

## L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL

### 1. LE DÉROULEMENT

Le 26 avril 1986 à 1h23, le réacteur nucléaire n° 4 de la centrale de Tchernobyl, en service depuis 1983, explose accidentellement.

Il était prévu d'y faire un essai de sûreté, visant à démontrer qu'à basse puissance, le réacteur peut supporter une panne d'alimentation électrique entraînant l'arrêt du refroidissement, et s'arrêter par lui-même sans que les barres d'arrêt d'urgence ne chutent.

La baisse de puissance est entamée le 25 avril. Sur demande du centre de distribution électrique, la baisse de puissance est interrompue et le réacteur est maintenu à mi-puissance entre 13h et 23h.

Vers 23h, la réduction de puissance reprend mais, dans cet état de forte accumulation de xénon-135, le réacteur est réputé difficile à contrôler.

Le 26 avril à 1h15, les opérateurs décident néanmoins d'effectuer l'essai prévu et désactivent des systèmes d'arrêt d'urgence et de refroidissement.

À 1h 22, le système automatique de contrôle du réacteur requiert l'arrêt immédiat. Le personnel décide toutefois de continuer l'essai.

À 1h 23' 04", les vannes d'alimentation de la turbine en vapeur sont fermées, contrairement à ce que préconise la procédure. La pression de vapeur produite par le réacteur augmente dans les circuits ainsi isolés.

À 1h 23' 21", les barres de contrôle de la réaction nucléaire descendent automatiquement sans effet notable.

À 1h 23' 40", le chef opérateur ordonne l'arrêt d'urgence : la totalité des barres est descendue dans le cœur. Cela devrait théoriquement arrêter la réaction en chaîne, mais rien ne se passe.

À 1h23'44", le pic de puissance est atteint en quelques secondes, dépassant de plus de 100 fois la puissance normale de ce réacteur.

### 2. LES DÉGÂTS

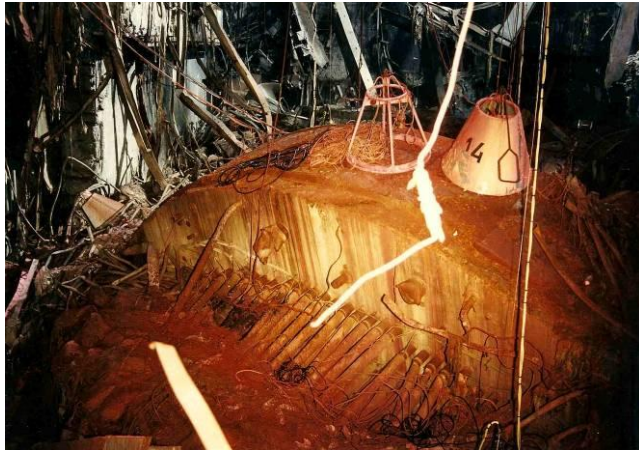
La dalle (d'une masse de 2000 tonnes) de la cuve renfermant le cœur a été soulevée et basculée à 90° (voir photo), sous l'effet de l'explosion du combustible fondu réagissant avec l'eau de refroidissement et/ou de la vaporisation instantanée de l'eau des tubes de force.



Une seconde explosion chimique, due à l'hydrogène formé par radiolyse et décomposition de l'eau, a ensuite détruit le toit du bâtiment, permettant la fuite dans l'atmosphère des produits de fission.

Le graphite (utilisé comme modérateur) a pris feu, trente foyers s'allumèrent dans l'installation et la tranche N°3 attenante. Il faudra trois heures aux pompiers pour les éteindre provisoirement ; le feu dans le réacteur ne sera éteint que le 9 mai.

Du 27 avril au 10 mai, 5 000 tonnes de matériaux (sable, bore, argile, plomb, etc.) sont déversées par hélicoptère pour recouvrir le réacteur. Il a même fallu injecter de l'azote liquide pour éviter que le corium n'atteigne un bassin d'eau situé dans les sous-sols.



Dalle du réacteur renversée



Coulée de combustible en « patte d'éléphant »

### 3. LES CAUSES

La première cause de l'accident est le réacteur lui-même : extrapolé de petits réacteurs plutonigènes mais avec des inhomogénéités spatiales à cette taille de puissance (1000 MWe), ce type de réacteur présentait de nombreuses lacunes vis-à-vis de la sûreté nucléaire qui n'étaient pas prises en compte par les autorités soviétiques : l'accent était mis sur la formation du personnel plus que sur la conception.

