

COMMENT PRENDRE EN COMPTE LE TRÈS LONG TERME ET L'INCERTITUDE DANS LES DÉCISIONS D'INVESTISSEMENT PUBLIC ?

Rôle de l'évaluation socio-économique et du débat public

Pierre-Benoit Joly

Membre de l'Académie des technologies

Séance du 9 novembre 2022

Résumé

L'évaluation socio-économique du projet de stockage profond des déchets nucléaires Cigéo, suivie par une contre-expertise sous l'autorité du SGPI, illustre la difficulté d'éclairer les décisions publiques lorsque leurs impacts sont à très long terme (en l'occurrence, des centaines de milliers d'années) et caractérisés par une forte incertitude (les générations à venir seront-elles capables de maintenir les normes de sûreté actuelles ?). Elle soulève des questions sur l'interaction entre technologie et société qui se posent bien au-delà de Cigéo, par exemple : comment exercer l'expertise aux limites de la connaissance ? Quel avenir à long terme envisager pour nos sociétés ? Jusqu'où prendre en compte, et comment mesurer, l'intérêt des générations futures ? Comment garder pendant des millénaires la mémoire des décisions actuelles ? Quel doit être le rôle de l'analyse économique dans le débat public ? Les solutions trouvées pour mener à bien cette ESE (faire émerger du débat public des solutions alternatives pouvant être comparées à l'option étudiée ; plutôt qu'un unique scénario de référence, définir des « scénarios enveloppes », c'est-à-dire le scénario le plus plausible compte tenu des connaissances actuelles (OK) et le scénario du pire (KO) ; ou encore faire varier le taux d'actualisation pour tester l'impact d'une « préférence » accordée aux générations actuelles ou aux générations futures) pourront être employées dans les évaluations d'autres projets à long terme, notamment ceux relevant de la lutte contre le changement climatique ou la disparition de la biodiversité.

Intervenants

Julie de Brux

Fondatrice de Citizing Consulting et responsable de l'ESE de Cigéo

Reza Lahidji

Chercheur associé, chaire économie du climat, Université de Paris Dauphine et membre du comité d'experts pour l'ESE de Cigéo

Bernadette Bensaude-Vincent

Philosophe et historienne, professeur émérite Université Paris 1 et membre de l'Académie des technologies

Sommaire

| | |
|---------------------------------------|---|
| Exposé de Julie de Brux | 2 |
| Exposé de Reza Lahidji | 4 |
| Exposé de Bernadette Bensaude-Vincent | 6 |
| Débats | 8 |

Introduction par Pierre-Benoit Joly

Par leur nature et leur importance, les investissements publics sont l'un des instruments essentiels pour la préparation de l'avenir. Comment éclairer les décisions lorsque les impacts sont à très long terme et caractérisés par une forte incertitude ? Comment organiser le débat public sur de tels choix ?

Depuis 2013, tous les investissements de l'État d'un montant supérieur à 20 millions d'euros sont soumis à une évaluation socio-économique (ESE). Lorsqu'ils dépassent 100 millions d'euros, ils doivent également faire l'objet d'une contre-expertise pilotée par le SGPI (Secrétariat général pour l'investissement).

La nécessité de l'évaluation des investissements publics se pose de façon singulière et exemplaire à propos du projet de stockage profond de déchets radioactifs Cigéo, en raison de l'échelle de temps tout à fait exceptionnelle de ce type de projet. Non seulement la durée de l'activité radioactive se compte en centaines de milliers d'années, mais la réalisation de l'opération elle-même va s'étendre sur plus d'un siècle. En effet, compte tenu de la nécessité de refroidir les déchets à haute activité, la mise en place des colis s'opérera à partir de 2080 et le stockage ne sera définitivement fermé qu'en 2150.

En appliquant un taux d'actualisation de 4,5 % à un projet d'investissement public, son devenir au bout de trente ou quarante ans n'a théoriquement aucune importance. Ce taux d'actualisation usuel ne permet donc pas de prendre en compte les questions qui se posent avec l'évaluation du projet Cigéo, tant celles liées à une chronique d'investissement qui s'étend bien au-delà de quarante ans que celles liées à la sécurité du stockage où de très longues échelles de temps sont concernées. Exceptionnelles dans le cadre des analyses des investissements publics, ces échelles de temps sont aussi celles qu'il faut prendre en compte pour le changement climatique comme pour de nombreux enjeux environnementaux. Sur de telles échelles de temps, le choix du taux d'actualisation joue à l'évidence un rôle crucial. On se souvient à ce sujet des débats sur le rapport Stern sur l'économie du changement climatique publié en 2006.

