

ÉNERGIE ATOMIQUE

NUCLÉAIRE

CHRONIQUE

D'UN FIASCO

TECHNOLOGIQUE

L'ABANDON PROGRAMMÉ DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE
SANCTIONNE L'ÉCHEC D'UNE TECHNOLOGIE
COÛTEUSE ET VIEILLISSANTE QUI LAISSERA
UNE TRACE INDÉLÉBILE DANS LES SOUS-SOLS
DE NOTRE PLANÈTE

CENTRALE NUCLÉAIRE
DE GOESGEN, MARS 2007



Le 2 mars dernier, la société BKW Energie annonçait la fermeture définitive de la centrale de Mühleberg pour le 20 décembre 2019. Trente ans après l'accident de Tchernobyl et cinq ans après celui de Fukushima, cette décision s'inscrit dans la nouvelle stratégie énergétique adoptée par le Conseil fédéral en mai 2011, qui vise à sortir du nucléaire d'ici à 2034. Un changement de direction qui peut être interprété comme le triomphe du mouvement antinucléaire – dont il signe également probablement la fin –, mais qui apparaît aussi, avec le recul, comme l'inéluctable issue d'un fiasco technologique. Entretien avec Walter Wildi, professeur honoraire de la Faculté des sciences, et ancien membre de la Commission fédérale pour la sécurité des installations nucléaires (KSA) de 1997 à 2007 (président de 2002 à 2007).

Campus: Comment analysez-vous la décision d'abandonner l'énergie nucléaire prise par le Conseil fédéral au lendemain de l'accident de Fukushima?

Walter Wildi: Mon interprétation est que Mme Leuthard cherchait une «bonne raison», donc un prétexte pour pouvoir annoncer que la Suisse n'autoriserait plus de nouvelles centrales. Sur le plan économique, c'est une décision très sensée. Le nucléaire est un choix technologique erroné qui a coûté (et qui coûtera encore) des sommes pharaoniques pour un résultat très médiocre. Nous n'en avons plus besoin aujourd'hui. Mais c'est aussi un choix pragmatique, car l'arrêt des centrales est dans tous les cas de figure programmé, soit pour des questions de coûts, comme à Mühleberg, soit pour des raisons de sécurité, comme à Beznau I.

Comme la plupart des pays occidentaux, la Suisse s'est lancée dans le nucléaire au sortir de la Deuxième Guerre mondiale. Quelle était la vision des autorités fédérales à l'époque?

L'histoire du nucléaire civil en Suisse commence au lendemain des bombardements américains sur Hiroshima et Nagasaki en août 1945. En février 1946, le Conseil fédéral met

en effet sur pied une commission chargée d'étudier les possibilités d'équiper la Confédération de l'arme nucléaire afin de pouvoir assurer la défense nationale. Une option qui n'a été abandonnée officiellement qu'en 1988. Cela dit, l'idée qu'il fallait prioritairement développer un volet pacifique de la recherche nucléaire s'est rapidement imposée aux physiciens, qui ont largement adhéré au concept d'«atome pour la paix» consécutif au discours du président des Etats-Unis Eisenhower devant l'Assemblée générale des Nations unies le 8 décembre 1953. C'est dans ce contexte que s'est tenu à Genève, du 8 au 20 août 1955, le premier congrès international sur l'utilisation pacifique de l'énergie atomique. Un événement lors duquel un réacteur nucléaire

a d'ailleurs été transporté du laboratoire d'Oak Ridge dans le Tennessee pour être remonté sur les bords du Léman à des fins de démonstration.

A cette époque, la Suisse étudiait depuis deux ans la possibilité de construire son propre réacteur nucléaire...

Créé en 1953, le groupe de travail Réacteur nucléaire, incluant divers industriels comme Brown-Boveri ou Sulzer, avait en effet pour objectif de mettre au point un réacteur «made in Switzerland». Une volonté qui

s'est concrétisée, au cours des années 1960, par le développement du réacteur expérimental de Lucens. Ce choix n'était pas dénué d'arrière-pensées, puisque le fait d'utiliser de l'uranium élémentaire permettait également à la Confédération de disposer du matériel nécessaire à la confection d'une bombe atomique.

L'expérience a pourtant rapidement tourné court...

En effet, puisque ce premier réacteur suisse, entré en fonction à l'automne 1968, a dû être arrêté dès le mois de janvier 1969, à la suite d'un accident majeur.

Que s'est-il passé?

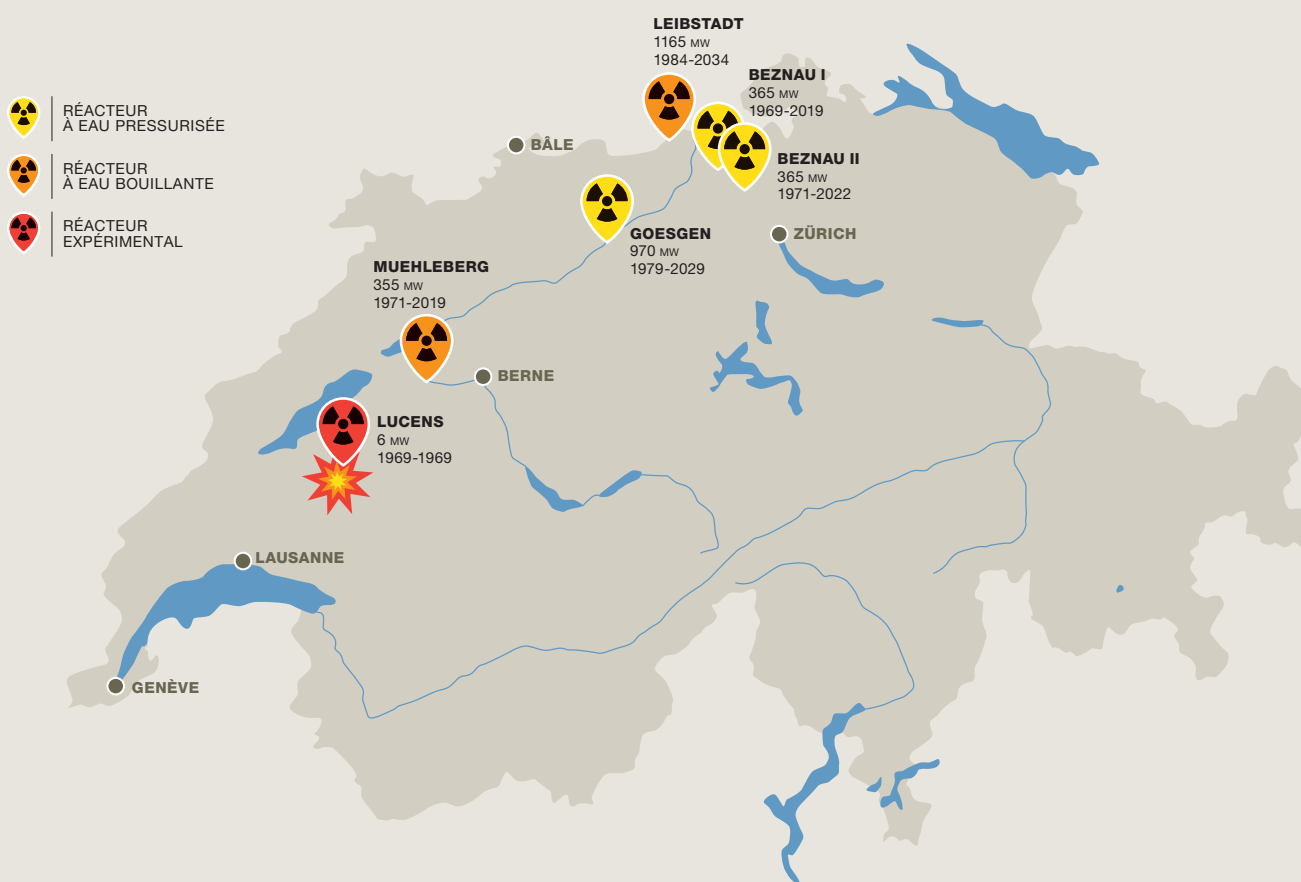
Au cours d'une procédure de démarrage, un problème de refroidissement a entraîné une fusion partielle du cœur et

«LE NUCLÉAIRE EST UN CHOIX TECHNOLOGIQUE ERRONÉ QUI A COÛTÉ (ET QUI COÛTERA ENCORE) DES SOMMES PHARAONIQUES POUR UN RÉSULTAT TRÈS MÉDIOCRE»

LES RÉACTEURS SUISSES

PUISSANCE NOMINALE EN MÉGAWATTS

ANNÉE DE MISE EN SERVICE ET DATE PRÉVUE DE DÉMANTÈLEMENT



une contamination radioactive massive de la caverne où était situé le réacteur. Ce dernier a été fortement endommagé par l'explosion, mais la majeure partie des substances radioactives est heureusement restée contenue à l'intérieur de la caverne (lire en page 30).

Cette date marque-t-elle un tournant dans l'histoire du nucléaire civil suisse?

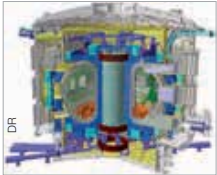
Certainement dans la mesure où, après cet événement, la recherche scientifique nationale s'est rapidement concentrée sur un nombre limité de points concernant la technologie des réacteurs et non plus leur conception. Par ailleurs, l'année 1969 marque aussi l'entrée en fonction de la première centrale nucléaire commerciale du pays, celle de Beznau I, qui est aujourd'hui la plus ancienne centrale en activité au monde depuis la fermeture de celle d'Oldbury (Angleterre) en février 2012. Il s'agit d'une installation fonctionnant avec un réacteur à eau pressurisée importé des Etats-Unis, ce qui montre bien que les industriels ont rapidement cessé de croire à la possibilité d'une autonomie nationale dans ce domaine. Depuis cette époque, la technologie n'a guère avancé. L'accident de Fukushima a certes relancé l'intérêt sur le sujet, mais il a aussi mis en évidence les lacunes de la Suisse dans ce domaine.

Qu'entendez-vous par là?

A Genève, par exemple, après l'accident de Fukushima en mars 2011, la Faculté des sciences de l'Université a créé, à l'initiative du doyen de l'époque, Jean-Marc Triscone, un groupe de travail afin de pouvoir répondre aux questions des médias. Je me suis alors aperçu que, bien que je sois géologue de formation, j'étais un des seuls membres de l'alma mater, grâce à mes anciennes fonctions au sein de la Commission fédérale pour la sécurité des installations nucléaires, à savoir à peu près comment fonctionnaient les réacteurs équipant les centrales suisses. Et à l'échelle de la Suisse, la situation n'était guère meilleure puisque l'Institut Forel, qui était pourtant une toute petite structure, comptait en 2011 environ dix fois plus de publications dans des revues internationales en sciences de l'environnement que le total des articles traitant de technologie nucléaire issus de laboratoires suisses. Ce qui explique la situation de blocage dans laquelle nous sommes rapidement tombés en matière d'innovation, en Suisse comme ailleurs.

Comment expliquez-vous ce manque d'engouement pour le sujet?