Mais le personnel n'était pas formé à la « culture de sûreté » : il a lancé l'essai en dehors des conditions prévues, violant les consignes et désactivant les systèmes de sécurité.

Et quand le chef de quart a ordonné la chute des barres, elles ont eu l'effet inverse du ralentissement attendu<sup>1</sup> : leur chute a déclenché l'excursion de puissance !

### 4. LES CONSÉQUENCES EN URSS

#### 4.1 LES « LIQUIDATEURS »

Les premières victimes furent les pompiers (237 intervenants) qui luttèrent plusieurs jours pour empêcher l'extension des foyers d'incendie aux réacteurs voisins.

Exposés à des doses létales en quelques minutes, 28 d'entre eux, les plus irradiés, moururent au cours des 2 ou 3 semaines suivantes. 19 autres décédèrent entre 1987 et 2004, pour des causes diverses pas nécessairement associées aux rayonnements.

Les 600 000 liquidateurs<sup>2</sup> et 400 000 personnes évacuées ont été suivis de façon diverse. L'OMS estime à 4000 le nombre de décès prématurés en 20 ans, dus à l'exposition radiologique.

#### 4.2 LES POPULATIONS

Sous l'effet de l'énergie libérée par l'accident, les produits radioactifs émis s'élevèrent jusqu'à plus de 1 200 mètres de hauteur. Les rejets se poursuivirent jusqu'au 5 mai, sous l'effet de l'incendie consécutif à l'accident, puis de la chaleur dégagée en continu par le cœur détruit du réacteur.

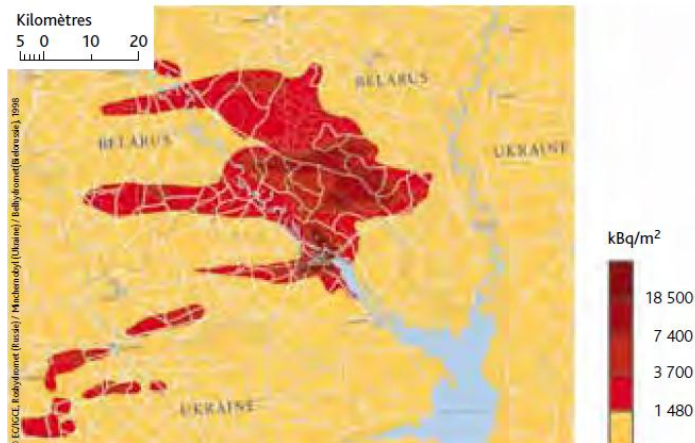
Au total, ce sont près de 12 millions de térabecquerels (TBq) qui, en 10 jours, furent dispersés dans l'environnement,

Les vents portaient au début en direction du N-O, à travers la Biélorussie et les Pays Baltes, ce qui a protégé la ville de Kiev (3 millions d'habitants) située à 80 km au sud, et le réservoir du Dniepr qui alimente en eau une grande partie de l'Ukraine.

Ce sont d'ailleurs les Suédois qui ont donné l'alerte, à partir des balises situées autour des centrales nucléaires. Après la direction du panache, le deuxième facteur de contamination sont les conditions de précipitations atmosphériques : 70% des précipitations radioactives sont retombées sur la Biélorussie (Tchernobyl se trouve quasiment à la frontière de l'Ukraine, la Biélorussie et la Russie).

<sup>1</sup> Les barres de commande en carbure de bore étaient munies d'une partie inférieure en graphite qui, augmentant la modulation, favorisait la réaction neutronique en chaîne.

<sup>2</sup> Le terme russe se réfère au personnel qui a « liquidé » les conséquences de l'accident. Comme leur statut a été protégé par la législation médico-sociale de l'Union soviétique, leur nombre s'est multiplié sans relation avec leur exposition aux rayonnements. On estime à 200 000 le nombre de personnes ayant effectivement participé aux interventions à risque radiologique.



La contamination des sols a été :

- 10 000 km<sup>2</sup> entre 500 et 1 500 kBq/m<sup>2</sup>
- 20 000 km<sup>2</sup> entre 200 et 500 kBq/m<sup>2</sup>.