En soulevant ce type de questions, le projet Cigéo constitue donc un laboratoire pour l'évaluation socio-économique d'autres investissements publics dont les échelles de temps sont également très longues. De fait, à travers l'ESE de Cigéo, l'Andra (Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs) a ouvert des pistes méthodologiques originales, dont France Stratégie s'est saisie pour nourrir sa réflexion sur les investissements publics de long terme.

Au cours de cette table-ronde, nous souhaitons également aborder la question de l'articulation entre

l'ESE et les débats publics imposés notamment par la Convention d'Aarhus de 1998. Les innovations méthodologiques qui seront présentées conduisent en effet à interroger la place de la modélisation économique dans les choix publics. Alors que l'on considère souvent que l'ESE doit permettre de trancher, la thèse que nous voulons discuter est qu'elle doit permettre de rendre les choix discutables. Elle est donc de ce point de vue potentiellement complémentaire d'autres formes de délibération, notamment des débats publics.



Exposé Julie de Brux

Julie de Brux est docteure en économie et associée fondatrice de Citizing, agence de référence en matière d'évaluation et de mesure des impacts économiques, sociaux et environnementaux. Chercheuse associée à la chaire E-PPP de l'IAE de Paris 1, elle enseigne à l'École d'Économie de Paris et elle est membre du comité d'experts pour l'évaluation socio-économique, coordonné par France Stratégie.

On recense, en France, 1,6 millions de mètres cubes de déchets nucléaires produits et à produire par les installations existantes, et susceptibles d'émettre des ondes radioactives dangereuses pour la santé et l'environnement. Ces déchets peuvent être classés en fonction de la durée et de l'intensité de leur radioactivité. Les plus dangereux sont les déchets de haute activité (HA) et de moyenne activité à vie longue (MA-VL). Ils représentent 3 % de l'ensemble des déchets radioactifs, mais 95 % de la radioactivité présente sur le sol français. Ils ne sont pas réutilisables et leur période de radioactivité peut durer des centaines de milliers d'années. Ces déchets HA et MA-VL sont actuellement refroidis dans des piscines puis transformés en colis et entreposés en surface, ce qui nécessite la surveillance active de l'homme.

En 2006, à l'issue des quinze ans de recherche prévus par la loi Bataille de 1991, le Parlement a estimé que l'entreposage en surface ne permettait pas d'assurer des conditions de sûreté suffisante et que la solution de séparation/transmutation n'était pas assez mature. En conséquence, il a décidé de la mise en œuvre de la troisième option, à savoir l'enfouissement en couche géologique profonde.

La loi de 2013 a rendu obligatoire la réalisation d'une évaluation socio-économique pour les investissements publics supérieurs à 20 millions d'euros. C'est dans ce cadre que le cabinet Citizing, que je dirige, a réalisé l'ESE de Cigéo pour le compte de l'Andra. Pour cette étude, publiée en août 2020, nous avons été accompagnés par un comité d'experts dont faisaient partie Pierre-Benoît Joly et Reza Lahidji. La contre-expertise pilotée par le SGPI a été publiée en février 2021.

Le centre de stockage Cigéo

Sous réserve d'obtention des autorisations administratives, le centre de stockage Cigéo doit être construit à Bure, à la limite de la Meuse et de la Haute-Marne, dans une couche d'argile située à environ 500 mètres de profondeur. Cette argile est très stable depuis plus d'une centaine de millions d'années et ses propriétés permettent le confinement de la radioactivité à très long terme. Par opposition à l'entreposage de longue durée en surface, cette solution est dite « de gestion passive » car elle ne nécessite pas l'intervention de l'homme.

Le montant de l'investissement est estimé à 25 milliards d'euros. Après une période de vingt ans recouvrant la construction de l'équipement ainsi qu'une phase industrielle pilote, les colis de déchets HA et MA-VL seront réceptionnés puis stockés entre 2040 et 2145, soit sur une période de plus d'un siècle. Viendra alors une période de dix ans nécessaire à la fermeture du site, au remblayage et au démantèlement des installations de surface. À partir de 2155 débutera la période de gestion passive, où la géologie prendra le relais de l'intervention humaine.

Les défis de l'évaluation socio-économique

Une évaluation socio-économique vise à comparer les coûts et les bénéfices socio-économiques mais également environnementaux d'un projet. Dans le cas de Cigéo, cette démarche soulève quatre grands défis.

Quelles options faut-il comparer ?

Lors d'une évaluation socio-économique, la comparaison coûts-avantages ne se fait pas dans l'absolu, mais par rapport à une ou plusieurs options alternatives. Dans le cas de Cigéo, la loi ayant imposé le choix du stockage en couche géologique profonde, il n'était pas simple d'envisager des options différentes, ni même de convaincre tous les experts qu'il fallait le faire. De ce point de vue, le débat public a nourri notre réflexion puisque, dans ses conclusions, il demandait l'ouverture de nouvelles pistes de recherche.

