

Verbatim du débat public ITER, horizons lointains Réunion thématique

Paris, le 7 avril 2006

Exposé sur le débat public	2
Patrick LEGRAND, Président de la Commission Particulière de Débat Public	
Présentation générale du projet ITER	6
Bernard BIGOT, commissaire à l'énergie atomique	
Echanges avec le public	12

Exposé sur le débat public

Patrick LEGRAND, président de la CPDP

Bonsoir et bienvenue au Muséum d'histoire naturelle dans ce bel amphithéâtre chargé de mythes et de symboles. Avouez avec moi que ce Verniquet, comme ce qui est inscrit là-haut d'ailleurs, restauré, reste aussi impressionnant qu'il devait l'être dans son jus révolutionnaire. Avouez aussi qu'avec quelques autres, l'ombre d'un architecte, à cheval sur la révolution sans y perdre la tête, membre de l'Athénée des arts et de la société libre des sciences et par ailleurs auteur d'un plan de Paris et du belvédère de Buffon que vous avez là-bas tout près, ne devrait pas nuire à nos conversations.

Le débat public ITER aujourd'hui à Paris est dans sa deuxième et dernière phase, depuis sept réunions, et pour une seule encore avant sa clôture le 4 mai prochain. Ces réunions thématiques visent à approfondir un aspect particulier d'une question dont chacun sait maintenant qu'elle est compliquée. D'abord, la machine ITER, aussi formidable qu'elle promet d'être, est inséparable des options planétaires qui la déterminent, des finalités énergétiques qu'elle poursuit et des institutions internationales qu'elle servira. Ensuite, ITER en Provence, d'une autre complexité et par certains côtés plus flou, ne peut s'y résumer, et pour l'une comme pour l'autre, l'entremêlement parfois incertain des processus de décision, des enjeux des uns et des autres, des échelles et des horizons temporels accentue encore la complexité générale, jusqu'à multiplier bien des incompréhensions, des paradoxes et des contradictions, jusqu'à susciter des espoirs démesurés et des interprétations sollicitées parfois.

En en discutant, rien n'est alors plus facile que de se tromper de questions, que de se tromper de réponses ou que de se tromper de postures. C'est même presque dirons-nous dans le débat public la règle. D'une certaine façon, le débat public joue alors, à ses risques et périls, le rôle de révélateur, et exemple parmi d'autres, notre propre débat s'est vu d'emblée opposé une inutilité définitive au motif que l'offre de la France et de l'Europe pour l'installation d'ITER à Cadarache était ferme et déterminée, alors que le traité international, formalisant l'aventure scientifique, se négociait encore et est, à cette heure, ni paraphé ni ratifié. Mais les 14 premières réunions du débat ITER en Provence ont démontré le contraire. Même la première qui, à Aix-en-Provence, fut un peu chahutée, tonitruante comme un coup de cymbale d'ouverture. Souhaitable, le débat est souhaité et il est productif. Nous reviendrons sans doute sur tout cela quand, dans le compte-rendu qui sera remis à la Commission nationale du débat public, il nous faudra préciser les conditions du débat, et leurs effets sur ces résultats, et apprécier les enseignements plus généraux qu'il faudra en tirer pour que cette innovation politique et le débat public sur une affaire scientifique perdurent.

La première étape de notre débat public sur ITER en Provence, celle des réunions généralistes qui se sont tenues du 16 janvier au 26 février d'Avignon à Nice, a déjà confirmé plusieurs éléments, et entre autres, premièrement, un besoin général d'information accessible, communément partagé et contradictoirement validé. Le temps n'est plus à l'aveuglant battage médiatique, il n'est plus non plus aux seules conversations d'experts et de petits comités. Deuxièmement, une aspiration nouvelle au doute méthodique et public sur par exemple les vocations de la recherche à vocation énergétique, sur la réussite de l'expérience. Troisièmement, une aspiration à un inéluctable réalisme sur les retombées économiques, sur la capacité réelle et structurante du projet ITER, sur l'attitude collective à porter le projet ITER en Provence sur le long terme, donc une aspiration inéluctable à un réalisme qui, seul, rend possible le succès. Quatrièmement, un désir impératif de cohérence globale et durable de l'ensemble du projet et de l'ensemble des projets. Cinquièmement,

une exigence partagée d'intégration du projet et de ses conséquences dans la société et dans la culture régionales. Enfin, la nécessité d'une concertation ouverte à tous, internationale et au long cours, au-delà même de notre débat public, tel que nous le vivons depuis maintenant quatre mois. Des questions plus fines ont bien sûr été évoquées sur les aménagements, sur les conditions d'accueil ou les conditions d'hospitalité, sur les intentions et les responsabilités des partenaires internationaux ou de l'Europe, sur le démantèlement et les déchets, sur les financements, sur les dispositifs de suivi et d'évaluation périodiques, et d'autres choses encore.

Depuis ces pré-réunions, premières réunions, les réunions dédiées ont permis de mettre en discussion les problématiques plus ciblées. La première, « l'interaction ITER et l'aménagement du territoire en PACA », à Marseille, une seconde, « ITER, un projet scientifique et une option énergétique ? » à Aix-en-Provence, la troisième « ITER, un projet technologique et économique », par deux fois, à Salon de Provence et à Brignoles, et une autre réunion encore, « ITER et l'environnement régional » à Pertuis, et à Marseille, la question « de la gouvernance et des institutions ». Certes, cette exploration se fait de façon imparfaite et inégale. Des interrogations sont encore restées latentes comme la controverse scientifique et technologique, dont peut-être les tenants n'estiment pas la place publique digne, comme aussi et paradoxalement les enjeux environnementaux, tant les porteurs traditionnels avaient probablement d'autres chats à fouetter, et d'autres interrogations latentes encore qu'il s'agira d'approfondir ultérieurement.

Simultanément à ces réunions dédiées, ciblées sur les problématiques, et mise à part une réunion complémentaire et à vocation générale à Gap la semaine dernière, mise à part aussi une réunion un peu drôle sur le débat sur le débat, souhaité et peu suivie, mais tout de même instructive, nous avons tenu trois rendez-vous locaux qui étaient destinés à l'écoute des habitants qui vivront à proximité immédiate de l'installation. Nous avons donc été à Saint Paul lez Durance le 24 février pour une réunion très courue. Nous étions hier à Vinon au bord du Verdon. Nous serons, pour une réunion qui préfigurera la réunion de conclusion à Marseille le 4 mai, à Beaumont-de-Pertuis le 26 avril.

Ce soir, à Paris, ce sont donc les horizons lointains qui sont au centre des discussions. Notre commission a cerné cette problématique globalement prospective par un titre « ITER, et après ? » et par quelques questions clés : après ITER, quelles options énergétiques ? Quels défis ? Quelles étapes technologiques ? Quelle politique de développement durable ? Pour qui, pourquoi et comment ? ITER, les avènements de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur. Nous avons discuté en Provence d'enjeux locaux, certes, mais aussi d'enjeux mondiaux, et pourquoi ne pas évoquer ici, en formes d'échanges, ces interrogations sur le futur d'une région française ? Enfin, troisième question clé ou ensemble de questions clés : après ITER, quelles perspectives pour la science et la recherche ? Quel devenir pour les résultats ?

Ces premières questions ne sont pas sorties du cerveau fumeux de notre commission. Elles ont servi de toile de fond à la conception et à la justification du projet, telles que ce que l'on appelle joliment les personnes publiques responsables du projet les ont décrites, évidemment dans le résumé, dans le dossier du débat, qui est à votre disposition sur les tables à l'entrée. Vous ajouterez sûrement d'autres questions à ces premières questions. Toutes entament un processus de débat public qui nous met 30, 50, 80 ans en avance sur l'éventuelle mise en œuvre opérationnelle d'une technologie qui aurait entre-temps abouti. Voilà qui nous permettra peut-être d'éviter de nous retrouver dans la même situation plus tard, et peut-être d'autres aussi, qu'un certain EPR qui a donné lieu à un débat public récent, mais il est vrai que la Provence n'est pas la Manche. Peut-être cela nous conduira-t-il aussi à inventer des procédures de débat public plus internationales. Après tout, la France ne fut pas la seule à signer, lors du sommet de la Terre organisé par les Nations Unies en 1992, l'agenda 21 et ses bonnes intentions de gouvernance.

Ce soir, pour ouvrir le sujet et le débat sur ce sujet particulièrement important, qui a pleinement sa place dans des conditions identitaires et est autant un projet de société qu'un projet scientifique et technique, nous entendrons Monsieur Bernard Bigot, commissaire à l'énergie atomique, qui est donc ici à ma gauche, et il va tracer les premières perspectives. Monsieur Kaname Ikeda, qui est au premier rang là-bas, ambassadeur et directeur général d'ITER International, Monsieur Didier Gambier, que j'ai vu tout à l'heure et qui est là, qui est chef de l'unité fusion contrôlée de la direction générale de la recherche à la Commission européenne. Madame Pascale Amenc-Antoni, qui est sur ma gauche aussi, directrice générale d'ITER France et du CEA/Cadarache, Monsieur Yannick Imbert qui est aussi sur ma gauche -décidément je suis très cerné par la gauche ces temps-ci-, Monsieur Yannick Imbert, chef de mission auprès du Préfet de région Provence-Alpes-Côte d'Azur chargé des projets d'accompagnement d'ITER, et d'autres sans doute compléteront sûrement ces propos, ces premiers propos, de Monsieur Bigot lors des discussions. Je les remercie en tout cas tous de se prêter à l'exercice.

Quelques rappels enfin. Parfois, la procédure du débat public en général, et notre débat public en particulier, nécessite ces rappels de forme. Premièrement, chacun sait maintenant que le débat public est un processus cumulatif qui aboutit, sous la responsabilité administrative de l'organisme indépendant qu'est depuis 2002 la Commission nationale du débat public, à porter à la connaissance des responsables du projet l'ensemble des positions, des questions, des contributions et des avis émis par le public. Ces responsables ont alors trois mois pour tirer officiellement et publiquement les conséquences de ce qui a été recueilli. Deuxièmement, nous savons tous qu'à aucun moment, notre Commission particulière, que je vous présenterai ultérieurement, n'a d'avis technique à émettre, que le débat public intervient largement en amont de l'enquête publique qui, elle, fait partie des processus d'autorisation de la réalisation concrète des projets.

J'en profite pour vous présenter rapidement les membres de la Commission particulière présents, ces citoyens normaux en loisir civique, que le débat transforme parfois, sont à votre disposition. A ma droite -il faut bien avoir quelqu'un à sa droite- Didier Houi. Je pense qu'Isabelle Giri est là en bas. Vous avez Carole Guilhaumé qui est assise là en bas, Patricia Jean, qui est un peu plus haut, trois dames, Hervé Le Guyader, qui est ici, Yves François, le septième de la bande manque à l'appel. Il laboure sans doute dans l'Ain.