Dans un rayon administratif de 30 km autour de la centrale, 150 000 personnes ont été évacuées dans un premier temps à partir du 2<sup>e</sup> jour après l'accident et pendant plusieurs semaines (contamination au sol = 1,5 MBq/m<sup>2</sup>).

Au total, environ 400 000 personnes ont été déplacées sur les 3 pays. Près de 6 millions d'individus ont été exposés à une contamination qui s'est traduite, selon les lieux, par des doses à l'organisme entier comprises entre 50 et 150 mSv (milliSievert) cumulées en quelques semaines.

### 4.3 LES CONSÉQUENCES SANITAIRES

Le rapport des Nations Unies (UNSCEAR) réactualisé en 2011 confirme le chiffre de 7000 cancers de la thyroïde, en très grande majorité chez les jeunes enfants. Le nombre de décès connus depuis 2006 est de 15, car ce type de pathologie est opérable. Les doses moyennes à la thyroïde chez les personnes atteintes d'un cancer ont été évaluées à 500 mSv. La consommation de produits laitiers locaux, et la carence en iode chez des populations consommatrices de sel gemme, ont été des facteurs aggravants.

Ni chez les 530 000 liquidateurs ni chez les 6 400 000 habitants des zones contaminées (à des niveaux supérieurs à 37 kBq/m<sup>2</sup>), on ne distingue d'augmentation établie du nombre des cancers (à l'exception des cancers thyroïdiens chez les enfants), ni de toute autre pathologie en relation avec l'exposition reçue. (Cette information concerne bien sûr les maladies génétiques – ce qu'on savait depuis les bombardements d'Hiroshima et Nagasaki).

Cette information peut paraître paradoxale et mérite d'être commentée.

D'une part, les cancers étant la cause principale de mortalité « naturelle » parmi nos populations, il est très difficile, compte tenu des fluctuations d'une année sur l'autre, de détecter une légère augmentation de mortalité par cancer (voir la [fiche GASN N° 42 Epidémiologie](#)). D'autant que le territoire biélorusse était déjà contaminé chimiquement par des métaux lourds et, d'après les médecins, la radioactivité a pu déclencher un effet cumulatif désastreux pour la santé des individus fragilisés.

D'autre part, les cancers ne sont pas les seules conséquences radiologiques sur l'organisme : les rayons provoquent une baisse des défenses immunitaires (comme le SIDA) et les médecins rencontrés dans les hôpitaux de Kiev ont confirmé que les taux de morbidité des liquidateurs étaient ceux de personnes plus âgées : sur le plan sanitaire, ils avaient vieilli prématurément. Enfin, il ne faut pas oublier que les suites de cet accident, resté caché aux Soviétiques jusqu'à l'évacuation soudaine de Pripjat<sup>3</sup>, se sont déroulées en concomitance avec un bouleversement politique<sup>4</sup>, social et économique<sup>5</sup> qui a impacté la santé des populations<sup>6</sup>.

Au résultat, il est impossible de faire la part des conséquences de Tchernobyl par rapport aux autres bouleversements sociaux des quinze années qui ont suivi l'accident ; les spécialistes de la santé ne tirent de bilan précis et incontestable que pour ce qui concerne les cancers de la thyroïde chez les enfants.

<sup>3</sup> Ville construite pour les travailleurs de la centrale de Tchernobyl, et située à vol d'oiseau à 3 km de la centrale