Nous avons finalement étudié quatre options. L'option 1 est le projet Cigéo tel qu'envisagé par la loi. L'option 2 consiste à lancer la première phase de Cigéo (construction et phase industrielle pilote), à démarrer le stockage des déchets MA-VL et à lancer en parallèle un programme massif de R&D pour trouver une solution alternative à l'enfouissement en couches géologiques profondes des déchets HA. À l'issue de ces recherches et en fonction de leurs résultats, les déchets HA seront stockés soit selon la solution alternative, soit dans Cigéo. Pour pouvoir estimer le coût de cette option, nous étions dans l'obligation de choisir parmi les pistes alternatives existantes et nous avons retenu celle du forage profond.

L'option 3 est assez similaire à l'option 2, à ceci près que le programme de R&D porte à la fois sur les déchets HA et sur les déchets MA-VL, avec des décisions distinctes pour ces deux catégories de déchets en fonction des résultats. L'arbre de décision qui en résulte est plus complexe que le précédent.

Dans l'option 4, l'investissement dans le projet Cigéo est abandonné, à l'exception de dépenses de maintien des compétences. Un programme de R&D intensive est lancé pour trouver une solution alternative pour le stockage des déchets HA et MA-VL. L'inconvénient de cette option est que l'abandon du projet Cigéo risque de conduire à la perte du site de Bure, dans l'hypothèse où les autorisations administratives ne seraient pas prolongées, ou en cas de forte contestation sociale. L'arbre de décision devient encore plus complexe, selon que les recherches sont fructueuses ou non, que le site de Bure est conservé ou perdu, et que, dans ce dernier cas, un nouveau site est identifié ou non. En cas d'échec sur ces différents points, la seule solution sera l'entreposage en surface pour une durée illimitée.

Quel scénario sociétal de référence à très long terme ?

Une deuxième caractéristique des ESE est que le projet et les options alternatives doivent s'inscrire dans un cadre macroéconomique et institutionnel constituant le scénario de référence. Dans le cas de Cigéo, celui-ci est particulièrement difficile à déterminer, compte tenu de la durée de vie extrêmement longue du projet. Dans mille ans, cinquante mille ans, cent mille ans, à quoi ressemblera la société ?

Nous avons choisi d'élaborer deux scénarios très contrastés, baptisés OK et KO, sur l'état de la société à des horizons très lointains. Dans le scénario OK, la société vit en paix, avec des institutions fortes, capables de maintenir les normes de sûreté actuelles, voire de les améliorer. Sur le plan macroéconomique, nous avons pris en compte les prévisions du Conseil d'orientation des retraites, établies jusqu'en 2060, puis nous avons fait l'hypothèse d'une stabilité indéfinie du taux de croissance prévu par ce Conseil pour 2050-2060.

Le scénario KO se caractérise par une baisse progressive de la qualité des institutions et par leur incapacité à

maintenir des normes suffisantes, en sorte que la sûreté des sites d'entreposage ne peut plus être garantie. Sur le plan macroéconomique, nous avons utilisé le scénario le plus pessimiste du GIEC (Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat), baptisé SSP3. Comme ce scénario prévoit, malgré tout, un taux de croissance positif à l'horizon 2100 et que nous souhaitons contraster au maximum les deux scénarios, nous l'avons modifié arbitrairement, à partir de 2080, afin d'aboutir à un taux de croissance nul en 2100 et au-delà.

Comment monétariser les coûts et bénéfices des différentes options ?

Troisième caractéristique des ESE, les coûts et les bénéfices peuvent être de natures différentes (sociale, économique, environnementale...) mais doivent tous être exprimés en une seule et même unité afin de permettre des comparaisons. Il faut donc les monétariser. Dans le cas de Cigéo, cet exercice a été relativement aisé dans la mesure où les coûts et bénéfices sont essentiellement d'ordre économique.

Comme Cigéo et les autres solutions éventuelles de gestion passive ne nécessitent pas d'intervention humaine pour assurer la sûreté, le risque d'accident y est plus faible que dans l'option du stockage en surface. Dans le scénario OK, où des normes robustes sont maintenues, le choix de l'une ou l'autre option n'entraîne pas vraiment de différences majeures sur le plan économique. En revanche, dans le scénario KO, nous avons estimé que la probabilité d'un accident dans les installations de surface est comprise entre 10^{-4} et 10^{-3} , en sachant que les normes de sûreté actuelles exigent une probabilité de 10^{-6} , et nous avons tenté de chiffrer les coûts correspondants (gestion des réfugiés, décontamination, traitement des déchets, impact économique).

Quel taux d'actualisation choisir ?

La quatrième caractéristique des ESE est que les coûts et bénéfices pouvant survenir dans le temps long doivent être exprimés en valeur actuelle, ce qui pose la question de leur taux d'actualisation.