Troisièmement, les principes du débat commencent eux aussi à être connus, on parle même de rites : transparence et clarté, c'est-à-dire qu'il vaut mieux tenter de ne biaiser ni l'information ni la raison, autrement dit plus rapidement, essayons d'éviter la langue de bois. Transparence et clarté, voici l'enjeu déterminé, éviter la langue de bois, ce qui n'est pas toujours simple. Deuxièmement, équivalence, chacun est légitime à parler et à entendre, à avoir des questions, des avis, évidemment à partir du moment où il respecte les règles du dialogue. Troisièmement, argumentation, fonder ses positions est encore la meilleure façon de les exposer, même si ce n'est pas toujours faisable. Ajoutons aussi, pour faire bonne mesure, et parce que nous avons acquis avec l'expérience la certitude que c'était un impératif, courtoisie et concision, pour permettre à beaucoup de parler et de s'entendre. Attention et considération, à chacun, il est conseillé aussi d'écouter même les avis divergents et sans tordre le nez. Pardonnez-moi ce petit manuel du savoir débattre.

Autre chose, les questions écrites sont plutôt faites pour qui n'envisagerait pas d'intervenir par oral, quelle qu'en soit la cause. Le président de séance s'en fera le porteur et si d'aventure, l'évolution des discussions ne leur laissait pas de place, il sera répondu par écrit, comme pour une question posée par Internet. Dernière remarque, la parole sera évidemment donnée à la salle après la première intervention, et essayons alors d'emblée et ensemble de préserver ce que j'appelle le nécessaire privilège au citoyen débattant, privilège sur l'expert. Pourquoi ce privilège ? Parce que

comme le dit la loi, c'est d'abord au public que le débat public offre de prendre la parole. Evidemment, cela n'exclut pas les interventions plus expertes. Merci de m'avoir écouté. Pour conclure, je vous le rappelle, le chantier est d'autant plus important que le projet est de longue haleine et qu'il permettra sans doute d'inventer de nouvelles formes de participation et de coopération, voire même d'en renouveler d'anciennes. Merci. Monsieur Bigot, je vous passe la parole.

Présentation générale du projet ITER

Bernard BIGOT, Haut commissaire à l'énergie atomique

Monsieur le Président, merci beaucoup. Je vais essayer d'être bref pour donner le maximum de place au débat. ITER, grand projet international de recherche commence à devenir réalité, au moins dans l'esprit des physiciens qui l'ont conçu. Voilà cette image qui est peut-être celle que les physiciens ont dans l'esprit, c'est-à-dire cette machine qui commence à prendre forme. Mais ITER ce n'est aussi qu'une étape sur un chemin qui mène à des horizons beaucoup plus lointains que la fin de la programmation de son fonctionnement vers 2040. ITER se veut en effet une contribution des différents partenaires qui y sont associés, c'est-à-dire les sept grands pays, la Chine, l'Europe, le Japon, la Corée, la République de Russie, les Etats-Unis et l'Inde, aujourd'hui à une problématique que nos sociétés ont à traiter qui est celle de l'énergie.

Quelques éléments. Le gaz et le pétrole se raréfient inéluctablement. Même si l'horizon n'est pas forcément déterminé aujourd'hui, nous savons que nous consommons à un rythme très supérieur à son renouvellement, ses ressources. Cela vous donne une petite idée de l'importance effectivement du marché qui est aujourd'hui celui de ces produits, 3 000 milliards d'euros par an. L'Europe est de plus en plus dépendante pour son énergie, 50 % aujourd'hui, comme cela a été encore rappelé il y a quelques jours par la Commission européenne, et les prévisions les plus optimistes, du point de vue de l'Europe tout du moins, laissent à penser que ce sera au moins 70 % dans 25 ans. L'effet de serre est très préoccupant et chacun s'accorde à penser que le charbon ne peut pas être la solution totale, même si on développe des technologies de capture du dioxyde de carbone, donc constituant essentiel des gaz à effet de serre. Il nous faut construire une vision de long terme cherchant à explorer et à utiliser toutes les voies respectueuses du fonctionnement de la planète, et je crois qu'il y a trois axes pour cela : la maîtrise de l'énergie, c'est-à-dire essayer, à partir d'une même quantité d'énergie, d'obtenir évidemment beaucoup plus de valeur. Deuxièmement, c'est utiliser au maximum les énergies renouvelables qui peuvent présenter un double intérêt de limitation des gaz à effet de serre et, d'autre part, d'éviter la dépendance énergétique, et enfin utiliser les énergies d'origine nucléaire, qu'elles soient de fusion ou de fission. C'est ce que je vais, en quelques mots, vous illustrer.

Voilà une courbe qui vous manifeste comment la consommation d'énergie a évolué dans le monde depuis 1850. Depuis 1850, comme vous pouvez le constater, il y a une augmentation tout à fait spectaculaire, l'ordre est d'environ 150. Même depuis 1850, le facteur a été encore de dix et évidemment, cette croissance n'est pas prête de s'arrêter, pour une raison simple. Quels que soient les efforts de maîtrise d'énergie, c'est la croissance de la population et surtout le souhait tout à fait légitime d'une fraction encore très importante de la population mondiale à bénéficier de standards de vie qui ne sont compatibles qu'avec une consommation d'énergie très supérieure à celle qu'ils connaissent aujourd'hui.

Deuxième élément, comme je le disais, les ressources sur lesquelles aujourd'hui le monde s'appuie, 85 % de l'énergie primaire que le monde consomme, sont des produits qui sont d'origine fossile et nous savons qu'au rythme où nous consommons ces ressources il y aura effectivement épuisement. Il peut y avoir des débats quant à savoir si c'est 2010, comme certains le prédisent au plus tôt ou 2040 ou autres. Ça ne va pas s'arrêter brutalement mais il y aura un moment où on passera par un maximum et ensuite, évidemment, raréfaction qui conduira, vous l'imaginez bien, à des tensions aussi bien sur les prix qu'à des tensions géopolitiques.

Comme je le disais, effet de serre, je crois que la recherche, au cours de ces dernières années, a réussi, de manière de plus en plus sûre, de plus en plus crédible, à montrer que la consommation de produits fossiles, que je vous ai illustrée tout à l'heure depuis les années 1850 notamment, était telle que nous avons affecté profondément la composition de l'atmosphère qui nous entoure. Sur la partie gauche, vous voyez le suivi de trois gaz à effet de serre particuliers avec une croissance tout à fait spectaculaire, et non seulement aujourd'hui on constate et on mesure de manière de plus en plus fine et de plus en plus précise ces modifications de la composition de l'atmosphère mais des études en particulier sur la composition des glaces dans les calottes glaciaires, sur des échelles de temps très longues, - aujourd'hui, on a même dépassé les 400 000 ans qui se trouvent sur ce schéma, on peut atteindre jusqu'à 700 000 ans, - on constate une corrélation extrêmement étroite entre la modification de la composition de l'atmosphère, en ce qui concerne effectivement les gaz à effet de serre, et des réchauffements. Il faut savoir que nous n'avons jamais connu, dans l'histoire de la planète, sous l'effet des événements naturels, des variations aussi brutales que celles que nous connaissons aujourd'hui dans la composition de l'atmosphère et on peut pressentir évidemment des modifications qui ne sont pas toutes positives pour l'ensemble des humains. Donc je crois que c'est un des éléments absolument importants d'avoir présents à l'esprit dans le contexte.

Il faut savoir que ce que nous accomplissons aujourd'hui, en termes de modification de composition de l'atmosphère a des incidences de long terme. Vous avez sur ce schéma quelques courbes qui montrent que si nous voulions rester à 450 parties par million de dioxyde de carbone dans l'atmosphère, -je rappelle que pendant des millénaires nous sommes restés à 280, 300- donc vous voyez déjà une augmentation de 50 %, ce qui, dans la gamme où nous nous situons aujourd'hui, il faudrait que très rapidement nous réduisions très fortement les émissions de dioxyde de carbone. Vous voyez que, si vous regardez ce schéma, à l'horizon de 2050, il faudrait déjà avoir divisé par deux et à l'horizon de 2100, avoir divisé au moins par quatre. Si nous acceptons 550, vous voyez effectivement qu'on peut aller un peu plus loin quant à l'acceptation mais que vous voyez que nous aurions pratiquement doublé. Quant à 1 000, vous voyez les échelles, c'est 300 ans plus tard que nous aurions effectivement l'espoir de revenir. Donc des effets induits de très long terme.

Alors, dans ces conditions, à l'évidence, il faut de nouvelles stratégies pour l'énergie, aboutir à une réduction drastique des émissions de dioxyde de carbone, et vous savez qu'en France, nous avons une cible que l'on peut considérer comme réaliste. Si on veut que les pays, qui sont dans la nécessité de consommer plus d'énergie légitimement pour améliorer les conditions de vie de leurs habitants, puissent être satisfaits, nous qui avons déjà atteint ces niveaux de vie, il faut qu'on fasse les efforts pour diviser par quatre à l'horizon 2050 nos émissions.

Pour cela, premièrement, comme je le soulignais, il y a l'économie d'énergie, avec tout ce que cela veut dire d'effort, d'éducation, d'effort dans l'innovation technologique, pour essayer d'améliorer l'efficacité énergétique, et puis éventuellement de nouvelles organisations économiques et sociales, en termes de transport, en termes d'habitat par exemple, ou en termes de modes de production. Puis, bien sûr, la diversification des sources d'énergie, en privilégiant les énergies non génératrices de gaz à effet de serre, parce que je crois que c'est ça, de mon point de vue, l'enjeu majeur. A cet égard, il faut savoir que le simple renouvellement des équipements en Europe, d'ici à 2025, c'est à peu près 1 000 milliards d'investissements. Donc la question, c'est : comment nous répartissons ces investissements indispensables entre différentes sources ?

Bien sûr, premier point, privilégier les énergies renouvelables, la biomasse, avec sa transformation potentielle par exemple en carburant pour le transport, le solaire avec le solaire thermique qui permet d'éviter effectivement l'utilisation de combustibles pour le chauffage, l'éolien, mais nous savons bien que ces ressources, qui sont pour une large part d'entre elles des ressources

intermittentes, qui sont des ressources diffuses même s'il faut essayer de les utiliser au mieux, ne sauraient en quelque manière répondre à l'ampleur des besoins qui sont les nôtres. Il y a la perspective de la capture, ce que l'on appelle la séquestration du CO₂, donc séparer le dioxyde de carbone des gaz qui résultent de la combustion du fossile, et puis, par exemple, le réinjecter dans le sous-sol. C'est des pistes qui sont explorées. Je pense qu'elles peuvent apporter des contributions mais à des coûts et surtout avec des risques qui ne sont pas nuls, en particulier s'il y a relâchement brutal par exemple, évidemment, ce serait asphyxie des populations à coup sûr.