Dans leur grande majorité, les physiciens n'ont jamais considéré ce domaine comme étant un sujet d'intérêt scientifique



ITER, la fusion nucléaire au sud de la France

Aux dernières estimations, le réacteur thermonucléaire expérimental international (ITER) devrait être terminé en 2020 pour un coût de 20 milliards d'euros.

ITER est un réacteur de recherche civil à fusion nucléaire de type tokamak construit sur le site de Cadarache, au sud de la France.

Le projet est soutenu par 35 pays : ceux de l'Union européenne, l'Inde, le Japon, la Chine, la Russie, la Corée du Sud, les Etats-Unis et la Suisse.

L'idée consiste à chauffer dans une chambre à vide de forme toroïdale un plasma à 150 millions de degrés afin de permettre la fusion entre le deutérium et le tritium, deux isotopes de l'hydrogène.

Etant une machine expérimentale, ITER ne produira pas d'électricité mais seulement de la chaleur (10 fois plus que l'énergie qu'elle consommera).

Son successeur, DEMO, devrait être le premier réacteur à produire de l'électricité à l'horizon 2040.

particulier. Du coup, cette technologie datant des années 1950 n'a pas connu de développements scientifiques majeurs. Hormis quelques adaptations cosmétiques qui ont permis d'augmenter un peu la production ou la sécurité, rien de fondamental n'a changé.

Le projet de réacteur européen pressurisé (EPR) est pourtant présenté comme la centrale de l'avenir...

Le dispositif construit actuellement à Flamanville (France) est un réacteur à eau pressurisée comparable à celui de Gösgen. Son architecture est celle d'un modèle de la fin de la Deuxième Guerre auquel on aurait ajouté un « ore catcher » afin d'éviter que le cœur ne coule en cas d'accident et quelques autres systèmes de sécurité. Par ailleurs, par manque de savoir-faire, le projet a pris un important retard et, plus inquiétant, des défauts ont d'ores et déjà été signalés sur la cuve du réacteur. Quant à son frère jumeau, situé à Olkiluoto en Finlande, il connaît le même genre de problèmes.

Existe-t-il des alternatives aux centrales classiques que l'on connaît aujourd'hui ?

L'Inde a lancé il y a quelques années un programme de recherche visant à construire des réacteurs d'essai fonctionnant au thorium, élément qui a l'avantage de ne pas pouvoir s'emballer, contrairement à l'uranium. Mais cela n'a pas été plus loin. L'ancien directeur du CERN Carlo Rubbia a, de son côté, proposé en 1993 un procédé qui devait permettre selon lui de produire une énergie nucléaire sûre, sans déchets radioactifs et sans risques de prolifération des armes nucléaires. Le projet a cependant rapidement été considéré comme bancal par une bonne partie de la communauté scientifique. Quant au projet de fusion nucléaire, représenté par le projet international ITER en construction en France, il se fait toujours attendre.

L'arrêt du nucléaire comporte-t-il des risques sur le plan économique ?

Les vieilles centrales sont amorties, les centrales plus récentes ne le sont pas encore entièrement, mais elles produisent à un prix qui n'est plus concurrentiel aujourd'hui compte tenu de la libéralisation du marché de l'électricité. Actuellement, on peut en effet acheter un kWh pour 2 ou 3 centimes d'euro à la frontière suisse alors que les centrales nationales produisent à un coût deux fois plus élevé.

Sans l'apport du nucléaire, qui représente tout de même 40% de l'électricité produite en Suisse, comment assurer l'approvisionnement du pays en énergie ?

Le principal problème n'est pas la production d'électricité, qui se fait de manière de plus en plus décentralisée, notamment grâce aux énergies renouvelables, mais son

transport. L'Allemagne, comme la Suisse, connaît aujourd'hui d'importants problèmes de réseau, ce qui pourrait, à terme, avoir des incidences sur notre approvisionnement énergétique, mais ce n'est de loin pas un problème insurmontable. Ce qui est plus gênant, c'est que le contexte n'est pas optimal pour changer de modèle, pour basculer des énergies fossiles vers le renouvelable.

Pourquoi ?

Pendant des dizaines d'années, les géologues se sont royalement trompés dans leur estimation des réserves disponibles d'hydrocarbure. Ils n'ont en effet pris en compte dans leurs calculs que les trappes ou « réservoirs » dans lesquels le pétrole avait migré depuis la roche mère. Or, grâce au développement technologique des forages à fracturation, on sait aujourd'hui que ces roches mères contiennent, selon les cas, cinq à huit fois plus d'hydrocarbures, sous forme de pétrole ou de gaz, que ce que l'on trouve dans les trappes. Conséquence : certains pays comme les Etats-Unis se retrouvent devant un nouvel Eldorado, ce qui est un très mauvais signe pour ceux qui espéraient un basculement du marché de l'énergie favorable aux énergies renouvelables.

Arrêter les centrales est une chose, les démanteler en est une autre. A qui reviendra la charge de ces opérations ?

En principe, cette responsabilité incombe aux propriétaires des centrales, c'est-à-dire globalement aux sociétés détenues par les cantons et les grandes villes. Mais, compte tenu des pertes que le secteur enregistre actuellement, ils aimeraient bien confier cette opération à la Confédération.

L'opération est-elle compliquée sur le plan technique ?

Des projets de ce genre ont déjà été menés, notamment en Allemagne. Ils ont montré que, du point de vue strictement technique, un démantèlement de centrale est une opération relativement simple. Du point de vue organisationnel, en revanche, c'est une tâche énorme.

Pourquoi ?

Les opérations doivent être planifiées avec le plus grand soin puisque l'idée n'est pas de détruire la centrale, mais de la démonter élément après élément afin de préserver la sécurité du site. En général, on procède en trois étapes. La première consiste à vider le cœur du réacteur et à refroidir les éléments combustibles dans un bassin rempli d'eau. On laisse ensuite passer quelques années pour que les isotopes radioactifs de courte vie soient moins actifs. Parallèlement ou dans un deuxième temps, on peut passer à la déconstruction des installations conventionnelles où la radioactivité est moindre. Pour ce qui reste, c'est-à-dire le réacteur lui-même, il y a deux stratégies.

Lesquelles ?

Certains experts estiment qu'il vaut mieux attendre encore trente ou quarante ans afin de réduire les problèmes de radioactivité, tandis que d'autres pensent que l'on risque de perdre des connaissances et un savoir-faire précieux durant ce laps de temps, raison qui a poussé la Suisse à prescrire un démantèlement immédiat après l'arrêt des centrales afin de profiter des compétences des employés qui connaissent bien le site, qui ont des notions de radio-protection et qui sont capables de réagir rapidement en cas d'incident.

Une fois l'opération achevée, que deviennent les déchets ?

Les experts estiment qu'une fois toutes les centrales démantelées, la Suisse aura à traiter 7500 m³ de déchets hautement radioactifs (soit le volume d'une maison à deux étages) et 90 000 m³ de déchets faiblement contaminés (l'équivalent de la décharge de Bardonnex ou de Bonfol). A l'heure actuelle, tous les déchets issus des centrales suisses sont acheminés au Centre de stockage intermédiaire Zwiilag de Würenlingen dans le canton d'Argovie. Cette solution peut convenir tant qu'il n'y a pas de grandes perturbations politiques, mais il devient problématique en cas d'instabilité car du matériel radioactif pourrait tomber dans de mauvaises mains en vue de fabriquer des bombes sales, ces dépôts ne bénéficiant pas du même degré de surveillance que les centrales. C'est pourquoi la Confédération planche depuis des années déjà sur un projet de stockage en site géologique profond qui devrait aboutir à l'ouverture d'un site pour les déchets faiblement radioactifs vers 2050 et à celle d'un autre pour les déchets hautement radioactifs vers 2060. C'est un programme qui remonte à 1978 mais, depuis, on va d'échec en échec faute de vision globale.

Pouvez-vous préciser ?

Accaparés par la recherche d'un site, les promoteurs du projet oublient le problème constitué par la qualité des déchets qu'il s'agira d'y entreposer. Dans les centrales à ébullition, on utilise par exemple des résines pour la filtration des eaux. Ce sont des matériaux 100% organiques qui, depuis des décennies, sont compressés avant d'être stockés dans des cuves en acier scellées de façon hermétique. Le problème, c'est que la législation interdit de stocker des déchets qui contiennent plus de 4 ou 5% de matières organiques. En cas d'infection bactérienne, ces déchets produisent en effet du gaz, exactement comme le ferait un compost, ce qui les rend hautement instables. Pour contourner ce problème, un four d'incinération a été construit à la fin des années 1990 sur le site de Zwiilag. Malheureusement, le concept qui a été choisi ne permet d'incinérer que des déchets faiblement radioactifs et il est donc inutile pour ces résines fortement contaminées.

« UNE FOIS TOUTES LES CENTRALES DÉMANTELÉES, LA SUISSE AURA À TRAITER 7500 M³ DE DÉCHETS HAUTEMENT RADIOACTIFS ET 90 000 M³ DE DÉCHETS FAIBLEMENT CONTAMINÉS »

WALTER WILDI, PROFESSEUR HONORAIRE DE LA FACULTÉ DES SCIENCES

Quel est le coût global de cette opération ?

Lorsque j'étais étudiant, on évoquait un coût de 1,5 milliard de francs. Depuis le chiffre a grimpé à 21 milliards. Cela peut paraître beaucoup, mais c'est une broutille en regard de ce que pourrait coûter un accident nucléaire. Si ce jour devait arriver et que le vent devait souffler du côté de l'Allemagne, celle-ci demanderait des réparations telles que cela signifierait la fin de la Suisse telle qu'on la connaît aujourd'hui.

A ce propos, comment nos voisins gèrent-ils ce problème ?

L'Allemagne a procédé à des essais de stockage dans les mines de sel d'Asse. Le sel a en effet l'avantage de former une barrière hermétique, sauf s'il est fracturé, et qu'il laisse passer l'eau par ces fractures. Dans le cas d'Asse, les responsables du projet pensaient pouvoir pomper les écoulements existant déjà sur le site. Mais ils ont été dépassés par la situation si bien que les déchets sont en train de se noyer et risquent désormais de polluer la nappe phréatique. Il faudrait donc les déplacer, mais le repêchage est devenu très compliqué et donc très cher. La France a connu le même genre de déconvenue avec des déchets chimiques enterrés dans d'anciennes mines qui, malgré les promesses de départ, ne peuvent plus être récupérés à la suite d'un incendie. Il faut se rendre à l'évidence : dans ce domaine, il n'y aura pas de solution bon marché.

**Une brève sortie du nucléaire**

Arrêt simultané des centrales suisses en 2015

La Suisse est déjà sortie du nucléaire. Un peu par hasard et durant l'espace de quelques heures. Durant la nuit du dimanche 16 août 2015, la centrale de Gösgen a en effet été déconnectée du réseau afin de réparer une fuite de vapeur anodine dans un réacteur non nucléaire. Or, au même moment, le réacteur 2 de la centrale nucléaire de Beznau et celui de Leibstadt étaient arrêtés pour cause de révision annuelle. Enfin la centrale de Mühleberg était également inactive à la suite d'un arrêt d'urgence survenu au début juillet en raison d'un composant électronique défectueux.

DÉSASTRES CHRONIQUES

THREE MILE ISLAND, TCHERNOBYL, FUKUSHIMA: TU ME FONDS LE CŒUR!

