un peu plus à l'Est est centré sur la centrale nucléaire de Gösgen et celui le plus à l'Est, sur la centrale nucléaire de Beznau. Enfin, le cercle le plus au Nord est centré sur la centrale nucléaire de Fessenheim (France). Pour des raisons de lisibilité, le cercle centré sur la centrale nucléaire de Leibstadt n'est pas représenté (celle-ci est à quelque 6 km au Nord-Nord-Ouest de celle de Beznau).

Les réacteurs des centrales nucléaires suisses n'ont peut-être pas tous une puissance suffisante pour mener, en cas d'accident majeur, à des zones d'exclusion aussi vastes (encore que cela dépend davantage du temps d'émission, de la durée et de la puissance d'un éventuel incendie), raison pour laquelle nous retenons dans la partie suivante des zones de 2826 km² (rayon de 30 km) et 7850 km² (rayon de 50 km).

- *Ces chiffres sont toutefois à comparer au 41'285 km² du territoire helvétique. Il ne paraît pas exagéré de dire qu'un accident nucléaire majeur pourrait entraîner un accident menant, suivant les cas, à la création d'une zone d'exclusion et*

d'habitudes de vie contrôlées strictement représentant une surface allant de 7% à 19% du territoire suisse (cercle de rayon de 30 et 50 km respectivement).

- *Même si une partie de cette zone se trouvait à l'étranger, on peut poser l'hypothèse que l'impact stratégique pour le pays serait immense, fortement dommageable et que la vulnérabilité de ses institutions et de ses populations serait durable (pour une période indéterminée se comptant en décennies, voire siècles dans certaines régions – infra 5).*

3.4 Deux aspects de la vulnérabilité : responsabilité morale et faiblesse stratégique du pays (quels sont les indicateurs pertinents ?)

3.4.1 Introduction

Les deux façons d'aborder la vulnérabilité sont les suivantes : 1° Quelles sont les centrales nucléaires qui – en cas d'accident majeur de niveau 7 sur l'échelle internationale des accidents nucléaires – ont le potentiel d'impacter fortement les populations résidant dans leur voisinage (responsabilité morale vis-à-vis des êtres humains). 2° Quelles sont les centrales qui, en cas d'accident nucléaire majeur de niveau 7 sur l'échelle internationale des accidents nucléaires, menaceraient le plus le fonctionnement du pays dans lequel elles se trouvent (faiblesse stratégique). L'étude de ces deux aspects complémentaires est importante pour comprendre la vulnérabilité potentielle engendrée par chacune des 194 centrales nucléaires prises en compte dans cette étude.

3.4.2 Hypothèse pour la vulnérabilité sous l'angle de la responsabilité morale des gouvernements envers la population

Cette hypothèse considère que plus le nombre d'habitants autour d'une centrale nucléaire est élevé, plus la vulnérabilité de la population est importante selon une approche utilitariste (maximisation des utilités). Pour traiter de cette question nous classerons les données de l'étude de Declan Butler sur le nombre de personnes vivant dans un rayon de 30 km autour de 194 centrales nucléaires dans le monde (*infra*).

3.4.3 Hypothèse pour l'étude de la vulnérabilité sous l'angle de la faiblesse stratégique des pays ayant des centrales nucléaires

La faiblesse stratégique renvoie aux éléments directement impactés par des retombées radioactives. On s'interrogera, à travers une grille standardisée : 1° sur la proportion du territoire national potentiellement impacté ; 2° la proportion de la population nationale potentiellement impactée ; 3° le rang des villes potentiellement impactées.

L'hypothèse de cette partie de l'étude est qu'il faut comparer le territoire, la population et les villes potentiellement exposées à un accident nucléaire majeur au reste du territoire, de la population et des villes du pays dont on étudie les centrales nucléaires. Plus la population, les villes et la portion de territoire touché sont petites, plus forte est la capacité du pays à faire face à un accident majeur et moins il présente de faiblesse stratégique.

A l'inverse, plus la portion de territoire, le nombre de villes et la population soumises aux radiations sont proportionnellement importantes, moins forte est la capacité du pays à faire face à un accident majeur ; plus la vulnérabilité du pays est grande.

3.4.4 Davantage de précision sur la méthode : la distance des aires urbaines aux centrales nucléaires

L'étude comparative s'intéresse aux populations et aires urbaines relativement proches des centrales nucléaires (dans un rayon de 30 km et dans un rayon allant de 30 km à 50 km). Cette façon de faire permet de classer les centrales selon leur capacité à créer

potentiellement de la vulnérabilité. Cette approche exclut *a priori* que des dommages majeurs aient lieu au-delà de 50 km alors que l'expérience de Tchernobyl montre que des zones à plus de 555 kBq/m² – voir à plus de 3'700 kBq/m² – se trouvaient au-delà de cette zone.⁷⁶ Inversement, certains espaces à l'intérieur de ces cercles étaient moins contaminés. Mais cette méthode, malgré son imperfection, permet une comparaison internationale de la faiblesse stratégique des différents pays en cas d'accident nucléaire majeur sur leur territoire.

Concernant la mesure de la distance des centrales nucléaires aux villes, nous avons utilisé la fonction « mesurer distance » de *Google map* et calculé les distances en allant jusqu'au point à partir duquel une proportion non négligeable de l'aire urbaine habitée (un quart), telle qu'elle apparaît à l'image satellite, est incluse dans un rayon de 30 km ou de 50 km (respectivement).

3.4.5 *Davantage de précision sur la méthode : le poids des aires urbaines proches des centrales nucléaires*

Nous avons classé les villes en différentes catégories. L'importance des aires urbaines peut être évaluées de deux façons en restant dans une approche standardisée et facile à mettre en œuvre. 1° Le rang des aires urbaines dépend de l'importance de leur population en regard de la population totale du pays (approche « population nationale ») ; 2° Le rang des aires urbaines dépend de l'importance de leur population en regard de la population de l'aire urbaine la plus importante du pays (approche « métropole »).

Comme l'évaluation des aires urbaines des pays très peuplés risque de ne voir partout que des aires urbaines de 3^e catégorie ou de 4^e catégorie, il convenait de ne pas s'en tenir à cette approche. Les villes les plus peuplées d'un pays ne comptent pas qu'à travers leur poids en terme de population, mais aussi par leur prestige symbolique et les centres de pouvoir qu'elles constituent. D'où l'importance de calculer aussi le poids respectifs des aires urbaines en fonction de la métropole la plus importante du pays sur le plan démographique. Cette façon de faire rend mieux compte du risque et du dommage ressenti que le seul rapport à la population touchée.

1° L'approche « population nationale » utilise les critères suivants pour distribuer les aires urbaines dans quatre catégories. Les aires urbaines de rang 1 pèsent au moins 10% de la population totale du pays. Les aires urbaines de rang 2 pèsent au moins 3% de la population totale du pays. Les aires urbaines de rang 3 pèsent au moins 0.6% de la population totale du pays. Les aires urbaines de rang 4 pèsent moins de 0,6% de la population totale et ne sont pas prises en compte dans l'étude.

2° L'approche « métropole » utilise les critères suivants pour distribuer les aires urbaines dans quatre catégories. Les aires urbaines de rang 1 pèsent au moins 60% de la population totale de la principale métropole du pays. Les aires urbaines de rang 2 pèsent au moins 20% de la population de la principale métropole du pays. Les aires urbaines de rang 3 pèsent au moins 4% de la population de la principale métropole du pays. Les aires urbaines de rang 4 pèsent moins de 4% de la population totale et ne sont pas prises en compte dans l'étude.

Les grandeurs de cette partition permettent d'obtenir un bon contraste dans l'étude des aires urbaines des petits pays tout en autorisant un bon contraste dans la plupart des grands pays.

⁷⁶ United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, *Source and Effects of Ionizing Radiation : Annex J : Exposures and effects of the Chernobyl accident*, 2000, pp. 451-566. http://www.unscear.org/docs/reports/2000/Volume%20II_Effects/AnnexJ_pages%20451-566.pdf

3.4.6 *Atouts et limites de cette approche*

Cette partie de l'étude aborde la question de la vulnérabilité à travers plusieurs approches (population, territoire et aires urbaines).

D'autres études sur les vents dominants et l'influence potentielle du régime hydrographique sur la diffusion des éléments radioactifs complèteraient avantageusement ces pages. Rien n'exclut d'intégrer ces paramètres dans une étude ultérieure si la demande est là.

4 VULNERABILITE STRATEGIQUE DES PAYS EN CAS D'ACCIDENT NUCLEAIRE MAJEUR SUR LEUR TERRITOIRE : RESULTATS PRINCIPAUX

4.1 *Responsabilité morale et vulnérabilité : nombre de personnes vivant à moins de 30 km d'une des 194 centrales nucléaires en activité dans le monde (Données : Declan Butler)*

4.1.1 *Précisions sur l'approche du tableau 1*

L'extrait⁷⁷ du tableau n°1 fait correspondre à chaque centrale nucléaire le nombre d'habitants vivant dans un rayon de 30 km (données 2010). Il ne tient pas compte de la taille relative de ces populations avec la population nationale de chaque pays. Les données sont de Declan Butler.⁷⁸ Cette approche ne fait pas de différence entre les personnes susceptibles d'être touchées à l'extérieur ou à l'intérieur des frontières nationales ni ne tient compte de la population totale de chaque pays.

Ces données donnent une image de ce que serait le poids humain d'un accident majeur dans une des centrales nucléaires en activité. Cette approche a une valeur en soi et on pourrait dire qu'elle est humaniste et utilitariste vu son recours au critère du nombre de personnes potentiellement exposées à des radiations. L'approche ici ne peut être dite stratégique. Elle permet de s'interroger sur la pertinence de garder telle centrale nucléaire en activité en regard des personnes potentiellement touchées par un accident majeur proche de chez eux. Elle constitue une aide à la décision en ce sens qu'elle aide à répondre à la question suivante : sachant les faiblesses dans la conception de telle centrale, sachant le nombre de personnes alentours susceptibles de subir des dommages et des risques pour leur santé et leur qualité de vie, les normes de sécurité à appliquer sont-elles celles des centrales neuves ou une simple mise à jour suffit-elle ? Vaut-il la peine de fermer ou de maintenir ouverte telle centrale ?

Du point de vue économique, le tableau suggère que des grands pays ont cherché à minimiser les frais de transport du courant électrique en construisant certaines de leurs centrales nucléaires près de zones fortement peuplées. C'est le cas du Pakistan, de la Chine, de l'Inde, du Canada ou des USA. Toutefois, ces pays ont, en moyenne, placés la plupart de leurs centrales nucléaires loin des régions les plus peuplées.

⁷⁷ Les lignes 32 à 192 sont seulement éditées dans l'annexe mise en ligne lors de l'édition du rapport définitif.

⁷⁸ Butler Declan, « Reactors, residents and risk », *Nature*, 21 avril 2011, doi:10.1038/472400a <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>

RESPONSABILITE MORALE ET VULNERABILITE: nombre d'habitants dans un rayon de 30 km autour de 194 centrales nucléaires en activité (Données: Declan Butler ^{a)})

Tableau 1: nombre d'habitants dans un rayon de 30 km			
Ligne	Centrale nucléaire	Pays	Nbr d'habitants ds un rayon de 30 km
Nbr	Nom	Nom	Nbr d'habitants ^a
1	Kanupp	Pakistan	8'346'926
2	Kuosheng	Taiwan	5'454'287
3	Jinshan - Chin Shan	Taiwan	4'687'065
4	Kori II / Kori	Korea Rep.	3'410'020
5	Guangdong - Daya Bay	China	3'247'486
6	Lingao	China	3'106'385
7	Narora	India	2'243'522
8	Pickering	Canada	2'197'681
9	Philippsburg	Germany	1'743'695
10	Neckarwestheim	Germany	1'619'944
11	Doel	Belgium	1'511'575
12	Wolsong	Korea Rep.	1'300'745
13	Qinshan	China	1'299'506
14	Indian Point	USA	1'075'040
15	Hartlepool	United Kingdom	1'062'217
16	Beznau	Switzerland	1'027'780
17	Tianwan	China	1'010'056
18	Limerick	USA	982'549
19	Fuqing	China	980'280
20	Kakrapar	India	963'906
21	Goesgen	Switzerland	959'787
22	Fessenheim	France	931'516
23	Tökai	Japan	919'437
24	Mühleberg	Switzerland	892'419
25	Three Mile Island	USA	836'919
26	Tihange	Belgique	836'375
27	Leibstadt	Switzerland	817'983
28	Cattenom	France	801'518
29	Metsamor - Armenia	Armenia	768'816
30	McGuire	USA	758'773
31	Kudankulam	India	751'613
	<i>(non publiés)</i>	<i>(non publiés)</i>	<i>(non publiés)</i>
193	Wolf Creek	USA	13'185
194	Bilibino	Russian Fed.	276
	Fukushima Daïni*	Japan	204'250
	Fukushima Daïchi*	Japan	171'563

Tableau 1: chacune des 194 centrales nucléaires a un nombre déterminé d'habitants vivant un rayon de 30 km. Les chiffres ci-dessus incluent les populations vivant de l'autre côté des frontières nationales.

a) Les données sont de Declan Butler de la revue *Nature*.

<http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>. Declan Butler a travaillé sur ces données avec Kytte MacManus et Liana Razafindrazay du *Columbia University's Center for International Earth Science Information Network (CIESIN)* à partir de données du *NASA Socioeconomic Data and Applications Center*. Les données sont des années 2000 et 2010. Contributeurs et explications supplémentaires sur les données voir: <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a/box/1.html>.

* Centrales nucléaires définitivement arrêtées après un accident de niveau 7 selon l'*International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)*.

4.1.2 *Vue d'ensemble des résultats*

Dans l'ensemble, huit centrales nucléaires ont dans un rayon de 30 km entre 8,3 millions et 2 millions d'habitants. Neuf autres centrales ont entre moins de 1.9 millions et 1 million d'habitants dans ce même rayon. Surtout, 130 centrales nucléaires ont moins de 400'000 habitants dans un rayon de 30 km. La médiane est à 222'000 habitants (voir les données complètes dans l'annexe).

4.1.3 *Situation des centrales nucléaires des petits pays*

Concernant les petits pays, Taiwan a deux de ses trois centrales proches de populations très importantes (2^e et 3^e rang avec respectivement 5,4 et 4,6 millions d'habitants). Mais une des centrales de Taiwan occupe toutefois le 187^e rang avec un peu plus de 25'000 habitants). La Belgique voit ses deux centrales en 11^e et 26^e position (1'500'000 et 836'000 habitants).

➤ *Sur 194 centrales dans le monde, les 4 centrales suisses occupent les 16^e, 21^e, 24^e et 27^e rangs des pays exposant le plus des populations aux conséquences d'un accident de niveau 7 selon INES (de 1'027'000 à 817'000 habitants). Le nombre d'habitants autour des centrales y est donc près de quatre fois plus important que dans la centrale qui est dans la médiane de ce point de vue là (222'000 habitants – voir les données complètes dans l'annexe).*

➤ *Fait à ne pas négliger, les centrales nucléaires de trois pays plus petits ou de tailles comparables à la Suisse exposent moins d'habitants qu'elle dans un rayon de 30 km : Krsko, 73^e avec 334'000 habitants (Slovénie), Metsamor, 29^e, 769'000 h (Arménie), Borssele, 54^e, 438'000 h (Pays-Bas).*

Il n'y a pas de données sur le nombre d'habitants dans un rayon de 50 km autour des 194 centrales, mais pour 75 km. Les centrales nucléaires suisses ont un grand nombre d'habitants dans un rayon de 75 km : Beznau (5'866'000 h., 22^e sur 194 selon ce critère) ; Leibstadt (5'830'000 h., 24^e); Goesgen (5'638'000 h., 28^e) ; Mühleberg (3'433'000 h., 58^e).⁷⁹

Le tableau ci-contre répertorie encore les deux centrales de Fukushima, non classées vu leur arrêt définitif. En l'état, dans un rayon de 30 km, Declan Butler – à qui nous empruntons ces données – répertorie respectivement 204'000 et 172'000 habitants, ce qui mettrait ces centrales au 104^e et 118^e rang. Pour rester dans le cadre de l'hypothèse simplifiée des 30 km, les deux centrales japonaises ont donc exposé un nombre d'habitant de 4 à 5 fois moindre qu'il n'en serait dans un accident majeur en Suisse et de près de 7 fois moindre à un accident de même type dans la centrale nucléaire belge de Doel.

4.1.4 *Situation des centrales nucléaires des pays moyens*

La Corée, l'Allemagne et le Royaume Unis sont dans les pays moyens réunissant plus de 1 million d'habitant dans un rayon de 30 km autour de l'une au moins de leurs centrales nucléaires. La centrale de Kori en Corée, avec 1,7 millions d'habitants, implique une population importante. La centrale de Catenom en France a 801'000 habitants dans un rayon de 30 km.

4.1.5 *Situation des centrales nucléaires des grands pays*

Le Pakistan bat tous les records avec plus de 8 millions d'habitants dans un rayon de 30 km autour de Kanupp. Le Canada, l'Inde et la Chine ont des populations de seulement 3,3 et 2,1 millions d'habitants autour des centrales occupant les rangs 5 à 8.

⁷⁹ Idem

Indian Point aux USA a « seulement » 1 million d'habitant dans un rayon de 30 km (14^e rang).

*

Pour atteindre une vision plus stratégique, au sens de la survie politique du pays, il faut circonscire les données ci-dessus afin de prendre la mesure structurelle du risque pris par chaque Etat. C'est à cette vision stratégique que ce document va désormais s'intéresser.