Il y a la possibilité d'utiliser le vecteur hydrogène et les piles à combustibles à partir en particulier de la décomposition soit thermique soit électrochimique de l'eau, et qui là aurait la vertu, puisque la combustion de l'hydrogène redonne de l'eau, d'avoir une procédure de recyclage pratiquement continu, mais pour cela, il faut de l'énergie pour effectivement produire de l'hydrogène. Il faut de l'énergie et toute la question est de savoir où nous pourrions la trouver. Le dernier élément, c'est bien sûr les systèmes nucléaires du futur, la fission normalement à neutrons rapides, qui offre des perspectives effectivement de long terme assez satisfaisantes, et aussi la fusion, et je crois qu'il faut explorer l'ensemble de ces pistes.

Quelques mots justement sur ces ressources nucléaires, puisque ce dont nous parlons aujourd'hui, c'est dans ce registre. Vous savez qu'il y a deux modes de production, sachant que les noyaux les plus lourds comme les noyaux les plus légers ne sont pas les noyaux qui présentent la cohésion maximum. Comme vous le savez, les lois de la physique, les lois de la thermodynamique conduisent à ce qu'inéluctablement, les systèmes essaient d'aller vers l'état le plus stable globalement, donc on peut s'attendre à ce que ces noyaux les plus lourds comme les plus légers, si on arrive à les faire évoluer, on peut récupérer de l'énergie. Dans le cas des noyaux lourds, c'est ce qu'on appelle la fission. On casse un noyau lourd par collision avec un neutron pour essayer de donner des produits de fission dans la gamme du fer. *A priori*, lorsque le monde sera complètement éteint, nous serons tous, et la planète avec nous et les astres aussi, transformés dans les éléments proches du fer, ou bien au contraire de rassembler, de fusionner des noyaux légers pour obtenir ces mêmes noyaux de la gamme du fer.

Vous voyez sur ce schéma l'avantage de la fission. C'est que si on utilise par exemple du deutérium ou du tritium, le D et le T que vous voyez sur ce schéma, il y a un gain d'énergie qui est très important par rapport au gain d'énergie sur la fission, lui-même considérablement plus important que le gain pour la combustion. Pour avoir un ordre de grandeur, il faut savoir que l'énergie de fusion est quatre fois plus dense, par unité de masse, de matière, que l'énergie de fission, et globalement, c'est 40 millions de fois plus que la combustion simplement par exemple du méthane qui est justement un des éléments de référence des combustibles fossiles les plus denses en énergie. Donc ce petit schéma vous rappelle les deux processus. Dans un premier temps, on casse en morceaux les noyaux qui donnent des espèces *a priori* plus stables, et puis la fusion au contraire où c'est la réunion, la fusion de deux noyaux existants antérieurement, pour former un noyau d'hélium en produisant des neutrons et de l'énergie.

Pour cela, je le rappelle, on utilise les combustibles deutérium et tritium *a priori* qui donnent de l'hélium et un neutron. Le deutérium, il est naturel sur le sol dans des proportions qui le rendent tout à fait compatible avec la possibilité de l'utiliser comme combustible. Le tritium ne l'est pas et c'est toute l'imagination et l'inventivité des physiciens d'avoir imaginé un cycle qui récupère le neutron produit dans la première étape, pour lui permettre de rentrer en collision avec un autre élément naturel, le lithium, produisant à la fois de l'hélium et le tritium, donc vous voyez le bilan global. Ce deutérium plus lithium donnent deux héliums. On a là un mécanisme qui est réaliste sur le plan de l'origine des combustibles. Sur le plan de la radioactivité, l'intérêt est que globalement ni deutérium ni lithium ni hélium ne sont radioactifs, ni les matières premières initiales ni le

produit ne l'est. Simplement, il y a ces neutrons. Ces neutrons viendront rentrer en collision avec l'enveloppe de confinement. Ils activeront les parois, c'est-à-dire qu'ils feront des transformations nucléaires de telle sorte que les atomes qui constituent l'enveloppe vont se transformer pour donner, pour certains d'entre eux, des espèces radioactives. Tout l'intérêt de la procédure est qu'on peut jouer sur la composition de l'enveloppe, d'une part, et d'autre part, même avec la composition telle qu'on la connaît aujourd'hui, pour avoir une radioactivité qui sera sur des temps courts, de telle sorte qu'à l'échelle *grosso modo* du siècle, on sera revenu à une radioactivité de type naturelle. Donc des atouts incontestables pour la fusion, un combustible abondant, très énergétique comme je l'ai dit, largement distribué sur la planète, donc par-là même, laissant espérer qu'on ne sera pas confronté à des tensions géopolitiques et éventuellement à des conflits pour s'approprier ces ressources-là. Deuxième point, c'est une sûreté, comme peut-être vous le savez, il n'y a aucun risque ni d'explosion ni d'emballement. Il y a des quantités tout à fait mineures de matières combustibles, deutérium, tritium, à l'intérieur de la chambre de fusion, donc au moindre incident, il suffit de couper l'alimentation pour que la réaction ne puisse pas se développer longtemps, et par ailleurs, l'explosion n'est pas envisageable, étant donné même la conception physique des choses.

Les déchets, je vous en ai déjà parlé. Ce schéma illustre tout simplement que si vous vouliez produire la même quantité d'énergie à partir du charbon, vous voyez qu'au bout *grosso modo* d'une centaine d'années, la radioactivité émise par le charbon est de la même grandeur que la radioactivité issue de la fusion, ce qui n'est pas le cas du tout au cas où vous utiliseriez la fission bien entendu.

C'est un chemin comme je l'ai dit. On progresse sur le chemin. Il y a déjà beaucoup de résultats acquis, contrairement à ce que certains laissent à croire. Depuis les années 1950, des progrès considérables ont été réalisés grâce à certains grands équipements européens, et je salue ici Jérôme Paméla qui est donc le responsable de cet équipement du JET à Culham, que vous voyez sur la partie gauche du tableau. Il y a cet équipement japonais à Naka, qui aussi contribue aux progrès dans ce domaine pour aboutir à des records de température et à des records de puissance de fusion. Et puis, il y a l'équipement qui existe en France aujourd'hui sur le site de Cadarache, qui lui a établi des records dans la durée des *pulses*, dispositifs de production des plasmas. Une étape, comme je le disais. Vous voyez ici, à une même échelle, Tore Supra, 25 mètres cubes dans la chambre, pratiquement pas de puissance de fusion, le JET 80 mètres cubes, 16 MW thermiques de puissance de fusion, ITER 800 mètres cubes, 500 MW thermiques, avec l'objectif de se rapprocher de l'auto-chauffage par la production même des noyaux d'hélium qui, venant en collision avec les noyaux de deutérium et de tritium, vont leur donner la vitesse et la température nécessaires pour accomplir la fusion. Et puis, l'étape ultérieure, et c'est là où nous parlons effectivement d'horizons plus lointains, c'est la démonstration de la possibilité d'utiliser véritablement cette énergie afin de produire de l'énergie électrique. Vous voyez là, on a en tête des volumes qui sont compris entre 1 000 et 3 500 mètres cubes et des puissances qui sont tout à fait considérables, comparables et même au-delà des plus gros réacteurs producteurs d'énergie électriques tels qu'ils existent.

Il y a un schéma, une feuille de route qui éclaire cet horizon. Vous le voyez qui s'affiche ici donc dans un premier temps, la construction d'ITER. On se réjouit effectivement que les partenaires d'ITER à Tokyo, il y a moins de huit jours, en présence de Monsieur Ikeda lui-même, se sont tous mis d'accord pour partager cet effort de construction sur les 35 prochaines années, qui nous amènera aux alentours des années 2030/2040. Au fur et à mesure que nous progressons, en parallèle, des progrès sur les matériaux, parce que si aujourd'hui nous avons les matériaux qui répondent aux spécifications et au cahier des charges pour ITER, pour DEMO, pour les étapes ultérieures, il y a au contraire des efforts encore tout à fait substantiels pour qualifier les matériaux

nécessaires, tout en développant en parallèle là encore les études de sûreté et les études d'impact sur l'environnement des équipements industriels.

Quand nous aurons acquis suffisamment d'expérience sur ITER, on lancera la conception, la construction du démonstrateur qui, lui, commencera à produire de l'électricité avec l'ensemble du dispositif de récupération d'énergie, alors que sur ITER, nous n'avons pas cette ambition. C'est un objet de recherche qui d'abord étudie la physique et les techniques et les technologies nécessaires, et puis enfin, la dernière étape, avant de passer à un déploiement industriel, qui est PROTO et vous voyez qu'on peut estimer que c'est autour des années 2050 ou 2060 que ces choses-là se feront. Voilà, la prochaine étape, c'est ITER, environ deux fois plus grand que la taille du JET, avec l'objectif qu'il produise dix fois plus d'énergie qu'on lui en apporte, pour commencer à initier la chauffage, et donc de réaliser ce plasma dont je vous ai parlé tout à l'heure. Je disais que ITER devient réalité dans l'esprit de certains, donc vous voyez qu'un montage est capable de vous donner l'image de ce que sera l'installation ITER sur un territoire qui sera un territoire mis à la disposition de l'organisation internationale par la France, à l'immédiate proximité de l'équipement Tore Supra pour essayer de bénéficier au maximum d'un certain nombre d'infrastructures communes.

Je ne le répèterai jamais assez je crois, ITER c'est d'abord un défi scientifique avec un certain nombre de questions auxquelles la communauté scientifique va s'atteler pour essayer d'apporter des réponses les plus précises possibles, facilitant par-là même la compréhension intime de l'ensemble des mécanismes qui se produisent au sein de ces plasmas confinés magnétiquement, et par-là même évidemment être capable de concevoir et de réaliser les équipements les plus souhaitables.

Domaine scientifique d'un côté, domaine technologique aussi. Il y a des vrais défis sur les aimants supraconducteurs, leur fiabilité dans le temps, la capacité à subir des variations de cyclabilité, donc il y a la capacité des équipements, de l'enceinte à supporter des températures et des flux de chaleur considérables. L'ordre de grandeur du flux de chaleur, qui sera par exemple dans ces réacteurs, que ce soit ITER ou les suivants, est entre vingt et quarante fois le flux de chaleur qui est aujourd'hui supporté par les équipements par exemple dans le cœur de réacteur de fission, donc vous voyez les gains que l'on doit accomplir à cet égard. J'avance pour vous dire que voilà maintenant le schéma qu'on a en tête au niveau de DEMO, qui, profitant au maximum de l'expérience de ITER, veillera à mettre au point, cette fois-ci non plus sur des *pulses* relativement courts mais au contraire sur des temps beaucoup plus longs, le cycle du tritium. Une fois qu'on a produit l'hélium, tout le tritium n'est pas consommé, tout le deutérium n'est pas consommé. De toute façon, il faut éliminer l'hélium produit donc il y a nécessité de séparer ces produits. C'est un des objectifs. Il y a les systèmes de chauffage. Il y a les systèmes de détection. Il y a le système de confinement. Il y a effectivement toute la mécanique qui tourne autour de la récupération d'énergie avec les échangeurs. C'est tous ces objectifs-là que nous nous donnons. Aujourd'hui, il y a déjà des premières réponses qui ont déjà été apportées. D'autres le seront par ITER. Par exemple, la problématique de la régénération du tritium à partir de lithium, en insérant dans le mur de la paroi de l'enceinte du lithium, qui, à ce moment-là, lorsqu'il viendra en collision avec les neutrons, sera en capacité de pouvoir produire le tritium *in situ* dont on a besoin. On a des aciers aujourd'hui qui commencent à répondre à ces exigences-là.