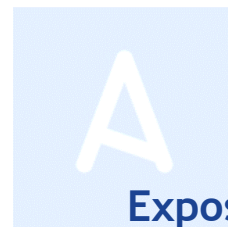
Cet aspect a été énormément débattu dans le cas de l'évaluation de Cigéo. Les recommandations officielles sur la façon de valoriser les flux futurs dans le cadre des ESE ne vont pas au-delà de 2070, ce qui nous laissait assez démunis. Nous avons effectué différents calculs, en faisant varier la valeur du taux d'actualisation dans le temps (entre 2019 et 2070, en 2170, à partir de 2270) ; en la faisant également varier en fonction du scénario considéré, OK ou KO ; en distinguant deux types de flux (flux de génie civil, flux de recherche et de maintien des compétences), qui varient selon le PIB et affectent la prime de risque prise en compte dans le taux d'actualisation ; et enfin, en adoptant divers taux d'actualisation (haut, intermédiaire et bas).

Une conclusion qui informe plus qu'elle ne prescrit

Selon notre évaluation, l'option 1 est toujours préférable aux options 2 et 3, et ce, quels que soient le scénario et le taux d'actualisation. Dans la mesure où ces trois options comportent la mise en sûreté définitive des déchets HA, la probabilité d'accident est équivalente entre les trois ; en revanche, les coûts sont plus élevés pour les options 2 et 3, car les investissements supplémentaires en R&D viennent s'ajouter aux coûts de construction et de phase industrielle pilote de Cigéo prévus dans les trois options.

La comparaison entre l'option 1 et l'option 4 est moins univoque. Nous avons réalisé une simulation de Monte Carlo et celle-ci montre que, dans la perspective d'un scénario KO, l'option 1 devrait être choisie quel que soit le taux d'actualisation, en raison de la probabilité non négligeable de survenue d'un accident. Dans la perspective d'un scénario OK, l'option 1 ne devrait être choisie que dans le cas d'un taux d'actualisation faible. Pour un taux d'actualisation intermédiaire ou élevé, l'option 4 serait préférable.

Compte tenu de cette incertitude, cette ESE est plus informative que prescriptive.



Exposé

Reza Lahidji

Reza Lahidji est économiste spécialisé dans l'évaluation des politiques publiques et l'analyse de la décision en situation d'incertitude. Il a été membre du comité d'experts économistes auprès de l'Andra pour l'évaluation socio-économique de Cigéo.

Pour compléter l'exposé de Julie de Brux, je vais revenir sur la notion d'incertitude, qui est au cœur de la construction des scénarios OK et KO.

L'incertitude sur les coûts, et surtout sur les bénéfices

Les coûts du stockage des déchets radioactifs en couches géologiques profondes sont assez bien documentés, même si quelques fluctuations sont à prévoir. Non seulement les grands projets sont sujets à des dépassements de budget substantiels mais, si le

démarrage de Cigéo est reporté trop longtemps, il n'est pas impossible que le site de Bure soit perdu. Or, l'expérience, notamment aux États-Unis, montre qu'il est très difficile de trouver un nouveau site.

Les incertitudes sont encore plus importantes du côté des bénéfices du projet. La raison d'être du stockage est de réduire le risque d'exposition aux rayonnements issus des déchets, mais ce risque est considéré comme faible. En effet, sur un site d'entreposage, la plupart des déchets sont inertes, et les plus actifs, de type HA, sont piégés dans des matrices de verre, ce qui écarte a priori le risque de réaction en chaîne, sauf dans le cas d'un état très avancé de dégradation des capacités de régulation. Le bénéfice annuel espéré d'un équipement comme Cigéo peut donc paraître faible par rapport au coût du projet.

D'un autre côté, l'horizon de décroissance de la radioactivité des déchets étant très long (jusqu'à un million d'années), le risque d'exposition évoluera certainement durant cette période, ce qui milite en faveur d'une sûreté passive. À de tels horizons temporels, nous sommes davantage capables d'anticiper l'évolution de la géologie que celle de la société humaine, et il est donc préférable de s'en remettre à l'argile pour assurer notre sûreté. De ce point de vue, le bénéfice du projet peut être défini comme la réduction du risque d'un risque, c'est-à-dire la réduction du risque d'exposition aux rayonnements issus des déchets dans un contexte de sûreté dégradée.

L'élaboration du scénario KO

Pour essayer d'évaluer ce bénéfice, nous avons réfléchi aux raisons pour lesquelles le risque d'accident dans des installations nucléaires, et spécifiquement dans des sites d'entreposage de déchets, pourrait augmenter à long terme.