RETOUR SUR LES TROIS ACCIDENTS MAJEURS DE L'ÈRE NUCLÉAIRE QUI ONT VU DES RÉACTEURS ENTRER EN FUSION ET SE TRANSFORMER EN BOMBES EN PUISSANCE

L'histoire compte trois accidents nucléaires au cours desquels le cœur d'un réacteur a fondu, transformant littéralement la centrale en une bombe en puissance: Three Mile Island en Pennsylvanie, Tchernobyl en Ukraine et Fukushima au Japon. Chaque catastrophe a eu des conséquences environnementales et sanitaires très diverses. Elles ont également toutes apporté leur lot d'enseignements. Schématiquement, la première a montré l'importance vitale de pouvoir connaître à tout instant l'état exact de tous les éléments d'un réacteur nucléaire. La deuxième a mis en évidence qu'il convient de suivre les protocoles de sécurité en toutes circonstances même – et surtout – lorsque des supérieurs donnent l'ordre de mener des expériences. Et on retient de la troisième que l'on ne peut se fier indéfiniment à la chance et qu'il est possible que deux catastrophes majeures s'abattent en même temps sur une installation. Explications avec Martin Pohl, professeur au Département de physique nucléaire et corpusculaire (Faculté des sciences), qui a pris l'habitude de présenter ces trois exemples chaque année à ses étudiants en physique.

Three Mile Island «Le 28 mars 1979 à 4h37 du matin, la centrale de Three Mile Island, située à 140 km de Philadelphie, subit un incident assez banal, raconte Martin Pohl. Un filtre se bloque et entraîne l'arrêt du système de refroidissement secondaire et donc du réacteur. Les réactions de désintégration en chaîne s'interrompent, mais la radioactivité continue d'entretenir une

**CHAQUE
CATASTROPHE A EU
DES CONSÉQUENCES
ENVIRONNEMENTALES
ET SANITAIRES TRÈS
DIVERSES. ELLES ONT
ÉGALEMENT TOUTES
APPORTÉ LEUR LOT
D'ENSEIGNEMENTS**

chaleur résiduelle importante qui fait monter la pression dans le système de refroidissement primaire. Malheureusement, à cause d'une défaillance des voyants de contrôle, les opérateurs reçoivent de mauvaises indications sur la position d'une vanne. Mal préparés à cette éventualité, ils prennent les mauvaises décisions. Résultat: le cœur surchauffe et entre en fusion. Heureusement, l'enceinte de confinement tient le coup.»

Les autorités réagissent rapidement. Le site est évacué à 11h. Malgré une fuite de gaz radioactif dans l'atmosphère, la situation se stabilise lorsqu'on se rend compte qu'une importante bulle d'hydrogène s'est formée dans le bâtiment du réacteur. Si elle n'explose pas, c'est parce qu'il n'y a pas d'oxygène. On ordonne alors une évacuation plus importante de la région et le 30 mars, 140 000 personnes quittent la zone située à moins de 20 miles de la centrale. La bulle d'hydrogène est finalement réduite. Le cœur est alors lentement refroidi, démantelé et stocké dans l'Idaho. La contamination radioactive de la population est restée faible – officiellement du moins. Ce que tendent à confirmer des études épidémiologiques qui peinent à détecter une augmentation des cas de cancer et encore plus à établir un lien avec l'accident.

Quoi qu'il en soit, cet événement marque la fin d'une croissance américaine soutenue dans la construction de centrales nucléaires. A partir de cette date, plus aucune nouvelle installation ne sera autorisée aux Etats-Unis jusqu'en 2012. «L'accident a mis en évidence l'importance de la préparation des opérateurs et, surtout, du suivi, sans faille et à tout instant, de



l'état du réacteur, commente Martin Pohl. C'est absolument essentiel pour des machines aussi complexes qui peuvent s'emballer à tout moment. »

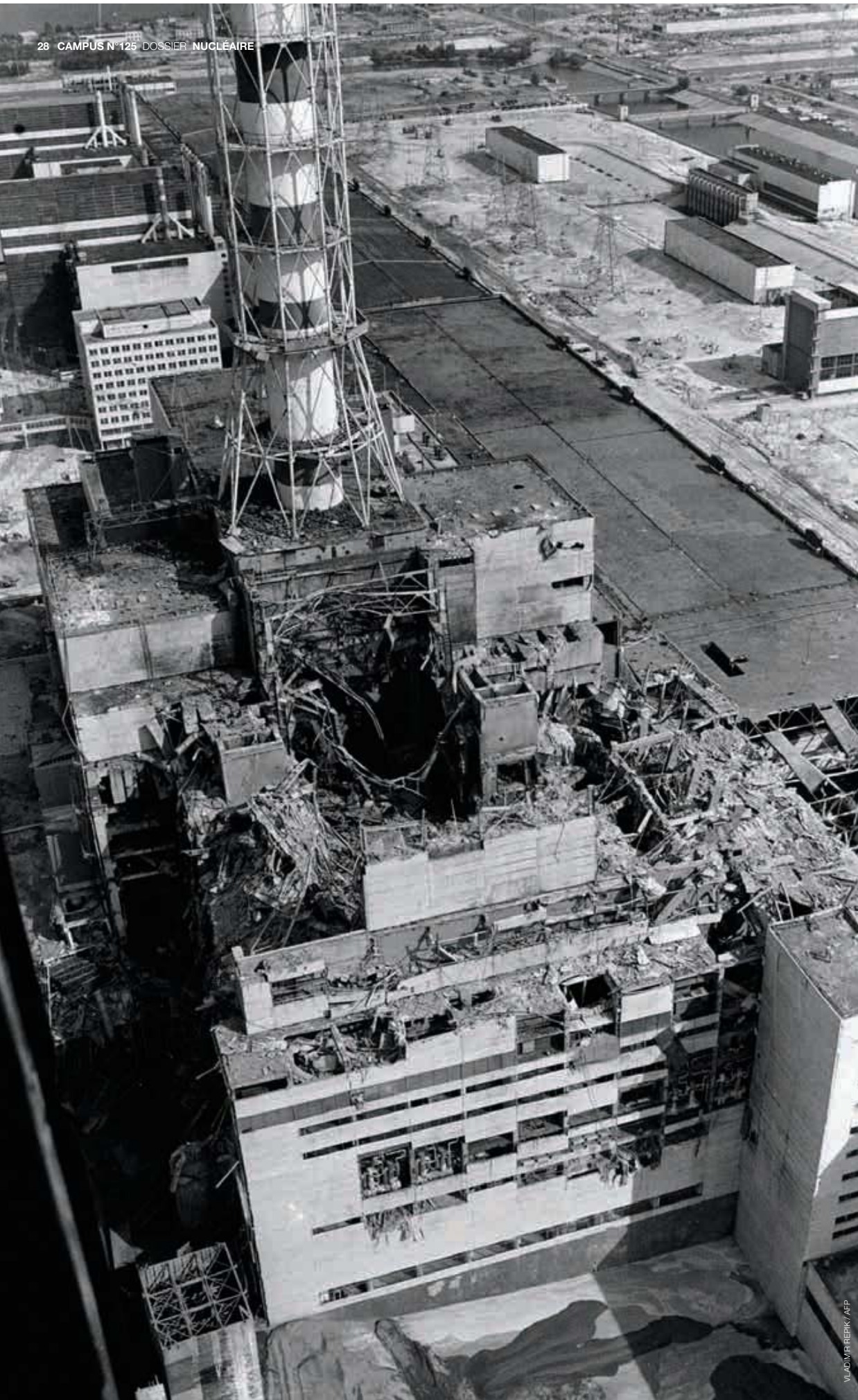
Tchernobyl La leçon de Tchernobyl est autrement plus douloureuse. La catastrophe découle en effet d'une suite de décisions, d'erreurs et de gestes délibérés qui semblent incompréhensibles. Dans la nuit du 25 au 26 avril 1986, les opérateurs de la centrale ukrainienne reçoivent la consigne de mener un test avec le réacteur numéro 4 pour simuler une panne de courant. Au cours de l'expérience, après une erreur de manœuvre initiale, les techniciens s'obstinent et débranchent un à un les systèmes de sécurité. Ils ignorent consciemment les alarmes successives et passent même en pilotage manuel.

Résultat : le réacteur devient incontrôlable et s'emballé. Lorsque les opérateurs s'en rendent compte, il est trop tard. Des simulations de l'accident réalisées après coup montrent que la puissance thermique du réacteur a dû monter à 30 gigawatts (GW) dix fois plus que le maximum prévu. Une première explosion d'hydrogène éjecte le couvercle du cœur de 2000 tonnes qui traverse le toit du bâtiment. Elle est suivie de près par une seconde, probablement due à l'explosion nucléaire du cœur. Un incendie de graphite se déclare contribuant à la dispersion des matériaux radioactifs. Grâce à l'action de quelques volontaires (tous décédés des suites des radiations), un certain nombre de catastrophes

supplémentaires sont évitées, dont l'entrée en contact du cœur fondu avec l'eau d'un bassin situé juste en dessous qui aurait provoqué une explosion supplémentaire.

Le monde n'apprend l'accident que le 28 avril, lorsque le système d'alerte d'une centrale suédoise se déclenche par le passage du panache radioactif de Tchernobyl. La communication soviétique est minimale et la réaction des autorités insuffisante. Il faut attendre un jour avant que la ville voisine de Pripiat soit évacuée. Une zone d'exclusion de 10 km autour de la centrale est établie puis étendue dix jours après à 30 km.

Les conséquences sanitaires et environnementales sont importantes. Le nombre de morts est aujourd'hui encore difficile à chiffrer, mis à part les quelques dizaines de décès intervenus immédiatement après l'explosion sous l'action de radiations intenses. Des milliers, voire des millions de gens (civils habitant sur place ou « liquidateurs » envoyés pour nettoyer le site) reçoivent une dose importante de radiations. Une zone à cheval sur l'Ukraine, la Biélorussie et la Russie est durablement contaminée. Le cœur du réacteur lui-même, réduit à une sorte de lave solidifiée appelée corium qui s'est écoulée sur la dalle soutenant la centrale, restera actif encore des centaines de millions d'années. Un nouveau sarcophage en métal financé par l'Union européenne est en train d'être installé par-dessus l'ancien qui se détériore afin de confiner les matières radioactives et d'aider au démantèlement.



VUE AÉRIENNE DU RÉACTEUR 4 DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE TCHERNOBYL, PRISE AU MOIS D'AVRIL 1986, QUELQUES JOURS APRÈS L'ACCIDENT.

ÉTABLIE PAR L'AGENCE INTERNATIONALE DE L'ÉNERGIE ATOMIQUE ET L'AGENCE DE L'OCDE POUR L'ÉNERGIE NUCLÉAIRE, L'ÉCHELLE DE CLASSEMENT DES ÉVÉNEMENTS NUCLÉAIRES (INES) COMPTE SEPT PALIERS.

7. ACCIDENT MAJEUR, REJET MAJEUR DE MATIÈRES RADIOACTIVES AVEC DES EFFETS ÉTENDUS SUR LA SANTÉ ET L'ENVIRONNEMENT (TCHERNOBYL EN 1986, FUKUSHIMA EN 2011).