Développement des matériaux aussi. Je ne veux pas prolonger. Ces études sur les matériaux donnent lieu à un accord international pour que l'on ait un équipement qui permette de tester des éprouvettes, des échantillons de ces matériaux sur des temps longs parce que l'objectif évidemment, c'est d'avoir une fiabilité sur des temps très longs, plusieurs dizaines d'années et ça, ça nécessite une expérimentation adéquate. C'est une des raisons pour laquelle l'Europe avec le Japon sont tombés d'accord pour compléter ce programme en parallèle. Voilà les étapes qu'il reste

à franchir, même si celles-ci sont encore tout à fait prospectives. Il y a ce programme qu'on appelle d'accompagnement qui va se situer sur les dix prochaines années, qui vise à préparer ITER et à préparer la définition du programme DEMO, avec un certain nombre d'équipements qui sont développés en partenariat entre l'Europe et le Japon, mais ouverts à d'autres, et qui seront installés au Japon, faisant de ces deux grands pays des co-responsables du développement de la fusion mondiale de manière prioritaire. Il y a évidemment toute l'expérience qui sera accumulée sur ITER avec un placement en combustion et toutes les technologies clés associées. Il y a le programme matériaux, dont je vous ai souligné toute l'importance, avec en particulier l'usage intensif des nouveaux moyens de simulation pour comprendre depuis l'échelle atomique jusqu'à l'échelle du système comment des matériaux se comportent sous ces flux de chaleur et ces flux de neutrons, ces flux d'énergie. Il y a l'étape DEMO, dont je vous ai dit un mot, réacteur cette fois-ci électrogène, tentative d'optimisation industrielle et enfin, il y a le véritable prototype industriel avec cette fois-ci un démarrage aux alentours de 2050/2060.

Voilà le mécanisme tel que je voulais vous le présenter. ITER, horizons lointains, essayer d'apporter une contribution pour relever le défi majeur de ce siècle ou l'un des défis, qui est la production d'énergie, l'autre sans doute étant la production de l'eau. La fusion, c'est une option plutôt prometteuse, comme je vous l'ai expliqué. C'est une option qui représente un vrai défi. ITER, c'est une étape tout à fait essentielle et c'est pour cela je crois que l'ensemble des sept partenaires qui représentent aujourd'hui plus de la moitié de la population mondiale et plus de 75 % de la production de valeur du monde, ont accepté de s'associer pour cela et je crois qu'il faut souligner que c'est assez exceptionnel que la France ait pu être retenue dans cette perspective. Voilà, puisqu'on parlait d'horizons lointains, avant de pouvoir les aborder, je crois qu'il faut revenir aux horizons immédiats, qui est la construction d'ITER. Je vous remercie.

Echanges avec le public

Patrick LEGRAND, CPDP

Maintenant, nous rentrons dans le cœur de la chaudière et du sujet. Les micros vont se mettre à circuler. Je vous rappelle la perspective. Essayons de nous projeter. Nous travaillons sur un sujet qui a 20, 30, 40, 50 ou 60 ans de perspective et sur des enjeux qui en ont au moins autant si ce n'est pas plus. La parole est à la salle. Je suppose que les micros sont prêts. Qui veut intervenir pour poser une première question qui permettra de développer tout ce qui a été évoqué ? Merci Monsieur.

Alexandre ALEXIEFF

Je voulais simplement poser une question sur les petits transparents que vous avez passés. Je n'ai pas très bien compris. DEMO est à deux mégawatts je crois.

Bernard BIGOT, haut commissaire à l'énergie atomique

Oui, gigawatts thermiques.

Le gigawatt, et le suivant est à une puissance inférieure (1,5) sur le transparent. Est-ce qu'il sera moins puissant ou est-ce que c'est plutôt la puissance récoltée et utilisée ?

Bernard BIGOT

Si je peux répondre, si vous voulez, l'objectif de DEMO, c'est de pousser au maximum la performance de la machine pour voir toutes ses potentialités. Ensuite, quand il s'agit d'une installation industrielle, il y a des aspects de modularité. Si vous mettez sur le réseau une machine de très grande puissance, lorsque celle-ci est arrêtée par exemple pour maintenance ou autre, évidemment vous perdez toute cette capacité de puissance. Donc c'est pour ça que l'on a mis 1,5 parce que c'est l'ordre de grandeur aujourd'hui des puissances délivrées par les réacteurs les plus puissants. Donc ce n'est pas une contrainte physique, c'est une optimisation éventuellement industrielle.

Alexandre ALEXIEFF

Si DEMO est plus puissant, cela veut dire que 1,5, ça tournera presque sans problème.

Bernard BIGOT

On prend des marges de sécurité.

De la salle

Juste une question un peu rapide, peut-être un peu naïve. Au niveau global, en économisant beaucoup l'énergie, au niveau mondial, pensez-vous qu'il y aurait toujours autant besoin d'une énergie aussi immense au niveau de l'échelle ?

Bernard BIGOT

Il y a des ordres de grandeur. Le point, c'est que nous avons besoin d'énergie. Pendant longtemps, cette énergie a été produite par la force animale, par exemple, par aussi l'asservissement donc aujourd'hui, on estime que l'énergie moyenne dont un homme a besoin ne saurait être en dessous de 2 500 watts. Lorsque vous multipliez ça par la population mondiale, si vous voulez, c'est clair qu'aujourd'hui il y a des populations qui bénéficient de beaucoup moins que cette énergie-là mais vivent dans des conditions tout à fait insatisfaisantes, eu égard à l'espoir que l'on peut avoir sur le plan de la santé, sur le plan des transports, sur le plan de l'approvisionnement en eau, etc., donc on peut optimiser mais, honnêtement, je crois qu'il y a peu de chances qu'on descende en dessous d'une multiplication du besoin d'énergie à l'horizon 2100 qui soit inférieure à un facteur de multiplication par deux. Il y a des scénarios où c'est quatre. Deux, ce sera formidable déjà si à l'échelle de la planète, avec l'espoir qu'à cet horizon-là, l'ensemble de la population mondiale bénéficie de conditions de vie qui sont comparables à celles d'un Européen moyen.

Je suis physicien des plasmas, et je suis tout à fait favorable à ITER. Ce n'est pas une question agressive. Je veux juste poser une question sur l'avenir lointain. Les projets comme ITER et la suite sont adaptés *a priori* à de la production d'énergie centralisée, pour remplacer les centrales actuelles. Est-ce que ça résout la moitié du problème ? Est-ce qu'il va rester encore les problèmes du transport, qui du point de vue de l'effet de serre sont au moins aussi embêtants que la production centralisée ?

Bernard BIGOT

Comme je vous l'ai mentionné, le problème des transports peut trouver des solutions si nous disposons d'une source d'énergie. Le problème du transport, c'est d'avoir le bon vecteur pour assurer le transport. Aujourd'hui, pour ce qui est du transport, qu'il soit d'ailleurs aérien ou terrestre ou maritime, on n'a guère trouvé mieux que le moteur thermique. Le moteur thermique a une fiabilité exceptionnelle, même s'il n'a pas un rendement très bon, il est facilement approvisionné par des combustibles que l'on transporte. Donc il y a possibilité de rejoindre ce mécanisme, c'est-à-dire par exemple décomposition de l'eau. Si on décompose l'eau, donc H_2O donne hydrogène + oxygène, par une électrolyse haute température ou vous le savez même une électrolyse basse température, -aujourd'hui, 4 % de l'hydrogène est produit par ce biais-là- il faut de l'électricité. Si vous êtes en capacité de produire de l'électricité dans des conditions économiquement viables, avec une bonne sûreté, vous pouvez envisager de produire l'hydrogène qui éventuellement sera utilisé dans les piles à combustible. Ou bien au contraire, il y a des pistes qui sont celles de la transformation de la biomasse en combustible direct, c'est qu'on prend la matière lignocellulosique, le bois, la paille, les déchets agricoles. On pyrolyse à très haute température, au-delà de 1 200 degrés. On forme à ce moment-là simplement un gaz, qui est un mélange de monoxyde de carbone et d'hydrogène. Eventuellement, vous enrichissez en hydrogène, par exemple, par la décomposition de l'eau. Vous faites une catalyse, qui est connue de longue date maintenant, qu'on appelle la catalyse Fischer-Tropsch, et vous pouvez produire du diesel. Ce schéma-là est un schéma réaliste. Aujourd'hui, on estime que le coût par exemple de la production du diesel de cette façon-là est sensiblement équivalent à un baril de l'ordre de 75 à 80 euros le baril. Donc, toute la difficulté c'est d'avoir une énergie thermique ou une énergie électrique, dans le cas de la décomposition de l'eau, à relativement bon prix et avec une production de masse. Donc ceci est possible. Par exemple, il y a une esquisse aujourd'hui qui montre qu'en utilisant simplement la biomasse lignocellulosique, donc les déchets forestiers, les déchets agricoles, en France, si cette technologie-là était capable de converger, nous serions capables de produire de l'ordre de 60 % de l'ensemble des carburants qu'on consomme aujourd'hui en France. En France, on consomme sensiblement 50 millions de tonnes équivalents pétrole. Nous serions capables d'en produire environ 30 millions avec ce biais-là. Cette production d'énergie primaire est effectivement une possibilité d'exploration de production d'autres vecteurs.

Patrick LEGRAND, CPDP

J'ai un peu l'impression qu'à côté de ce type de réponse, Monsieur attendait des réponses aussi sur le transport de l'énergie. Vous parliez bien du transport, déplacement, mobilité ? Très bien, alors écoutez, je n'avais pas très bien compris.

Stéphane AUTIER

Je suis ingénieur en énergétique. Je travaille en particulier sur les économies d'énergie, ce qui peut expliquer que la déformation professionnelle entraîne cette question. J'ai vu dans vos transparents que sur ITER la puissance est indiquée en gigawatt thermique, et ensuite sur DEMO, c'est en gigawatt électrique. Par rapport au gigawatt thermique, on voit qu'on retrouve à peu près le rapport trois qu'on trouve pour les centrales thermiques classiques, donc rendement de Carnot. Je voulais savoir, parce que comme je m'intéresse aux économies d'énergie, je trouve que c'est assez aberrant de gaspiller deux tiers de l'énergie pour chauffer les oiseaux, et donc je voulais savoir si en parallèle de la recherche sur la fusion, il y avait des recherches pour utiliser cette énergie plutôt que de la perdre, notamment est-il possible de faire de la cogénération à partir de l'énergie produite par une centrale de fusion ?