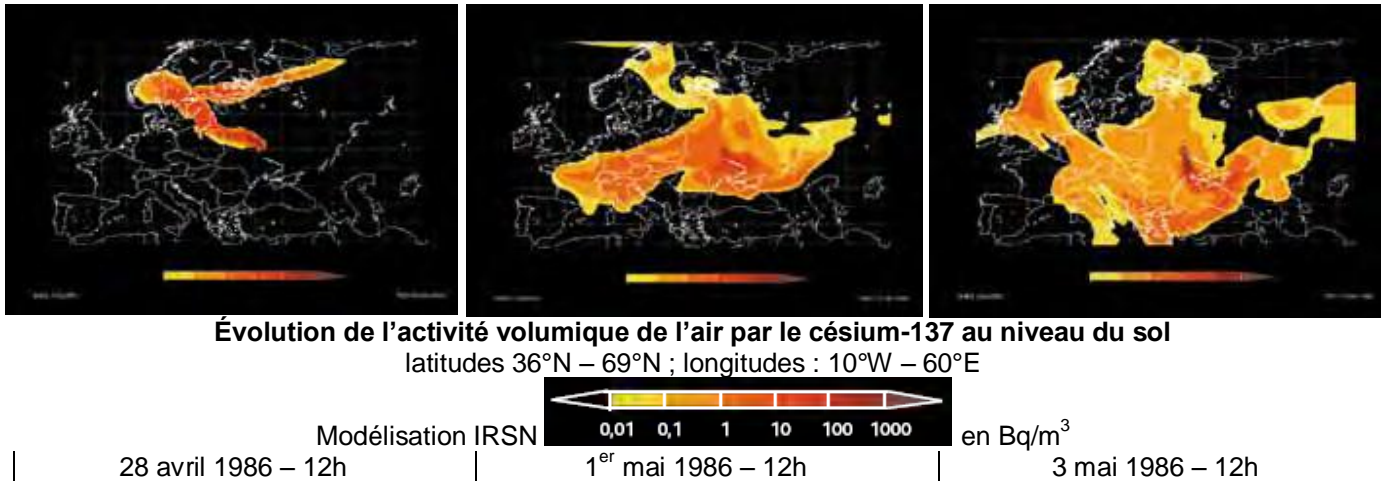
<sup>4</sup> Guerre d'Afghanistan, retour des cercueils en Russie, puis la dissolution de l'Union Soviétique ayant entraîné en Ukraine et en Biélorussie une catastrophe économique (inflation galopante), sociale et médicale

<sup>5</sup> En 1995, 9 ans après l'accident, la monnaie ukrainienne avait subi une inflation d'un facteur 100 000 ! Pour payer leurs agents, les directeurs des centrales nucléaires étaient obligés d'imprimer des coupons échangeables dans les magasins de la ville locale contre de l'électricité.

<sup>6</sup> Détresse psychologique des 115.000 personnes évacuées, pour quelques milliers d'entre elles sans raison radiologique, carences alimentaires, perte de confiance en l'avenir conduisant à des états dépressifs jugés souvent favorables au tabagisme et à l'alcoolisme.

## 5. LES CONSÉQUENCES EN EUROPE CENTRALE ET OCCIDENTALE

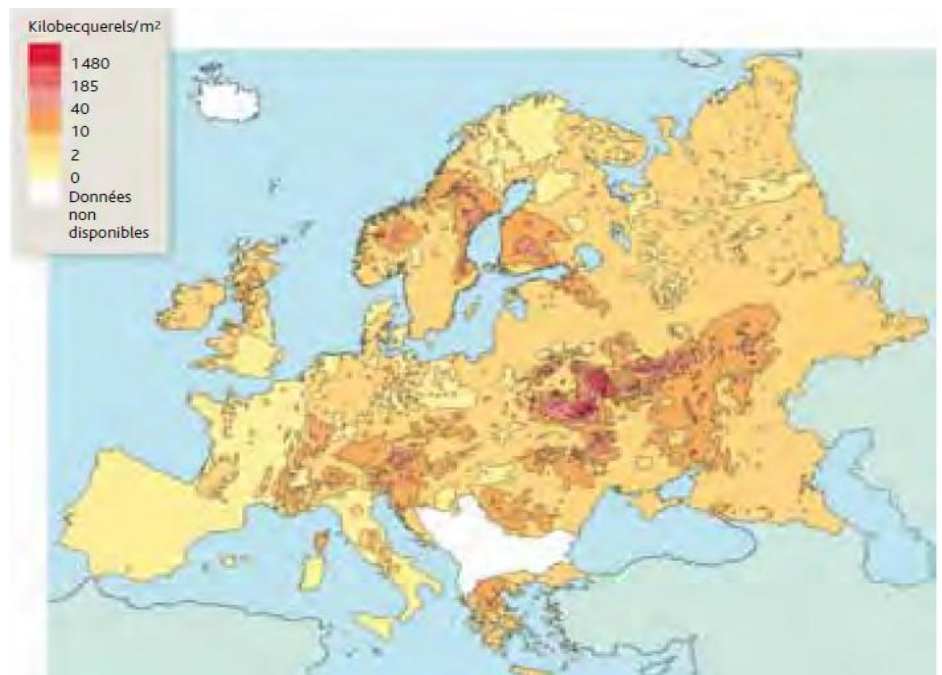
Le panache s'est dispersé sur l'Europe Centrale où vivaient environ 300 millions de personnes, à des niveaux dix à vingt fois inférieurs à ceux mesurés en Biélorussie.