6. ACCIDENT GRAVE, REJET IMPORTANT DE MATIÈRES RADIOACTIVES (EN 1957, UNE CUVE DE DÉCHETS DE HAUTE ACTIVITÉ EXPLOSE À KYCHTYM EN RUSSIE).

5. ACCIDENT AYANT DES CONSÉQUENCES ÉTENDUES, REJET LIMITÉ DE MATIÈRES RADIOACTIVES (THREE MILE ISLAND EN 1979, INCENDIE DANS UN CŒUR DE RÉACTEUR À WINDSCALE PILE AU ROYAUME-UNI EN 1957).

4. ACCIDENT AYANT DES CONSÉQUENCES LOCALES, REJET MINEUR DE MATIÈRES RADIOACTIVES (LUCENS EN 1969, FUSION DE 50 KG D'URANIUM DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE DE SAINT-LAURENT-A1 EN FRANCE EN 1969).

3. INCIDENT GRAVE, TRÈS FAIBLE REJET DE MATIÈRES RADIOACTIVES (FUITE DE 300 TONNES D'EAU RADIOACTIVE À LA CENTRALE DE FUKUSHIMA EN 2013, FUITE D'IODE RADIOACTIF À FLEURUS EN BELGIQUE, FUITE NUCLÉAIRE À SELLAFIELD (EX-WINDSCALE) EN 2005).

2. INCIDENT, EXPOSITION D'UNE PERSONNE DÉPASSANT LES LIMITES ANNUELLES.

1. ANOMALIE, NON-RESPECT DES LIMITES D'EXPLOITATION DANS UNE INSTALLATION NUCLÉAIRE.



Depuis cette catastrophe, la technologie particulière utilisée à Tchernobyl (RBMK) a perdu son souffle. A ce jour, cinq réacteurs de ce type ont été fermés, une dizaine de projets abandonnés et les 11 qui demeurent en fonction (tous en Russie) ont subi des modifications afin d'éviter qu'un tel scénario ne se répète.

Fukushima L'accident survenu le 11 mars 2011 à Fukushima au Japon est, quant à lui, placé sous le signe de la malchance. *« Je pense que les installations auraient pu résister à chacune des deux catastrophes naturelles qui l'ont provoquée si elles avaient eu lieu séparément, estime Martin Pohl. Leur conjonction n'a en revanche laissé aucune chance au réacteur. »*

En effet, un tremblement de terre de magnitude 9 commence par endommager l'enceinte et l'alimentation électrique du complexe Fukushima Daiichi. Les machines sont automatiquement arrêtées et le système de refroidissement poursuit son travail. Cinquante minutes plus tard, le tsunami, avec sa vague de plus de 10 mètres de haut, balaye tout. L'eau détruit l'alimentation électrique, les systèmes de

refroidissement secondaire et les générateurs diesel de secours. Un système de refroidissement de dernier recours se met en marche mais est à son tour stoppé à cause de la défaillance de ses batteries.

Les trois cœurs surchauffent et entrent en fusion. De l'hydrogène est produit et provoque des explosions violentes les 12 et 14 mars. En raison de vents favorables, la majorité de la pollution radioactive est poussée vers l'océan. Des pluies provoquent néanmoins la contamination d'une large zone de 40 km à l'intérieur des terres. Malgré des infrastructures et des transports en grande partie détruits, les autorités parviennent à évacuer efficacement 200 000 personnes en trois jours. Aucun mort n'est imputable à une irradiation excessive.

« Ce genre d'accident oblige les autorités à ne plus exclure la possibilité que deux catastrophes puissent survenir en même temps au même endroit, précise Martin Pohl. En Suisse cela pourrait se traduire par un tremblement de terre important et un arrêt du système de refroidissement. Ou une panne électrique générale et la chute d'un avion sur la centrale. »

GROTTE RADIOACTIVE

LUCENS SONNE LE GLAS DES AMBITIONS NUCLÉAIRES SUISSES

AU MOMENT DE SA MISE EN SERVICE, LE PREMIER ET SEUL RÉACTEUR NUCLÉAIRE EXPÉRIMENTAL SUISSE EST VICTIME D'UNE PANNE. UNE PARTIE DE SON CŒUR FOND ET PROVOQUE DES EXPLOSIONS. CET ACCIDENT MET FIN À L'AMBITION DE FABRIQUER UNE CENTRALE NUCLÉAIRE 100% HELVÉTIQUE

Le projet de la centrale nucléaire expérimentale de Lucens (CNEL) dans le canton de Vaud, dont l'accident en 1969 fait partie des dix avaries de ce type les plus graves enregistrées dans le monde, est né dans les années 1950. C'est une époque marquée par un espoir démesuré dans l'énergie produite par la fission des atomes. Et la Suisse compte bien des enthousiastes dans ses rangs.

Un professeur de l'École polytechnique fédérale de Zurich propose ainsi en 1956 de remplacer le système de chauffage obsolète de son institution par un réacteur nucléaire qui fournira en même temps l'électricité nécessaire aux bâtiments.

Le projet, prévu pour être installé dans une caverne à

UN PROFESSEUR DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE FÉDÉRALE DE ZÜRICH PROPOSE DE REMPLACER LE SYSTÈME DE CHAUFFAGE DE SON INSTITUTION PAR UN RÉACTEUR NUCLÉAIRE

42 mètres de profondeur directement sous l'EPFZ, est salué par l'ensemble des autorités communales et cantonales. Il rassemble aussi une série d'industriels regroupés autour de la compagnie Sulzer. Tout aussi optimistes, les producteurs d'électricité suisses (Atel, NOK, FMB et EOS) créent en 1957 la société Suisatom AG dans l'idée de construire une centrale logée, elle aussi, dans une caverne à proximité de Villigen en Argovie.

Un troisième plan est élaboré par le groupe industriel romand Enusa (Energie nucléaire SA). Soutenue par les sociétés genevoises des Ateliers des Charmilles et de

Sécheron, l'idée consiste à fabriquer un réacteur nucléaire d'après un modèle américain déjà existant et de l'exhiber lors de l'Exposition nationale suisse de 1964. Une fois de plus, il est prévu d'installer la machine dans une caverne, près de Lucens dans le canton de Vaud.

En 1959, le Conseil fédéral décide de mettre de l'ordre dans ces initiatives éparses et demande aux trois entités de regrouper leurs forces afin de mettre au point un seul réacteur expérimental de fabrication suisse. Cette machine représenterait une étape intermédiaire avant la construction d'une grande centrale à usage commercial.

Uranium légèrement enrichi Les choix technologiques s'arrêtent sur un réacteur utilisant de l'uranium légèrement enrichi comme combustible, de l'eau lourde comme modérateur et du dioxyde de carbone (CO₂) comme fluide de refroidissement. Ce dernier produit ensuite de la vapeur destinée à alimenter une turbine connectée à un alternateur.

Prudents, les promoteurs du projet conservent l'idée d'une centrale souterraine. On peut être enthousiasmé par l'énergie nucléaire sans pour autant oublier que celle-ci est entrée dans l'histoire sous la forme de bombes spécialement destructrices. Le site près de Lucens, sur les rives de la Broye, est retenu pour sa structure géologique très homogène. Le premier coup de pioche est donné en juillet 1962 et les travaux durent quatre ans. Le réacteur déclenche sa première réaction en chaîne fin 1966.

Entre ces deux dates, toutefois, l'engouement pour une centrale purement suisse est sérieusement retombé. En février 1964, les Forces motrices du nord-est de la Suisse (NOK) abandonnent le projet et annoncent leur intention d'acheter un réacteur nucléaire américain pour leur future centrale de Beznau. Quelque temps plus tard, les Forces motrices bernoises (FMB) font de même et lancent la construction de Mühleberg.

Il en faut plus, cependant, pour modifier la politique fédérale. L'année 1967 est consacrée à des essais de mise en service de la CNEL. En 1968, on augmente la puissance thermique jusqu'à son maximum de 30 mégawatts (MW). Au cours de cette période, des problèmes apparaissent dans le système de refroidissement, avec des intrusions d'eau



KEYSTONE/PHOTO PRESS-ARCHIV/JOE WIDMER

DES OPÉRATEURS DE LA CENTRALE NUCLÉAIRE EXPÉRIMENTALE DE LUCENS ENFILENT DES COMBINAISONS DE PROTECTION CONTRE LES RADIATIONS AVANT D'ENTRER DANS LA SALLE DU RÉACTEUR, UNE SEMAINE APRÈS L'ACCIDENT SURVENU LE 21 JANVIER 1969.

dans le circuit primaire qui est directement en contact avec les barres de combustibles en uranium gainées de magnésium.

Les défauts sont réparés, l'autorité de sécurité donne son aval et le réacteur démarre pour de bon le 21 janvier 1969. La machine atteint les 12 MW sans encombre mais, à 17h20, deux explosions surviennent à bref intervalle et le réacteur se met subitement à l'arrêt. Quelques secondes plus tard, un mélange gazeux fortement radioactif est relâché dans la grotte.

Infiltrations L'enquête menée par la suite a montré que les infiltrations d'eau survenues au cours des essais avaient corrodé la gaine en magnésium du combustible sans que les opérateurs s'en rendent compte. Les produits de cette réaction chimique ont partiellement bouché le circuit de refroidissement d'un des barreaux de combustible. Insuffisamment refroidi par le CO₂ lors de la montée en puissance du réacteur, cet élément de combustible a subi une surchauffe passée inaperçue parce que le barreau n'était pas pourvu d'une sonde de température. A 600 °C, la gaine puis l'uranium lui-même ont fondu. Le processus a gagné de proche en proche les barreaux voisins. Le métal s'est enflammé au contact du CO₂, provoquant une libération massive de produits radioactifs et l'arrêt d'urgence automatique du réacteur. L'incendie a toutefois continué, déclenchant une première

explosion qui a projeté dans la caverne près de 1100 kg d'eau lourde, un mélange en fusion de magnésium et d'uranium et du CO₂ contaminé. Cette mixture n'a pas tenu une seconde avant d'exploser et de causer des éjections supplémentaires de matières radioactives.

L'essentiel de la contamination est heureusement resté confiné dans la caverne du réacteur. Le personnel, qui a enfilé assez rapidement des masques respiratoires, a subi des radiations mais à des niveaux très en dessous des normes admises. L'environnement et la population proche ont également reçu une dose mesurable mais négligeable du point de vue sanitaire.

En revanche, il a fallu cinq ans pour décontaminer l'intérieur de la caverne et démanteler le réacteur. Aujourd'hui, la panne de la centrale de Lucens est qualifiée d'«accident ayant des conséquences locales». Par conséquent, elle est placée au niveau 4 sur les 7 que compte l'échelle de classement des événements nucléaires (INES) établie par l'Agence internationale de l'énergie atomique et l'Agence de l'OCDE pour l'énergie nucléaire (lire en page 28).