4.2 *Faiblesse stratégique et vulnérabilité : part de la population nationale impactée*

4.2.1 *Précisions sur l'approche du tableau 2*

Cet extrait de tableau reprend les données de Declan Butler du tableau précédent en les divisant par le nombre d'habitants de chaque pays. La vision devient stratégique car elle permet une première approximation de la part des personnes potentiellement touchées en regard de la part des personnes susceptibles de devoir manifester leur solidarité aux victimes d'un accident majeur et de continuer de faire fonctionner l'économie du pays considéré.

Le fait de prendre en compte les populations dans un rayon de 30 km est cohérent avec un accident de niveau 7 selon INES. Il est toutefois évident qu'une zone d'exclusion durable pourrait être d'une taille différente et d'une forme différente. Il y a de plus une approximation due à l'effet frontière. Certains pays ci-dessus vivent sous la menace potentielle de centrales situées à l'étranger et, symétriquement, certaines centrales – signalées d'un double astérisque : Krsko, Doel, Borssele, Fessenheim ou encore Cattenom – créent une menace potentielle sur des aires urbaines importantes situées à l'étranger (huit centrales en tout sont dans cette situation – voir la liste exhaustive dans le tableau 4). Cette façon de faire à l'avantage de ne pas négliger les victimes potentielles situées de l'autre côté de la frontière, sachant que leurs demandes de réparation pourraient ajouter à la perte stratégique du pays subissant un accident majeur dans une de ses centrales nucléaires.

Dans ce tableau n°2 les pourcentages ont une certaine importance car ils indiquent une tendance. Mais dans le tableau récapitulatif (voir tableau 7), l'approche privilégie le rang des pays : l'objectif est d'obtenir un classement pour identifier les pays les plus vulnérables sur le plan stratégique.

4.2.2 *Vue d'ensemble des résultats du tableau 2*

Du point de vue des résultats, un premier groupe de 4 centrales (dans 3 pays) réunit entre 25% et 16% de leur population dans un rayon de 30km (rangs 1 à 4) ; un deuxième groupe de 5 centrales sur deux pays réunit entre 13% et 10% de leur population dans un rayon de 30km (rangs 5 à 9) ; un troisième groupe de 11 centrales sur 8 pays réunit entre 7% et 2% de leur population dans un rayon de 30km (rangs 10 à 20) ; au-delà, la population dans un rayon de 30 km représente moins de 2% (rang 21 et suivants), puis moins de 1% à partir du 33^e rang.

➤ *Dans un rayon de 30 km, 9/10 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 2% de la population du pays qui abritent ces installations, et 5/6 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 1% de la population du pays qui abritent ces installations.*

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE: Population dans un rayon de 30 km autour des centrales nucléaires en activité (pourcentage d'habitants, en comparaison de la population du pays hôte de chaque centrale nucléaire)
Tableau 2: Pourcentage du nombre d'habitants dans un rayon de 30 km

Ligne	Centrale nucléaire	Pays	Pourcentage du nbr d'habitants ds un rayon de 30 km	1 = impact maximal potentiel
Nbr	Nom	Nom	Pourcentage ^{a,b}	Rang
1	Metsamor - Armenia	Armenia	25.47%	1
2	Kuosheng	Taiwan	23.34%	2
3	Jinshan - Chin Shan	Taiwan	20.05%	3
4	Krsko**	Slovenia	16.15%	4
5	Doel**	Belgium	13.63%	5
6	Beznau	Switzerland	12.92%	6
7	Goesgen	Switzerland	12.06%	7
8	Mühleberg	Switzerland	11.22%	8
9	Leibstadt	Switzerland	10.28%	9
10	Tihange**	Belgique	7.54%	10
11	Bohunice	Slovakia	7.10%	11
12	Kori II / Kori	Korea Rep.	6.65%	12
13	Pickering	Canada	6.16%	13
14	Mochovce	Slovakia	5.57%	14
15	Kanupp	Pakistan	4.44%	15
16	Dukovany	Czech Rep.	2.81%	16
17	Borssele**	Netherlands	2.62%	17
18	Temelin	Czech Rep.	2.57%	18
19	Wolsong	Korea Rep.	2.54%	19
20	Philippsburg	Germany	2.13%	20
21	Neckarwestheim	Germany	1.98%	21
22	Kozlodui	Bulgaria	1.89%	22
23	Paks	Hungary	1.84%	23
24	Hartlepool	United Kingdom	1.66%	24
25	Wolsong-Shin	Korea Rep.	1.46%	25
26	Fessenheim**	France	1.40%	26
27	Olkiluoto	Finland	1.37%	27
28	Darlington	Canada	1.22%	28
29	Cattenom**	France	1.20%	29
30	Ringhals	Sweden	1.05%	30
31	Bugey	France	1.05%	30
	<i>(voir annexe)</i>	<i>(voir annexe)</i>	<i>(voir annexe)</i>	<i>(voir annexe)</i>
193	Wolf Creek	USA	0.00%	193
194	Bilibino	Russian Fed.	0.00%	193
	Fukushima Dai'ni*	Japan	0.16%	
	Fukushima Da'ichi*	Japan	0.13%	

Tableau 2: le rang de chacune des 194 centrales nucléaires est calculé en comparant la population vivant dans un rayon de 30 km de rayon avec la population du pays de localisation de chaque centrale. Dans certains cas, le nombre d'habitants inclut les habitants résidant de l'autre côté de la frontière.

a) Les pourcentages ci-dessus sont calculés à partir des données de Declan Butler : <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html> / Voir les liens sur les indications méthodologiques dans le tableau 1.

b) Le nombre d'habitants des pays pour calculer les pourcentages vient de Wikipedia : <http://fr.wikipedia.org> (Jan. 2015)

* Centrales nucléaires définitivement arrêtées après un accident de niveau 7 selon l'International Nuclear and Radiological Event Scale (INES).

** Centrales nucléaires menaçant des aires urbaines dans des pays étrangers (pour le détail de ces centrales nucléaires, voir tableau 4).

4.2.3 *Pourcentage de la population dans un rayon de 30 km (pour les grands pays)*

Les centrales des grands pays qui se trouvaient en tête du tableau 1 régressent dans le classement, signe que leur capacité stratégique est moins susceptible de souffrir d'un accident nucléaire majeur que les petits pays. Kanupp au Pakistan passe du 1^{er} au 15^e rang (4,44%) ; Gangdong et Lingao en Chine passent respectivement du 5^e et 6^e rang aux 73^e et 76^e (0,23% de la population chinoise) ; Narora en Inde passe de la 7^e à la 84^e (0.19%); Indian Point aux USA passe de la 14^e à la 57^e (0,34%) ; Pickering, au Canada, pays grand par son territoire mais moyen par sa population, passe de la 8^e place à la 13^e (6,16%), suggérant fortement qu'un accident nucléaire majeur dans cette centrale aurait un impact stratégique nettement plus considérable dans ce pays qu'en Chine, en Inde ou aux Etats-Unis. Parmi les grands pays, le Canada et le Pakistan sont donc particulièrement exposés aux conséquences d'un accident majeur.

4.2.4 *Pourcentage de la population dans un rayon de 30 km (pour les pays moyens)*

Concernant les pays de taille moyenne, les centrales de Kori II / Kori et Wolsong-Shin en Corée du Nord occupent le 12^e et le 25^e rang (6.65% et 1.46%), de Dukovany en République Tchèque le 16^e rang (2,81%), cependant que la première centrale allemande, Philippsburg, est au 20^e rang (2.13%) et la première centrale française, Fessenheim, est 26^e (1,4%).

4.2.5 *Pourcentage de la population dans un rayon de 30 km (pour les petits pays)*

Concernant les centrales des petits pays, un mouvement inverse s'opère puisqu'elles apparaissent contribuer à une vulnérabilité élevée (sauf le rang de 2 des 3 centrales taïwanaises qui évolue peu).

La centrale de Metsamor en Arménie passe de la 29^e place à la 1^{re} en réunissant dans un rayon de 30 km une population équivalant à 25% de la population nationale. Les deux centrales taïwanaises réunissent respectivement 23% et 20% de la population nationale dans un rayon de 30km ; celle de Krsko en Slovénie a une population dans ce même rayon équivalant à 16% de la population nationale (dont une partie réside en fait en Croatie) ; celle de Doel est à 14% de la population dans un rayon de 30 km (dont une petite partie réside aux Pays-Bas).

➤ *Les centrales nucléaires suisses jouent groupées puisque Beznau pointe au 6^e rang (12,92% de la population suisse), Goesgen au 7^e rang (12.06%), Mühleberg au 8^e rang (11.22%) et Leibstadt au 9^e rang (10.28%). Pour les centrales de Leibstadt et de Beznau, une partie de la population répertoriée réside en Allemagne. Il est juste de tenir compte de cette population dans la mesure où la Suisse devrait s'attendre – en cas d'accident majeur sur son territoire – à se voir notifier des demandes de réparations pour les dommages en Allemagne.*

Les centrales suisses occupent les rangs 6 à 9. Des pays de taille équivalentes ont toutefois des centrales présentant un risque stratégique inférieur : Tihange en Belgique inclut une population moindre dans le rayon de 30 km (7,5%, 10^e) ; Bohunice en Slovaquie (7%, 11^e) ; Mochovce en Slovaquie (5,5%, 14^e) ; Borssele aux Pays-Bas (3%, 17^e).

4.2.6 *Reprise de ces données dans la synthèse d'ensemble*

Les rangs obtenus dans le tableau que nous venons d'analyser sont combinés dans le tableau 7 avec les rangs obtenus dans les autres indicateurs à portée stratégique pour obtenir un résultat robuste de l'exposition des pays à des dommages potentiellement catastrophiques.

4.3 *Faiblesse stratégique et vulnérabilité : part du territoire national impacté*

4.3.1 *Précision sur l'approche*

Ce tableau vise à analyser l'impact territorial d'une zone d'exclusion de 30 km de rayon sur les 30 pays ayant des centrales nucléaires en activité.

Un rayon de 30 km représente une hypothèse raisonnable en regard de la zone d'exclusion en vigueur autour de la centrale de Fukushima. Le chiffre est théorique mais il représente une standardisation acceptable et il peut être utilisé comme référence – en première approximation – pour évaluer la « sensibilité territoriale » des différents pays à un accident majeur. Cela étant, c'est moins le pourcentage que le rang qu'il faut retenir puisqu'une zone d'exclusion peut varier en dimension suivant les vents et qu'elle ne dit pas tout sur les zones qui reçoivent des éléments radioactifs. Le rang des pays compte davantage et les pourcentages ont surtout une valeur illustrative.

4.3.2 *Vue d'ensemble des résultats du tableau 3*

Le tableau 3 permet de se faire une idée de l'impact pour chacun des 31 pays ayant au moins une centrale nucléaire en activité. Un tel accident représenterait 6,9% du territoire Suisse. Seuls quatre pays perdraient davantage : Slovaquie (13,9%), Arménie (9,6%), Belgique (9,38%), Taïwan (7,8%). Sur trente-et-un pays, en cas d'accident nucléaire majeur, vingt-deux exposeraient moins de 3% de leur territoire et 18 moins de 1%. Parmi ces 18 pays, se trouvent le Japon (0,76%) et l'Ukraine (0,47%). Concernant le Japon, les réacteurs de Fukushima se trouvant en bord de mer, la zone d'exclusion des trente kilomètres occupe dans les faits moins de 0,4% du territoire japonais cependant que dans le cas de l'Ukraine une importante partie des retombées radioactive a principalement touché la Biélorussie, « épargnant » d'autant l'Ukraine.

➤ *En cas de création d'une zone d'exclusion de quelque 2826 km², sur 194 centrales nucléaires dans le monde, 161 d'entre elles, soit 5/6 de l'effectif, entameraient le territoire national de moins de 1% de sa surface. La Suisse perdrait quant à elle plus de 6% de son territoire.*

4.3.3 *Raison du report des rangs obtenus dans le tableau de synthèse*

Concernant le critère de l'impact territorial et son emploi dans cette synthèse sur la vulnérabilité des pays, les rangs des différents pays, de 1 à 31, seront reportés sous chacune des 194 centrales étudiées dans le tableau 7, puis additionnés aux rangs obtenus selon les autres critères de cette étude : population (résultats du tableau 2), villes dans un rayon de 30 km et villes dans un rayon de 50 km (résultats des tableaux 5 et 6). Il sera ainsi possible de se faire une image satisfaisante de la vulnérabilité des différents pays dans l'hypothèse d'un accident dans l'une ou l'autre de leurs centrales nucléaires. Le fait de travailler sur 31 rangs seulement se justifie par l'importance moindre qu'il convient d'accorder à l'espace territorial en comparaison de l'attention aux populations et aux villes qui jouent un rôle important dans la création de richesses.

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE: impact territorial d'une aire d'exclusion de 30 km de rayon (2826 km ²)				
Tableau 3: Territoire		Surface du pays ^b	Impact relatif d'une aire d'exclusion de 2826 km ²	1 = impact maximal potentiel
Ligne	Pays ^a	km ²	%	Rang
1	Slovenia	20'273	13.94%	1
2	Armenia	29'743	9.50%	2
3	Belgium	30'528	9.26%	3
4	Taiwan ^c	36'193	7.81%	4
5	Switzerland	41'285	6.85%	5
6	Netherlands	41'530	6.80%	6
7	Slovakia	49'035	5.76%	7
8	Czech Republic	78'870	3.58%	8
9	Hungary	93'029	3.04%	9
10	Korea, Rep.	99'274	2.85%	10
11	Bulgaria	110'944	2.55%	11
12	Romania	238'391	1.19%	12
13	United Kingdom	243'610	1.16%	13
14	Finland	338'144	0.84%	14
15	Germany	357'021	0.79%	15
16	Japan	377'914	0.75%	16
17	Sweden	449'965	0.63%	17
18	Spain	505'911	0.56%	18
19	Ukraine	603'549	0.47%	19
20	France	671'308	0.42%	20
21	Pakistan	796'095	0.35%	21
22	South Africa	1'219'912	0.23%	22
23	Iran, Islamic Rep.	1'648'195	0.17%	23
24	Mexico	1'964'375	0.14%	24
25	Argentina	2'780'400	0.10%	25
26	India	3'287'263	0.09%	26
27	Brazil	8'514'576	0.03%	27
28	USA	9'629'048	0.03%	27
29	China	9'670'009	0.03%	27
30	Canada	9'984'670	0.03%	27
31	Russian Fed.	17'125'242	0.02%	31

Table 3: Une zone d'exclusion de 2624 km² a un impact territorial plus important sur les petits pays.

a) International Atomic Energy Agency, *Annual report 2013*, Table A9: "Nuclear power reactors in operation in the world" (as of 31 December 2013) p. 113 (Les données sont de l'*Agency's Power Reactor Information System – PRIS* - <http://www.iaea.org/pris>)

b) Surface des pays en km²: <http://fr.wikipedia.org> (Nov. 2014)

c) Nous distinguons la Chine de Taïwan

4.4 *Faiblesse stratégique et vulnérabilité : exportation de la menace potentielle*

4.4.1 *Précision sur l'approche du tableau 4*

L'objectif est de voir si des pays ont eu une politique de localisation des centrales nucléaires visant à faire porter le poids d'un accident majeur sur leurs voisins.

Dans le tableau 4, nous avons déterminé le poids des villes en fonction de la métropole la plus importante de chaque pays (comme dans le tableau 6). Par exemple, la centrale de Fessenheim située en France est à moins de 50 km d'une ville suisse, Bâle, ayant un rang 2 en regard de Zürich la métropole helvétique. L'impact d'un accident de niveau 7 selon INES peut être évalué en fonction de la perte de capacité stratégique de la Suisse, bien que la centrale nucléaire évaluée soit située en France (voir le détail de la méthode dans le commentaire du tableau 6).

Concernant les valeurs par défaut qui permettent de hiérarchiser la vulnérabilité (« *valeurs illustrative par défaut* »), elles sont établies de telle sorte que le classement des centrales selon la vulnérabilité réponde à une règle minimale qu'illustre l'exemple ci-après : un grand nombre de villes de rang 3 dans un rayon de trente kilomètres autour d'une centrale ne peuvent créer un risque de vulnérabilité plus élevé que la présence d'une ville de rang 2 dans un rayon de cinquante kilomètres (principe de primauté du niveau supérieur de vulnérabilité). Les tableaux 5, 6 et 7 témoignent de la généralisation de ce principe de hiérarchisation des situations de vulnérabilité et ils permettent de saisir visuellement ce principe.

4.4.2 *Vue d'ensemble des résultats : quel jeu stratégique ?*

Cela étant, sur les 194 centrales de cette étude, 8 sont proches des frontières et sont proches de villes importantes sur le territoire voisin. Les deux critères étant cumulatifs, les centrales de Leibstadt et de Beznau ne figurent pas dans ce tableau car elles ne sont pas proches de villes allemandes importantes (de rang 1, 2 ou 3) dans un rayon de 50 km.

4.4.3 *La stratégie française d'éloignement des centrales nucléaires des aires urbaines importantes*

De façon générale, la France étant centrée sur Paris, elle n'a pas de ville de rang 2 au contraire de l'Allemagne par exemple. Cela étant, aucune des centrales nucléaires françaises – elles sont 19 en tout – n'est à moins de cinquante kilomètres d'une ville française de rang 2 ou 1 (voir tableau 5 et 6). Sur les 19 centrales françaises, seule quatre d'entre-elles sont proches de villes de rang 3. Ces trois centrales nucléaires sont emblématiques d'une certaine stratégie de localisation. A) La centrale de Cattenom est proche de la ville de Luxembourg. La capitale du Grand Duché (rang 1) est à moins de 30 km, trois villes luxembourgeoises de rang 3 sont à moins de 30 km et une de rang 3 à moins de 50 km. Cattenom est aussi à portée d'une ville de rang 3 en Allemagne. En revanche, on ne repère aucune ville française de rang égal ou supérieur à 3 dans un rayon de moins de 50 km autour de Cattenom. B) La centrale de Chooz est à moins de 50 km d'une ville de rang 2 et d'une ville de rang 3 en Belgique, mais à plus de 50 km de toute ville de rang 3, 2 ou 1 en France. C) La centrale de Fessenheim est à moins de 50 km d'une ville de rang 2 en Suisse, mais à plus de 50 km de toute ville de rang 3 en France.