Pour cela, nous avons dû nous défaire du paradigme de la modernisation, selon lequel nous cheminerions sur une voie à sens unique vers toujours plus de richesses, de progrès social et de qualité des services rendus par les institutions publiques. Non seulement l'Histoire nous enseigne que le progrès n'est pas irréversible, mais nous faisons actuellement face à des défis sans précédent, comme le réchauffement climatique et la perte de biodiversité, qui pourraient se traduire par une longue période de stagnation économique ; c'est d'ailleurs l'un des scénarios économiques retenus par le GIEC. À leur tour, ces difficultés économiques pourraient entraîner une régression institutionnelle et une perte de capacité des services publics, c'est-à-dire, dans le cas particulier qui nous occupe, une réduction de l'attention et des ressources consacrées à la sûreté nucléaire.

Ces hypothèses ont servi de base au scénario KO, dans lequel nous avons imaginé que, d'ici 150 ans, soit à peu près au moment de la fermeture prévue de Cigéo, le risque d'accident nucléaire serait revenu au niveau qu'il

avait il y a cinquante ans, au début du programme électronucléaire français. Il ne s'agirait pas d'un effondrement total, mais d'une dérive progressive qui ferait passer la probabilité d'accident majeur de 10^{-6} actuellement à 10^{-4} ou 10^{-3} . Appliquer cette probabilité aux conséquences d'un accident nucléaire (que l'on a évaluées avec l'aide de l'IRSN, Institut de radioprotection et de sûreté nucléaire) suffit à rendre comparables le bénéfice espéré du projet et son coût.

L'impossibilité d'évaluer la vraisemblance du scénario KO

Il faut garder en tête que ces probabilités sont indicatives, étant donné en particulier notre faible connaissance des circonstances pouvant mener à un accident dans un entrepôt de colis de déchets. Parmi les facteurs ayant conduit à des accidents dans des centrales nucléaires, ont été suspectées, par exemple, un référentiel de sûreté inadapté à Tchernobyl, ou encore une forte collusion entre l'industrie et les autorités de régulation dans le cas de Fukushima. En revanche, il n'existe pas de précédent d'accident majeur dans un site d'entreposage de déchets nucléaires.

Vient ensuite la difficulté d'estimer le degré de vraisemblance du scénario KO lui-même. Les ouvrages sur les épisodes d'effondrement macroéconomiques sont de peu d'utilité pour évaluer cette vraisemblance, en raison du caractère nouveau des défis actuels et à venir. L'article de référence en la matière, celui de Robert J. Barro, *Rare disasters and asset markets in the twentieth century* (2006), définit comme un désastre rare tout événement ayant entraîné une baisse cumulative du PIB ou de la consommation d'au moins 10 % sur plusieurs années. Les trois chocs du XXe siècle répondant à cette définition sont la première guerre mondiale, la grande dépression des années trente et la seconde guerre mondiale. Barro en conclut que la probabilité d'un effondrement de ce type est de 2 %, mais que valent ces calculs s'agissant du réchauffement climatique, des vagues migratoires qui s'annoncent, ou encore des tensions sur les ressources rares ?

Le scénario KO est-il le plus pertinent ?

Non seulement nous disposons de très peu de références pour estimer la vraisemblance du scénario KO, mais nous ne savons même pas si celui-ci est le plus pertinent à prendre en compte. Il se pourrait, par exemple, que les risques liés à un possible trafic des déchets radioactifs ou ceux d'attaques délibérées sur les sites d'entreposage soient plus importants que ceux d'un accident tel que nous l'avons imaginé.

De plus, nous ne savons pas si l'affaiblissement institutionnel serait plus probable dans un scénario à croissance faible que dans un scénario à croissance forte mais non soutenable. On peut imaginer, par exemple, qu'une poursuite de la croissance accompagnée d'une augmentation des inégalités et d'une aggravation des

impacts environnementaux conduisent à des conflits encore plus violents que dans le scénario KO retenu. Or, la perspective macro-économique est déterminante pour le choix du taux d'actualisation.

Simuler les conditions de rentabilité de Cigéo

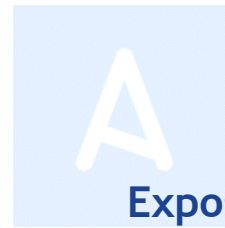
Au total, nous ne pouvons pas, en toute rigueur, associer des probabilités aux scénarios OK et KO, et, de ce fait, nous ne pouvons pas conclure l'ESE par un calcul de valeur actuelle nette unique. Nous pouvons, en revanche, utiliser les scénarios comme des supports de simulation des conditions de rentabilité de Cigéo, par exemple sous la forme d'un calcul de la probabilité pivot de KO, c'est-à-dire de la probabilité à partir de laquelle la valeur actualisée nette de Cigéo passe de négative à positive.