L'atlas européen auquel a contribué l'IRSN montre que si la France n'a pas été épargnée par le « nuage de Tchernobyl », c'est surtout en raison des précipitations dans l'Est du pays et sur les Alpes, la Corse étant touchée comme les régions proches de l'Italie.

Les dépôts dépassent 40 kBq/m<sup>2</sup> en Scandinavie, dans le sud de la Roumanie, en Moravie, en Autriche et au nord de la Grèce. La Bavière, la Suisse et le Nord de l'Italie ont été impactés sur des surfaces plus réduites.

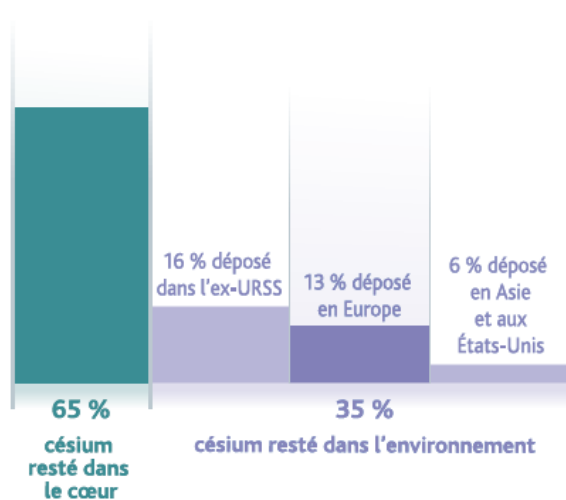
Ces niveaux de contamination correspondent à des doses annuelles de quelques mSv, comparables aux doses naturelles dans certaines contrées (Inde).



Les niveaux sont suffisamment faibles pour qu'il ne soit pas possible d'établir un lien direct entre l'accident et les conséquences sanitaires pour les populations d'Europe centrale et occidentale.

Les pays concernés n'étaient pas préparés ni à communiquer sur ce type d'accident, ni à appliquer des normes d'ingestion qu'il a fallu décider au pied levé, ce qui a créé une grande cacophonie en Europe. Apparemment, c'est en Suisse que la communication a été la mieux maîtrisée.

## 6. LES CONSÉQUENCES SUR LA FAUNE ET LA FLORE



Après 1986, la contamination reste surtout fixée dans les 10 à 20 premiers centimètres dans la majorité des sols.

Même si la contamination des produits agricoles diminue globalement au fil des années, il n'est pas rare d'observer fréquemment des valeurs élevées de concentration de césium 137 jusqu'au début des années 1990 (Gomel, Biélorussie).

La chute des feuilles entraîne localement une contamination importante des arbres et des sols des forêts sur une surface d'environ 40 000 km<sup>2</sup>. Le transfert des éléments radioactifs par les racines, beaucoup plus lent que le transfert direct par les feuilles, contribue néanmoins à entretenir une contamination chronique des végétaux et du reste de la chaîne alimentaire dans les territoires les plus touchés autour de Tchernobyl.

Aujourd'hui, l'accès à la zone des 10 km reste strictement réglementé, mais les anciens habitants sont venus se réinstaller dans la zone des 30 km.

## 7. LE « SARCOPHAGE »

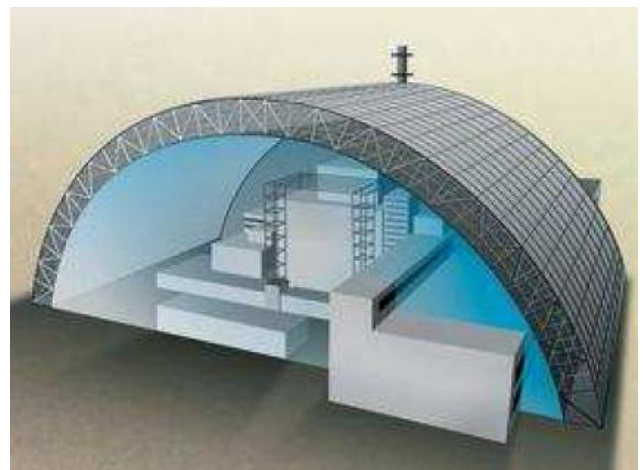
Construit de mai à novembre 1986 dans des conditions d'urgence, cette enveloppe de 300 000 tonnes, constituée de plaques de métal simplement posées à distance avec des grues, avait pour rôle de limiter la dispersion du combustible dans l'environnement, de limiter les entrées d'eau de pluie, et de permettre la reprise de l'exploitation du réacteur N°3 mitoyen qui partageait des auxiliaires et le hall des turbines. Pour ménager le refroidissement du cœur ruiné, les plaques présentaient des ouvertures (1000 m<sup>2</sup>) qui ont été réduites de moitié pendant les travaux de consolidation de 1995-1997.