➤ *Les trois centrales françaises précitées sont proches de villes de rang 2 ou 1 à l'étranger, mais d'aucune ville d'importance en France (rangs 1 à 3). Cette stratégie de localisation des centrales nucléaires françaises, loin des aires urbaines françaises, n'est pas être le fruit du hasard.*

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE: les 8 centrales nucléaires menaçant des aires urbaines étrangères (distance <= 50 km)								
Tableau 4: exportation de la menace		Population: Aire urbaine (AU) de rang 1		Population: Aire urbaine (AU) de rang 2		Population: Aire urbaine (AU) de rang 3		Proximité des aires urbaines
Centrales nucléaires (CN)	Pays menacés	distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		
		<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	Valeur illustrative par défaut (minimum 8)
Nom (et localisation)	Nom	nbr d'AU rang 1	nbr d'AU rang 1	nbr d'AU rang 2	nbr d'AU rang 2	nbr d'AU rang 3	nbr d'AU rang 3	
Cattenom (France)	Luxembourg	1				4	1	101
Cattenom (France)	Germany						1	9
Cattenom (France)	France							8
Krsko (Slovenia)	Croatia		1					58
Krsko (Slovenia)	Slovenia					3	3	20
Borssele (Netherl.)	Belgique				2		2	46
Borssele (Netherl.)	Netherlands					1		11
Chooz (France)	Belgium				1		1	27
Chooz (France)	France							8
Fessenheim (France)	Switzerland				1			26
Fessenheim (France)	France							8
Emsland (Ge)	Netherlands						2	10
Emsland (Ge)	Germany						1	9
Doel (Belgium)	Netherlands						2	10
Doel (Belgium)	Belgium			1	1	1		53
Tihange (Belgique)	Netherland						1	9
Tihange (Belgique)	Belgium			1			1	33

Tableau 4: Les zones de 30 et de 50 km sont définies dans l'hypothèse de la création d'une zone d'exclusion sur des territoires enregistrant durablement plus de 555 kBq/m² suite à un accident nucléaire majeur. Les 8 centrales nucléaires ci-dessus sont proches des frontières nationales, d'où l'"exportation" potentielle d'une menace de ce type à l'étranger. Ce tableau illustre un jeu stratégique où certains pays localisent leurs centrales nucléaires en cherchant à préserver leurs aires urbaines les plus importantes. Le rang de chaque aire urbaine est calculé en comparant sa population à celle de la principale métropole du même pays (voir tableau 6).

4.4.4 Autres stratégies nationales de délocalisation de la menace potentielle

De même, la centrale de Borssele aux Pays-Bas compte dans un rayon de 50 km une ville de rang 2 et une ville de rang 3 en Belgique, cependant qu'elle est à moins de 30 km d'une ville de rang 3 sur son propre territoire. La centrale de Emsland en Allemagne est à moins de 50 km de deux villes de rang 3 dans les Pays-Bas, et à moins de 50 km d'une seule ville de rang 3 en Allemagne. Quant à la centrale Krsko en Slovénie, elle a été mise en fonction en 1983, avant la partition de l'ex Yougoslavie (1991), c'est donc de façon fortuite qu'elle se trouve plus proche de la capitale de la Croatie que de ses propres centres urbains (capitale Ljubljana).

4.4.5 Une stratégie de sécurité bien partagée : 4/5 des centrales nucléaires dans le monde à plus de 50 km de centres urbains importants (de rang 1 ou 2)

De façon générale, il est avantageux sur le plan économique de mettre les centrales nucléaires à moins de 50 km des grands centres urbains (économie dans le transport de courant électrique et proximité d'une main d'œuvre diversifiée et abondante). Cette option n'est pourtant pas celle suivie de façon majoritaire et il est légitime de penser qu'elle est rejetée lorsque les impératifs stratégiques ont prévalu. Si l'on regarde les 194 centrales de cette étude sous l'angle des aires urbaines évaluées en fonction de la principale métropole du pays (voir tableau 6), seules onze d'entre elles ont une ville de rang 1 à moins de 50 km d'une centrale nucléaire (5.7%), vingt-et-une ont au moins une aire urbaine de rang 2 à moins de 50 km (10.8%).

- *Autrement dit, 5/6 des centrales nucléaires dans le monde sont à plus de 50 km des centres urbains importants (centres de rang 1 ou 2) du pays qui héberge ces centrales (selon l'approche « métropole » qui dénombre plus d'aires urbaines que l'approche « population »).*
- *Toujours selon le tableau 6, 156 centrales nucléaires ont, au maximum, une seule aire urbaine de rang 3 à moins de 30 ou 50 km de distance (4/5 ou 80%).*
- *Enfin, 116 centrales nucléaires n'ont, dans un rayon de 50 km, aucune aire urbaine d'importance (de rang 3 – 3/5).*

Ces chiffres sont intéressants puisque les aires urbaines sont en général des centres importants de consommation d'électricité et que les préoccupations économiques mèneraient les exploitants à situer leurs centrales nucléaires près des centres urbains qu'ils servent. Or, c'est l'inverse que l'on observe : seule une minorité des centrales nucléaires sont situées à proximité des aires urbaines importantes.

4.4.6 *La localisation des centrales nucléaires à plus de 50 km des centres urbains comme norme implicite et nécessaire de sécurité*

Tout laisse entendre que de nombreux Etats ont éloigné leurs centrales nucléaires des grands centres économiques afin d'éviter d'être trop impactés par un accident nucléaire majeur sur leur sol.

L'exemple de la France plaide pour le constat d'une systématisation de la minimisation des dommages potentiels à l'interne quitte à devoir en exporter le risque potentiel à l'étranger, au détriment de la capacité stratégique des pays voisins. En cas de catastrophe de niveau 7 selon INES dans la centrale de Cattenom, le Luxembourg voisin et ses 2'586 km² de territoire serait susceptible de disparaître politiquement puisque sa surface est de l'ordre d'une zone d'exclusion de 30 km de rayon (2826 km²). Le Luxembourg semble être l'Etat le plus vulnérable à un accident nucléaire majeur tout en étant privé du pouvoir politique de faire fermer la centrale qui a le potentiel de le réduire.

Nous ne minimisons pas les risques stratégiques que prend la France, même si elle fait prendre, par des pays étrangers, des risques stratégiques supérieurs à ce qu'elle encourt elle-même.

Autrement dit, les planificateurs hexagonaux auraient cherché à préserver autant que possible la France des conséquences d'un accident nucléaire majeur, quitte à faire prendre des risques considérables à d'autres Etats. En tous les cas, le tableau 4 et la synthèse d'ensemble des 194 centrales confirme la faiblesse stratégique que représente la localisation « malheureuse » d'une minorité de centrales nucléaires.

- *La stratégie de localisation est à l'éloignement de centrales nucléaires des centres urbains (rang 1 et 2). Il est clair que cette stratégie est motivée par des impératifs de sécurité nationale. Localiser les centrales nucléaires à plus de 50 km des centres urbains importants constitue de toute évidence une norme de sécurité coutumière et largement partagée à l'échelle internationale.*

*

Dans la suite de l'étude, nous ne parlons plus du Luxembourg puisque nous étudions la capacité des Etats à se créer eux-mêmes un tort stratégique majeur, capacité dont le Luxembourg semble dépourvu puisque la menace potentielle à son encontre est située dans un territoire échappant à sa juridiction. Les données des villes menacées depuis les centrales nucléaires étrangères ne sont donc pas reprises dans le tableau 7 qui fait la synthèse du risque stratégique que certains Etats font peser sur leur propre existence.

4.5 Faiblesse stratégique et vulnérabilité des aires urbaines (1/2)

4.5.1 Précision sur l'approche générale du tableau 5 (approche « population nationale »)

Ce tableau a pour fonction d'identifier l'importance et le nombre des villes proches de chacune des 194 centrales nucléaires. L'importance des aires urbaines est estimée en comparant leur population à la population du pays considéré (approche « population nationale »). Cette approche complète l'approche des tableaux 1 et 2 car elle permet de prendre en compte des aires urbaines situées entre 30 et 50 km des centrales nucléaires, ce que ne faisaient pas ces deux tableaux. Elle rend aussi compte des aires urbaines dont l'importance symbolique joue un rôle considérable dans l'appréciation d'un dommage nucléaire.⁸⁰

L'extrait de tableau ci-dessus fait correspondre à chaque centrale nucléaire le nombre et le type de ville (rangs 1 à 3) se trouvant à moins de 30 km et entre 30 et 50 km respectivement. La méthode de hiérarchisation des aires urbaines a été présentée dans la section 3.4.5. Précisons toutefois que les valeurs par défaut qui permettent de hiérarchiser la vulnérabilité (« valeurs illustratives par défaut ») sont établies selon le principe de primauté du niveau supérieur de vulnérabilité. Cette approche est cohérente avec le principe du « risque ressenti » et le « facteur d'aversion » reconnus par l'Office fédéral de la protection civile.⁸¹

4.5.2 Présentation des résultats du tableau 5

Les centrales nucléaires de plusieurs petits pays incluent dans un rayon de 30 km et de 30 à 50 km des villes de rang 1 ou 2, d'où une vulnérabilité élevée à un accident nucléaire majeur. Les centrales de Beznau (Suisse, 1^e), Metsamor (Arménie, 2^e), Kuosheng et Jinshan (Taïwan, 3^e *ex æquo*), Leibstadt et Goesgen (Suisse, toutes deux 7^e), Doel (Belgique, 10^e), Mühleberg (Suisse, 11^e) et Tihange (Belgique, 13^e) sont en compagnie de centrales de grands Etats. La situation des centrales de Kanupp (Pakistan) et Pickering (Canada) toutes deux 5^e, Darlington (Canada, 9^e), Indian Point (USA, 16^e) montre que des grands Etats situent l'une de leurs installations dangereuses proches d'aires urbaines proportionnellement importantes en regard de leur population nationale.

➤ *A l'inverse, des Etats petits et peuplés peuvent avoir des centrales relativement éloignées de leurs aires urbaines les plus importantes : Krsko (Slovénie, 23^e) ; Bohunice et Mochovce (Slovaquie, 24^e et 25^e) ; Borssele (Netherlands, 28^e) ; Maanschan (Taiwan, 65^e).*

Quand aux Etats de taille moyenne, aucun n'a une centrale en activité vers une ville de rang 1 et seules trois centrales sont à moins de 30 km d'une ville de rang 2 : Kori II / Kori (Corée, 12^e), Koeberg (Afrique du Sud, 14^e), Neckarwestheim (Allemagne, 14^e) ; cependant que trois autres centrales nucléaires sont entre 30 et 50 km d'une ville de rang 2 (Ringhals), Brokdorf (Allemagne) et Dukovany (Tchéquie), toutes trois 16^e *ex æquo*.

⁸⁰ Source population des aires urbaines européennes : Eurostat, « Population on 1 January, larger urban zone » (http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=urb_lpop1&lang=en-recherche, janvier 2015).

⁸¹ Office fédéral de la protection civile, *Katanos : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une analyse comparative*, 1995, p. 49. / Office fédéral de la protection de la population, *Katarisk : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une appréciation des risques du point de vue de la protection de la population*, 2003, p. 11.

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE : classement des 194 centrales nucléaires en activité d'après leur proximité des aires urbaines principales du pays abritant chaque centrale (le rang de chaque aire urbaine est calculé en fonction de la population du pays.)

Tableau 5 : villes selon population pays		Population: Aire urbaine (AU) de rang 1		Population: Aire urbaine (AU) de rang 2		Population: Aire urbaine (AU) de rang 3		Proximité avec les aires urbaines principales (vulnérabilité)		
Ligne	Centrales nucléaires	Pays	distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Valeur illustrative par défaut (minimum 8)	1 = haute vulnérabilité Rang
Nbr	Nom	Nom	<=30 nbr d'AU rang 1	31 to 50 nbr d'AU rang 1	<=30 nbr d'AU rang 2	31 to 50 nbr d'AU rang 2	<=30 nbr d'AU rang 3	31 to 50 nbr d'AU rang 3		
1	Beznau	Switzerland	1			1		1	107	1
2	Metsamor	Armenia	1				1	1	93	2
3	Jinshan	Taiwan	1				1		92	3
4	Kuosheng	Taiwan	1				1		92	3
5	Kanupp	Pakistan	1						88	5
6	Pickering	Canada	1						88	5
7	Leibstadt	Switzerland		1		1		1	77	7
8	Goesgen	Switzerland		1		1		1	77	7
9	Darlington	Canada		1					58	9
10	Doel**	Belgium			1	1	1		54	10
11	Mühleberg	Switzerland			1		3	1	45	11
12	Kori II / Kori	Korea Rep.			1		1		36	12
13	Tihange**	Belgique			1			1	33	12
14	Koeberg	South Africa			1				32	14
15	Neckarwestheim	Germany			1				32	14
16	Indian Point	USA				1			26	16
17	Ringhals	Sweden				1			26	16
18	Brokdorf	Germany				1			26	16
19	Dukovany	Czech Rep.				1			26	16
20	Philippsburg	Germany					3		20	20
21	St-Alban	France					2		16	21
22	Olkiluoto	Finland					2		16	21
23	Krsko**	Slovenia					1	3	15	23
24	Bohunice	Slovakia					1	2	14	24
25	Hartlepool	United Kingdom					1	1	13	25
26	Hinkley Point B	United Kingdom					1	1	13	25
27	Mochovce	Slovakia					1	1	13	25
28	Catawba	USA					1		12	28
29	McGuire	USA					1		12	28
30	Turkey Point	USA					1		12	28
31	Borssele**	Netherlands					1		12	28
32	Wolsong	Korea Rep.					1		12	28
33	Wolsong-Shin	Korea Rep.					1		12	28
34	Grafenrheinfeld	Germany					1		12	28
35	Bugey	France					1		12	28
36	St-Laurent	France					1		12	28
37	Temelin	Czech Rep.					1		12	28
38	Loviisa	Finland						2	10	38
39	Beaver Valley	USA						1	9	39
40	Dresden	USA						1	9	39
41	Enrico Fermi	USA						1	9	39
42	Limerick	USA						1	9	39
43	Monticello	USA						1	9	39
44	Peach Bottom	USA						1	9	39
45	Perry	USA						1	9	39
46	Prairie Island	USA						1	9	39
47	Hunterston	United Kingdom						1	9	39
48	Torness	United Kingdom						1	9	39
49	Zaporizhia	Ukraine						1	9	39
50	Beloyarsky	Russian Fed.						1	9	39
51	Novovoronezh	Russian Fed.						1	9	39
52	Novovoronezh-2	Russian Fed.						1	9	39
53	Cernavoda	Romania						1	9	39
54	Hanbit	Korea Rep.						1	9	39
55	Genkai	Japan						1	9	39
56	Onagawa	Japan						1	9	39
	voir annexe	voir annexe						v. annexe v. annexe	voir annexe	voir annexe
193	Atucha	Argentina							8	65
194	Embalse	Argentina							8	65
	Chernobyl*	Ukraine							8	
	Fukushima Daichi*	Japan							8	
	Fukushima Daini*	Japan							8	

Tableau 5 : Le rang de chaque aire urbaine est calculé en comparaison de la population du pays. La distance des aires urbaines aux centrales nucléaires est mesurée à partir de la première banlieue densément bâtie. Sur 194 centrales nucléaires, 9 sont à moins de 50 km de villes de rang 1 dans leur propre pays ; 167 centrales nucléaires ont tout au plus une ville de rang 3 à moins de 30 km (6/7), cependant que 130 centrales n'ont pas de ville de rang trois à moins de 50 km (2/3). Ce tableau ne prend pas en compte les aires urbaines situées à l'étranger vu la perspective stratégique de l'analyse.

* Centrales nucléaires définitivement arrêtées après un accident de niveau 7 selon l'*International Nuclear and Radiological Event Scale (INES)*.

** Centrales nucléaires menaçant des aires urbaines dans des pays étrangers, ces aires urbaines ne sont pas prises en compte dans ce tableau (pour le détail de ces centrales nucléaires, voir tableau 4).

A partir de la centrale Philippsburg (Allemagne, 20^e), les centrales nucléaires ne côtoient que des villes de rang 3, à moins de 30 km jusqu'au rang 37, puis du rang 38 au rang 64, ces centrales sont situées entre 30 et 50 km des villes de rang 3. Quant aux 130 centrales nucléaires restantes, elles n'ont plus de villes de rang 3 à moins de 50 km.

- *Remarquons que selon l'approche population, 166 centrales nucléaires n'ont tout au plus qu'une ville de rang 3 dans un rayon de 50 km, soit 85% de l'effectif (selon l'approche métropole (plus symbolique), ce chiffre descend à 80%).*

4.6 Faiblesse stratégique et vulnérabilité des aires urbaines (2/2)

4.6.1 Précision sur l'approche générale du tableau 6 (approche « métropole »)

Ce tableau évalue la vulnérabilité des villes, mais d'après la population de la métropole principale de chaque pays, ce qui prend mieux en compte le poids des villes des grands pays. Il compare la population des aires urbaines de chaque pays à la population de sa métropole principale (approche « métropole ») et non plus à la population du pays comme dans le tableau 5. Cette approche prend ainsi en compte les aires urbaines jouant un rôle considérable dans l'appréciation d'un dommage nucléaire, notamment parce que les revenus des populations y résidant et leurs fonctions administratives comptent davantage qu'ailleurs. Concrètement, le tableau 6 fait correspondre à chaque centrale nucléaire le nombre et le type de ville (rangs 1 à 3) se trouvant à moins de 30 km et entre 30 et 50 km d'une centrale nucléaire. (Concernant la méthode pour établir les valeurs illustratives par défaut, voir section 4.5.1.)