En prenant un taux d'actualisation intermédiaire, cette probabilité pivot est de 8 %. Dès lors que l'on estime qu'un scénario de déclin institutionnel dans lequel les autorités de régulation ne seraient plus capables d'assurer la sûreté nucléaire à plus de 8 % de chances de se réaliser à un moment quelconque entre aujourd'hui et la fermeture du site, il est préférable de choisir l'option 1.

La nécessaire articulation entre ESE et débat public

En ce qui concerne la place et l'usage des ESE dans le débat public, il existe trois grandes positions. Les adversaires résolus des ESE y voient, au mieux, un outil technocratique ; au pire, une lubie d'économiste. Les partisans d'un usage prescriptif assument de manière plus ou moins explicite le côté « boîte noire » de l'ESE et défendent l'idée que le résultat de ce processus calculatoire doit théoriquement représenter le choix optimal du point de vue collectif. Entre les deux, certains défendent un usage heuristique de l'ESE, comme instrument pour la construction d'une décision collective, notamment à travers le débat public.

L'ESE que nous avons menée s'inscrit résolument dans cette troisième perspective. Le débat particulièrement animé que nous avons eu avec les partisans d'un usage prescriptif a pu être assez facilement tranché, compte tenu de la spécificité de cette ESE, à savoir l'incertitude inédite à laquelle est actuellement confrontée notre société.



Exposé

Bernadette Bensaude-Vincent

Bernadette Bensaude-Vincent est philosophe et historienne des sciences, spécialiste internationalement reconnue de l'étude des technosciences et membre du comité éthique et société de l'Andra.

Le choc des temporalités

Le projet Cigéo est confronté au choc de deux temporalités, celle du temps physique, avec des déchets dont la radioactivité peut durer des centaines de milliers d'années et qui sont autonomes, au sens où ils ne dépendent de rien d'autre que des lois de la physique nucléaire ; et celle du temps politique, caractérisé par des décisions à vie courte et souvent réversibles, au gré des élections mais aussi de l'action des riverains, de la société civile, des zadistes, ou encore des effets de l'évolution des cours du pétrole ou des guerres.

En réalité, Cigéo est un « paysage-temps » surpeuplé de temporalités multiples, dont beaucoup sont aléatoires et dont la plupart sont interdépendantes. Du côté de la physique et de la nature, le temps de radioactivité de l'uranium et du plutonium interfère avec la durabilité du verre et du ciment des conteneurs, avec celle de l'argile qui prendra le relais, mais aussi avec le biotope présent dans cette argile ou encore avec les aléas climatiques en surface. Du côté politique, le devenir de Cigéo dépend des résultats de la recherche, des avancées technologiques, de l'action des opposants, du terrorisme, de l'éventuel délitement des institutions, voire d'un effondrement de notre civilisation.

La gestion des incertitudes

Comment les porteurs du projet Cigéo gèrent-ils toutes ces incertitudes ? Les experts ont réalisé un travail très approfondi sur les données d'entrée des colis, leurs composants, l'évolution du stockage, l'évolution du

milieu géologique et de la biosphère, ou encore les changements technologiques. À ceci s'ajoutent des contraintes réglementaires, comme le principe de réversibilité prévu par la loi Bataille, selon lequel les générations successives doivent avoir la capacité « *soit de poursuivre la construction puis l'exploitation des tranches successives du stockage, soit de réévaluer les choix définis antérieurement et de faire évoluer les solutions de gestion* ». En pratique, les ingénieurs sont assez peu confiants dans la possibilité de récupérer les colis après un certain nombre d'années.

Après avoir essayé de circonscrire toutes ces incertitudes, les experts ont abouti à la notion d'« incertitudes résiduelles », désignant celles qui débordent l'analyse classique des risques. Toute la question est de savoir si certaines de ces incertitudes peuvent affecter la sûreté du projet. La solution retenue a consisté à définir des « scénarios enveloppes », avec, d'un côté, le scénario le plus plausible compte tenu des connaissances actuelles (OK) et, de l'autre, le scénario du pire (KO).

Le programme Mémoire de l'Andra

Une autre approche de l'incertitude, beaucoup moins techniciste, est le programme Mémoire, mis en œuvre par l'Andra depuis une dizaine d'années. L'objectif est triple : empêcher les intrusions involontaires dans les installations, transmettre la connaissance des installations afin de permettre leur maintenance ou leur transformation (en cas de progrès technique ou de changement de politique), transmettre l'héritage culturel du projet. Le cadre réglementaire prévoit que la mémoire du projet doit être conservée pendant 500 ans en ce qui concerne le stockage géologique. Transférer des connaissances sur un temps aussi long pose un double problème, celui du langage ou de la signalétique à employer et celui de la durée des matériaux qui serviront de support à ces messages.