Bernard BIGOT

Je suis tout à fait ouvert comme vous à une optimisation de l'énergie produite. Quand on produit de l'électricité, que ce soit dans une centrale à charbon, à gaz, au pétrole ou dans une centrale nucléaire, les principes de la physique font que vous ne pouvez pas avoir 100 % de rendement transformation énergie calorique en énergie électrique. Donc vous perdez à peu près aujourd'hui dans les centrales deux tiers qui servent effectivement à réchauffer l'atmosphère, qui servent à réchauffer les fleuves. Donc cette énergie-là, bien sûr, elle peut être utilisée. Il y a plusieurs manières. Premièrement, on pourrait très bien imaginer des réseaux de chaleur, des réseaux de chaleur par exemple basse température qu'on peut transporter de la même façon qu'il existe des autoroutes, donc d'un certain nombre d'infrastructures, et on transporterait de la chaleur pour par exemple le chauffage des agglomérations ou le chauffage industriel. Il y a la possibilité, comme je vous l'ai dit aussi, de coupler cette production de chaleur à une transformation biomasse par exemple ou séparation des compositions de l'eau, oui ces pistes-là sont explorées. Je peux vous le confirmer.

Michel TRIBIER

Je ne suis pas spécialiste des plasmas mais néanmoins assez enthousiaste devant ce projet. Ma question, vous y avez en partie répondu. Est-ce qu'un réacteur de fusion, on peut faire varier sa puissance au gré des besoins qui changent à une vitesse assez grande au cours de la journée ou au cours des saisons ? Est-ce qu'il est capable de moduler sa présence d'une manière relativement souple ? Comme je crois que cela ne doit pas être aussi simple que ça, j'imagine que la réponse que vous allez me donner est sans doute de produire plutôt de l'hydrogène ou des choses comme ça pendant la majeure partie du temps quand les besoins électriques sont déjà satisfaits.

Bernard BIGOT

Bien évidemment, je n'ai pas le privilège d'avoir toutes les réponses. Il y a dans cette salle des gens tout aussi connaisseurs que moi, et il faut qu'ils se sentent la liberté de compléter mon propos. A l'évidence, vous vous rendez bien compte que cette machine est plutôt désireuse d'avoir de la stabilité. Donc si vous voulez que cette machine vieillisse bien, à l'évidence, il vaut mieux assurer une continuité de fonctionnement et l'objectif d'un équipement de cette nature est plutôt de produire de l'énergie en base, c'est-à-dire qu'en moyenne, il y a une quantité d'énergie électrique dont notre pays a besoin, et là, il est totalement adapté. Suivre les cycles de la demande, non. Il y a

des solutions qui sont celles par exemple du stockage de l'énergie produite. Cela peut être sous forme par exemple de combustibles. Ça peut être, vous le savez peut-être, en Europe, actuellement, la nuit, la demande est moins forte par exemple que dans la journée. L'électricité est dirigée vers certains pays qui ont des ressources hydrauliques importantes. Avec un jeu de double barrage, un barrage supérieur et un barrage inférieur, quand il y a une forte demande avec un pic de demande dans la journée, on libère l'eau du barrage supérieur que l'on récupère dans le barrage inférieur, et par exemple dans la nuit, une partie de l'énergie électrique qui n'est pas sollicitée, sert par des pompes à réinjecter l'eau dans la partie supérieure. La réponse telle que je peux vous la confirmer, c'est que ce n'est pas adapté pour suivre les variations brutales qui sont celles de la demande, tel que vous pourriez le voir par exemple avec un match de football. Tout le monde allume la télévision en même temps. Un match de football, tout le monde allume la télévision en même temps, ce sont deux centrales nucléaires qu'il faut mettre tout de suite en fonctionnement. Ça vous donne les ordres de grandeur.

Gabriel MARBACH, adjoint au chef du département fusion contrôlée à Cadarache

Je suis adjoint au département de la recherche sur la fusion contrôlée à Cadarache. Je pense que Monsieur Bigot a tout à fait donné la réponse. En effet, en Europe, il y a des études qui ont été menées pour regarder s'il était possible avec un réacteur de fusion de faire du suivi de charge, que ce soit pendant la journée ou de manière plus rapide. En fait, il y a deux problèmes qui se posent. Le premier, c'est au niveau de la réaction elle-même, le maintien de cette réaction, et ça on a des fluctuations qui sont dans une amplitude relativement modérée d'après les études qui ont été faites, et d'autre part, dès qu'il y a des fluctuations, il y a également une influence sur les matériaux parce que les matériaux vont être soumis à des fluctuations de température et, en général, à haute température, les matériaux perdent une grande partie de leurs propriétés au bout d'une certaine quantité de variations de température de ce type-là et va associer évidemment des variations de contrainte dans ce cas-là.

De la salle

Je voudrais savoir par rapport au problème de déchets. Est-ce qu'on sait quel type de déchets cette machine va produire, parce qu'on a le problème avec la fission ? Je suppose que la fusion fait moins de déchets mais est-ce qu'on connaît tous les déchets mais aussi les interactions radioactives avec l'environnement parce qu'il y en a sûrement avec des ondes tellement hautement puissantes ? Quels sont les différents déchets que cette machine peut produire ? On en connaît peut-être deux ou trois mais je suppose que ça produit de l'hélium, mais il y a peut-être d'autres déchets qui sont beaucoup plus dangereux. Est-ce qu'on a déjà fait le tour ou est-ce qu'on fait encore des recherches là-dessus ?

Bernard BIGOT

Je vais essayer de vous répondre et peut-être y a-t-il d'autres personnes dans la salle qui pourront répondre. Aujourd'hui, comme je vous l'ai, je pense, montré, le cycle du combustible qui va être utilisé dans le réacteur de fusion ne produit que de l'hélium, qui est un gaz rare donc totalement inoffensif du point de vue chimique, qui, s'il est libéré dans l'atmosphère, simplement progressera, et les quantités que nous allons rejeter sont des quantités tout à fait marginales par rapport à la quantité d'hélium qui existe déjà dans l'atmosphère. Il n'y a pas de déchets à proprement parler au sens où il y a simplement le produit de la réaction qui est un composé chimique inoffensif à tout

égard, pas de radioactivité, pas de dangerosité chimique. Par contre, comme je l'ai mentionné, parce que vous avez des neutrons très énergétiques, 14 millions d'électrons volts, c'est tout à fait considérable. Pour avoir une petite idée, dans un réacteur de fission, aujourd'hui, les neutrons sont plutôt dans la gamme entre 0,1 et 1 ou 2 au maximum. Donc eux vont venir heurter les atomes qui composent l'enceinte, et pour répondre à votre question, il faut savoir précisément de quoi sera composée l'enceinte. Si c'est un atome de fer par exemple, vous allez sans doute avoir effectivement une capture du neutron par l'atome de fer pour donner des atomes de la série du fer ou des atomes des éléments de transition radioactifs. Ces éléments radioactifs ont tous les mécanismes nucléaires associés. Nous les connaissons. Nous savons comment ils se comportent, la durée de vie qui est la leur, la manière dont on peut les traiter donc la vraie réponse, elle sera essentiellement donnée au moment où on aura fixé de manière définitive la composition effectivement de l'enceinte. Dans le cas de ITER, la composition de l'enceinte, le choix des aciers est aujourd'hui établi et donc on est en capacité de savoir précisément les déchets.

Philippe LE POAC, responsable département de recherche, CEA Saclay

Je suis responsable d'un département de recherche sur les matériaux au CEA à Saclay. Je voudrais juste indiquer qu'effectivement cette problématique de l'activation des matériaux a déjà été prise en compte depuis longtemps par les chercheurs qui travaillent dans le domaine de la fusion contrôlée, puisque par exemple j'ai en tête que pour un acier de structure du type qui est envisagé pour l'étape DEMO, les chercheurs de la fusion contrôlée sont partis d'un matériau par exemple de la série acier au chrome et on fait des études pour remplacer un certain nombre d'éléments dans cet acier traditionnel qui était activable et remplacer par d'autres éléments de façon à diminuer de façon drastique l'activation des matériaux après irradiation intensive dans un réacteur de fusion. Et je crois qu'à l'heure actuelle, ce type de matériau, ce type d'acier de structure aura une radioactivité qui tombera après utilisation au niveau de radioactivité naturelle dans une période de l'ordre du siècle. Voilà la précision que je voulais ajouter.

Jean-Pierre ROZAIN, Agence ITER France

Ce qu'on pourrait dire en plus, on parlait un peu de la radiotoxicité de ces déchets qui seront issus d'ITER, on va obtenir des déchets tritiés, donc contaminés par du tritium. Le tritium a une durée de vie radioactive de douze ans donc vous voyez que ce n'est pas très long. En plus, c'est un émetteur d'électrons donc ce n'est pas quelque chose qui est irradiant. C'est quelque chose qui est pénalisant en contamination interne mais ce ne sont pas des produits radioactifs irradiants. De même, tous les produits qui sont activés par ces neutrons de forte énergie, les neutrons de 14 neV, ce sont des déchets métalliques qui sont emprisonnés dans les pièces métalliques. C'est activé au cœur du matériau et au bout de plusieurs dizaines d'années, il ne reste pratiquement plus qu'un isotope ou deux isotopes du nickel et ce sont des produits radioactifs qui ne sont pas irradiants, c'est-à-dire que les particules émises n'arrivent même pas à atteindre la couche basale de la peau donc c'est uniquement en cas de contamination, de poussière et autres, mais comme ce sont des pièces massives, il n'y a pas de dispersion donc ce sont des déchets qui sont très peu pénalisants pour l'environnement. En plus, ils ont une mobilité très réduite dans l'environnement de par leur nature.

Bernard BIGOT, commissaire à l'énergie atomique

Je peux confirmer que les aspects sûreté vis-à-vis des impacts potentiels sur l'environnement et la santé sont pris très au sérieux et les études sont menées avec beaucoup de rigueur.

Arnaud COLSON

Je travaille chez Lafarge donc je ne connais absolument rien dans cette discipline mais je trouve d'abord le débat extrêmement intéressant. Je vous félicite de l'avoir organisé parce que c'est vraiment une initiative très heureuse. Par contre, j'ai deux interrogations. Une première, qui semble un peu polémique, quand je lis dans le petit journal du mois de mars très bien fait une réflexion de Pierre-Gilles de Gennes qui considère que le projet est une hérésie car c'est un réacteur de fusion. C'est à la fois Superphénix et La Hague à la fois. Est-ce qu'on pourrait m'éclairer là-dessus parce que ça me pose question ? C'est la première question. Excusez-moi, elle est peut-être très naïve. La seconde porte plutôt sur le futur. En supposant que ITER aboutisse de façon positive à l'issue de ces périodes d'essai, si j'ose dire, est-ce qu'on peut lui donner un contrat à durée déterminée ou indéterminée, et combien faudrait-il d'ITER sur la planète pour nourrir l'ensemble de la population ? Le corollaire de cette question porte surtout sur la diffusion d'énergie dans les pays du sud. Est-ce qu'on peut imaginer à terme de distribuer cette énergie vers les populations les moins favorisées aujourd'hui ?