« ATOMS FOR GENEVA »

LA PETITE HISTOIRE DU MINI-RÉACTEUR GENEVOIS

DE 1958 À 1989, L'UNIVERSITÉ A HÉBERGÉ UN RÉACTEUR NUCLÉAIRE DE DÉMONSTRATION OFFERT PAR LES ÉTATS-UNIS. C'EST LA DEUXIÈME MACHINE DE CE GENRE INSTALLÉE SUR LE TERRITOIRE SUISSE

Les résidents du quartier de la Jonction n'ont jamais su qu'ils ont vécu, de 1958 à 1989, au voisinage d'un réacteur nucléaire. Il s'agissait d'un petit appareil de démonstration, acquis par le Fonds national suisse de la recherche scientifique au bénéfice de l'Université de Genève où il a servi à l'enseignement ainsi que, dans une moindre mesure, à la recherche, essentiellement en chimie et en minéralogie.

Construit par la compagnie américaine Aerojet General Nucleonics Corporation, le réacteur de type AGN-201-P est amené et monté à Genève à l'occasion de la deuxième exposition *Atoms for peace* qui se tient dans la ville du bout du lac en 1958. Acquis à la suite de cette manifestation internationale pour la somme de 180 000 dollars, le réacteur est installé dans l'annexe de l'Institut de physique de l'Université, dite annexe du réacteur. Il est exploité une première fois entre 1959 et 1960 avant d'être mis temporairement à l'arrêt, faute de personnel. Il s'agit du deuxième réacteur mis en fonction sur le sol helvétique, après le « Saphir », exploité jusqu'en 1993 à l'actuel Institut Paul Scherrer (PSI) en Argovie et acheté, quant à lui, à l'issue de la première conférence *Atoms for peace* en 1955, également à Genève.

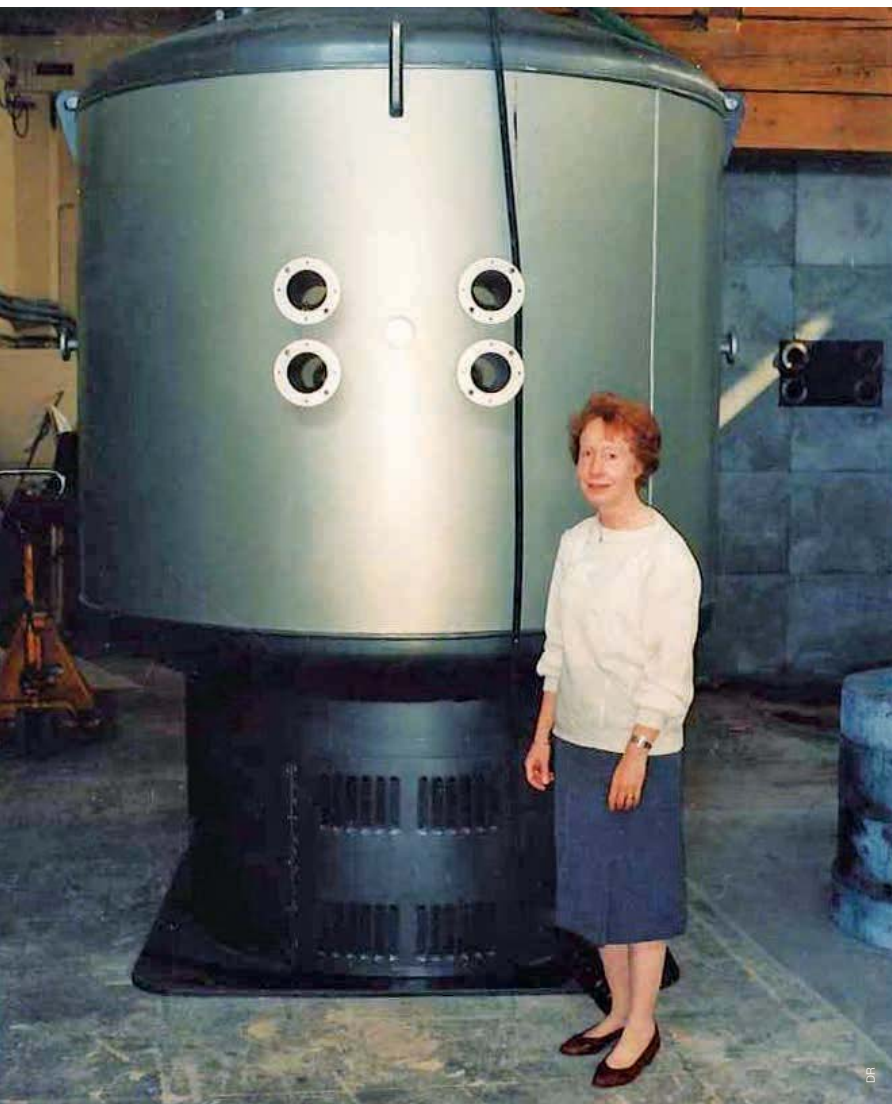
20 Watts Le réacteur genevois fonctionne à l'uranium 238 enrichi à 20% d'uranium 235, ce dernier étant l'isotope fissile qui produit les neutrons indispensables au fonctionnement du réacteur. Le modérateur, qui permet de freiner ces neutrons de manière à entretenir la réaction de désintégration en chaîne, est du polyéthylène, un plastique commun. Le cœur de l'installation n'excède pas 25 cm de côté. Il est entouré d'un réflecteur de graphite, d'une protection de plomb de 10 cm d'épaisseur et d'un dernier rempart aux radiations composé de 55 cm d'eau. En tout, la cuve mesure 2 m de diamètre et 3 m de haut. La puissance



développée par l'appareil, sous forme de chaleur, n'excède pas les 20 watts. À ce niveau, pas besoin de système de refroidissement spécifique.

En 1961, le Conseil d'Etat nomme Ernst Heer au poste de professeur de physique. Le futur recteur de l'Université de Genève est chargé de créer le Laboratoire de physique nucléaire et corpusculaire et, par la même occasion, prié de prendre la responsabilité formelle du réacteur qui doit être remis en service. Lui-même ne l'utilisera jamais dans le cadre de ses travaux. Mais l'idée des autorités consiste à mettre l'appareil à la disposition de l'enseignement, en particulier de l'École technique supérieure (aujourd'hui la Haute école du paysage, d'ingénierie et d'architecture de Genève) et de l'École polytechnique de l'Université de Lausanne (ancêtre de l'EPFL), toutes deux impliquées dans la formation de techniciens et d'ingénieurs spécialisés dans la construction et la gestion des futures centrales nucléaires suisses.

C'est un autre physicien, Roland Beeler, aujourd'hui décédé, qui s'occupe concrètement du réacteur durant environ trente ans. Il signe d'ailleurs quelques articles rapportant des résultats obtenus grâce à lui. Parmi la poignée de scientifiques qui ont utilisé l'AGN-201-P à des fins de recherche se trouvent notamment deux femmes, Lucie Balsenc du Département de chimie minérale et analytique, et Pia Voldet, alors docteure en chimie et responsable du laboratoire de chimie du



Département de minéralogie. «A l'époque, je réalisais des analyses telles que l'identification des terres rares présentes dans certaines roches sous forme de traces, explique Pia Voldet. A l'époque, la seule technique permettant de différencier entre eux ces 14 métaux consistait à irradier les échantillons avec des neutrons et à mesurer le rayonnement gamma spécifique à chaque terre rare. Le réacteur nucléaire genevois était mon unique source de neutrons disponible.»

Première femme A un moment de sa carrière, la chercheuse a l'occasion de suivre une formation fédérale en vue de devenir opératrice. Elle passe avec succès des examens en physique nucléaire et en électronique et devient la première femme en Suisse – et toujours la seule à ce jour – à savoir piloter un réacteur nucléaire. Cette qualification lui sera d'une grande utilité dans la poursuite de ses propres travaux.

Les mesures de sécurité mises en place sont les mêmes pour ce modeste appareil, qui aurait à peine pu allumer une ampoule, que pour une grande centrale nucléaire telle que Mühleberg: contrôle technique avant et après la mise en marche, mesure de la radioactivité, instructions précises en cas de problème, y compris l'arrêt d'urgence de la machine, l'évacuation des locaux et même du quartier, etc. Heureusement, sur les trente ans de service, le réacteur n'a connu aucun pépin technique.

A la fin des années 1980, à la suite du départ à la retraite de Roland Beeler, Ernst Heer se charge d'organiser la mise hors service de la machine. A cette époque, Pia Voldet est la seule à l'utiliser encore à des fins de recherche et le renouvellement du combustible, arrivé à épuisement, s'avère un investissement trop onéreux. Comme la loi ne fait à l'époque aucune différence entre les réacteurs de grande ou de petite taille, il convient de suivre la même procédure que s'il s'agissait de la centrale de Mühleberg. L'appareil est donc débranché en 1987 et, le 27 février 1989, le Conseil fédéral accorde la subvention nécessaire pour le désaffecter définitivement. Le carburant restant, environ 3,3 kg d'uranium, est transféré à l'Institut Paul Scherrer. Pour Pia Voldet, c'est la fin d'une époque. Elle ressent une grande tristesse quand elle doit se séparer de cet outil unique avec lequel elle a tellement travaillé. Elle participe néanmoins à son démontage complet. Les opérations se déroulent en secret. Personne, en dehors des membres du Groupe du réacteur, n'est au courant. Au bout du compte, aucune contamination n'est constatée. Le cœur est chargé sur un camion banalisé. Escorté de loin par la police genevoise sur quelques kilomètres, le véhicule quitte finalement le canton dans la plus grande discrétion en route pour le Centre de stockage intermédiaire Zwilag de Würenlingen dans le canton d'Argovie.

ALBUM SOUVENIR:

PAGE DE GAUCHE: PIA VOLDET, AUX COMMANDES POUR UNE DERNIÈRE IRRADIATION À L'AIDE DU RÉACTEUR NUCLÉAIRE GENEVOIS.

À GAUCHE: PIA VOLDET DEVANT LA CUVE DU RÉACTEUR AYANT CONTENU LE CŒUR.

EN HAUT: LE CAMION BANALISÉ CHARGEANT LES ÉLÉMENTS DÉMONTÉS DU RÉACTEUR.

EN BAS: UNE PARTIE DE L'ÉQUIPE DU RÉACTEUR PRÊTE POUR LE DÉMANTÈLEMENT (ROLAND BEELER ET PIA VOLDET SONT DEVANT AU CENTRE).

SÉDIMENTS RADIOACTIFS

LE SOL GARDE LE SOUVENIR DE LA FOLIE ATOMIQUE

LES ESSAIS NUCLÉAIRES ATMOSPHÉRIQUES DES ANNÉES 1960, LA CATASTROPHE DE TCHERNOBYL ET LES REJETS LOCAUX DES CENTRALES ONT IMPRIMÉ UNE SIGNATURE INDÉLÉBILE DANS LES SÉDIMENTS DES LACS SUISSES

Les atomes radioactifs, produits par les réacteurs nucléaires ou les bombes atomiques et dispersés dans la nature, ne vont pas disparaître aussi vite qu'ils sont apparus. Les isotopes exotiques de plutonium, d'américium, de césium ou encore de cobalt (la liste n'est pas exhaustive), transportés au gré des vents et des rivières, se sont déposés sur les sols et au fond des lacs. Ils y resteront le temps de se désintégrer ce qui, pour certains d'entre eux, peut prendre des dizaines de millénaires. Et que dire des volumes sans cesse grandissants de déchets radioactifs stockés dans des lieux diversement sécurisés et dont on ne connaît pas le destin (confinement efficace ou accident, fuite, etc.)? Ceux-là comprennent des éléments plus coriaces encore – l'uranium 235 par exemple ayant une demi-vie de 700 millions d'années, ce qui est le temps nécessaire pour que la moitié des atomes présents se désintègrent.