Cinq axes de travail

Le programme Mémoire définit cinq axes de travail. Le premier est la transmission des archives du projet, qui comprennent un dossier synthétique destiné au grand public et un dossier détaillé à l'attention des futurs exploitants, le tout représentant environ 11 000 documents rédigés en anglais (alors que la langue des siècles à venir sera peut-être le chinois...). Le deuxième axe est la recherche de supports médiatiques le plus variés possibles : papier, podcasts, réseaux sociaux, mais également groupes locaux de mémoire. Le troisième axe comprend un appel à projets d'artistes pour définir la signalétique la plus universelle possible et une recherche sur la durabilité de divers matériaux de stockage (papier, céramique, numérique...). Le quatrième axe est une approche très originale d'archéologie des paysages visant à guider la lecture des

traces en distinguant le naturel de l'artificiel. Cette démarche pourrait conduire, notamment, à « ensemencer » la descenderie de Cigéo avec des jetons. Le cinquième axe est une étude de socio-anthropologie sur les analogues mémoriels, en particulier sur la mémoire des plans, savoir-faire et compétences qui ont permis la réalisation du canal du Midi.

Problèmes et limites du travail de mémoire

Ce programme a suscité des débats : faut-il vraiment transmettre la mémoire de Cigéo ? Ne vaudrait-il pas mieux laisser les générations suivantes oublier ce projet ? La réponse a été négative, non seulement parce que nous ne pouvons pas décider à la place de nos descendants mais parce que l'oubli ne se décrète pas. La mémoire est, au contraire, l'une des caractéristiques essentielles de toutes les civilisations humaines.

On peut aussi s'interroger, malgré la volonté affichée de partage universel, sur le caractère ethnocentrique de la vision très linéaire du temps sur laquelle repose ce programme. On pourrait imaginer une approche plus patrimoniale, avec un recours au mythe ou au récit, ou encore des monuments dédiés à « l'âge du nucléaire ».

Une volonté de démocratie technique

La gouvernance de Cigéo repose sur deux grands principes, une expertise pluraliste et une concertation réunissant l'ensemble des parties prenantes (riverains, société civile, opposants, élus, décideurs...). Selon la loi du 25 juillet 2016, « *Afin de garantir la participation des citoyens tout au long de la vie d'une installation de stockage en couche géologique profonde, l'Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs élabore et met à jour, tous les cinq ans, en concertation avec l'ensemble des parties prenantes et le public, un plan directeur de l'exploitation de celui-ci* ».

Cette volonté de « démocratie technique » s'est traduite par l'organisation de nombreuses concertations, à commencer par la création, à Bure, d'un CLI (Comité de liaison et d'information) qui, depuis 2012, organise des séminaires d'information et de co-instruction du dossier de sûreté ; puis les concertations organisées en 2017 et 2018 par la Commission nationale de débat public ; une conférence citoyenne sur la phase industrielle pilote qui s'est tenue en 2021 ; et enfin un atelier sur les controverses organisé au sein de l'IRSN, piloté par Michel Badré et destiné à faire émerger les points d'accord et de clivage.

Par comparaison avec la tradition du secret - voire du mensonge par omission - qui a dominé la culture du nucléaire pendant un demi-siècle, on peut souligner l'effort de sincérité, de transparence et de dialogue que représente cette démarche participative. Les limites de l'exercice tiennent à la technicité du dossier, qui

entraîne un coût d'entrée important pour le public ; à l'approche techniciste pratiquée, notamment, par l'IRSN, qui parle d' « ingénierie de la participation » ; ou encore à la question non résolue de savoir qui, au sein de ces concertations, se fait le porte-parole des générations futures et des non humains.



Débats

Le maintien des compétences

Sera-t-il possible de maintenir les compétences dans le cas où Cigéo ne serait pas construit... ?

Julie de Brux : Nous avons calculé le coût du maintien des compétences en nous basant sur la masse salariale correspondant à un certain périmètre de recherche.

Le volume des déchets

Dans le chiffrage des différents scénarios, le coût de l'entreposage en surface semble constant au fil du temps. Ne doit-on pas prévoir l'arrivée de déchets supplémentaires ?

Pierre-Benoit Joly : L'ESE s'est fondée sur le volume de déchets correspondant au parc actuel.

Le faible impact des coûts d'entreposage en surface

Echanges entre participants :

L'un des graphiques montre un coût constant pour l'entreposage en surface mais, dans les données prises en compte dans l'ESE, les flux varient tous les cent ans, période à laquelle les déchets sont censés être stockés dans de nouveaux entrepôts, les anciens étant alors démantelés.

L'expérience montre que le renouvellement de l'entreposage entraîne souvent une explosion des coûts : les colis ont vieilli, les normes ont changé, le public n'est pas forcément prêt à accepter la construction d'un nouvel entrepôt, etc.