4.6.2 Présentation des résultats du tableau 6

Par rapport au tableau précédent, les villes des grands pays ont davantage de poids. Certaines centrales nucléaires sont ainsi vues comme ayant davantage le potentiel de créer de la vulnérabilité : Koeberg (Afrique du Sud, passe du 14^e au 5^e rang) ; Indian Point (USA, du 16^e au 9^e), Guangdong – Daya Bay et Lingao (China, du 39^e au 22^e) ; Madras (India, du 39^e au 29^e).

Concernant les villes proches des centrales nucléaires des petits pays, celles près des centrales de Beznau, Metsamor, Kuosheng et Jinshan, leur vulnérabilité n'est pas revue par rapport au tableau 5. De même, les rang des centrales de Leibstadt, Goesgen, Doel, Mühleberg, et Tihange ne varient pas significativement en regard du tableau 5.

De façon générale, les centrales proches des villes de rang 1 sont au nombre de 12 (6,2%), les centrales proches des villes de rang 2 au moins sont au nombre de 20 (10,3%), les centrales proches des villes de rang 3 au moins sont au nombre de 46 (23,7%) cependant que 116 centrales nucléaires n'ont pas de villes d'importance à moins de 50 km (59,8%).

- *De façon générale – dans le cadre de cette approche « métropole » – seule 32 centrales nucléaires sur 194 sont proches de villes de rang 1 et 2, ce qui signifie qu'environ 6/7 des centrales nucléaires dans le monde sont localisées loin des centres urbains importants (relativement aux pays qui les exploitent).*
- *Selon l'approche métropole, 156 centrales nucléaires dans le monde – sur 194 – ont tout au plus une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km (4/5 ou 80%).*
- *Vu la stratégie qui consiste à éloigner les centrales nucléaires des aires urbaines importantes, les pays n'ayant pas compris cet enjeu stratégique feraient bien de reconsidérer le cas des centrales nucléaires posant problème de ce point de vue là. C'est clairement le cas de la Suisse, de Taiwan, de l'Arménie, de la Belgique...*

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE : classement des 194 centrales nucléaires en activité d'après leur proximité des aires urbaines principales du pays abritant chaque centrale (le rang de chaque aire urbaine est calculé en fonction de la principale "métropole" du pays.)

Tableau 6: villes selon app. "métropole"		Population: Aire urbaine (AU) de rang 1		Population: Aire urbaine (AU) de rang 2		Population: Aire urbaine (AU) de rang 3		Proximité avec les aires urbaines principales (vulnérabilité)		
Ligne	Centrales nucléaires (métropole exposée)	Pays	Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Valeur illustrative par défaut (minimum 8)	1 = haute vulnérabilité Rang
Nbr	Nom	Nom	<=30 nbr d'AU rang 1	31 to 50 nbr d'AU rang 1	<=30 nbr d'AU rang 2	31 to 50 nbr d'AU rang 2	<=30 nbr d'AU rang 3	31 to 50 nbr d'AU rang 3		
1	Beznau (Zürich)	Switzerland	1			1		1	107	1
2	Metsamor (Erevan)	Armenia	1				1	1	93	2
3	Kuosheng (Taipei)	Taiwan	1				1		92	3
4	Jinshan (Taipei)	Taiwan	1				1		92	3
5	Koeberg (Capa Town)	South-Africa	1						88	5
6	Kanupp (Karachi)	Pakistan	1						88	5
7	Pickering (Toronto)	Canada	1						88	5
8	Leibstadt (Zürich)	Switzerland		1		1		1	85	8
9	Goesgen (Zürich)	Switzerland		1		1		1	85	8
10	Indian Point (New-York)	USA		1					66	10
11	Brokdorf (Hamburg)	Germany		1					66	10
12	Darlington (Toronto)	Canada		1					66	10
13	Bohunice	Slovakia			1	1		2	65	13
14	Doel	Belgium			1	1			63	14
15	Mühleberg	Switzerland			1		3	1	58	15
16	Philippsburg	Germany			1		2	1	54	16
17	Neckarwestheim	Germany			1		1	1	50	17
18	Kori II / Kori	Korea Rep.			1		1		49	18
19	Mochovce	Slovakia			1			2	47	19
20	Tihange**	Belgium			1			1	46	20
21	Turkey Point	USA			1				45	21
22	Limerick	USA				2			44	22
23	Enrico Fermi	USA				2			44	22
24	Dresden	USA				2			44	22
25	Lingao	China				2			44	22
26	Guangdong - Daya Bay	China				2			44	22
27	Zaporizhia	Ukraine				1	1		30	27
28	Grohnde	Germany				1		1	27	28
29	Ringhals	Sweden				1			26	29
30	Madras	India				1			26	29
31	Kakrapar	India				1			26	29
32	Dukovany	Czech Rep.				1			26	29
33	Grafenrheinfeld	Germany					2	1	17	33
34	St-Alban	France					2		16	34
35	Krsko**	Slovenia					1	2	14	35
36	Hinkley Point B	United Kingdom					1	1	13	36
37	Gundremmingen	Germany					1	1	13	36
38	Waterford	USA					1		12	38
39	Shearon Harris	USA					1		12	38
40	R. E. Ginna	USA					1		12	38
41	McGuire	USA					1		12	38
42	Fort Calhoun	USA					1		12	38
43	Catawba	USA					1		12	38
44	Borssele**	Netherlands					1		12	38
45	Wolsong-Shin	Korea Rep.					1		12	38
46	Wolsong	Korea Rep.					1		12	38
47	Bushehr	Iran					1		12	38
48	Bugey	France					1		12	38
49	Temelin	Czech Rep.					1		12	38
50	Sanmen	China						2	10	50
51	Surry	USA						1	9	51
52	Prairie Island	USA						1	9	51
53	Perry	USA						1	9	51
54	Peach Bottom	USA						1	9	51
	voir annexe	voir annexe					v. annexe	v. annexe	voir annexe	voir annexe
191	Kozlodui	Bulgaria							8	79
192	Angra	Brazil							8	79
193	Embalse	Argentina							8	79
194	Atucha	Argentina							8	79
	Fukushima Daiini*	Japan							8	
	Fukushima Daichi*	Japan							8	
	Chernobyl*	Ukraine							8	

Tableau 6 : Le rang de chaque aire urbaine est calculé en comparaison de la population de la principale "métropole". La distance des aires urbaines aux centrales nucléaires est mesurée à partir de la première banlieue densément bâtie. Sur 194 centrales nucléaires, 12 sont à moins de 50 km de villes de rang 1 dans leur propre pays ; 156 centrales nucléaires ont tout au plus une ville de rang 3 à moins de 30 km ou 50 km (4/5), cependant que 116 centrales n'ont pas même une ville de rang 3 à moins de 50 km (3/5). Ce tableau ne prend pas en compte les aires urbaines situées à l'étranger vu la perspective stratégique de l'analyse.

* Centrales nucléaires définitivement arrêtées après un accident de niveau 7 selon l'International Nuclear and Radiological Event Scale (INES).

** Centrales nucléaires menaçant des aires urbaines dans des pays étrangers, ces aires urbaines ne sont pas prises en compte dans ce tableau (pour le détail de ces centrales nucléaires, voir tableau 4).

4.7 Faiblesse stratégique et vulnérabilité des aires urbaines (synthèse)

4.7.1 Précision sur l'approche générale du tableau 7

Les tableaux précédents nous permettent d'inférer que les Etats ont – dans l'ensemble – tenté de situer la plupart de leurs centrales nucléaires loin des centres urbains principaux. Ils n'ont pas réussi de façon systématique, mais il semble clair que le critère de la localisation est un critère important de sécurité vu la grande vulnérabilité des pays qui pourraient souffrir d'un accident nucléaire majeur.

Le tableau 7 récapitule les éléments d'analyse stratégique présentés dans les pages précédentes : tableau 2, importance relative de la population vivant à moins de 30 km des centrales nucléaires ; tableau 3, impact territorial d'une zone d'exclusion dans chaque pays ; tableau 5, poids des zones urbaines à moins de 30 km et de 50 km des centrales nucléaires – approche « population nationale » ; tableau 6, poids des zones urbaines à moins de 30 km et de 50 km des centrales nucléaires – critère de la population de la métropole principale. Les rangs indiquant la vulnérabilité potentielle engendrée par chaque centrale sont reproduits ci-dessus et additionnés dans la colonne « rang cumulés, valeur illustrative par défaut », puis le rang de chacune d'elle est indiqué dans la colonne (rang final).

Vu les différentes sources statistiques utilisées, les résultats synthétiques du tableau 7 présentent une certaine robustesse d'ensemble. Un accident majeur dans l'une des centrales nucléaires ci-dessus devrait présenter un risque stratégique correspondant au rang final pour le pays ayant à le souffrir. Il est certes encore envisageable que des circonstances météorologiques exceptionnelles modifient l'impact attendu, mais il paraît naïf de tabler sur cet aléa pour ne pas s'interroger sur la vulnérabilité.

4.7.2 Présentation des résultats

Pour la Suisse, la centrale de Beznau située proche de la métropole zurichoise fait peser une menace stratégique considérable sur le pays. De même, les centrales de Metsamor pour l'Arménie et deux des trois centrales taiwanaises (Kuosheng et Jinshan) présentent des profils équivalents de faiblesse stratégique. A ce stade d'analyse, nous pouvons considérer qu'un accident majeur dans l'une de ces quatre centrales risque de fragiliser durablement ces pays, bien davantage que les 190 autres centrales dans leurs pays respectifs.

Autant qu'il est possible d'en juger, vient ensuite un deuxième groupe de centrales de petits pays, avec les centrales de Goesgen et Leibstadt (Suisse), Doel (Belgique), Mühleberg (Suisse), et Tihange (Belgique). Ce groupe de centrales rend particulièrement vulnérables à un accident de niveau 7 sur l'échelle INES les pays les exploitant.

➤ *Pour ce qui est des petits pays, l'Arménie, Taïwan, la Suisse et la Belgique présentent le plus haut niveau de vulnérabilité à un accident nucléaire majeur sur leur territoire.*

La faiblesse stratégique et la vulnérabilité de ces pays en cas d'accident dans ces centrales seraient considérables et il faudrait plusieurs décennies, période indéterminée mais vraisemblablement longue, pour que le pays puisse revenir à son niveau de prospérité antérieure. Cela étant, aucun pays moyen ou grand n'a de profil de vulnérabilité plus élevé que ceux créés par ces deux premiers groupes de centrales nucléaires.

Un troisième groupe de pays moyens et grands, à partir du 10^e rang, a des centrales nucléaires ayant le potentiel de créer des dommages stratégiques encore très élevés, avec les centrales de Kanupp (Pakistan), Kori (Corée) et Pickering (Canada). Ces pays auraient toutefois moins de difficulté à récupérer rapidement que les pays des deux groupes ci-dessus.

FAIBLESSE STRATEGIQUE ET VULNERABILITE : Vulnérabilité de 31 pays en cas d'accident majeur de niveau 7 selon INES dans l'une de leur(s) centrale(s) nucléaire(s) en activité (194 centrales nucléaires).

Tableau 7: Synthèse des tableaux 2, 3, 5, 6			Vulnérabilité de la population:	Vulnérabilité selon le territoire	Rang de 194 centrales nucléaires selon leur proximité des aires urbaines principales		Synthèse sur la vulnérabilité	
Ligne	Centrale nucléaire	Pays	Pourcentage de la population vivant dans un rayon de 30km d'une centrale nucléaire ^a	Impact d'une aire d'exclusion de 2624 km ²	Rappel: le rang de chaque aire urbaine dépend de la population de chaque pays (approche "population nationale")	Rappel: le rang de chaque aire urbaine dépend de la population de la métropole principale (approche "métropole")	Rangs cumulés	Rang final : 1 = haute vulnérabilité
Nbr	Nom	Nom	Rang	Rang	Rang	Rang	valeur illustrative par défaut	Rang final
1	Metsamor	Armenia	1	2	2	2	7	1
2	Kuosheng	Taiwan	2	4	3	3	12	2
3	Jinshan	Taiwan	3	4	3	3	13	3
4	Beznau	Switzerland	6	5	1	1	13	3
5	Goesgen	Switzerland	7	5	8	8	28	5
6	Leibstadt	Switzerland	9	5	7	8	29	6
7	Doel	Belgium	5	3	9	14	31	7
8	Mühleberg	Switzerland	8	5	10	15	38	8
9	Tihange**	Belgium	10	3	12	20	45	9
10	Kanupp	Pakistan	15	21	5	5	46	10
11	Pickering	Canada	13	27	5	5	50	11
12	Kori II / Kori	Korea Rep.	12	10	11	18	51	12
13	Bohunice	Slovakia	11	7	24	13	55	13
14	Krsko**	Slovenia	4	1	23	35	63	14
15	Mochovce	Slovakia	14	7	25	19	65	15
16	Neckarwestheim	Germany	21	15	14	17	67	16
17	Dukovany	Czech Rep.	16	8	16	29	69	17
18	Philippsburg	Germany	20	15	20	16	71	18
19	Darlington	Canada	28	27	8	9	72	19
20	Borssele**	Netherlands	17	6	28	38	89	20
21	Ringhals	Sweden	30	17	16	29	92	21
22	Brokdorf	Germany	52	15	16	9	92	21
23	Temelin	Czech Rep.	18	8	28	38	92	21
24	Koeberg	South-Africa	52	22	14	5	93	24
25	Wolsong	Korea Rep.	19	10	28	38	95	25
26	Wolsong-Shin	Korea Rep.	25	10	28	38	101	26
27	Hinkley Point B	United Kingdom	34	13	25	36	108	27
28	St-Alban	France	33	20	21	34	108	27
29	Indian Point	USA	57	27	16	9	109	29
30	Hartlepool	United Kingdom	24	13	25	51	113	30
31	Olkiluoto	Finland	27	14	21	51	113	30
32	Grafenrheinfeld	Germany	40	15	28	33	116	32
33	Bugey	France	30	20	28	38	116	32
34	Zaporizhia	Ukraine	36	19	39	27	121	34
35	Grohnde	Germany	42	15	39	28	124	35
36	Gundremmingen	Germany	46	15	39	36	136	36
37	Hunterston	United Kingdom	39	13	39	51	142	37
38	Cernavoda	Romania	41	12	39	51	143	38
39	Emsland**	Germany	43	15	39	51	148	39
40	Limerick	USA	61	27	39	22	149	40
41	Hanbit	Korea Rep.	58	10	39	51	158	41
42	Guangdong - Daya Bay	China	73	27	39	22	161	42
43	Turkey Point	USA	88	27	28	21	164	43
44	Lingao	China	76	27	39	22	164	43
45	McGuire	USA	73	27	28	38	166	45
46	Khmelnitskyi	Ukraine	35	19	65	51	170	46
47	Catawba	USA	78	27	28	38	171	47
48	Loviisa	Finland	43	14	38	79	174	48
49	Paks	Hungary	23	9	65	79	176	49
50	St-Laurent	France	50	20	28	79	177	50
51	Kozlodui	Bulgaria	22	11	65	79	177	50
52	Isar	Germany	54	15	65	51	185	52
53	Genkai	Japan	81	16	39	51	187	53
54	Heysham	United Kingdom	32	13	65	79	189	54
55	Fessenheim**	France	26	20	65	79	190	55
56	Le Blayais	France	81	20	39	51	191	56
	<i>voir annexe</i>	<i>voir annexe</i>	<i>v. annexe</i>	<i>v. annexe</i>	<i>voir annexe</i>	<i>voir annexe</i>	<i>v. annexe</i>	<i>v. annexe</i>
193	Wolf Creek	USA	193	27	65	79	364	193
194	Bilibino	Russian Fed.	193	31	65	79	368	194

Le tableau 7 prend en compte les résultats principaux des tableaux 2, 3, 5 et 6. Il combine les approches identifiant la vulnérabilité potentielle à travers le nombre d'habitants vivant près des centrales nucléaires (tableau 2), de l'impact territorial (tableau 3), des aires urbaines proches des centrales nucléaires (tableau 5 & 6). Le rang final peut être considéré comme robuste.

a) Les données primaires du tableau 1 sont de Declan Butler de la revue *Nature*: <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>

** Centrales nucléaires menaçant des aires urbaines dans des pays étrangers (pour le détail de ces centrales nucléaires, voir tableau 4).

Vient ensuite un 4^e groupe, composé de petits pays, avec une vulnérabilité moindre que les deux premiers groupes de petits pays – mais peut-être plus élevée que le troisième groupe. (Il faudrait des études complémentaires pour en juger – il est possible que nous ayons sous-estimé la vulnérabilité des petits pays en n'accordant pas assez de poids à la part de la population menacée et à la part du territoire menacé). Toujours est-il que leur vulnérabilité demeure considérable de fait de la présence sur leur sol des centrales de Krsko en Slovénie (14^e), de Bohunice et Mochovce en Slovaquie (13^e et 15^e).

Quant au cinquième groupe, il réunit les centrales de pays de taille moyenne, Neckarwestheim (16^e), Dukovany (16^e), Philippsburg (18^e) et Darlington (19^e, et se termine avec celle de Borssele (20^e, Pays-Bas – pays aussi petit que la Suisse mais avec deux fois plus d'habitants). La vulnérabilité demeure encore très importante en comparaison internationale.