Bernard BIGOT

Je vais essayer de vous répondre. D'abord, effectivement, le propos de Pierre-Gilles de Gennes dans un article des *Echos*, où il parlait de bien d'autres choses et où, je crois, il s'est laissé surprendre pour le moins. J'ai eu un petit dialogue avec lui ultérieurement. Evidemment, ça n'a rien à voir ni avec Superphénix ni avec La Hague puisque Superphénix, pour vous donner une petite idée, c'est plusieurs centaines de tonnes de combustibles qui sont dans le cœur. Une fois que la réaction est lancée, la réaction nucléaire, on peut arrêter la réaction nucléaire mais par contre les réactions se poursuivent, de la radioactivité et libération de chaleur donc il faut assurer un refroidissement continu. Premier point, ça n'a rien à voir puisque je vous ai expliqué que c'est de l'ordre du gramme de matière qu'il y a à l'intérieur de la fusion, deuxième point, la Hague, c'est le traitement des combustibles usés pour séparer l'uranium qui n'a pas été consommé du plutonium, des actinides, des produits de fission. Là, il n'y a pas de problème de séparation de cette nature à la Hague. Il n'y a aucune industrie d'un développé de cette nature. C'est, au contraire, comme je vous l'ai montré, c'est sur place qu'on fera la séparation en libérant l'hélium. Donc je crois que notre ami Pierre-Gilles s'est un peu mélangé les crayons mais ça arrive à tout le monde et sans doute à moi-même aussi, alors je ne lui en veux pas.

Le deuxième point, c'est combien. C'est simple. Aujourd'hui, on a de l'ordre de 500 réacteurs nucléaires dans le monde qui apporte à peu près 6 % de l'énergie. On va faire simple, on va dire que ça en apporte 5 %. C'est 500, multiplié par vingt donc vous voyez qu'il faudrait à peu près 10 000 réacteurs de ce type-là pour assurer la totalité des besoins énergétiques de la planète. Ça vous donne une idée. Aujourd'hui, l'électricité représente à peu près 30 % des besoins électriques. Si je me tenais à cela, c'est-à-dire que le reste est assuré par d'autres sources d'énergie, vous divisez par trois les 10 000 dont je vous ai parlé, c'est-à-dire qu'on est de l'ordre de 3 000 pour toute la planète. Ceci étant, le nombre de centrales électriques aujourd'hui sur la planète sont de 40 ou 50 000 donc il faut avoir une idée de cela. Pourquoi ? Parce qu'il y a beaucoup de réacteurs qui sont de puissance bien plus faible que celle du 1,5 gigawatt électrique dont je vous ai parlé. Est-ce que ma réponse est claire ?

Arnaud COLSON

Compte tenu du coût de l'installation, est-ce que les pays en voie de développement pourront avoir accès à cette énergie ?

Bernard BIGOT

C'est une question qui est à la fois technique mais surtout politique. C'est clair que cette technologie-là est une technologie avancée donc au moins, tant qu'on n'aura pas acquis une expérience d'éventuelle automatisation, ça nécessite des compétences incontestables pour concevoir, faire fonctionner, pour entretenir, même si, comme je l'ai dit, il n'y a pas de risque d'emballement, d'explosion, etc. Ma vision, si elle a un sens, c'est qu'il faudra qu'il y ait un certain nombre de grandes entreprises qualifiées pour utiliser cela qui peuvent offrir des prestations. J'insiste sur un point : ces machines sont des machines qui produisent de grandes quantités d'énergies, ça ne se fait pas sur un coin de table. Or, il n'est pas sûr que, dans un certain nombre de pays en développement, ils aient besoin d'énergie aussi concentrée que cela. Il y a sans doute des étapes qui devront être franchies. Il ne faut pas aujourd'hui laisser croire que simplement parce qu'on aura mis cette technologie au point, elle sera capable de se développer sur la Terre pour répondre à tous les besoins. Il y aura certainement des organisations techniques, industrielles, commerciales, politiques qui devront surgir, si cette solution est une solution retenue. Vous avez compris que le grand avantage de cette solution, c'est des combustibles pratiquement inépuisables à des échelles de temps humaines et un impact sur la planète limité, donc ça apparaît très séduisant mais, ne l'oublions pas, il y a quand même un coût. Si on peut utiliser les énergies renouvelables au maximum, je crois qu'il sera judicieux de le faire.

Laura SAVILESKO

Je fais partie du public qui ne connaît pas du tout en détail le côté scientifique de ces problèmes. J'ai effectivement trouvé très intéressant. Je voudrais poser une question toute simple et si quelqu'un pouvait me répondre de manière un peu simplifiée parce que pour nous, c'est une masse d'informations assez complexes. Je voudrais avoir une petite comparaison en termes de prix en euros ou en millions d'euros, je ne sais pas, de ces différentes énergies. Est-ce qu'on peut comparer par rapport au coût de l'énergie nucléaire actuelle ou du pétrole, en euros ?

Bernard BIGOT

Je vais vous décevoir malheureusement. Non, nous ne sommes pas capables aujourd'hui de déterminer le prix en euros d'une énergie produite de cette nature. Il y a encore trop d'incertitudes scientifiques, industrielles. Le gros avantage, comme je vous l'ai dit, *a priori*, pour une quantité d'énergie, unités fournies pour commencer à assurer le chauffage du plasma, on a l'espoir de pouvoir en récupérer de l'ordre de trente fois. Sur le coin de table, on peut faire un calcul comme quoi effectivement, il y a de bonnes chances pour qu'on soit dans une gamme de compétitivité avec les ressources qu'on utilise aujourd'hui. Mais vous donner à l'euro près et de préférence avec les centimes qui vont avec, je crois que ce serait complètement irresponsable de ma part, mais peut-être qu'ici, il y a des gens plus qualifiés que moi pour aller jusque-là, surtout dans un débat public qui sera enregistré pour l'éternité.

Patrick LEGRAND, CPDP

Qu'un expert dise qu'il ne sait pas et que la question est bonne est plutôt une bonne nouvelle. C'est sûrement un sujet qu'il faudra continuer à creuser au fur et à mesure.

Laura SAVILESKO

Est-ce que ça coûtera plus cher que comme on le fait aujourd'hui ?

Bernard BIGOT

L'objectif, c'est que ce ne soit pas plus cher que maintenant, que ça n'affecte pas le fonctionnement de l'économie plus que ne le fait aujourd'hui la production d'énergie. C'est cela l'objectif que l'on se donne et il est réaliste cet objectif mais je ne suis pas capable d'aller jusqu'à donner un prix.

Hélène PARISI

Dans le même sens, je voulais vous demander, peut-être que vous ne savez pas les prix, mais au bout de combien de temps on peut estimer que le coût énergétique sur nos factures domestiques et autres risque de baisser suite à cette merveilleuse technique qui va produire énormément ? On est bien d'accord que ça va aussi créer des appels de besoins mais au niveau de ce qu'on aura à payer, est-ce qu'on peut déjà...

Bernard BIGOT

Il faut avoir conscience que nous avons vécu une période, nous et nos prédécesseurs, d'une énergie relativement très peu chère. Il faut savoir qu'aujourd'hui, en moyenne, chacun d'entre nous, nous bénéficions d'une énergie qui est équivalente au travail de quarante esclaves. Ce dont nous bénéficions comme énergie moyenne, ça correspond au travail mécanique que produiraient quarante personnes. Jamais dans l'histoire de l'humanité antérieurement, nous n'avons bénéficié d'un tel ratio. Donc une énergie peu chère, je pense que nous avons vécu une période d'or, sans d'ailleurs trop nous préoccuper de ce qui se passait des déchets et des rejets dans l'atmosphère. Deuxième aspect de ma réponse, comme vous l'avez compris, nous sommes sur des horizons lointains au sens où ce n'est pas à l'automne prochain que la production d'énergie par fusion va survenir. C'est des échelles de temps longs. Moi, j'ai un chiffre que je crois chacun doit avoir à l'esprit. Entre le 1^{er} janvier 2005 et le 31 décembre 2005, l'énergie moyenne que nous avons dû acheter sur le marché gazier et le marché pétrolier a augmenté de 50 %. Un certain nombre de gens par exemple vous disent « ITER, c'est cher ». Petite donnée, ITER, tous les partenaires, donc c'est-à-dire les sept grands pays du monde qui produisent 75 % du produit national brut se sont mis d'accord pour, sur 35 ans, apporter l'équivalent de 10 milliards d'euros pour la construction, fonctionnement, démantèlement. En un an, la facture supplémentaire que la France a dû payer simplement pour avoir accès à la quantité de pétrole et de gaz dont elle avait besoin était de 15 milliards d'euros. Ça vous donne une petite idée. En un an, le surcoût a été équivalent, -on va à la louche, entre 10 et 15, c'est la même chose- à l'expérimentation nécessaire à ITER. Votre question, c'est le rêve. Nous espérons tous avoir une énergie peu chère. Je crois qu'il faut être réaliste. L'énergie ne baissera pas durablement et fortement.

Hélène PARISI

Donc ce n'est pas une très bonne nouvelle. On fait des progrès techniques énormes. On va certainement consommer plus. On aura des factures encore plus élevées. Je voulais savoir en comparaison aussi avec les recherches qui se font sur l'énergie solaire interplanétaire, etc., enfin je ne sais pas si vous comprenez parce que je ne suis pas très technique non plus, mais je sais qu'il y a des recherches sur l'énergie solaire spatiale. Je voulais savoir aussi, parce que cette énergie solaire ne doit pas être très polluante, etc. Est-ce qu'au point de vue du coût et de la rentabilité, est-ce c'est compétitif ou non ? Est-ce que, comme certains parlaient aussi avec qui partager, est-ce qu'on pourra partager avec les pays en voie de développement ? Je voudrais peut-être une petite idée de comparaison entre cette technique-là et aussi l'autre technique de pointe.

Bernard BIGOT

L'énergie nucléaire la moins chère et même l'énergie la moins chère tout court, c'est l'énergie qui provient du soleil puisqu'il y a quelqu'un qui a pourvu au combustible et à la technologie il y a cinq milliards d'années et qui se charge d'assurer la maintenance depuis. A cet égard, c'est difficilement battable et ça, elle est facile à partager avec tout le monde. Les dispositifs qui viseraient à récupérer l'énergie solaire un peu plus haut dans l'atmosphère pour en avoir plus, personnellement, je vous dis ma conviction : Je n'y crois pas beaucoup parce que tout le problème, ce n'est pas seulement de la récupérer mais c'est de la transporter. Honnêtement, je pense que ces technologies un peu futuristes auront de la peine à rentrer dans la compétition mais qui sait ? Je ne ferme pas la porte. Je pense que ça vaut quand même le coup d'essayer la fusion thermonucléaire et ne pas concentrer tous nos moyens à quelques déploiements de panneaux dans la haute atmosphère.