Carottes radioactives Cet héritage de l'ère nucléaire va donc s'inscrire durablement dans la géologie, et les scientifiques spécialisés dans l'étude des sédiments sont obligés d'en tenir compte. «*Nous sommes confrontés quotidiennement à la présence d'éléments radioactifs artificiels*, explique Jean-Luc Loizeau, maître d'enseignement et de recherche à l'Institut Forel (Faculté des sciences). *Une partie de notre travail consiste à analyser des carottes de sédiments afin de reconstituer les conditions environnementales du passé récent. Et, dans les lacs suisses par exemple, nous retrouvons toujours les dépôts*

laissés par les essais nucléaires atmosphériques des années 1960, l'accident de Tchernobyl en 1986 et, plus localement, des rejets effectués par les centrales nucléaires situées sur des affluents. Ces signaux, qui ne présentent plus aucun danger, ont un côté pratique: ils nous aident à dater les couches que nous étudions. »

Commencés en 1945, les essais nucléaires atmosphériques connaissent un maximum d'activité en 1962. Cette année-là, les Etats-Unis et l'URSS effectuent 118 tirs, représentant une puissance de 170 mégatonnes, soit presque 40%

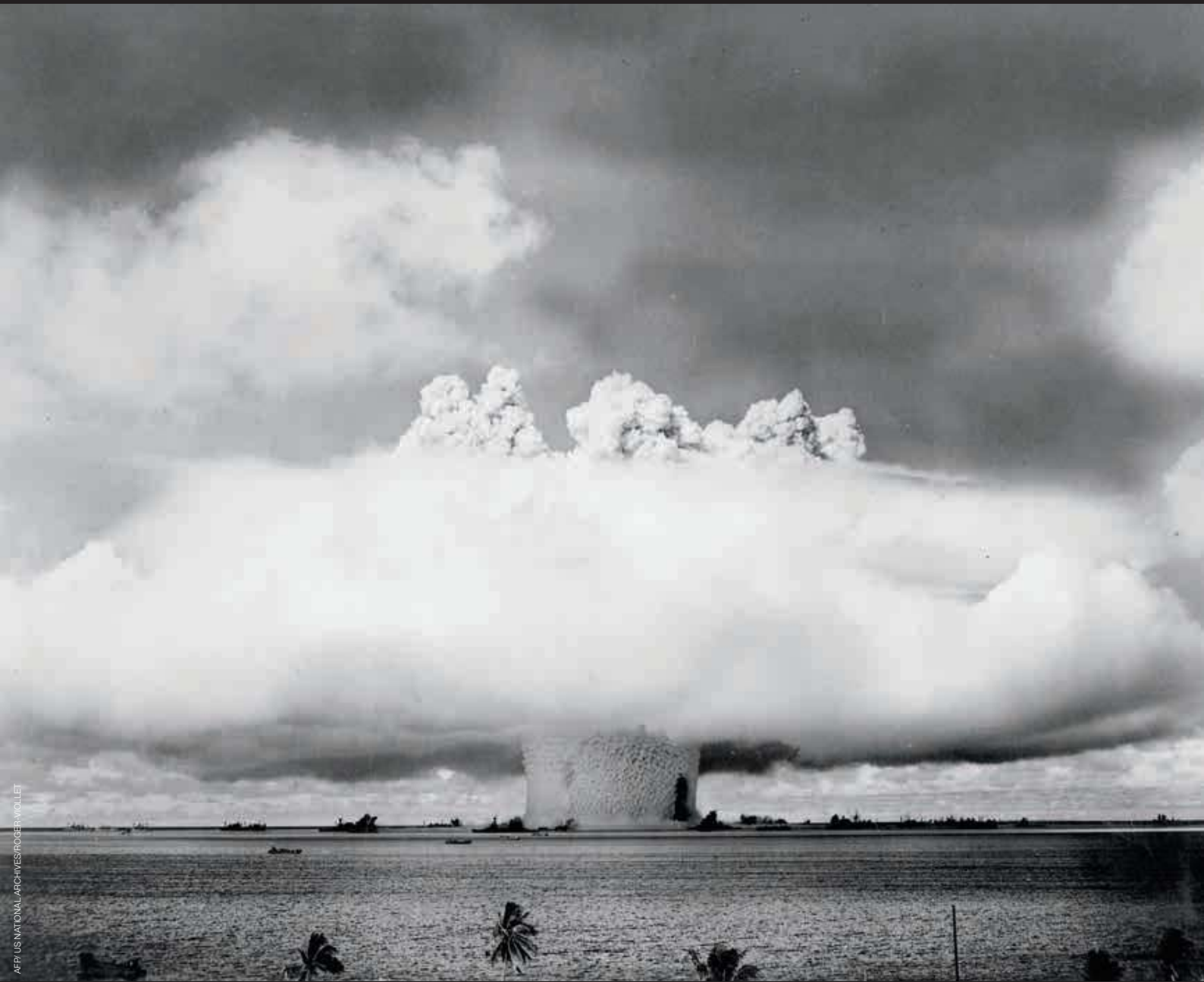
EN 1962, LES ÉTATS-UNIS ET L'URSS EFFECTUENT 118 TIRS, REPRÉSENTANT 40% DE LA PUISSANCE TOTALE LIBÉRÉE PAR L'ENSEMBLE DES ESSAIS ATMOSPHÉRIQUES

de la puissance totale libérée par l'ensemble des essais atmosphériques. Les explosions ont lieu essentiellement dans l'hémisphère Nord (en Nouvelle-Zemble en Russie septentrionale, dans les îles Bikini et Enewetak de l'océan Pacifique, au Lob Nor en Chine...), mais les aérosols radioactifs sont propulsés dans la stratosphère, permettant leur redistribution sur toute la surface du globe. Dès 1963, les deux superpuissances arrêtent les tirs en plein air et les remplacent par des essais souterrains aux conséquences

environnementales plus limitées.

Cela n'empêche pas les géologues de repérer immédiatement l'année 1963 (date des retombées des poussières radioactives produites au cours de l'année 1962) lorsqu'ils mesurent la radioactivité le long de leurs carottes de sédiments. Depuis trente ans, ils disposent même d'un deuxième point de repère temporel tout aussi visible: celui correspondant à l'explosion en 1986 de la centrale nucléaire

CHAMPIGNON
ATOMIQUE APRÈS
L'EXPLOSION D'UNE
BOMBE EXPÉRIMENTALE
AMÉRICAINE SUR
L'ÂTOLL DE BIKINI,
LE 25 JUILLET 1946



AFP / US NATIONAL ARCHIVES / ROGER VIOUJET

soviétique de Tchernobyl, située dans l'actuelle Ukraine. Le nuage radioactif créé par l'accident n'ayant été retenu par aucune frontière, on retrouve les traces de son passage sur toute l'Europe. La seule différence est qu'au moment du survol du panache, il a beaucoup plu au Tessin, entraînant la précipitation des poussières radioactives en suspension dans l'atmosphère. Le temps a été plus sec en Suisse romande et davantage encore en France, ce qui explique les différences de degrés de contamination entre les régions.

Sangliers chargés *«Au Tessin, il y a eu beaucoup de problèmes d'aliments devenus impropres à la consommation, se rappelle Jean-Luc Loizeau. L'Office fédéral de la santé publique a même émis une alerte sanitaire sur la viande de sanglier en 2013, soit vingt-huit ans après l'accident de Tchernobyl. Ces animaux aiment en effet les champignons, notamment les truffes de cerf dont les forêts tessinoises sont particulièrement riches. Or ces organismes ont la particularité d'absorber et de concentrer les éléments radioactifs du sol. Le mycélium de cette espèce non comestible pour l'homme pousse à environ 10 cm de profondeur, ce qui correspond au niveau où se trouve actuellement le césium 137 émis par l'explosion et qui s'est lentement infiltré dans le sol depuis 1986.»*

La dernière grande catastrophe nucléaire en date, celle de Fukushima au Japon en 2011, ne laissera, quant à elle, pas de trace dans la géologie européenne (contrairement à celle de l'Asie de l'Est, bien sûr). Une augmentation de l'Iode 131 a bien été mesurée mais la demi-vie de cet isotope est de 8 jours. Il a donc déjà totalement disparu de l'environnement.

Cobalt, césium, plutonium... Plus localement, les chercheurs mesurent régulièrement les traces laissées par les rejets de produits radioactifs dans les cours d'eau par les centrales nucléaires (à des niveaux toujours très en dessous des normes). Une équipe genevoise a notamment réalisé cet exercice il y a quelques années dans les sédiments du lac de Biemme avant de publier ses résultats le 22 février 2013 dans la revue *Aquatic Sciences*. Les auteurs y rapportent entre autres les traces des rejets de la centrale de Mühleberg qui se trouve sur un affluent du lac. Un pic important de radioactivité est notamment visible pour 1976. Il est probablement lié, selon les auteurs, à l'utilisation de combustibles de mauvaise qualité. Un autre pic, beaucoup plus modeste, est détectable en 2000. Il correspond à un rejet d'eau contaminée dans l'Aar. Du cobalt 60 est également détecté dans les sédiments même si sa concentration a tendance à diminuer avec les années. L'Inspection fédérale pour la sécurité nucléaire

« L'OFFICE FÉDÉRAL DE LA SANTÉ PUBLIQUE A ÉMIS UNE ALERTE SANITAIRE SUR LA VIANDE DE SANGLIER EN 2013, SOIT VINGT-HUIT ANS APRÈS L'ACCIDENT DE TCHERNOBYL. »

JEAN-LUC LOIZEAU, MAÎTRE D'ENSEIGNEMENT ET DE RECHERCHE À L'INSTITUT FOREL, FACULTÉ DES SCIENCES

insiste sur le fait que tous ces événements sont connus et publiés dans les rapports annuels et que les niveaux de contamination sont toujours restés à des niveaux inoffensifs pour la santé humaine et l'environnement.

L'un des principaux marqueurs d'une contamination radioactive est le césium 137 (^{137}Cs). Cet élément, qui n'existe pas à l'état naturel, est produit en relative abondance lors du processus de fission nucléaire qui se déroule dans les réacteurs nucléaires. Sa demi-vie est de trente ans. Dans le cas de l'accident de Tchernobyl, on estime qu'au-delà de cinq fois cette durée, c'est-à-dire 150 ans, il n'en reste quasiment plus dans l'environnement en Europe de l'Ouest. En Ukraine, en revanche, il faudra pourtant attendre bien plus longtemps. Mais les accidents et les explosions nucléaires produisent bien d'autres isotopes. Le plus dangereux est le plutonium 239 (^{239}Pu) dont la demi-vie est considérablement plus longue : 24 000 ans. Issu essentiellement des essais nucléaires atmosphériques, sa présence dans les sédiments un peu partout dans le monde, même à des concentrations très faibles, pourrait bien survivre à l'espèce humaine.