Puis vient un 6^e groupe qui commence par la centrale nucléaire de Ringhals (Suède – 21^e), puis intègre des centrales allemande, tchèque, sud-africaine, française et étasunienne, créant encore une vulnérabilité potentielle considérable. Ce 6^e groupe réunit les centrales nucléaires allant jusqu'à Indian Point, 29^e, dernière centrale à moins de 50 km d'une ville de rang 1.

Puis vient un 7^e groupe, qui commence avec la centrale nucléaires de Hartelpool (29^e, Royaume-Uni), Olkiluoto (30^e, Finlande), Grafenrheinfeld (31^e, Allemagne) et se termine avec les centrales de Heysham (54^e, Royaume-Uni), Fessenheim et le Blayais (55^e et 56^e – France).

Les centrales nucléaires de ce 7^e groupe font encore peser un risque stratégique non négligeable sur les pays les accueillant.

Le 8^e groupe commence avec la centrale nucléaire de Fermi (57^e, USA) et se termine avec les centrales de Kakrapar et Madras (103^e ex æquo), en Inde, proches de villes importantes. Il faudra d'autres données pour dire quel potentiel de faiblesse stratégique est créé dans les pays qui les accueillent.

Puis vient un 9^e groupe, commençant avec la centrale d'Embalse en Argentine (105^e) et allant jusqu'à la centrale du Trillo en Espagne (158^e rang), dernière centrale nucléaire d'un Etat de taille moyenne dans cette liste. Ces centrales font peser une menace stratégique non négligeable et dont il conviendrait d'analyser l'ampleur par d'autres approches complémentaires.

➤ *Remarquons qu'en incluant Fukushima dans une variante de ce tableau (sur 196 centrales nucléaires), les centrales nucléaires de Fukushima Daini et Fukushima Daïchi font peser un risque stratégique de rang 104 et 111 respectivement sur le Japon (la population touchée représente, en proportion du pays, 1/75 de la proportion de la population exposée en Suisse ou en Belgique). Autrement dit, les centrales nucléaires suisses et belges créent une situation de vulnérabilité 75 fois plus importante pour leurs pays respectifs que celle qui prévalait à Fukushima avant la catastrophe éponyme, ce qui donne une idée de ce que représente ces rang 104 et 111 de Fukushima Daini et Fukushima Daïchi dans le tableau 7 bis (non publié).*

Enfin, il est vraisemblable, au vu des hypothèses de cette recherche, que les centrales situées entre le rang 159 et 194 ne créent pas de lourde menace stratégique sur les pays les exploitant.

4.7.3 *Vraisemblance des résultats*

Nous sommes assez confiants dans la justesse du rang des petits pays dans le haut du classement. Nous pensons aussi que leurs rangs respectifs sont crédibles même si des études plus détaillées pourraient utilement préciser certaines choses. Nous pensons

encore que le rang respectif de leurs centrales, en comparaison avec celles des pays de taille moyenne, est encore de l'ordre du très vraisemblable. Le seul bémol est dans le rapport du rang des centrales des pays petits (les Pays-Bas) et moyens (l'Allemagne) avec les rangs des centrales des grands pays (Canada, USA, Inde, Chine). Il n'est pas exclu que le niveau de vulnérabilité créé par certaines des centrales des grands pays mériterait d'être relégué dans le classement en regard de certains pays petits et moyens. D'autres études devraient permettre de préciser cette question.

4.7.4 *Interprétation des normes de sécurité internationale à la lumière des résultats principaux de cette étude*

Les normes internationales et suisses accordent la priorité à la sécurité. Elles assouplissent cependant les normes pour tenir compte de l'ancienneté des centrales nucléaires ce qui permet de faire fonctionner des centrales dont l'architecture (redondance insuffisante, manque de séparation physique des systèmes de sécurité) ne seraient plus acceptées pour les centrales nucléaires neuves (*supra* 3.1.7 ; 3.1.8 ; 3.1.9 ; 3.1.10 ; 3.1.11).

➤ *La localisation des centrales nucléaires est aussi un élément à prendre en compte pour minimiser la vulnérabilité du pays à un accident majeur. Les statistiques suivantes laissent apparaître une norme implicite de sécurité (d'ordre coutumière) visant à éloigner les centrales nucléaires des lieux fortement habités afin de limiter la vulnérabilité des pays.*

Cette norme souffre des exceptions, mais nous observons les tendances suivantes :

1° FAIT: 130 centrales nucléaires ont moins de 400'000 habitants dans un rayon de 30 km, (soit 2/3 des centrales). La médiane est à 222'000 habitants (voir tableau 1).

2° FAIT : dans un rayon de 30 km, 9/10 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 2% de la population du pays qui abritent ces installations (voir tableau 2).

3° FAIT : Dans un rayon de 30 km, 5/6 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 1% de la population du pays qui abrite ces installations (voir tableau 2).

4° FAIT : En cas de création d'une zone d'exclusion de 30 km de rayon (2826 km²) sur 194 centrales nucléaires dans le monde, 161 d'entre elles, donc 5/6 de l'effectif, entameraient le territoire national de moins de 1% de sa surface (résultat obtenu en croisant les données du tableau 3 avec les données de la colonne 3 du tableau 7).

5° FAIT : 23 pays sur 31 n'ont pas placé de centrale nucléaire à moins de 50 km de leur principale métropole (soit 3/4 de l'effectif – voir tableau 6).

6° FAIT : seules 32 centrales nucléaires sur 194 sont proches de villes de rang 1 et 2, ce qui signifie qu'environ 6/7 des centrales nucléaires dans le monde sont localisées loin des centres urbains importants (relativement aux pays qui les exploitent – voir tableau 6).

➤ *7° FAIT : 156 centrales nucléaires dans le monde – sur 194 – ont, au plus, une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km (proportion de 4/5 – voir tableau 6).*

8° FAIT : 116 centrales nucléaires n'ont, dans un rayon de 50 km, aucune aire urbaine de rang 3 (à rang 1 – proportion de 3/5).

Pris tous ensemble, ces éléments sont significatifs, notamment à la lumière du tableau 6. Celui-ci met tous les pays à égalité : le rang des aires urbaines est calculé d'après le poids de la principale métropole du pays, et cela pour chaque pays. Les aires urbaines des grands pays apparaissent ainsi clairement dans tous les pays, grands ou petits. Si la norme de sécurité implicite visant à éloigner les centrales nucléaires des

aires urbaines n'était pas prise en compte par les décideurs les plus éclairés, les centrales nucléaires seraient placées près des aires urbaines qui consomment de grandes quantités d'électricité. Or ce n'est pas ce que nous constatons. La plupart des centrales nucléaires sont à plus de 50 km des villes de rang 3 (dans une proportion de 3/5 – ou 60%), et a fortiori de rang 2 et de rang 1. Surtout, 4/5 des centrales nucléaires dans le monde ont tout au plus une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km (80%). Il y a donc une politique de sécurité – ou stratégie de sécurité – visant à les en éloigner. Nous avons déjà constaté ces faits pour la France et les Pays-Bas notamment (*supra* 4.4.4).

➤ *Dans l'ensemble, composante importante de la sécurité nucléaire – dans le but de réduire la vulnérabilité des pays (et des populations) – réside dans l'éloignement des centrales nucléaires des aires urbaines importantes (de rang 1, 2 et 3). Localiser les centrales nucléaires à plus de 50 km des centres urbains importants constitue de toute évidence une norme de sécurité implicite et partagée à l'échelle internationale même si elle souffre d'exceptions.*

Si l'on regarde le type de vulnérabilité potentielle entretenue par les centrales nucléaires, seule une minorité fait peser une menace stratégique grave sur le pays qui les accueille.

➤ *Il faut comprendre le différentiel de sécurité entre les centrales nucléaires neuves et anciennes dans ce contexte de vulnérabilité. Le contexte est dominé par l'éloignement des centrales nucléaires des aires urbaines importantes. Ce lien n'est peut-être pas explicite et assumé comme tel par les décideurs, mais force est de constater sa réalité dans les faits. Le non alignement automatique des normes de sécurité des anciennes centrales sur les nouvelles paraît peut-être acceptable pour plus de 4/5 des centrales nucléaires, si elles sont éloignées d'un environnement particulièrement vulnérable (une aire urbaine de rang 3 au maximum), n'entretenant ainsi pas une situation de faiblesse stratégique extraordinaire.*

➤ *En revanche, les pays ayant des centrales d'ancienne conception, dans un contexte de faiblesse stratégique élevée, voire extraordinaire, prennent un risque considérable en comparaison internationale. La quasi-totalité du pays frappé d'une telle catastrophe sera identifié avec la zone sinistrée pour une période de temps indéterminée. Les pays ayant un haut niveau de vulnérabilité se trouvent ainsi en situation de faiblesse sur deux points cruciaux : un accident majeur menacera leur survie politique et créera ainsi un dommage aggravé à la population touchée puisque celle-ci ne pourra compter sur la solidarité nationale (vu les grandes difficultés du pays à se maintenir debout).*

➤ *Il semble donc particulièrement contestable de penser que des normes de sécurité focalisées sur les coûts, dans une perspective de compétitivité économique à court terme, conviennent à des pays pouvant subir un impact hautement dommageable pendant une période de plusieurs décennies, voire davantage. Les pays présentant la vulnérabilité la plus élevée doivent aligner leurs exigences de sécurité sur les centrales neuves, afin d'avoir le même niveau de sécurité inhérente, de redondance et de défense en profondeur que les centrales neuves. Vu la vulnérabilité exceptionnelle de ces pays, il n'y a pas lieu de dire « dans la mesure du possible » quand il s'agit de dimensionner les mesures de sécurité dans les anciennes centrales. L'alignement sur le niveau de sécurité des centrales neuves est la seule politique responsable pour les Etats les plus vulnérables et leur population, quel qu'en soit le coût.*

4.7.5 *Alignement des normes de sécurité sur les centrales neuves pour les pays et les populations les plus vulnérables*

Les pays ne sont pas égaux en cas d'accident nucléaire majeur dans l'une de leurs centrales (niveau 7 selon INES et 6A selon IFSN).

Vu la stratégie qui consiste à éloigner les centrales nucléaires des aires urbaines importantes, les pays n'ayant pas compris cet enjeu stratégique feraient bien de reconsidérer le cas des centrales nucléaires posant problèmes de ce point de vue là. C'est clairement le cas de Taiwan, de l'Arménie et de la Belgique, liste non limitative. De façon générale, les petits ne peuvent adopter une politique nucléaire similaire à celle des grands pays. C'est une grave erreur des petits pays de croire qu'ils peuvent faire jeu égal dans le domaine nucléaire avec les grandes puissances, en acceptant des conditions de sécurité plus basses que les centrales nucléaires neuves.

A l'exemple de la Suisse (voir ci-dessous) ces pays n'ont pas d'autre choix que d'aligner les centrales plus problématiques sur le niveau de sécurité des centrales neuves.

Si la mise à niveau des centrales nucléaires anciennes n'est plus possible techniquement, ou à un coût supérieur à la construction d'une centrale nucléaire neuve, il convient de fermer dans les meilleurs délais les anciennes centrales – l'Allemagne l'a fait en trois mois pour 7 de ses 17 réacteurs⁸², et le Japon pour la totalité de son parc nucléaire. Il convient alors de déployer des programmes et politiques aidant les ménages, commerces et industries à optimiser leur consommation d'électricité vers davantage d'efficacité et de développer les gisements domestiques de sources d'énergies, tout en important du courant électrique dans l'attente du succès de ces programmes et la construction éventuelle de centrales nucléaires neuves (cette dernière solution restant intéressante pour les pays ayant réglé le problème des déchets nucléaires – sujet non étudié ici).

4.7.6 *Discussion sur les normes de sécurité que la Suisse doit adopter étant donné sa vulnérabilité exceptionnelle à un accident nucléaire majeur*

La centrale de Beznau crée une situation de faiblesse stratégique extrêmement élevée pour la Suisse (3^e ex æquo sur 194 centrales). Quand aux centrales de Goesgen, Leibstadt, et Mühleberg (5^e, 6^e et 8^e), un accident majeur dans l'une d'elles créerait une situation de vulnérabilité du pays à peine moindre que Beznau.

➤ *Sur un total de 194 centrales nucléaires, la Suisse place quatre de ses centrales dans les 8 centrales nucléaires ayant le plus haut potentiel impactant sur le pays qui les abrite.*

	▼ NORME IMPLICITE DE SECURITE ▼	▼ SITUATION DE FAIT EN SUISSE ▼
1°	130 centrales nucléaires ont moins de 400'000 habitants dans un rayon de 30 km, (soit 2/3 des centrales). La médiane est à 222'000 habitants.	Les centrales nucléaires Suisses ont, dans un rayon de 30 km, entre 1'027'780 habitants (Beznau) et 817'983 habitants (Leibstadt)
2°	dans un rayon de 30 km, 9/10 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 2% de la population du pays abritant ces installations.	Deux des centrales suisses ont dans un rayon de 30 km, une population équivalente à 12.06% (Gösgen) et 11.22% (Mühleberg) de la population suisse.

⁸² Connaissance des énergies, Fondation d'entreprise créée à l'initiative du groupe ALCEN, <http://www.connaissancedesenergies.org/sortie-irreversible-du-nucleaire-en-Allemagne>, consulté 21 juillet 2014.

3°	Dans un rayon de 30 km, 5/6 des centrales nucléaires dans le monde exposent moins de 1% de la population du pays abritant ces installations.	Deux des centrales suisses exposent une population équivalant à 12.92% (Beznau) et 10.28% (Leibstadt) de la population suisse.
4°	En cas de création d'une zone d'exclusion de 30 km de rayon (2826 km ²) sur 194 centrales nucléaires dans le monde, 161 d'entre elles, 5/6 de l'effectif, entameraient le territoire national de moins de 1% de sa surface.	La Suisse perdrait quant à elle plus de 6,5% de son territoire.
5°	23 pays sur 31 n'ont pas placé de centrale nucléaire à moins de 50 km de leur principale métropole.	Trois des centrales nucléaires suisses sont à moins de 50 km de la principale métropole du pays (rang 1) et la quatrième est proche de la capitale fédérale (rang 2 par la population)
6°	Selon l'approche « métropole », seules 32 centrales nucléaires sur 194 sont proches de villes de rang 1 et 2, ce qui signifie qu'environ 6/7 des centrales nucléaires dans le monde sont localisées loin des centres urbains importants (relativement aux pays qui les exploitent).	Toutes les centrales nucléaires suisses ont au minimum une ville de rang 1 ou 2 dans un rayon de 50 km.
7°	Selon l'approche métropole, 156 centrales nucléaires dans le monde – sur 194 – ont, au plus, une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km (proportion de 4/5 – 80%). Selon l'approche population, 166 centrales nucléaires dans le monde – sur 194 – ont, au plus, une ville de rang 3 à moins de 30 ou 50 km (proportion de 6/7 – 85%).	Trois des centrales nucléaires suisses ont, dans un rayon de 50 km, une aire urbaine de rang 1, une de rang 2 et une de rang 3, cependant que la quatrième centrale a, dans ce même rayon, une ville de rang 2 (aussi capitale fédérale), plus quatre aires urbaines de rang 3.
8°	116 centrales nucléaires n'ont, dans un rayon de 50 km, aucune aire urbaine de rang 3 à rang 1 (proportion de 3/5).	Les centrales suisses ont au minimum 3 villes de rangs différents – et jusqu'à cinq villes pour l'une d'elles – dans un rayon de 50 km.

Fait à ne pas négliger, selon le tableau 1, les centrales nucléaires de trois pays plus petits ou de tailles comparables à la Suisse exposent moins d'habitants qu'elle dans un rayon de 30 km : Krsko, 73^e avec 334'000 habitants (Slovénie), Metsamor, 29^e, 769'000 habitants (Arménie), Borssele, 54^e, 438'000 h (Pays-Bas). Il vaut la peine d'aller au-delà de la question du handicap de la taille du pays pour dépasser ce fatalisme et chercher une réponse stratégique qui soit à la hauteur du problème.

- *Sur le plan stratégique, être particulièrement vulnérable et ne pas agir de façon vigoureuse contre cette vulnérabilité revient à se désigner comme cible potentielle. Dans le contexte actuel, cet avertissement mériterait d'être pris au sérieux par ceux qui dirigent le pays. Les 4 centrales nucléaires suisses sont dans les 10 premières, sur 194, à fonctionner dans un environnement vulnérable.*
- *Sous réserve de l'estimation du coût d'un accident nucléaire en Suisse (voir dernière partie de cette étude), être parmi les pays les plus vulnérables signifie qu'un accident majeur ferait de la Suisse un des pays les plus pauvres d'Europe.*
- *Les petits Etats ne peuvent mener une politique nucléaire en calquant leurs normes de sécurité sur celles des grands Etats, pour qui, il est, dans la plupart des cas, relativement moins risqué d'un point de vue stratégique, de s'en tenir, pour les*

centrales anciennes, à des normes inférieures de celles exigées pour les centrales neuves. La question est stratégique, mais elle touche aussi la population qui sera d'autant plus affectée dans sa santé et son psychisme que les institutions politiques seront incapables de faire face à l'appauvrissement général du pays et à sa complète et durable marginalisation.

5 VULNÉRABILITÉ POLITIQUE ET ÉCONOMIQUE DE LA SUISSE A UN ACCIDENT NUCLEAIRE MAJEUR

5.1 Introduction : vulnérabilités politique et économique de la Suisse

Si la Suisse compte parmi les pays les plus exposés à un accident nucléaire majeur (comparaison internationale sur 194 centrales nucléaires), encore faut-il se faire une idée des éléments concrets par lesquels se traduit cette faiblesse stratégique. En quoi cette vulnérabilité est-elle politique et peut-elle bouleverser profondément les équilibres entre les cantons membres de la Confédération suisse ? En quoi et dans quel ordre de grandeur cette vulnérabilité est-elle économique, quel sera le coût pour les pays et les ménages ? Enfin, et nous commençons par là, en quoi les populations sont-elles vulnérables à un accident nucléaire majeur ?