Pierre-Benoit Joly : Nous avons adopté une hypothèse conservatrice car nous ne souhaitons pas pousser systématiquement le curseur vers des estimations avantageant l'option Cigéo. Cela dit, par rapport au choix du taux d'actualisation, même un coût de renouvellement des entrepôts multiplié par trois dans cent ans, par exemple, aurait très peu d'incidence sur le résultat du modèle.

Démontrer une évidence

Le même type d'évaluation a-t-il été mené pour des centres de stockage souterrains dans d'autres pays ?

Reza Lahidji : En Suède et aux États-Unis, des tentatives ont été faites pour chiffrer le coût de tels projets, mais nous avons été les premiers à essayer de quantifier les bénéfices de la sûreté passive.

Compte tenu du risque de disparition de toute gouvernance, par exemple en raison d'une épidémie ou d'une guerre, la seule solution moralement acceptable n'est-elle pas, de toute façon, le stockage en couche géologique profonde ?

Pierre-Benoit Joly : Le calcul des probabilités d'un événement de ce type et des coûts qui s'ensuivraient permet de démontrer ce qui apparaît en effet comme une évidence : il vaut mieux faire confiance aux couches géologiques profondes qu'aux humains.

L'illusion de prévoir l'avenir

Echanges entre participants :

En tant que physicien, j'ai le sentiment que le taux d'actualisation ressemble à un potentiomètre que chaque acteur peut régler à sa façon afin d'exprimer sa vision du futur, ce qui rend problématique la valeur prédictive de tout ce travail...

L'ESE de Cigéo suppose d'imaginer la situation qui pourrait exister dans un futur lointain, par exemple dans 400 ans. Or, nos ancêtres d'il y a 400 ans ne pouvaient en aucun cas imaginer la situation que nous connaissons aujourd'hui. C'est également vrai pour des périodes beaucoup plus proches. Lorsque j'ai commencé à travailler, il y a 35 ans, les ordinateurs n'existaient pas, ni Internet. Il nous est donc très difficile d'imaginer où en sera notre société ne serait-ce que dans 35 ans. Ne serait-il pas plus raisonnable de concevoir le meilleur projet de stockage des déchets nucléaires pour nous et pour notre société, sans nous préoccuper d'un avenir que nous ne saurions en aucun cas prévoir ?

La contribution de l'ESE de Cigéo au débat public

Echanges entre participants :

L'ESE de Cigéo a été réalisée dans le cadre du dossier de déclaration d'utilité publique et, de ce fait, elle a alimenté le débat public associé à ce dossier réglementaire. Elle a ainsi répondu au double objectif d'éclairer à la fois les décideurs et la société civile.

Le cas de Cigéo a également eu le mérite de faire progresser la méthodologie des ESE en ouvrant des pistes sur la prise en compte du futur, l'arbitrage entre présent et futur autour du taux d'actualisation, l'élaboration de scénarios de type OK et KO et la prise en compte du risque systémique.

J'ai assisté récemment à un débat sur les futurs EPR et, en lisant la documentation remise par les opposants, je

songeais que toute la concertation organisée sur ces sujets ne sert manifestement pas à grand-chose, car les opposants campent sur leurs positions et refusent d'admettre même des données physiques.

L'impossibilité d'accélérer le processus

Avec la guerre en Ukraine, l'hypothèse que des sites de stockage de surface soient bombardés a pris de la consistance. Ne faudrait-il pas accélérer le processus et démarrer la construction de Cigéo dès que possible ?

Reza Lahidji : Les déchets HA, qui représentent l'essentiel de la radioactivité, ne seront prêts à être stockés dans Cigéo qu'à partir de 2080. Il n'est pas possible d'aller plus vite.

Mots clés : Andra, Cigéo, débat public, déchets nucléaires, décision publique, évaluation socio-économique, investissement public, sûreté nucléaire

Citation : Pierre-Benoit Joly, Julie de Brux, Reza Lahidji & Bernadette Bensaude-Vincent. (2022). *Comment prendre en compte le très long terme et l'incertitude dans les décisions d'investissement public ? Rôle de l'évaluation socio-économique et du débat public.* Les séances thématiques de l'Académie des technologies. @

Retrouvez les autres parutions des séances thématiques de l'Académie des technologies sur notre site

Académie des technologies. Le Ponant, 19 rue Leblanc, 75015 Paris. 01 53 85 44 44. academie-technologies.fr

Production du comité des travaux. Directeur de la publication : Denis Ranque. Rédacteur en chef de la série : Hélène Louvel. Auteur : Élisabeth Bourguinat. N°ISSN : 2826-6196.

Les propos retranscrits ici ne constituent pas une position de l'Académie des technologies et ils ne relèvent pas, à sa connaissance, de liens d'intérêts. Chaque intervenant a validé la transcription de sa contribution, les autres participants (questions posées) ne sont pas cités nominativement pour favoriser la liberté des échanges.