Un autre produit de la fission nucléaire ayant une incidence sur le travail des scientifiques est le carbone 14. Sa demi-vie étant de 5730 ans, il est utilisé pour dater des restes organiques anciens en le comparant à l'abondance de carbone 12 qui est, quant à lui, stable. Sa concentration naturelle a cependant été artificiellement augmentée par les essais nucléaires atmosphériques. Par conséquent, les archéologues du futur qui continueront à utiliser cette technique obtiendront des âges faussés pour des objets datant d'après 1960 s'ils ne tiennent pas compte de cette anomalie dans leurs calculs.

TRANSITION

LES ATOUTS DU MODÈLE ÉNERGÉTIQUE GENEVOIS

EXPLORATION DE LA GÉOTHERMIE, DÉVELOPPEMENT DU CHAUFFAGE À DISTANCE, OPTIMISATION DE L'ISOLATION DES BÂTIMENTS : TOUS LES MOYENS SONT BONS SUR LE CHEMIN DU RENOUVELABLE. À CONDITION TOUTEFOIS DE PRIVILÉGIER L'INNOVATION AU DOGMATISME COMME CELA A ÉTÉ FAIT AU DANEMARK

La transition énergétique se fera. C'est une certitude depuis l'annonce officielle de l'abandon du nucléaire par le Conseil fédéral en mai 2011. Mais pas à coups de slogans ou de formules simplistes. Pour réussir ce virage, il faudra faire preuve de pragmatisme et d'inventivité en prenant soin d'éviter tout dogmatisme, comme l'a fait le Danemark, pays qui fait figure de modèle dans le domaine (lire en page 38). Face à ce défi majeur, Genève – qui vise un approvisionnement provenant à 75% des énergies renouvelables en 2050 – ne manque pas d'atouts. Encore faudra-t-il les jouer dans le bon ordre. Explications avec Bernard Lachal, professeur à l'Institut Forel (Faculté des sciences) ainsi qu'à l'Institut des sciences de l'environnement et du territoire.

« On aurait très bien pu se passer du nucléaire et on parviendra très bien à s'en passer dans le futur, affirme le physicien de formation. Lorsque j'étais étudiant, on présentait encore cette source d'énergie comme la solution du futur dans un monde où on prévoyait de bâtir 10 000 centrales. Mais ce rêve a fait long feu. En plus d'être dangereux (lire en page 30), le nucléaire est en effet une des seules technologies pour laquelle la courbe d'apprentissage s'avère négative. Si on double la production de photovoltaïque, par exemple, les coûts de fabrication des panneaux vont baisser de 20 à 30%, ce qui n'est pas le cas avec le nucléaire où, plus on avance dans le temps, plus c'est cher. »

Si on peut négliger l'apport de l'atome à l'échelle mondiale (2% de l'énergie finale produite), c'est une autre affaire à l'échelle de la Suisse, l'énergie nucléaire fournissant annuellement 24 000 GWh qu'il faudra bien trouver le moyen de remplacer. Alors que de nombreuses voix ont appelé à un arrêt immédiat des centrales suisses à l'occasion des 5 ans de l'accident de Fukushima ou des 30 ans de celui

de Tchernobyl, Bernard Lachal plaide pour une approche graduelle : *« Il ne faut pas se précipiter. Les centrales sont là et elles vont continuer à fournir de l'énergie pendant dix ou vingt ans. Tout comme le fossile, nous en aurons besoin pour fournir l'électricité nécessaire à la transition. Il ne s'agit pas de basculer d'un système à l'autre du jour au lendemain, mais de monter progressivement en puissance en jouant sur différents tableaux et en progressant au cas par cas, jusqu'à parvenir à un approvisionnement énergétique 100% renouvelable. »*

« IL NE S'AGIT PAS DE BASCULER D'UN SYSTÈME À L'AUTRE DU JOUR AU LENDEMAIN, MAIS DE MONTER PROGRESSIVEMENT EN PUISSANCE EN JOUANT SUR DIFFÉRENTS TABLEAUX »

A Genève, la stratégie mise en place pour réduire la dépendance aux énergies fossiles et nucléaires s'est, pour l'instant, concentrée sur la mobilité et le chauffage. Dans le premier cas, si on exclut la mobilité aérienne, dont le bilan écologique est catastrophique, le constat est plutôt positif puisqu'on note une baisse du nombre de voitures par habitant, du nombre de kilomètres parcourus et de la consommation des véhicules. D'où un effet « boule de neige » qui a permis de diviser pratiquement par deux la consommation de carburant par habitant en vingt-cinq ans.

Dans le second domaine, qui englutit tout de même la moitié de l'énergie consommée dans le canton, d'importants efforts ont également été consentis. Résultat : 80% des rénovations ou constructions que projette actuellement la Ville répondent aux exigences du 100% renouvelable et une trentaine d'immeubles rénovés, construits récemment ou en projet n'utilisent plus d'énergies fossiles.

« Améliorer l'isolation, c'est très bien, confirme Bernard Lachal. Mais il ne faut pas que cela devienne une fin en soi. C'est justifié dans le cas d'un bâtiment qui ne peut pas être raccordé facilement à une source d'énergie durable pour son chauffage. En revanche, pour un logement social, par exemple, il vaut sans doute mieux



privilégier le recours à une pompe à chaleur ou à un chauffage à distance, systèmes moins onéreux, que de tout miser sur l'isolation thermique. Cela nous donne une marge de manœuvre dont il ne faut pas se priver de profiter.»

En parallèle à ces mesures, le réseau de chauffage à distance s'est également étoffé depuis la mise en service par les Services industriels (SIG) de la première installation de ce type, qui a vu le jour à Vernier en 1964. Le réseau Cadiom, ali-

mente ainsi en chaleur environ 8000 logements et plusieurs sites sur les communes Aire-la-Ville, Bernex, Confignon, Onex et Lancy, grâce à l'eau surchauffée par l'incinération des ordures ménagères de l'usine des Cheneviers. Désormais connecté au réseau primaire des SIG, ce qui a permis un gain de 100 GWh, Cadiom permet d'économiser 13000 tonnes de mazout et 31000 tonnes de CO₂ par an.

Soutenue par l'Union européenne en tant que projet pilote, la centrale Genève Lac Nations (GLN) utilise, pour sa part, depuis sa mise en fonction en 2009, la température de l'eau du lac pour climatiser les bâtiments des Nations unies, du Comité international de la Croix-Rouge ou de l'Organisation internationale du travail. Projeté pour 2017, son grand frère, GéniLac, couvrira un périmètre beaucoup plus vaste qui s'étendra du centre-ville à la zone aéroportuaire.

Porté par un consortium regroupant les SIG, la Ville, le Canton et l'Hospice général, CADéco vise, quant à lui, à fournir 500 logements (90 immeubles) en énergie verte

dans le quartier de la Jonction. Le système permettra de remplacer une cinquantaine de chaudières à mazout par une pompe à chaleur haute température alimentée par l'eau du Rhône. Il a été accepté à l'unanimité par le Conseil municipal de la Ville de Genève ce printemps.

Autre axe fort de la politique énergétique cantonale : l'exploration du potentiel offert par la géothermie. En théorie, cette technique, qui consiste à exploiter l'énergie stockée sous la surface terrestre, devrait en effet permettre d'assurer deux tiers des besoins de chauffage du canton. Afin de vérifier cette hypothèse, des campagnes de prospection du sous-sol sont d'ailleurs en cours dans le cadre du programme «GEothermie 2020» des SIG.

«L'expérience a démontré que la géothermie peut s'avérer moins coûteuse que le gaz, à condition de rester, dans un premier temps, à une échelle relativement modeste, explique Bernard Lachal. L'idée est donc de progresser de manière très graduelle dans ce domaine jusqu'à 2035 environ, puis de monter en puissance afin d'arriver à couvrir entre 20 et 30% des besoins thermiques du canton en 2050.»

Contrairement à ce que préconise actuellement la Confédération, à savoir privilégier la production d'électricité à partir de la géothermie, le modèle défendu par Bernard Lachal est centré sur la production de chaleur et suppose l'ajout de pompes à chaleur fonctionnant à l'électricité afin de maximiser les rendements. C'est ce qui a été fait avec succès, il y a une vingtaine d'années déjà, à Riehen dans le canton de Bâle. Cette centrale géothermique, pour l'heure unique en Suisse, est équipée de deux pompes à chaleur permettant de monter le niveau de température de l'eau extraite du sous-sol à celui utilisé par les réseaux de chauffage. L'électricité nécessaire pour le fonctionnement des pompes à chaleur est fournie par deux turbines à gaz, générant également de la

EN THÉORIE, LA GÉOTHERMIE DEVRAIT PERMETTRE D'ASSURER DEUX TIERS DES BESOINS DE CHAUFFAGE DU CANTON

L'USINE D'INCINÉRATION ET DE VALORISATION DES DÉCHETS DES CHENEVIERS EST LE TROISIÈME PRODUCTEUR D'ÉLECTRICITÉ DU CANTON DE GENÈVE. RACCORDÉE AU RÉSEAU DE CHAUFFAGE À DISTANCE CADIOM, ELLE ALIMENTE PLUS DE 20 000 PERSONNES EN EAU CHAUDE ET EN CHAUFFAGE.

chaleur qui est récupérée par une troisième pompe à chaleur (c'est ce que l'on appelle le couplage chaleur-force). Enfin, des chaudières d'appoint fonctionnant au mazout ou au gaz apportent un complément de chaleur lorsque la demande excède la capacité du système. L'ensemble permet de couvrir les besoins en chauffage de 2000 des 9000 habitants que compte la commune. *« Ce type de configuration permet de s'engager dans un cercle vertueux dans la mesure où le système est à la fois plus simple, trois fois moins cher et deux fois plus efficace que s'il était orienté directement vers la production d'électricité »,* commente Bernard Lachal.

Concernant la production électrique proprement dite, outre l'énorme potentiel que représente l'hydroélectricité pour notre pays, tous les voyants sont désormais revenus au vert pour favoriser le développement du solaire.

« Avec cette technologie, on a bien failli se retrouver face au même genre de blocage qu'avec le nucléaire, explique Bernard Lachal. Le photovoltaïque a en effet d'abord été développé pour des raisons militaires durant la Guerre froide afin d'équiper les satellites américains. L'objectif premier n'était donc pas de mettre au point un système avantageux sur le plan économique mais d'assurer une certaine performance et ce, à n'importe quel prix. D'où le recours au silicium monocristallin pour la fabrication des cellules, solution onéreuse dont il a été difficile de sortir malgré l'apparition de procédés plus performants. Aujourd'hui, ces derniers ont heureusement réussi à trouver leur place sur le marché. »

La dernière pièce du puzzle n'est pas la moins complexe. Pour mettre en relation et gérer de manière optimale les différentes sources d'énergie qui seront les nôtres demain, il est

en effet indispensable de repenser les réseaux de distribution actuels, trop monolithiques pour s'adapter à une configuration dans laquelle l'offre et la demande vont devenir de plus en plus fluctuantes. C'est l'objectif que poursuit notamment Mario Paolone, responsable du Laboratoire des systèmes électriques distribués de l'EPFL. Ses travaux visent en effet à mettre au point des automates cellulaires permettant de gérer la complexité croissante des réseaux électriques inhérente à l'arrivée des énergies renouvelables. Ces dispositifs, encore à l'étude, devraient parvenir dans un avenir proche à gérer la répartition de l'énergie entre producteur et consommateur, mais aussi à calculer son prix (via des systèmes d'enchères très rapides) ou encore à offrir la possibilité de programmer sa consommation domestique en fonction de ses besoins. Chacun pourra ainsi décider, par exemple, de laver son linge durant les heures creuses ou de programmer la batterie de son vélo pour qu'elle soit chargée à bloc au petit matin.