5.1.1 Vulnérabilité des populations touchées, nombre de morts redouté et fragilisation des conditions de vie

Un accident nucléaire majeur engendre quelques morts directes au moment de l'accident proprement dit, puis éventuellement suite aux radiations très élevées reçues par les personnes sécurisant le site. Pour la population du voisinage qui est déjà moins exposée, les radiations feront croître l'occurrence des cancers, ce qu'il sera envisageable d'observer statistiquement (lien de causalité global) ; il ne sera en revanche pas possible d'établir un lien de causalité entre le cancer de telle personne et l'accident nucléaire (d'autres causes sont envisageables – d'où impossibilité de déceler un lien de causalité à l'échelle individuelle).

Cela étant, l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire français chiffre, dans l'hypothèse d'un accident nucléaire majeur en France, même si les mesures d'évacuation de la population fonctionnent, le nombre de morts à quelque 25'000 sur plusieurs décennies, soit environ 1'000 morts de plus par année.⁸³ Ces 1000 morts sont à comparer aux 150'000 décès annuels par cancer ce qui permet à l'IFSN d'inférer une hausse du nombre de cancers de l'ordre de 1%.

Remarquons d'abord que ces 1000 morts par an sont évalués d'après un accident à la centrale nucléaire de Dampierre, l'étude portant sur cette seule centrale,⁸⁴ et que cette centrale est entourée, dans un rayon de 30 km, de 124'000 habitants (contre plus de 1'000'000 autour de la centrale nucléaire de Beznau).⁸⁵

Le tableau montre très bien que la situation est plus délicate autour des centrales nucléaires suisses qu'autour de la centrale nucléaire française de Dampierre.

⁸³ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, *Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté*, Annexe du rapport DSR n°157, Réunion du groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007, p. 64

⁸⁴ Ibid., p. 20.

⁸⁵ Voir tableau 1.

RESPONSABILITE DU GOUVERNEMENT SUISSE ENVERS LA POPULATION ET COMPARAISON AVEC LA SITUATION DE LA CENTRALE NUCLEAIRE DE DAMPIERRE (Data: Declan Butler ^{a)})			
Tableau 8: population dans un rayon de 30 km et 75 km de rayon			
Ligne	Centrale nucléaire	Nombre d'habitants dans un rayon de 30 km	Nombre d'habitants dans un rayon de 75 km
Nbr	Nom	Nbr d'habitants ^a	Nbr d'habitants ^a
1	Dampierre	123'675	1'193'163
2	Beznau	1'027'780	5'866'058
3	Leibstadt	817'983	5'829'898
3	Goesgen	959'787	5'638'222
4	Mühleberg	892'419	3'432'574

a) Les données sont de Declan Butler de la revue Nature. <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>. Declan Butler a travaillé sur ces données avec Kytt MacManus et Liana Razafindrazay du Columbia University's Center for International Earth Science Information Network (CIESIN) à partir de données du NASA Socioeconomic Data and Applications Center. Les données sont des années 2000 et 2010. Contributeurs et explications supplémentaires sur les données voir: <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a/box/1.html>.

Que l'on regarde dans un rayon de 30 km ou de 50 km, dans les deux cas, la centrale de Beznau est la centrale suisse avec le plus de population autour d'elle (respectivement 1,03 et 5.86 millions pour 30 et 75 km). Viennent juste derrière les centrales de Leibstadt et de Goesgen puis, la centrale de Mühleberg. Le nombre de personnes potentiellement exposées aux retombées atmosphériques d'un accident nucléaire majeur est donc particulièrement élevé, notamment en regard de celle de Dampierre pour laquelle l'IRSN a estimé les conséquences d'un accident majeur.

Si l'on s'intéresse cette fois aux conditions de vie des populations déplacées et vivant dans les zones de contrôle, l'étude de Oeko Institut Darmstadt sur les conséquences d'un accident majeur sur les ressources en eau douce montre que la situation sera critique. Cette étude montre que l'approvisionnement des populations, jusque très en aval des centrales détruites, devrait se faire par camion et serait limité à 15 litres par personne, contre 300 en temps normal.⁸⁶ Les populations touchées devront changer leurs habitudes, à commencer par ne plus sortir comme elles le faisaient avant (*supra* 3.3.9). A voir les chiffres ci-dessus, un accident nucléaire majeur en Suisse – 7 selon INES et 6A selon IRSN – perturberait gravement la vie de plusieurs millions de personnes, en plus du nombre de déplacés qui pourrait dépasser les 800'000 personnes.

⁸⁶ Ustohalova Veronika, Küppers Christian, Claus Manuel, *Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung*, Öko-Institut e.V., 2014,

5.2 Capitales cantonales de la Confédération suisse menacées en cas d'accident nucléaire majeur

La Suisse est un Etat fédéral, composés de 26 cantons et demi-cantons. La place faite aux petits cantons est équivalente à celle des grands cantons au Conseil des Etats, puisqu'ils ont le même nombre de députés qu'eux (la représentation étant proportionnelle à la population au Conseil national). Cela pour dire qu'ils ont un poids politique important et une autonomie considérable dans la gestion de leur territoire. Aussi convient-il de tenir compte de l'exposition des capitales cantonales à un accident nucléaire majeur, même si la population de certaines d'entre elles est relativement peu importante (table 3).

Vulnérabilité de l'équilibre politique de la Suisse suite à un accident nucléaire majeur									
Tableau 9 vulnérabilité politique	Population: Aire urbaine (AU) de rang 1		Population: Aire urbaine (AU) de rang 2		Population: Aire urbaine (AU) de rang 3		Pop: AU de rang 4 avec un rôle politique dans la Confédération		Vulnérabilité politique de la Confédération
	Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Distance à la CN (km)		Distance to NPP (km)		
Centrale nucléaire	<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	<=30	31 to 50	Nombre d'aires urbaines jouant un rôle politique majeur
	nbr d'AU rang 1	nbr d'AU rang 1	nbr d'AU rang 2	nbr d'AU rang 2	nbr d'AU rang 3	nbr d'AU rang 3	nbr d'AU rang 4	nbr d'AU rang 4	
Name									Nbr
Beznau	Zh		Bs		(Wint)		Aa	Lie Sch Zug Fra	7
Gösgen	Zh		Bs		Lu		Aa Lie	So Del Zug	8
Leibstadt	Zh		Bs		(Wint)		Aa	Lie Sch	5
Mühleberg			Be*		Fr Ne (Biel) (Thun)		So Del		5

Tableau 9: La Suisse est un Etat fédéral réunissant 26 cantons et demi cantons jouant un rôle politique majeur. Les aires urbaines entre parenthèses ne sont pas des capitales cantonales. * Berne est la capitale de la Confédération suisse et la capitale du canton de Berne. Les autres capitales cantonales sont : Zürich (Zh), Basel-Stadt (Bs), Fribourg (Fr), Neuchâtel (Ne), Luzern (Lu), Aarau (Aa), Schaffhausen (Sch), Zug, Frauenfeld (Fra – canton de Thurgovie), Delémont (Dél – canton du Jura), Solothurm (So), Liestal (Lie – canton de Bâle campagne).

Beznau est à moins de 50 km de 7 capitales cantonales. Gösgen est à moins de 50 km de 8 capitales cantonales, Leibstadt est à moins de 50 km de 5 capitales cantonales, Mühleberg est à moins de 50 km de 5 capitales cantonales, dont Berne qui est aussi la capitale de la Confédération suisse.

Dans la mesure où l'une ou plusieurs des capitales cantonales ci-dessus devait être évacuée, cela signifierait que le canton en question perdrait sa capitale et son autonomie. Dans le cas de Berne, capitale cantonale, qui est à quinze kilomètres de Mühleberg, la gestion du canton ne pourrait être assumée par la confédération dont l'administration réside aussi dans cette ville. Un ou plusieurs autres cantons devraient alors prendre en charge l'administration du canton de Berne, et celle-ci pourrait alors être dévolue aux administrations zurichoises ou vaudoises par exemple.

5.3 Vulnérabilité des communications routières

Un accident de niveau 7 selon INES exige la création de zones d'exclusion. Les catastrophes de Tchernobyl et de Fukushima ont toutes deux mené à des zones d'exclusion de 30 km autour de chaque centrale. De plus, des zones plus éloignées ont aussi été fermées et ont mené à des déplacements de population (*supra* 3.3.6 ; 3.3.7).

Notamment, les autorités fédérales prévoient des barrages routiers dans la seule zone 1, soit dans un rayon de 2 km autour de la centrale nucléaire frappée d'un accident de niveau 7 selon INES (« une extension n'est pas praticable suivant les cantons ».⁸⁷ Il est

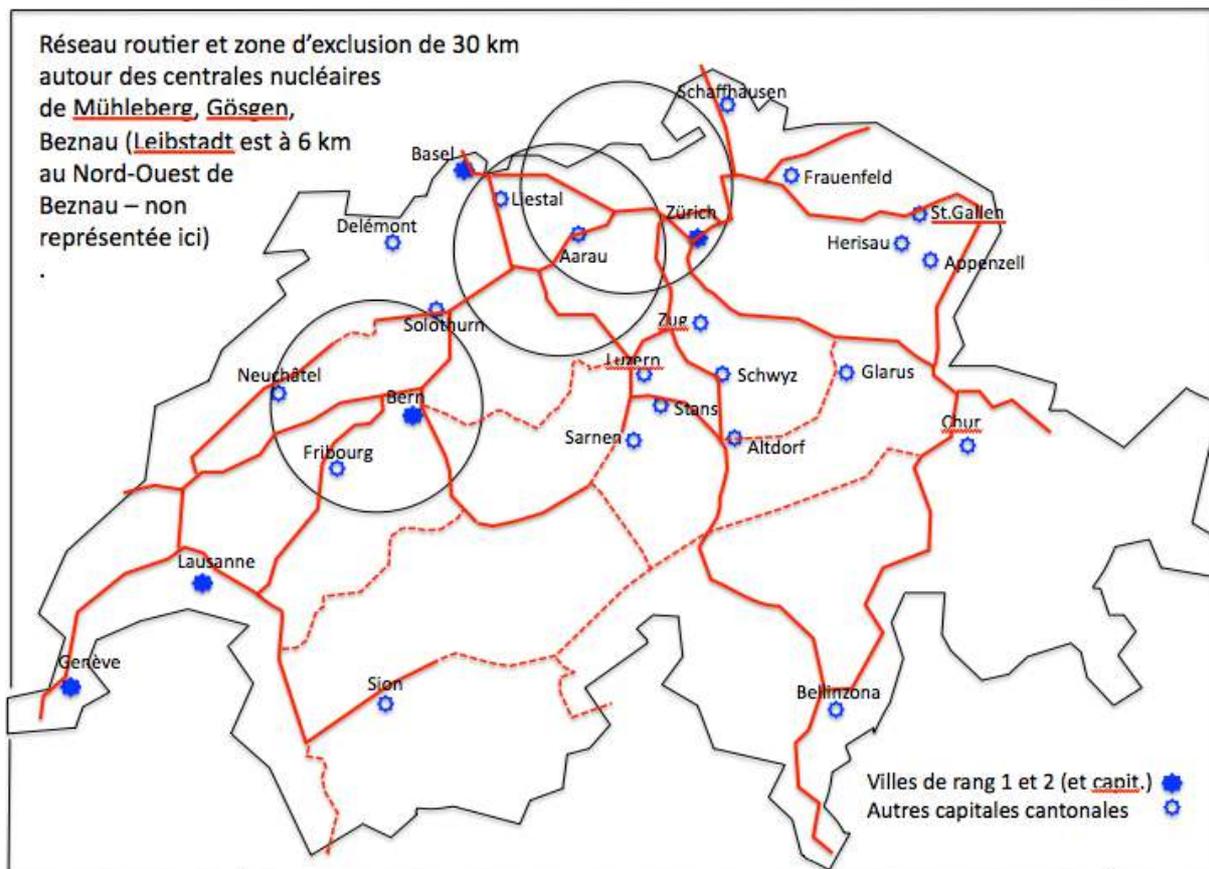
⁸⁷ Confédération Suisse, *Rapport du groupe de travail sur la mesure IDA NOMEX 14 : vérification des scénarios de référence*, décembre 2013 (1^{er} avril 2014), p. 12.

difficile de savoir jusqu'à quel point un accident nucléaire perturberait le trafic routier (nous ne traitons pas du trafic ferroviaire).

Afin de prendre la mesure potentielle d'un accident de niveau 7 en Suisse, il convient de regarder quel serait l'impact d'une zone de 30 km autour de chaque centrale du point de vue des transports et des villes, sachant que des portions de territoire hors cette zone pourraient aussi être fermées, au moins de façon temporaire. Plus précisément, dans quelle mesure la circulation ferroviaire et routière serait affectée ?

Il semble peu vraisemblable que les axes routiers soient fermés dans la mesure où l'exposition des personnes traversant ponctuellement la zone d'exclusion serait bien plus faible que celle des personnes y vivant clandestinement. Comme ces zones seront interdites ou soumises à des conditions strictes, il est probable que le transit routier serait lui aussi soumis à d'importants contrôles, ne serait-ce que pour vérifier et empêcher qu'un éventuel trafic d'aliments contaminés ou d'autres activités mettent en danger la santé des personnes. Le trafic routier devrait donc subir des contrôles, entamant ainsi sa fluidité et son volume.

Nous proposons une carte où la zone d'exclusion est schématisée pour les centrales nucléaires de Mühleberg, Gösgen, Beznau (Leibstadt est à 6 km au Nord-Ouest de Beznau – non représentée ici).



Carte 3 : La partie Sud – Sud-est de la Suisse étant dominée par les Alpes, c'est tout naturellement sur le plateau, plus au Nord, qu'à lieu l'essentiel du trafic interne au pays. La circulation routière se fait principalement sur un axe Nord-Est – Sud-Ouest et relie les métropoles de Zürich (Zh), Bâle (Bs), Berne (Be), Lausanne (Lau) et Genève (Ge). Les deux routes plus au Sud traversant le pays sur un axe Est – Sud-Ouest sont des routes secondaires sur leur partie orientale. Enfin, la circulation sur l'axe Nord-Sud sert davantage au trafic international qu'au trafic national.

MUHLEBERG: Une zone d'exclusion de 30 km autour de la centrale nucléaire de Mühleberg mènerait à l'évacuation des capitales cantonales de Fribourg, Neuchâtel Berne (capitale fédérale – sans parler de Bienne – une aire urbaine de rang 3). Cette zone perturberait pendant une période de temps indéterminée l'essentiel des communications des deux métropoles de l'ouest de la Suisse (Genève et Lausanne) avec les métropoles de Bâle et Zürich et le reste de la Suisse orientale. Il est très improbable que les routes secondaires plus au Sud puissent absorber la demande supplémentaire de trafic en volume. Il est hautement probable que le pays ne puisse pas multiplier ses liaisons par le Sud, tant pour des raisons politiques, financières et géologiques (les Alpes). Quant au trafic sur l'axe Nord-Sud, il devrait se reporter à l'Est et serait durablement perturbé.

GOESGEN: Une zone d'exclusion de 30 km autour de Goesgen mènerait à l'évacuation des capitales cantonales de Aarau et Liestal. Elle perturberait voire interromprait l'essentiel des communications entre les trois métropoles de l'ouest de la Suisse (Genève, Lausanne et Berne) avec la partie le Nord-Est de la Suisse, les métropoles de Bâle et Zürich risquant d'ailleurs de fonctionner de façon très ralentie pendant une période de temps indéterminée. Là encore, Il est très improbable que les routes secondaires plus au Sud puissent absorber la demande supplémentaire de trafic en volume. Il est aussi très improbable que le pays puisse améliorer cet axe de transit interne avant plusieurs décennies. Enfin, le trafic de l'axe Nord-Sud serait fortement ralenti sur l'axe reliant Zürich au tunnel du Gothard pour se reporter sur Berne et les tunnels du Loetschberg et du Simplon.

BEZNAU: La zone d'exclusion hypothétique autour de Beznau mènerait à l'évacuation de la capitale cantonale et métropole helvétique de Zürich. Elle perturberait voire interromprait une importante partie de l'activité autour de la métropole zurichoise et jusqu'à Bâle. Elle perturberait voire interromprait aussi les communications entre les trois métropoles de l'ouest de la Suisse (Genève, Lausanne et Berne) avec la partie orientale de la Suisse. L'ensemble du trafic de l'axe Nord-Sud serait perturbé et devrait se reporter sur Berne et les passages du Grand Saint-Bernard et du Simplon, voire par Genève. Là encore, Il est très improbable que les lignes secondaires plus au Sud puissent absorber une demande supplémentaire de trafic en volume sur l'axe Est-Ouest.

LEIBSTADT: une zone d'exclusion autour de Leibstadt serait 6,4 km plus au Nord – Nord Ouest que celle de Beznau et serait donc presque similaire à celle-ci. Nous ne publions pas ce schéma pour des raisons de lisibilité sachant que la projection que nous avons faite permet de soutenir que le schéma général des communication serait pratiquement identique à celui d'une zone d'exclusion autour de Beznau.

5.4 Estimation économique du coût d'un accident nucléaire majeur

Les études de la Confédération suisse sur cette question sont anciennes et il convient d'évaluer leur fiabilité en les comparant à d'autres études. Nous commençons par deux études françaises, puis une belge, avant de présenter les études suisses et de faire une synthèse. Nous donnons aussi une appréciation qualitative là où il y a lieu.