De la salle

Je voulais rajouter un argument dans le débat sur installer des centrales à fusion dans beaucoup de pays. Il y a un aspect que vous n'avez pas souligné Monsieur Bigot, c'est l'aspect non proliférant de ce genre de technique qui, je crois, peut être tout à fait intéressant dans le contexte actuel. Mais l'autre point que je voulais dire, c'est sur l'histoire de la comparaison des prix. Quand les DEMO, PROTO et autres machines industrielles viendront sur le marché, quels seront leurs concurrents en termes de production d'énergie de masse ? Ce sera les réacteurs à neutrons rapides ou quoi d'autre ? Est-ce que justement cet aspect investissement relativement lourd pour produire de l'énergie ne risque pas d'être dissuasif pour les industriels du siècle prochain vis-à-vis d'autre chose ?

Patrick LEGRAND, CPDP

Sur le premier aspect de la question, vous pouvez préciser pour tout le monde ce que vous mettez derrière « non proliférant » ?

De la salle

On sait bien que les centrales nucléaires à fission malheureusement peuvent être détournées de leur but pour produire des matériaux fissiles destinés à des armes. Je crois que c'est une critique qu'on

ne peut pas faire du tout aux machines à fusion, donc cet aspect non proliférant est certainement quelque chose qui permet d'envisager de les installer dans beaucoup de pays.

Bernard BIGOT

Vous avez bien fait de souligner effectivement qu'il n'y a pas de risque de prolifération. La prolifération, c'est essentiellement effectivement des matières nucléaires qui peuvent servir dans la composition des armes. Ce n'est pas si simple que cela. Ce n'est pas parce que vous allez récupérer un combustible usé qu'immédiatement vous allez pouvoir le faire mais, évidemment, ce sont les mêmes technologies. La production de la centrale nucléaire, c'est le même type de technologie qui peut vous permettre de produire cette fois-ci de la matière à des fins non pacifiques. Là, il n'y a pas de problème de cette nature comme je vous l'ai dit. On produit uniquement de l'hélium et là, le jour où on fera une arme avec de l'hélium, ce sera intéressant parce que je crois que nous serons rentrés dans la zone de pacification totale de la Terre.

Le point que vous soulevez, c'est partons d'un horizon par exemple 2080. On dit, 2080, on commence à avoir un déploiement raisonnable de quelques réacteurs industriels de fusion. Qu'est-ce que l'on peut prévoir ? Premièrement, on peut prévoir que demeureront des réacteurs de fission, notamment des réacteurs de fission à neutrons rapides qui présentent l'avantage de pouvoir utiliser pratiquement non plus 0,5 % de l'uranium naturel, lié à l'isotopie, lié à la composition de l'uranium naturel, tel que c'est le cas aujourd'hui avec les réacteurs de fission à neutrons thermiques mais, au contraire, on peut espérer en consommer 60 % donc ça change totalement la donne. Là, en France, par exemple, il faut savoir que parce que l'enrichissement de l'uranium qui est nécessaire à nos centrales, les 58 centrales de fission que nous avons aujourd'hui à neutrons thermiques, ont produit en France de l'ordre de 250 000 tonnes d'uranium appauvri. Si nous mettons au point la technologie des réacteurs à neutrons rapides, ces 250 000 tonnes d'uranium appauvri, combinées avec le plutonium pour amorcer cette pompe, c'est plusieurs milliers d'années d'énergie pour notre pays. A coup sûr, en 2080, si nous le décidons, cette technologie-là sera compétitive.

Deuxième aspect, pour produire de l'électricité, on peut en faire comme vous le savez avec de l'éolien, avec du solaire, on peut en faire en utilisant la biomasse, etc. donc il y aura une compétition. Il y aura une compétition économique à coup sûr. Le tout, ce sera des choix de société en fonction des impacts, en fonction des coûts. Personnellement, le coût est un facteur souvent dominant, donc tout dépendra du coût par exemple de la séquestration du carbone. Si on exige que toute personne qui utilise du charbon pour produire de l'électricité, parce qu'il y aura encore du charbon à cette période-là à coup sûr, si on lui impose un coût de vingt euros la tonne, ce n'est pas la même chose que si on lui en impose zéro ou si on lui en impose cent. A cette échelle, je pense qu'il y aura une vraie compétition et c'est là tout l'objectif, et je trouve que c'est stimulant, c'est-à-dire qu'on ne va pas s'amuser à faire un très beau jouet technologique mais qui sera à un prix monstrueux et donc impactera négativement le fonctionnement économique de notre société. On a l'obligation d'être compétitif. C'est ça l'objectif.

Patrick LEGRAND, CPDP

Séquestration du carbone, tout le monde est au courant ?

Bernard BIGOT

Quand vous brûlez un combustible fossile, vous produisez soit uniquement du dioxyde de carbone plus un certain nombre d'autres gaz, sachant qu'il y a toujours des résidus de soufre, d'azote, dans les combustibles fossiles, avec la production des pluies acides et autres joyeusetés de cette nature ou même du mercure. Par exemple, j'avais été très frappé qu'une centrale aux Etats-Unis qui a la même puissance de fission qu'une centrale en France produit chaque année dans son voisinage douze tonnes de mercure. Donc ils vaporisent douze tonnes de mercure dans l'atmosphère immédiat. Donc il y a un certain nombre de déchets mais le plus important, en particulier sur l'impact gaz à effet de serre, c'est le dioxyde de carbone donc il y a une stratégie qui consiste à récupérer, à séparer, -c'est ce qu'on appelle la capture du dioxyde de carbone- et puis ensuite de l'enfouir dans le sol ou de l'enfouir dans un matériau solide avec l'espoir qu'il va rester là quelques centaines d'année, de telle sorte que, comme vous l'avez vu sur les courbes que je vous ai montrées, lorsque le dioxyde de carbone reviendra dans l'atmosphère, à ce moment-là, l'atmosphère aura eu un contenu en dioxyde de carbone beaucoup plus faible que celui qui est aujourd'hui, de telle sorte qu'on ne recommence pas les bouleversements climatiques qui menacent, tel que c'est là aujourd'hui.

Gérard SUSTRAC

Je suis géologue. Pardonnez-moi de ne pas être physicien du plasma. Je voudrais faire part de ma préoccupation sur le calendrier. Dans les chiffres que vous avez donnés tout à l'heure, qui sont les chiffres officiels je crois, à la fin de ce siècle, la fourchette d'augmentation de température se situe entre un à quatre. Vous avez mis quatre degrés. Je crois que les chiffres étaient 5,8, autant que je me souviens. Ce sont ceux du GIEC. Donc même s'il y a une grande incertitude sur les modèles climatiques, on s'oriente vers un intervalle de température qui, dans le sens de la progression de la chaleur, est aussi grand et de même nature que ce qui sépare une glaciation d'un interglaciaire où nous sommes actuellement. Donc on est dans des phénomènes mondiaux à caractère paroxysmal. Face à ça, le calendrier proposé, c'est quoi ? Les réacteurs de la génération IV nucléaires, on commence à en faire un en 2040. La fusion, on fait des prototypes en 2050 et vous envisagez quelques réalisations industrielles en 2080. Je crois qu'au point de vue calendrier, par rapport à ces problèmes du réchauffement dus notamment aux émissions de CO₂, on n'est pas dans la même cour et je crains que s'il n'y a pas des choix absolument drastiques qui sont pris à la fois sur le plan de l'économie d'énergie, je ne parle pas des énergies renouvelables puisque tout le monde sait les limites que ça porte. L'Allemagne a 12 000 mégawatts installés. Il suffit de diviser par le nombre de centrales nucléaires. On voit ce que cela représente. Ils sont presque à capacité maximum. Toutes ces solutions-là sont partielles et ne vont pas résoudre le problème. Donc l'interrogation que je voudrais soulever ici, c'est que j'ai l'impression que face aux problèmes qui nous sont posés et devant lesquels, peut-être pas nous mais en tout cas les générations d'après seront devant, nous ne prenons pas les mesures indispensables. La fusion, aussi intéressante qu'elle soit, et aussi prometteuse qu'elle soit, ne sera en rien une possibilité sérieuse de faire face à ces enjeux aux horizons de temps tels qu'ils sont proposés. Donc je souhaiterais que vous puissiez dire quelque chose là-dessus. Et si vous me permettez, j'ai une toute petite question annexe. Pourquoi 17 réunions en région PACA et une seule en dehors, en l'occurrence à Paris ?

Bernard BIGOT

Là, je suis complètement incompetent, comme vous l'imaginez. Seul Monsieur Legrand et son équipe peuvent y répondre. Je vais répondre à votre première interrogation ensuite.

Patrick LEGRAND, CPDP

Vous savez que le débat public se déroule sur un temps bien précis et au fond porte sur un équipement, c'est-à-dire qu'au départ, c'est un peu le bitume et la tuyauterie. Le projet tel qu'il est conçu porte d'abord sur l'installation ITER à Cadarache de la machine. Il a été par la Commission nationale étendu à un certain nombre d'enjeux, notamment les enjeux que nous discutons aujourd'hui. Ça c'est le premier aspect. Et le deuxième aspect est que nous avons imaginé que nous pouvions discuter de questions générales et mondiales, et ça s'est produit, aussi en région pour éviter l'accusation de jacobinisme traditionnelle. Troisième type de réponse, un projet pareil et l'ensemble de projets que cela comporte ne peut évidemment qu'être à une échelle incommensurable avec celle d'un débat public donc le premier débat public a été conçu en favorisant plutôt le débat à partir du noyau provençal. Ensuite, c'est une décision de la Commission nationale. Nous avons fait d'autres expériences avec par exemple l'EPR ou les déchets radioactifs qui nous ont conduits à recentrer, et ce que nous espérons, c'est que ce premier débat public qui porte sur une installation se poursuive ensuite, se réplique et se duplique et devienne, je l'ai dit, même presque international puisque ce serait normal que ça se discute ailleurs. Je n'ai pas l'impression d'avoir répondu à votre question.

Gérard SUSTRAC

Non, parce que moi, j'ai participé au débat public sur les déchets radioactifs. J'ai été à plusieurs séances. Ça a été très réparti sur le territoire national, en région. Il y a eu trois séances à la Cité des sciences et, à ma connaissance, le projet ITER est un projet national, et plus qu'international. Il méritait, à mon avis, une répartition au moins aussi grande qu'une focalisation sur la région PACA où certes vous avez entendu des quantités de gens qui se sont demandés comment on allait construire, vivre, loger, nourrir et je ne sais quoi ces gens, mais bon.