« Il faut insister sur le rôle clé que se doit de jouer l'Université dans ce processus de transition, conclut Bernard Lachal. Les besoins dans le domaine de l'énergie ne sont pas les mêmes qu'en physique, puisqu'il s'agit d'une problématique et non d'une discipline en tant que tel. Ce que nos partenaires attendent de nous, ce ne sont donc pas tant des articles dans des revues de pointe qu'un engagement sur le terrain, une forte implication dans l'évaluation, la réalisation et le suivi des projets. Notre rôle est de réinjecter continuellement dans le système énergétique les connaissances, les compétences et l'expertise dont bénéficient les jeunes que nous formons, de façon à accélérer l'apprentissage et à tirer profit de l'expérience que nous avons accumulée depuis maintenant près de trente ans. »

LE LABORATOIRE DU FUTUR ÉNERGÉTIQUE

En matière de transition énergétique, la référence mondiale est un petit Etat européen dont le drapeau arbore une croix blanche sur fond rouge. La Suisse ? Perdu, il s'agit du Danemark.

Alors qu'au début des années 1970, le royaume scandinave comptait parmi les pays de l'OCDE affichant la plus forte dépendance au pétrole (92 % de la consommation énergétique totale du pays), plus de la moitié de l'électricité produite annuellement dans le pays provient désormais de sources durables. Schématiquement, cette réussite repose sur l'isolation massive des bâtiments, le développement de l'éolien – les particuliers ayant le droit de connecter leurs installations au réseau national et de recevoir

une rétribution correspondant à l'économie réalisée depuis 1979 – et la mise en place de grandes unités de cogénération décentralisées. Fournissant à la fois de l'électricité et de la chaleur, ces dernières sont alimentées soit au gaz, soit au charbon, soit avec de la biomasse. Le tout est piloté par une constellation de « réseaux intelligents » (*Smart Grids*) qui permettent d'assurer la stabilité des flux d'énergie à l'échelle nationale en régulant la production et la demande d'électricité, mais aussi de gaz, de chaleur et de froid. Assistant à l'Institut Forel, Loïc Quiquerez prépare d'ailleurs une thèse, soutenue par la Confédération, le Canton et les Services industriels, en vue

d'adapter ce type d'infrastructure à Genève.

Réussite incontestée, la transition énergétique danoise a largement profité du soutien de la communauté scientifique nationale. Le Plan Energie 2030, visant à assurer au Danemark une indépendance totale vis-à-vis des énergies fossiles et nucléaire, a ainsi été conçu par un gigantesque pool regroupant quelque 1600 ingénieurs et universitaires. Ce processus fait par ailleurs l'objet d'une très large acceptation sociale puisque 60 % des unités de cogénération et 85 % des éoliennes que compte le pays sont aujourd'hui la propriété de ses habitants, soit directement, soit par le biais de coopératives ou de régies municipales.

« La grande force du modèle danois, c'est de conjuguer innovation technologique et expérience pratique dans une démarche intégrant de multiples partenaires qui se veut proche du terrain et qui fait une large place à la participation populaire, commente Bernard Lachal, professeur à l'Institut Forel (Faculté des sciences) ainsi qu'à l'Institut des sciences de l'environnement et du territoire. C'est grâce à cette synergie qu'ont pu être vaincues les réticences des entreprises énergétiques notamment, selon lesquelles il n'était pas possible d'injecter plus de 10 % d'énergie éolienne dans le réseau sans menacer sa stabilité. »

MOBILISATION

CLAP DE FIN POUR LES «ANTIS»

APRÈS QUARANTE ANS DE LUTTE, L'HISTOIRE A DONNÉ RAISON AUX MILITANTS DU MOUVEMENT ANTINUCLÉAIRE SUISSE, SIGNANT PAR LÀ MÊME SON PROBABLE ARRÊT DE MORT. L'OCCASION DE ROUVRIRE L'ALBUM SOUVENIR

Pour les antinucléaires suisses, l'heure est au bilan. Privé de son principal cheval de bataille par l'abandon programmé de l'énergie atomique, le mouvement aura en effet probablement toutes les peines du monde à faire entendre sa voix dans le débat public au cours des prochaines décennies. Ce qui ne doit pas faire oublier le chemin parcouru au cours de ces quarante dernières années. Retour sur l'histoire d'un long bras de fer avec Marco Giugni, professeur à la Faculté des sciences de la société et auteur de plusieurs ouvrages consacrés aux mouvements sociaux.

Campus : A quand remontent les premières oppositions à l'utilisation de l'énergie nucléaire à des fins civiles en Suisse ?

Marco Giugni : L'opposition au nucléaire s'est d'abord cristallisée aux Etats-Unis, dans les années suivant l'adoption de l'*Atomic Energy Act*, la loi qui a ouvert la voie à une utilisation pacifique du nucléaire en 1954. Le mouvement s'est ensuite propagé à l'Europe, en passant notamment par la France et l'Allemagne, avant de gagner la Suisse au début des années 1970.

Dans quelles circonstances ?

Le mouvement a commencé à prendre forme en juin 1969 avec la création d'une organisation locale regroupant des habitants de Kaiseraugst en vue d'empêcher la création d'une centrale dans ce petit village d'Argovie. Il s'est ensuite rapidement élargi à une partie de l'élite politique et scientifique bâloise avant de prendre une dimension réellement nationale à partir de 1975, année qui marque le véritable acte de naissance du mouvement.

Que s'est-il passé cette année-là ?

Le 1^{er} avril, un groupe d'activistes antinucléaires occupe le site sur lequel doit être construite la centrale de Kaiseraugst.

Au lieu des six jours prévus, le mouvement va se prolonger jusqu'au 14 juin et mobiliser près de 15 000 personnes. C'est un moment fondateur dans la mesure où il a permis à ces militants, encore incertains et tâtonnants, de prendre pleine conscience de leurs moyens et d'affirmer une identité propre.

Intense jusqu'à la fin des années 1980, la mobilisation contre le nucléaire va ensuite évoluer en dents de scie. Pourquoi ?

Une des raisons est probablement le déplacement de l'attention de l'utilisation de cette technologie à des fins d'approvisionnement énergétique à la menace de son utilisation à des fins belliqueuses dans le cadre de la Guerre froide, ce qui a donné lieu à une grande vague de mobilisation contre la décision de l'OTAN de stationner des missiles nucléaires sur sol européen. Une autre raison est peut-être l'absence de résultats tangibles jusqu'à ce moment-là. En Suisse comme ailleurs, les protestations de ces groupes, qui restent très minoritaires, ne suffisent pas à modifier la position de l'Etat en matière d'approvisionnement énergétique. Face à ce constat, le mouvement se fragmente entre une frange radicale, qui va se comporter comme une cellule dormante se réveillant par à-coups, et une frange modérée, qui va se concentrer sur le lobbying et la lutte institutionnelle en lançant une série d'initiatives populaires au niveau fédéral.

Sans grand succès jusqu'à l'accident de Tchernobyl, en avril 1986...

Cet événement relance en effet l'intérêt pour la cause antinucléaire et réveille les inquiétudes suscitées par le parc nucléaire national. D'où

un regain intense de la mobilisation. C'est dans ce contexte que les autorités fédérales décident, en 1988, d'abandonner définitivement le projet de Kaiseraugst, ce qui restera comme

«LE 1^{ER} AVRIL 1975, UN GROUPE D'ACTIVISTES ANTINUCLÉAIRES OCCUPE LE SITE DE KAISERAUGST. AU LIEU DES SIX JOURS PRÉVUS, LE MOUVEMENT VA SE PROLONGER JUSQU'AU 14 JUIN ET MOBILISER PRÈS DE 15 000 PERSONNES»



MILITANT ANTINUCLÉAIRE
LORS D'UNE MARCHE
ORGANISÉE EN MAI 2011
DANS LES ENVIRONS DE
LA CENTRALE DE BEZNAU
QUI A RÉUNI DES MILLIERS
D'OPPOSANTS VENUS DE
SUISSE, D'ALLEMAGNE ET
DE FRANCE.

l'un des succès les plus retentissants des mouvements sociaux en Suisse. Les antinucléaires obtiennent une autre victoire importante deux ans plus tard avec l'acceptation par le peuple, après plusieurs tentatives infructueuses, de l'initiative visant à imposer un moratoire de dix ans sur la construction de nouvelles centrales. La contestation retombe ensuite avant de connaître un nouveau pic en 2011 à la suite de l'accident de la centrale de Fukushima.

L'abandon progressif de l'énergie atomique aurait-il été imaginable sans cette nouvelle catastrophe?

La question est difficile à trancher. Cette décision est le fruit d'un long processus et repose sur une conjonction de facteurs parmi lesquels l'érosion de l'industrie nucléaire elle-même. Cela étant, on peut légitimement se demander ce qui se serait passé si cet accident était survenu sans des décennies de mobilisation préalable. Cette opposition sur la longue durée a incontestablement permis de sensibiliser l'opinion publique et de donner une certaine réceptivité à l'idée de sortir du nucléaire.

A l'heure de feuilleter l'album souvenir, le bilan de ces quarante ans de lutte est donc plutôt positif...

L'émergence du mouvement antinucléaire s'inscrit dans la grande vague de contestation portée, en Suisse comme ailleurs en Europe à partir du milieu de la fin des années 60, par

ce que l'on appelle les «nouveaux mouvements sociaux». Globalement, ces mouvements – qu'ils soient pacifistes, écologistes, antinucléaires ou tournés vers la solidarité avec le tiers-monde – ont constitué la force extraparlamentaire la plus importante en Suisse durant ces dernières décennies. A l'intérieur de cette mouvance, l'opposition au nucléaire est une des causes qui a trouvé le plus d'écho auprès de la population suisse. C'est par ailleurs un des rares mouvements sociaux à être parvenu, en Suisse mais aussi en Italie, en Allemagne ou au Danemark, à réaliser son principal objectif.

Le mouvement survivra-t-il à cette ultime réussite?

Il n'a plus vraiment de raison d'être à partir du moment où ses revendications sont reprises par l'Etat lui-même. Il est donc probablement appelé à s'étioler même s'il reste des sujets de mobilisation comme la gestion des déchets nucléaires. Ce déclin est d'autant plus vraisemblable que les membres du mouvement sont un peu vieillissants. Son noyau dur est en effet surtout composé de militants de longue date que l'on retrouve de manifestation en manifestation depuis longtemps. Quant aux sympathisants plus jeunes, ils pourront toujours se tourner vers des thématiques plus «actuelles» comme le changement climatique, par exemple. Cela dit, personne ne nous garantit que le nucléaire comme source d'approvisionnement énergétique ne va pas revenir un jour, et à ce moment-là...