5.4.1 L'exemple du coût d'un accident dans une centrale nucléaire française : chiffres de l'étude officielle de l'IRSN

Selon l'étude de 2007 de l'Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire (IRSN – France, institut public), un accident nucléaire majeur dans la centrale nucléaire de Dampierre coûterait entre 287 et 760 milliards d'Euro,⁸⁸ ce qui représente 45% du PIB

⁸⁸ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, op. cit., 2007, p. 20 et p. 60.

français (nous ne commentons pas un autre scénario avec un coût beaucoup plus élevé et que l'IRSN n'assume plus aujourd'hui). En regard d'un PIB 2007 de 2'015 milliards d'Euro,⁸⁹ l'IRSN pense qu'un accident majeur est insupportable économiquement et que « la solidarité nationale ne sera pas en mesure d'amortir la perturbation due à l'accident majorant S1 ».⁹⁰ Ce constat a mené et justifié « les exigences de sûreté imposées à l'EPR d'« éliminer en pratique » les accidents de fusion du cœur avec rejets précoces et massifs ».⁹¹

Dans une étude de ce même institut officiel français (l'IRSN), en 2013, le coût d'un accident majeur est dans un ordre de grandeur similaire. Il est calculé pour des centrales nucléaires se trouvant, du point de vue la population environnante, dans la médiane des centrales nucléaires françaises.⁹² A titre d'illustration, la population dans un rayon de 30 km autour de la centrale nucléaire se situant dans la médiane des centrales françaises – de ce point de vue – dénombre 200'000 habitants.⁹³ (C'est quatre fois moins qu'autour de la centrale de Leibstadt en Suisse – plus de 800'000 habitants.) Cela étant, le coût d'un « accident majeur représentatif » se trouvant dans la moyenne cote population se monterait, en France, à 430 milliards d'Euro,⁹⁴ soit 21% du PNB français.⁹⁵

➤ *Mais ce prix peut varier suivant la localisation de la centrale nucléaire et les conditions météorologique et s'élever de + 120%, soit un montant de 946 milliards d'Euro, (ou 46% du PNB français).⁹⁶ « For lack of other references, this can be compared to the cost of waging a regional war ».⁹⁷*

Nous traduisons : « par manque d'autres références, cela peut être comparé au coût d'une guerre régionale ». Cela étant, un « accident nucléaire majeur en France pourrait être une catastrophe européenne ingérable ».⁹⁸ Un accident de ce genre peut être « très largement intolérable » car « les rejets massifs ont des conséquences radiologiques massives, le nombre de victimes peut se révéler considérable et toutes les couches de la population peuvent être concernées. »⁹⁹

Ce risque politique est d'autant plus élevé que les pays voisins seraient impactés. « Les pays voisins seraient également souvent affectés par la contamination ».¹⁰⁰ On pense

⁸⁹ Le PNB français se montait à € 2'015 milliards en 2007 (INTERNATIONAL MONETARY FUND, *World Economic Outlook Database*, October 2014).

⁹⁰ Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, *Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté*, Annexe du rapport DSR n°157, Réunion du groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007, p. 64

⁹¹ Idem

⁹² Pascucci-Cahen Ludivine et Momal Patrick, « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », *Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, 2013, 7 p.

⁹³ Voir tableau 1 de la présente étude. (On remarque que, même dans le cas de figure français qui, en moyenne, expose à une grande vulnérabilité 4 fois moins de personnes qu'en Suisse, le nombre de personnes déplacées *de façon permanente*, selon l'IRSN, se monterait à 100'000 personnes – pp. 6-7.)

⁹⁴ Pascucci-Cahen Ludivine et Momal Patrick, « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », *Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, 2013, 7 p.

⁹⁵ Le PNB français se montait à € 2'046 milliards en 2012 (International Monetary Fund, *World Economic Outlook Database*, October 2014).

⁹⁶ Pascucci-Cahen Ludivine & Momal Patrick, *op. cit.*, 2013, p. 6.

⁹⁷ Cette phrase n'est pas dans la version française de l'article de Pascucci-Cahen & Momal, seulement dans la version anglaise : « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », *Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, 2013, p. 6.)

⁹⁸ Pascucci-Cahen Ludivine & Momal Patrick, « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », *Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, 2013, p. 5.

⁹⁹ *Ibid.*, p. 7.

¹⁰⁰ *Ibid.*, p. 6.

évidemment aux centrales de Fessenheim (à 30 km de la frontière bâloise), du Bugey (à 70 km de la frontière genevoise), de Cattenom (à 45 km de Trier, en Allemagne, et à 19 km de la ville du Luxembourg – sans parler de 4 autres villes importantes de cet Etat). « Les accidents majeurs extrêmes, dont le coût dépasserait la fourchette proposée, auraient des conséquences absolument désastreuses, principalement parce que la pollution grave de grands centres urbains ne peut pas être exclue (...) Le pays serait durablement traumatisé ». ¹⁰¹ Cet exercice de vérité de la part d'un organisme officiel est indispensable pour que le corps législatif et le gouvernement prennent les décisions nécessaires quant à l'avenir de la filière nucléaire. L'IFSN devrait, en Suisse, aussi s'interroger sur les scénarios extrêmes, mais il semble que cet exercice l'effraie.

5.4.2 *L'exemple du coût d'un accident à la centrale nucléaire de Doel, en Belgique*

L'évaluation a été faite par Bart Martens et Smart Matters à partir des recommandations méthodologiques de l'OCDE. ¹⁰²

Le premier scénario qui implique une évacuation forcée de tous les habitants dans un rayon de 20 km, qui mène à l'évacuation de personnes dans cette zone, qui mène à une perte de 742 milliards d'Euro.

➤ *Une autre variante, avec une zone d'exclusion plus étendue, va jusqu'à une perte de 1412 milliards d'Euro suite à un accident nucléaire majeur à Doel en Belgique.* ¹⁰³

Le prix plus élevé qu'en France s'explique par la densité de population et une forte concentration d'activités économiques.

5.4.3 *Suisse : évaluations économiques de l'Office fédéral de la protection de la population*

➤ *Dans ses deux études de 1995 et 2003, l'Office fédéral de la population indiquait qu'un risque nucléaire majeur pourrait atteindre les 1'000 milliards de francs, voire davantage.* ¹⁰⁴

Les deux études vont chacune jusqu'à 4'500 milliards pour des événements comparables. Ces chiffres sont relativement imprécis et ils ne sont pas détaillés dans ces deux publications. Il faut toutefois remarquer que les deux rapports se retrouvent sur des montants similaires ce qui est la marque d'une certaine constance. De plus, l'estimation de 1'000 milliards pour un accident nucléaire majeur est dans l'ordre de grandeur des évaluations françaises et belges pour un accident similaire, malgré des méthodes différentes. Il est envisageable de se faire une idée plus précise par recoupement.

5.4.4 *Synthèse comparée des coûts*

Pour évaluer de façon simple la vraisemblance de ces résultats il est envisageable de comparer les données essentielles des situations françaises, belges et suisses. Pour faire simple, et dans l'attente d'une étude de la Confédération faite selon les standards

¹⁰¹ Ibid., p. 6.

¹⁰² Cf. OCDE, Méthodes d'évaluation des conséquences économiques des accidents nucléaires, OCDE/AEN, 2000.

¹⁰³ Martens Bart, Matters Smart, « L'impact économique d'une catastrophe nucléaire à Doel », décembre 2014, 5. p.

¹⁰⁴ OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION CIVILE, Katanos : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une analyse comparative, 1995, p. 77 // OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE LA POPULATION, Katarisk : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une appréciation des risques du point de vue de la protection de la population, 2003, 83 p. (L'office change de nom entre ces deux publications.)

méthodologiques de l'OCDE, nous faisons comme si ces évaluations portaient de la même année, 2010 (une estimation suffisante vu la sensibilité des autres facteurs).

Le tableau 10 tient compte des deux centrales nucléaires types prises en compte dans l'étude de l'IRSN, qui définissait le prix de base d'un accident nucléaire majeur pour une centrale nucléaire se trouvant dans la médiane des centrales nucléaires française du point de vue de la population exposée, soit 200'000 personnes environ (*supra* 5.4.1). Concernant le coût d'un accident majeur dans une centrale exposant davantage de monde, dans des conditions défavorables – scénario du pire – il pourrait concerner la centrale de Fessenheim avec plus de 931'000 habitants dans un rayon de 30 km (d'où notre choix de cette centrale pour illustrer le coût d'un accident en France).

➤ Dans l'ensemble, ces chiffres confirment l'ordre de grandeur de 1'000 milliards avancé par l'Office de la protection de la population en 1995 et 2003. Sachant que les revenus ont progressé en Suisse de 25% et 13% depuis lors,¹⁰⁵ on pourrait avancer le chiffre de 1'130 à 1'250 milliards de francs pour un accident nucléaire majeur, mais il convient de conserver le chiffre de 1000 milliards qui a l'avantage d'être un chiffre rond.

COMPARAISON DE DIFFERENTES EVALUATIONS ECONOMIQUES D'UN ACCIDENT NUCLEAIRE MAJEUR: Belgique, France, Suisse (dans leurs monnaies respectives)				
Centrale nucléaire	Pays	Population dans 30 km	revenu par habitant (relatif)	coût estimé d'un accident nucléaire majeur
Nom	Nom	nbr habitants*	%	(en milliards, monnaie du pays)
Doel	BELGIUM	1'511'575	base	741 - 1'412**
Beznau	SWITZERLAND	1'027'780	(+)33%****	≥1000
Leibstadt	SWITZERLAND	817'983	(+)33%	≥1000
Goesgen	SWITZERLAND	959'787	(+)33%	≥1000
Mühleberg	SWITZERLAND	892'419	(+)33%	≥1000
Fessenheim?	FRANCE	931'516	base	946***
CN population médiane	FRANCE	200'000	base	430***
Beznau	SWITZERLAND	1'027'780	(+)42%****	≥1000
Leibstadt	SWITZERLAND	817'983	(+)42%	≥1000
Goesgen	SWITZERLAND	959'787	(+)42%	≥1000
Mühleberg	SWITZERLAND	892'419	(+)42%	≥1000

Tableau 10: Le tableau 10 est en deux parties de cinq et six lignes respectivement: la première partie compare la situation de la centrale nucléaire de Doel avec celle des quatre centrales suisses; la seconde compare les quatre centrales suisses aux deux centrales nucléaires françaises types pour lesquelles existent une estimation des dommages. En comparant l'estimation de 1'000 milliards de l'Office de la protection de la population avec les chiffres avancés par Martens et Matters en Belgique d'une part et ceux de Pascucci-Cahen et Momal en France d'autre part, on s'aperçoit que les chiffres sont de grandeurs similaires. Le nombre de personnes touchées dans le voisinage de Doel est certes plus important qu'au voisinage des centrales suisses, mais il faut aussi tenir compte du fait que les revenus sont 33% plus élevés en Suisse qu'en Belgique (ce qui influence le compte des dommages). Secondement, la population exposée par la centrale nucléaire française ayant le plus d'habitants dans son voisinage est d'une taille similaire à la population proche des centrales nucléaires suisses. Sachant qu'il faut tenir compte de revenus de 42% plus élevés en Suisse, le chiffre de 1000 milliards de francs suisse pour un accident nucléaire majeur de niveau A6 selon IFSN semble sous-évalué.

* a) Les données sont de Declan Butler (Revue Nature). <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>.

** Cf. Martens Bart, Matters Smart, De Economische Impact van een Kernramp in Doel, 2014, p. 30.

*** Cf. Pascucci-Cahen Ludivine & Momal Patrick, « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire, 2013, p. 6.

**** Cf. Panorama des statistiques de l'OCDE 2014, "Revenu national brut par habitant", US \$, année 2010

¹⁰⁵ Office fédéral de la statistique, Indice suisse des salaires, (consulté juillet 2015). http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/03/04/blank/key/lohnentwicklung/nominal_un_d_real.print.html

➤ *Au vu de ces éléments et dans l'attente d'une étude de la Confédération sur cette question, nous pouvons affirmer que dans l'occurrence d'un accident nucléaire de niveau 6A selon IFSN et 7 selon INES, le coût d'un accident nucléaire majeur en Suisse sera égal ou dépassera les 1'000 milliards de francs.*

5.4.5 Qui assumera les coûts d'un accident nucléaire majeur ?

Un coût supérieur à 1'000 milliards de francs suisses peut être mis en perspective d'autres chiffres pertinents.

MISE EN PERSPECTIVE DU COUT D'UN ACCIDENT MAJEUR EN REGARD DES AUTRES MONTANTS SIGNIFICATIFS EN JEU		
1° Montant d'un accident nucléaire majeur en Suisse	CHF	≥ 1'000'000'000'000
Produit intérieur brut 2013 (Suisse)	CHF	635'000'000'000
Part d'un accident majeur dans le PIB	%	≥157%
2° Montant d'un accident nucléaire majeur en Suisse	CHF	≥1'000'000'000'000
Perte de valeur, par ménage (3.54 mio de ménages**)	CHF	≥ 282'000
Perte de valeur, par habitant (8.23 mio d'habitants***)	CHF	≥ 122'000
3° Montant d'un accident nucléaire majeur en Suisse	CHF	≥1'000'000'000'000
Montant assuré par les exploitants (sauf acte terrorisme notamment)*	CHF	1'000'000'000
Part du montant assuré par les exploitants en regard d'un accident majeur	%	≤ 0.1%
Montant assuré par la Confédération*	Euro*	1'200'000'000
Part du montant assuré par la Confédération en regard d'un accident majeur	%	≤0.13%

Tableau 11: la 1re partie du tableau compare le coût d'un accident nucléaire majeur au produit intérieur brut 2013 de la Suisse; la 2e partie chiffre la perte de valeur pour les ménages et les habitants; la 3e partie compare le coût d'un accident nucléaire majeur au montant de couverture d'assurance pris par les exploitants et la Confédération.

* Cf. Confédération suisse, "Le Conseil fédéral adopte une révision totale de l'ordonnance sur la responsabilité civile en matière nucléaire", 25 mars 2015, <https://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=fr&msg-id=56671> (consulté juillet 2015)

** Office fédéral de la statistique, "Produit intérieur brut", donnée 2013, (consulté juillet 2015) http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/04/02/01/key/bip_nach_verwendungsarten.html

*** Office fédéral de la statistique, "Etat de la population et évolution démographique", donnée 2014, (consulté juillet 2015), <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand.html>

La 1^{re} partie du tableau 11 montre qu'en cas d'accident nucléaire majeur, le coût induit égalerait voire dépasserait les 157% du PIB, montant auquel il conviendrait d'ajouter la dette courante de la Confédération, des cantons et des communes, soit 34,5% du PIB de la Confédération Suisse en 2013.¹⁰⁶

Ces deux « dettes » ne peuvent s'additionner l'une l'autre directement, mais leur mise en perspective suggère fortement que la Suisse deviendrait un des pays les plus pauvres d'Europe. Le budget de la Confédération ne pourra probablement pas compenser l'ensemble des pertes des privés.

La 2^e partie du tableau extrapole, du coût global d'un accident majeur, la perte de valeur pour les individus et les ménages. Les pertes seront inégalement réparties, mais vu la petitesse de la Suisse, tout le pays subira les conséquences d'un pareil accident. On peut affirmer qu'en moyenne, sachant 3.54 millions de ménages, la perte de valeur par ménage sera équivalente ou supérieure à 282'000 francs. A l'échelle individuelle, la perte des individus sera équivalente ou supérieure à 122'000 francs. Une compensation de ces pertes par la Confédération supposerait des hausses élevées d'impôts, peut-être non envisageables vu les circonstances. Il faudrait d'ailleurs se demander dans une étude à venir si la capacité d'emprunter de la Confédération sera réduite, de

¹⁰⁶ Office fédéral de la statistique, « Système économique – dette publique », donnée 2013, consulté (juillet 2015), <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/21/02/ind32.indicator.71103.3208.html>

combien, si c'est à rien et si la dette actuelle, bien que peu élevée, pourra encore être remboursée.

La 3^e partie du tableau met en perspective le coût d'un accident nucléaire majeur avec la couverture d'assurance prévue par la Loi et l'Ordonnance sur la responsabilité civile en matière nucléaire (ainsi que la Convention dite de Paris et la Convention additionnelle révisée de Bruxelles). Ces montants sont exceptionnellement faibles vu qu'ils s'élèvent à 0.23% du montant d'un accident nucléaire majeur. Or, dans le cas où un acte terroriste ou une catastrophe naturelle exceptionnelle engendrait un accident nucléaire majeur (deux des causes envisageables), les assurances contractées par les exploitants des centrales nucléaires n'entreraient pas en ligne de compte. Le seul montant assuré équivaut alors à 0,1% de l'accident majeur. En un mot, le risque d'un accident nucléaire majeur est non assuré car non assurable.

Selon Christine Noiville (Docteur en droit¹⁰⁷), l'acceptabilité du risque fut en grande partie liée à son indemnisation¹⁰⁸. L'équation « acceptation car indemnisation » est ce qui a permis le développement économique¹⁰⁹. Or, en cas de non indemnisation des victimes d'un accident nucléaire majeur, le risque paraîtra inacceptable et n'ayant jamais dû être couru, car une partie importante de la population subira de lourdes pertes économiques et une dégradation sociale pendant une durée de temps indéterminée, sans compensation.