Patrick LEGRAND, CPDP

Ce que je peux me permettre de vous répondre, c'est que les deux sujets ne sont absolument pas de même nature, ni même de par la loi d'ailleurs. Le projet et la mise en débat public du projet ITER porte sur un équipement. C'est la loi et c'est un des termes de la loi. L'ensemble de projets qui ont été débattus dans le cadre des déchets radioactifs, c'est une saisine du gouvernement qui a porté sur un programme quasiment non finalisé. Ce n'est pas tellement la même chose. On peut même aller plus loin. Il est vrai qu'on n'était pas dans la capacité de monter sur cette question un débat public national. C'est tout. Pour l'instant.

Gérard SUSTRAC

De toute façon, le débat n'est pas clos. On va pouvoir se revoir. On ne va pas mobiliser le temps de tout le monde sur ce sujet. Je posais la question incidemment. Je pense que c'est bon comme ça.

Bernard BIGOT

Je vais essayer de répondre à votre question. Je pense vous avoir montré sur cette courbe-là, au tout début de mon exposé, que les signaux d'un impact potentiel de la consommation de combustibles fossiles auraient peut-être pu être pressentis plus tôt. Ça n'a pas été le cas. Il a fallu une forte mobilisation des scientifiques, en particulier des climatologues, des gens qui étudient la

paléoclimatologie, etc. pour mettre en évidence l'impact en question. Vous savez qu'il y a même certains pays qui encore jusqu'à une époque récente pensaient que tout cela était une chimère scientifique. Aujourd'hui, je crois qu'il y a peu de gens qui nient l'urgence. Ce qu'il faut savoir, c'est que dans le domaine de l'énergie, les choses ne peuvent pas se régler en un clin d'œil. Ne serait-ce que par exemple avec une technologie mûre, installer une capacité de production supplémentaire d'électricité, si c'est une centrale combinée gaz par exemple, en dessous de deux ans, vous n'y arrivez pas. Le temps de l'enquête publique, de la validation technique, la réunion des capitaux, etc. mais on est en démocratie. Il y a des contraintes techniques. Une centrale nucléaire, minimum, c'est six ou sept ans. Je ne parle même pas du développement d'une technologie. C'est clair que nous sommes en retard. Il y a le feu dans la maison comme le disait quelqu'un, comme vous le savez. Ce n'est pas une raison pour rester inactif.

Personnellement, je pense qu'effectivement, par exemple, l'utilisation plus rationnelle de la biomasse, l'utilisation plus rationnelle de l'énergie produite par les centrales nucléaires peuvent apporter des corrections. L'objectif, diviser par quatre le CO₂ en France est de mon point de vue un objectif réaliste sur le plan technique. Le vrai défi, c'est la sensibilisation de la population à ces enjeux pour qu'il accepte de faire les choix correspondants, qu'il accepte éventuellement un certain nombre de contraintes nouvelles mais ne vivons pas d'illusions. La prise de conscience sur le danger que nous faisons courir à notre planète par l'extraction des combustibles fossiles, vous êtes géologue donc vous le savez mieux que moi-même, elle est telle que ça ne peut pas se corriger simplement en un clin d'œil. C'est vrai que la fusion ne va pas apporter la réponse à court terme mais voyons loin.

Qu'est-ce que nous allons proposer à nos enfants et petits-enfants dans le siècle qui vient ? Je pense qu'il n'y aura plus de pétrole ou alors des quantités marginales ou à des prix qui seront complètement déraisonnables. Il faudra plus d'énergie pour l'extraire qu'on en récupèrera. Le gaz sera sans doute un peu dans le même état. Le charbon, il y en a beaucoup mais à mon avis, en termes de pollution, ce sera absolument horrible non seulement les gaz à effet de serre mais, comme je vous l'ai dit, toutes les joyeusetés qui vont avec. Il y a *a priori* le nucléaire de fission mais tout le monde et tous les pays du monde, pour les raisons que vous avez évoquées de non-prolifération, de maîtrise, ne sont pas forcément mûres pour pouvoir l'utiliser. Je pense que nous avons le devoir d'explorer cette voie. Les gens qui pensent que ça ne vaut pas le coup, je pense qu'ils se trompent.

Hubert BLANC

C'est une question de toute autre nature. Je voudrais bien comprendre à travers le dossier qui sera juridiquement le maître d'ouvrage de ITER. Si je comprends bien, il y a une organisation internationale ITER. Quelle forme juridique cela aura-t-il pour être maître d'ouvrage d'un tel projet ? Pour le moment, si je comprends bien, le maître d'ouvrage au sens du débat public, c'est le CEA en tant que représentant du partenaire français de l'organisation internationale. Est-ce que je comprends bien ? Quelle forme juridique prendra le maître d'ouvrage de ITER ?

Bernard BIGOT

Pour le moment, il va y avoir un traité international du même niveau que les traités qui sont associés à l'ONU. Ce traité, comme je l'ai dit, il a été validé jusqu'aux virgules par les sept partenaires le 1^{er} avril à Tokyo, en présence de Monsieur Ikeda, qui est aujourd'hui le directeur général de la structure de préfiguration. Ce traité prévoit la création d'une organisation qui

s'appellera l'organisation internationale ITER, qui aura la personnalité juridique comme l'ont les grandes institutions internationales. Le maître d'ouvrage, ce sera l'organisation et donc le directeur général, Monsieur Ikeda, qui aura la totalité de la responsabilité de la construction de cet équipement, de l'exploitation de l'installation nucléaire, parce que ce sera une installation nucléaire bien sûr, et de l'ensemble des accords, des principes d'accès à la communauté scientifique internationale. Pour le moment, dans cette attente, la France s'est organisée en mettant en place ce qu'on appelle l'Agence ITER France, dont Madame Pascale Amenc-Antoni à mes côtés est aujourd'hui la directrice et qui assume de manière temporaire, par délégation de l'ensemble des partenaires, un certain nombre de responsabilités, pour ne pas retarder le procédé de mise en œuvre.

De la salle

J'aimerais savoir quels seront les codes de construction applicables à la construction d'ITER ? Comment vous allez procéder pour mettre en musique tous les partenaires internationaux qui vont apporter, soit en partie numéraire, soit en partie équipement, l'ensemble qui va après faire ITER ?

Bernard BIGOT

C'est encore une fois la responsabilité de l'organisation internationale, dans laquelle l'Europe, et Monsieur Gambier est là au titre de la Commission européenne, est le partenaire, donc l'organisation avec ses sept partenaires vont définir effectivement l'ensemble du plan de la machine, ce qu'on appelle le design, dans le détail, et vont ensuite, sous la responsabilité de Monsieur Ikeda et du chef de projet qui vient d'être nommé et qui est donc Norbert Holtkamp. Ils vont préciser l'ensemble des différents composants de cette machine, dont les sept partenaires vont avoir la responsabilité de les fournir en nature. C'est l'originalité du projet. Une large fraction va être fournie en nature. L'Europe s'est organisée ou est sur le point de s'organiser pour faire ce qu'on appelle *joint undertaking*, donc une organisation commune qui va rassembler à la fois la commission et l'ensemble des partenaires pour passer les commandes, lancer les appels d'offre, assurer le suivi de la construction vis-à-vis d'un certain nombre d'entreprises, d'industries qui vont réaliser ces composants qui seront ensuite assemblés sous la responsabilité de l'organisation internationale, sous l'autorité de Monsieur Ikeda. Voilà le mécanisme tel qu'il est aujourd'hui effectivement prévu. C'est une organisation tout à fait originale.

Maintenant, quelles sont les normes ? Les normes vont être celles du pays hôte, c'est-à-dire celles de la France. Vous le savez peut-être, au Parlement, en ce moment, il y a une loi qui s'appelle « transparence et sécurité nucléaire » qui prévoit les règles et les principes dans lesquels une installation nucléaire de base, et ITER sera une installation nucléaire de base pour la raison que vous allez avoir les parois qui vont être activées, vous allez avoir les neutrons, vous allez avoir le tritium, donc tout cela constitue des éléments qui qualifient complètement cette installation comme pouvant être une installation nucléaire de base, donc le gouvernement va demander à ITER de respecter les normes qui s'appliquent aux constructions propres à cette catégorie d'installations en France. L'Autorité de sûreté nucléaire a déjà donné un accord de principe comme quoi la conception de l'installation, telle qu'elle est prévue, a toutes raisons de satisfaire les exigences associées à ces installations nucléaires de base. L'Autorité de sûreté d'ailleurs prévoit très clairement la nouvelle loi, assurera le contrôle de l'ensemble du processus. Ça a été parfaitement accepté et admis par toutes les parties, c'est-à-dire que dans le traité, article 12, si je me souviens bien, il est très clairement indiqué que l'ensemble des partenaires reconnaît que ce sont les dispositions législatives et réglementaires en matière de sûreté nucléaire, en matière de sécurité

nucléaire, en matière de tout un tas d'autres dispositions associées à la construction, qui seront respectées.

Monsieur FAURE, CFE/CGC

Cette merveilleuse machine qui est ITER nécessitera n'importe comment des opérations de maintenance et donc de décontamination. A ce sujet, les méthodes de décontamination ont-elles déjà été fixées ? J'entends par « méthodes de décontamination » les systèmes classiques, laser, carboglace, et compagnie, de manière à réduire les déchets produits.

Bernard BIGOT

Les principes ont été effectivement esquissés mais c'est au moment où l'autorisation internationale et en particulier le directeur général, Monsieur Ikeda, déposeront la demande de construction auprès des autorités françaises que l'ensemble de ces éléments devra être précisé. Donc on est dans cette phase. On sait que les techniques existent. Encore une fois, les technologies qui sont associées au démantèlement sont relativement classiques, étant donné la nature des produits radioactifs. Il y aura effectivement des produits tritiés. L'ensemble de ces dispositifs-là sont connus et reconnus. Maintenant, il faut les adapter à la machine telle qu'elle sera construite et c'est là de la responsabilité, avant le début de la construction, que ces éléments-là soient clairement précisés.

Patrick LEGRAND, CPDP

Y a-t-il encore quelques interrogations ? Enfin, il y en aura toujours. Il y aura même des remords après la fin du débat mais comme ce n'est que le premier débat sur ITER et qu'il y en aura probablement d'autres... Ecoutez, merci. L'esprit des lieux a soufflé. Vous suivrez, je suppose, les résultats de l'ensemble des discussions dans la presse. Je vous rappelle qu'il y a un site sur lequel il y a aussi toute une série d'éléments où sont reportées les questions et les réponses, notamment les réponses aux questions qui ont portées à notre connaissance par écrit. Il y a des *verbatim* comme l'a dit Monsieur Bigot et il y a aussi la possibilité par Internet de poser un certain nombre de questions. Merci et nous ferons sûrement d'autres réunions à Paris sur cette question. Nous avons le temps. Merci et au revoir.