Le combustible fondu et mélangé au béton et à l'acier s'est transformé, sous l'effet de la radiolyse due à l'humidité et à l'irradiation, en poussières qui risquaient d'être remises en suspension. Afin d'isoler de façon étanche les matières nucléaires de l'environnement, puis de les reprendre et les conditionner de façon sûre, une nouvelle enveloppe baptisée « arche » a été étudiée, et sa construction a débuté en 2006. Les études et la réalisation sont financées par un fonds international mis en place par le G7 et géré par la BERD.

Il faudra plusieurs dizaines d'années pour que les Ukrainiens assainissent les ruines du réacteur.



**Sarcophage et Réacteur N°3**



**Projet d'« arche » recouvrant le sarcophage**



Poutres supportant le Sarcophage

Coulée de combustible sous le réacteur

## 8. LES LEÇONS TIRÉES

Les RBMK ont progressivement été arrêtés à Tchernobyl et à Ignalina (Lituanie), mais ils continuent de fonctionner en Russie, après des modifications qui portent principalement sur la réduction de l'effet de vide<sup>7</sup> (augmentation de l'enrichissement du combustible), le dessin de barres de contrôle (suppression de la partie inférieure en graphite), la protection de la dalle supérieure contre les accidents de surpression.

Au niveau mondial, des associations se sont mises en place pour partager le retour d'expérience : au niveau des exploitants (WANO : World Association of Nuclear Operators) et au niveau des autorités de sûreté (WENRA : Western European Nuclear Regulators Association) ; une échelle médiatique INES (International Nuclear Events Scale) a été créée, et la notification d'un accident nucléaire, d'un pays à l'autre, accélérée ; l'AIEA a créé des groupes consultatifs (INSAG : International Nuclear Safety Advisory Group) qui a rédigé une doctrine de sûreté partagée<sup>8</sup>. (L'accident de Fukushima ([Fiche GASN N° 47](#)) a montré que cette ligne de sûreté, alignée sur les règles les moins contraignantes, restait néanmoins insuffisante).

La préparation des crises et la communication ont été améliorées ; les exercices de crise mettant en jeu les plans particuliers d'intervention (PPI) ont été multipliés, en incluant des observateurs étrangers.

La gestion du traumatisme post-accidentel de populations nombreuses est un enseignement majeur de cette catastrophe qui a touché toute l'Europe.

## BIBLIOGRAPHIE

- IRSN : « Tchernobyl », livret thématique ([www.irsn.fr](http://www.irsn.fr)) – d'où sont tirées les figures présentées
- Henri FÉROUL : « Tchernobyl : les réalités... 22 ans après » ; l'hippocampe - n°60 - Décembre 2008
- UNSCEAR, annexe D : « Health effects due to radiation from the Chernobyl accident », New York 2011
- Nouveau regard sur Tchernobyl, Revue générale nucléaire, mars-avril 2006
- SFEN, accident de Tchernobyl ([www.sfen.fr](http://www.sfen.fr))
- Bernard Lerouge : « Tchernobyl, Un «nuage» passe... » ; ed. L'Harmattan

Les photos de l'intérieur du « sarcophage » ont été fournies par V.I. Kupny, Chef de l'INB. C'est l'occasion de lui rendre ici hommage.

<sup>7</sup> Voir [http://www.laradioactive.com/fr/site/pages/Defaults\\_RBMK.htm](http://www.laradioactive.com/fr/site/pages/Defaults_RBMK.htm)

<sup>8</sup> Par exemple, l'INSAG-4 concerne la Culture de sûreté.