- *Le fait de s'entêter à exploiter sur le sol national 4 centrales nucléaires, sur un territoire exigü comptant parmi les 10 premiers en matière de vulnérabilité à un accident nucléaire majeur, tout en ayant des normes de sécurité inférieures aux normes appliquées aux centrales neuves (lacunes dans la séparation physique des systèmes de secours notamment), tout cela considéré ensemble constitue une erreur d'appréciation concernant les normes de sécurité écrites et coutumières. Tout accident majeur sera d'autant plus inacceptable qu'il sera compris à la lumière de cet acte illicite. Ces éléments donnent un indice complémentaire sur l'inacceptabilité du risque nucléaire pour les petits pays ayant des normes de sécurité inférieures à celles requises pour les centrales nucléaires récentes.*
- *L'analyse des coûts montre que la capacité de résilience du pays serait fortement réduite, voire rapidement épuisée, en cas d'accident majeur de niveau 7 selon INES et 6A selon IFSN, le pays mettant un temps extrêmement long à son remettre (et d'autant plus long que le contexte mondial devient plus difficile et concurrentiel).*

5.5 Conclusion sur la situation politique de la Suisse en cas d'accident nucléaire majeur dans l'une de ses centrales nucléaires

La Suisse compte parmi les pays du monde les plus vulnérables à un accident nucléaire majeur, de niveau 7 selon INES et 6A selon l'IFSN. Ses 4 centrales sont classées respectivement au 3^e, 5^e, 6^e et 8^e rang des centrales se trouvant dans un environnement critique du point de vue stratégique (sur l'analyse de l'environnement de 194 centrales). La prise en compte de données supplémentaires pourrait légèrement modifier ce classement, sans toutefois le bouleverser.

¹⁰⁷ Membre du Comité d'éthique du CNRS, Mission Droit et Justice, Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et techniques (France).

¹⁰⁸ Noiville Christine, *Du bon gouvernement des risques : le droit et la question du « risque acceptable »*, Presses Universitaires de France, 2003, p. 179.

¹⁰⁹ Ibid., p. 188.

Malgré ce classement déplorable en regard d'un principe de sécurité indispensable qu'est l'éloignement des centrales nucléaires des villes importantes et stratégiques et des centres vitaux pour le pays, le parc nucléaire suisse répond à des normes valant pour les centrales nucléaires anciennes, à un niveau de sécurité bien inférieur à celui des centrales nucléaires neuves lorsque l'on envisage la question d'un accident majeur. Le fait d'être faible sur deux points aussi cruciaux en même temps met la Suisse dans une situation de faiblesse stratégique considérable.

La Suisse est le seul parmi les petits pays en tête du classement selon la vulnérabilité, avec la Belgique, à avoir une constitution fédérale. Mais contrairement à la Belgique, qui comprend seulement trois régions, où la Flandre s'administre depuis Bruxelles et non depuis Anvers, Bruxelles étant à plus de 50 km d'une centrale nucléaire Belge,¹¹⁰ la Suisse expose de nombreuses capitales cantonales dans un rayon de 50 km. Beznau est à moins de 50 km de 7 capitales cantonales. Gösgen est à moins de 50 km de 8 capitales cantonales, Leibstadt est à moins de 50 km de 5 capitales cantonales, Mühleberg est à moins de 50 km de 5 capitales cantonales, dont Berne qui est aussi la capitale de la Confédération suisse (voir tableau 8). Un accident majeur dans l'une de ces centrales ne créerait pas de dommages majeurs à toutes les capitales cantonales se trouvant dans un rayon de 50 km, mais il est permis d'imaginer qu'il perturberait gravement le fonctionnement politique des cantons impactés et qu'il déstabiliserait de façon notable les équilibres politiques au sein de la Confédération suisse.

Le risque politique est nécessairement aggravé par le coût économique et celui-ci est considérable. Vu un coût attendu égal ou supérieur à 1'000 milliards de francs (CHF 1'000'000'000'000), soit une perte de valeur égale ou supérieure à 282'000 francs par ménage, une exacerbation des tensions politiques est de l'ordre du très probable (*supra* 5.4.3 ; 5.4.4).

Il est légitime de se demander si un accident majeur ne perturberait pas les équilibres politiques et linguistiques. La Suisse allemande risquerait d'être singulièrement affaiblie vu que toutes les centrales se trouvent dans cette partie du pays.

➤ *De façon générale, la disparition d'un ou de plusieurs cantons bouleverserait durablement les équilibres politiques et linguistiques du pays, une partie des habitants du pays risquant une forte marginalisation.*

L'appauvrissement général du pays, la hausse possible de sa dette publique à des montants insoutenables ne ferait qu'amplifier ces déséquilibres politiques. Avec un accident de ce type, la vulnérabilité politique du pays serait à son comble d'où une forte pression sur sa capacité de résilience.

*

L'étude comparative sur 194 centrales nucléaires montre qu'un grand nombre de centrales nucléaires sont placées de façon stratégique loin des grands centres urbains. Les petits pays ont plus de difficulté à agir ainsi, même si les Pays-Bas – de taille égale à la Suisse mais deux fois plus peuplés – y sont parvenus. Hors cet exemple, la vulnérabilité des petits pays à un accident nucléaire majeur est telle qu'ils prennent un risque stratégique incompatible avec leur capacité de résilience. De façon générale, il est dangereux pour un petit pays de vouloir rivaliser avec les grandes puissances dans le domaine de la production d'électricité d'origine nucléaire.

*

¹¹⁰ Parmi les capitales politiques régionales, seule Namur, capitale de Wallonie, est à moins de 50 km d'une centrale nucléaire (Tihange). Le fait que la centrale nucléaire de Doel soit très proche d'Anvers a peut-être pesé dans le choix d'installer le Parlement de la Flandre à Bruxelles, et non à Anvers (sans avoir été déterminant).

Pour ce qui est de la Suisse, la politique nucléaire est incompréhensible : le pays présente un très haut potentiel de vulnérabilité à un accident majeur – tant politique vu sa structure fédérale et la cohabitation de trois communautés linguistiques – qu'économique vu que chaque centrale est placée vers les aires urbaines les plus importantes. Il abrite des centrales nucléaires ne répondant pas aux critères les plus modernes de sécurité (notamment en matière de sécurité passive et de séparation physique des systèmes de secours). Il abrite de plus le réacteur nucléaire la plus vieux du monde en activité près de sa principale métropole. Cette attitude est stupéfiante pour un des pays les plus riches de la communauté internationale dont on attendrait qu'il se prémunisse sérieusement d'un risque stratégique dont l'ampleur est potentiellement plus élevée sur son territoire que dans de très nombreux pays.

Afin de se prémunir contre les conséquences ingérables d'un accident nucléaire majeur, les petits pays comme la Suisse ont l'obligation, s'ils veulent préserver leur intégrité territoriale, leur indépendance politique, leur prospérité et la santé physique et psychique de leur population, d'élever le niveau de sécurité de leurs centrales pour atteindre le niveau de sécurité des centrales neuves... ou de renoncer au nucléaire dans les meilleurs délais. Seule cette façon de faire leur permet de respecter les standards de sécurité internationaux, écrits et coutumiers, permettant de faire face à un accident majeur. La Suisse ne doit pas adopter le niveau de sécurité nucléaire qui pourrait convenir à un grand et vaste pays car cette situation n'est pas proportionnée à la sienne propre.

6 BIBLIOGRAPHIE

6.1 *Législation et normes officielles*

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, « Principes fondamentaux de sûreté n° SF-1 », *Normes de sûreté de l'AIEA*, 2007, 24 p.

AGENCE INTERNATIONALE DE L'ENERGIE ATOMIQUE, « Evaluation de la sûreté des installations et activités N°GSR Part 4 », *Normes de sûreté de l'AIEA*, 2009, 42 p.

COMMISSION INTERNATIONALE DE PROTECTION RADIOLOGIQUE, *Recommandations 2007*, éditions de l'IRSN, 415 p.

CONFEDERATION SUISSE, *Loi sur l'énergie nucléaire*, (LENu – 732.1).

CONFEDERATION SUISSE, *Ordonnance du Conseil fédéral sur l'énergie nucléaire* (OENu – 732.11)

CONFEDERATION SUISSE, *Ordonnance du Conseil fédéral sur la radioprotection* (814.501)

CONFEDERATION SUISSE, *Ordonnance sur la Commission fédérale de sécurité nucléaire* (OCSN – 732.16)

CONFEDERATION SUISSE, *Ordonnance du DETEC sur les hypothèses de risque et sur l'évaluation de la protection contre les défaillances dans les installations nucléaires* (732.112.2)

6.2 *Avis et rapports officiels*

CENTER FOR SECURITY STUDIES, *Preparing for Disasters in Global Cities : an International Comparison (3RG report)*, ETH Zürich, 2013, 63 p.

CENTER FOR SECURITY STUDIES, *Swiss Crisis Mapping : Using Geodata and Social Media in Crisis and Disaster Management in Switzerland*, ETH Zürich, 2013, 10 p.

CENTER FOR SECURITY STUDIES, *Analyse des risques et des dangers et protection de la population*, ETH-Zürich, 2011, 45 p.

CONFEDERATION SUISSE, *Protection de la population et protection civile : les défis*, 2010, 13 p.

CONFEDERATION SUISSE, *Rapport du groupe de travail sur la mesure IDA NOMEX 14 : vérification des scénarios de référence*, décembre 2013 (1^{er} avril 2014), 14 p.

CONFEDERATION SUISSE, *Stratégie de la protection de la population et de la protection civile : 2015+*, 2012, 81 p.

CONFEDERATION SUISSE, *Concept de protection d'urgence en cas d'accident dans une centrale nucléaire en Suisse*, 23 juin 2015, 54 p.

INSPECTION FEDERALE DE LA SECURITE NUCLEAIRE, *Examen des scénarios de référence pour la planification d'urgence au voisinage des centrales nucléaires*, IDA NOMEX,

INSPECTION FEDERALE DE LA SECURITE NUCLEAIRE, *Rapport du groupe de travail sur la mesure IDA NOMEX 14 : vérification des scénarios de référence*, 2013 (2014), 16 p.

INSPECTION FEDERALE DE LA SECURITE NUCLEAIRE, (Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat), *Stellungnahme zur Studie „Risiko Altreaktoren Schweiz“*, 23 juin 2014, 45 p.

INSTITUT DE RADIOPROTECTION ET DE SÛRETE NUCLEAIRE, *Examen de la méthode d'analyse coût-bénéfice pour la sûreté*, Annexe du rapport DSR n°157, Réunion du groupe Permanent chargé des Réacteurs nucléaires du 5 juillet 2007, pp.20-85.

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Environmental consequences of the Chernobyl accident and their remediation: twenty years of expérience*, Report of the Chernobyl Forum Expert Group 'Environment', VIENNA, 2006, 165 p.

OFFICE FEDERAL DE L'ENERGIE, section Droit et sécurité, « Procédures d'autorisation en cours », 23 janvier 2006, 11 p.

OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION CIVILE, Katanos : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une analyse comparative, 1995, 77 p.

OFFICE FEDERAL DE LA PROTECTION DE LA POPULATION, *Katarisk : Catastrophes et situations d'urgence en Suisse : une appréciation des risques du point de vue de la protection de la population*, 2003, 83 p.

Pascucci-Cahen Ludivine et Momal Patrick, « Massive radiological releases profoundly differ from controlled releases », *Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire*, 2013, 7 p.

UNITED NATIONS SCIENTIFIC COMMITTEE ON THE EFFECTS OF ATOMIC RADIATION, Source and Effects of Ionizing Radiation : ANNEX J : Exposures and effects of the Chernobyl accident, 2000, pp. 451-566. http://www.unscear.org/docs/reports/2000/Volume%20II_Effects/AnnexJ_pages%20451-566.pdf

THE NATIONAL DIET OF JAPAN, Kiyoshi Kurokawa, Katsuhiko Ishibashi, Kenzo Oshima, Hisako Sakiyama, Masafumi Sakurai, Koichi Tanaka, Mitsuhiko Tanaka, Shuya Nomura, Reiko Hachisuka, Yoshinori Yokoyama, *The Fukushima Nuclear Accident Independent Investigation Commission*, 2012, 86 p.

6.3 Articles scientifiques et rapports scientifiques

Alexey V. Yablokov and Vassily B. Nesterenko, « Chernobyl Contamination through Time and Space », *Chernobyl : Consequences of the Catastrophe for People and the Environment*, Alexey v. Yablokov, Vassily B. Nesterenko, and Alexey V. Nesterenko, consulting Editor Janette D. Sherman-Nevinger, New-York Academy of Sciences (NYAS), 2009 (2011), pp. 5-30.

Brettner Mathias, Pistner Christoph, Kurth Stephan, Analyse der Ergebnisse des EU-Stresstest der Kernkraftwerke Fessenheim und Beznau Teil : Beznau, Öko-Institut, 2012, 130 p.

Butler Declan, « Reactors, residents and risk », *Nature*, 21 avril 2011, doi:10.1038/472400a <http://www.nature.com/news/2011/110421/full/472400a.html>

Kashparov Valery, « Risks of the potential irradiation », *Assessment of ecological risks caused by the long-living radionucléides in the environment*, NATO Security through Science, Series – C : Environmental Security, 2006 (2004),

Küppers Christian, Wesentlichesicherheitstechnische Schwachstellen des AKW Beznau, Öko-Institut e.V., D-Darmstadt, Brugg, 24. Juni 2014, 8 p.

Majer Dieter, « Risiko Altreaktoren Schweiz », Februar 2014, 44 p.

Majer Dieter, « Stellungnahme zur Aktennotiz des ENSI vom 23.6.14 », 2-07-2014, 9 p.

Martens Bart, Matters Smart, « L'impact économique d'une catastrophe nucléaire à Doel », décembre 2014, 5. p.

Martens Bart, Matters Smart, *De Economische Impact van een Kernramp in Doel*, Studie im opdracht van Greenpeace Belgium, 2014, 46 p.

Noiville Christine, *Du bon gouvernement des risques : le droit et la question du « risque acceptable »*, Presses Universitaires de France, 2003.

Thomas Reverdy, *Sociologie des organisations. Master. Sociologie des organisations*, Grenoble-INP, 2013, pp.160. <cel-00918864>

Ustohalova Veronika, Küppers Christian, Claus Manuel, *Untersuchung möglicher Folgen eines schweren Unfalls in einem schweizerischen Kernkraftwerk auf die Trinkwasserversorgung*, Öko-Institut e.V., 2014, 87 p.

6.4 Sites internet officiels

CONFEDERATION SUISSE, "Le Conseil fédéral adopte une révision totale de l'ordonnance sur la responsabilité civile en matière nucléaire", 25 mars 2015, <https://www.news.admin.ch/message/index.html?lang=fr&msg-id=56671> (consulté juillet 2015)

EUROSTAT, « Population on 1 January, larger urban zone » (http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=urb_lpop1&lang=en - recherche, janvier 2015).

INSPECTION FEDERALE DE LA SURETE NUCLEAIRE (IFSN), Centrale nucléaire de Beznau, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-beznau/>

INSPECTION FEDERALE DE LA SURETE NUCLEAIRE (IFSN), Centrale nucléaire de Mühleberg, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-muehleberg/>

INSPECTION FEDERALE DE LA SURETE NUCLEAIRE (IFSN), Centrale nucléaire de Gösgen, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-goesgen/>

INSPECTION FEDERALE DE LA SURETE NUCLEAIRE (IFSN), Centrale nucléaire de Leibstadt, <http://www.ensi.ch/fr/topic/centrale-nucleaire-de-leibstadt/>

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, The International Nuclear and Radiological Event Scale (INES), IAEA (<http://www.iaea.org/sites/default/files/ines.pdf> – consulté 14-01-2015).

INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, *Annual report 2013*, Table A9: Nuclear power reactors in operation in the world (as of 31 December 2013) p. 113 (Data are from the Agency's Power Reactor Information System – PRIS - <http://www.iaea.org/pris>)

INTERNATIONAL MONETARY FUND, *World Economic Outlook Database*, October 2014

INSPECTION FEDERALE DE LA SECURITE NUCLEAIRE, « Mise hors service des centrales nucléaires » <http://www.ensi.ch/fr/installations-nucleaires/mise-hors-service-des-centrales-nucleaires/> (consulté mai 2015)

OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, Indice suisse des salaires, (consulté juillet 2015). http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/03/04/blank/key/lohnentwicklung/nominal_un_d_real.print.html

OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, Taille des ménages, données 2013, (consulté juillet 2015), <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/04/blank/key/01/05.html>

OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, « Système économique – dette publique », donnée 2013, <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/21/02/ind32.indicator.71103.3208.html>, (consulté juillet 2015).

OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, "Produit intérieur brut", donnée 2013, http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/04/02/01/key/bip_nach_verwendungsarten.html (consulté juillet 2015)

OFFICE FEDERAL DE LA STATISTIQUE, "Etat de la population et évolution démographique", <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/fr/index/themen/01/02/blank/key/bevoelkerungsstand.html>, (consulté juillet 2015) (donnée 2014)

6.5 *Articles de presse et autres sources*

Besson Sylvain, « *Crash Germanwings : Les pilotes de ligne ont tué des centaines de passagers depuis 1982* », Le Temps, 27 mars 2015.

CONNAISSANCES DES ENERGIES, Fondation d'entreprise créée à l'initiative du groupe ALCEN, <http://www.connaissancesdesenergies.org/sortie-irreversible-du-nucleaire-en-Allemagne>, consulté le 21 juillet 2014.

Wikipedia, « Avion de ligne », http://fr.wikipedia.org/wiki/Avion_de_ligne#_de_ligne_.C3.A0_r.C3.A9action_commercialis.C3.A9s – consulté 18 mai 2015)

Wikipedia, « Faibles doses d'irradiation », http://fr.wikipedia.org/wiki/Faibles_doses_d%27irradiation, consulté 15 mai 2015.

Wikipedia, « Nuclear Weapons Testings », http://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_weapons_testing (consulté mai 2015)