

EL 4

première centrale nucléaire bretonne

par R. CARLE et P. SCHULHOF

Ingénieurs au Département de construction des Piles
du Commissariat à l'Énergie Atomique

Parmi les grandes réalisations techniques d'avant-garde, en cours d'avancement en Bretagne, la construction, au cœur des monts d'Arrée, de la Centrale nucléaire EL 4, mérite d'être comprise à sa vraie place dans le développement atomique français.

LES CARACTERISTIQUES DE LA CENTRALE ET SON ORIGINALITE :

Prenant le risque d'entrer ici en compétition avec la littérature journalistique, nous pensons nécessaire de rappeler d'abord brièvement ce qu'est une centrale nucléaire, encore appelée réacteur de puissance. Possédant en commun avec les centrales thermiques conventionnelles le groupe turboalternateur qui transforme l'énergie mécanique de la vapeur d'eau à haute pression en électricité, elle s'en distingue par les moyens propres à créer et à échauffer cette vapeur, c'est à dire la partie « chaudière ». La chaudière d'une centrale nucléaire est un réacteur atomique ; la chaleur y est produite par la fission des noyaux d'uranium sous l'impact des neutrons, selon le processus de la célèbre réaction en chaîne.

Or, cette réaction ne peut s'entretenir (tout au moins dans le type de réacteur actuellement le plus répandu dit « réacteur thermique ») que dans la mesure où un matériau convenable, nommé modérateur, ralentit les neutrons produits par les fissions au niveau d'énergie propre à créer de nouvelles fissions. Un fluide de refroidissement primaire refroidit l'uranium et transmet ses calories à la vapeur par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur. Un type de réacteur se caractérise donc par la nature de son modérateur et de son fluide refroidisseur. Suivant les cas, ces matériaux permettent l'emploi d'uranium naturel (c'est-à-dire tel qu'il se rencontre dans les minerais) ou au contraire imposent l'emploi d'uranium enrichi artificiellement en un de ses isotopes.

La France, qui s'est toujours attachée à l'emploi de l'uranium naturel, dont elle dispose de sources importantes, a développé en priorité depuis 1953, des réacteurs utilisant le graphite comme modérateur et le gaz carbonique comme refroidisseur ; les centrales, en exploitation à Marcoule et en construction à Chinon, constituent ainsi la filière graphite-gaz carbonique, actuellement en plein développement, puisque chacune de ses étapes permet la réalisation de nouveaux progrès techniques et l'abaissement du coût de l'énergie produite.

EL 4 utilise, comme ses initiales l'indiquent, un autre modérateur, l'eau lourde et le même fluide refroidisseur, le gaz carbonique.

Il ne faudrait pas en conclure qu'il s'agit là d'une révision de la politique passée. S'il est prématuré d'établir un bilan définitif de la filière graphite-gaz carbonique, les efforts correspondants, ainsi que ceux faits en Angleterre dans la même direction, n'en ont pas moins abouti à des résultats techniques et économiques qui en font la seule filière éprouvée utilisant de l'uranium naturel. En fait, il est apparu au Commissariat à l'Energie Atomique que, quels que soient les résultats acquis, le développement de la nouvelle source d'énergie justifiait que plusieurs voies soient explorées concurrentiellement, permettant d'accumuler un faisceau de résultats dont le rapprochement et la critique aboutiront aux choix définitifs. Ces choix ne seront d'ailleurs nécessaires qu'au moment où un développement intensif de l'énergie atomique devra intervenir dans les programmes nationaux, échéance que les ressources actuelles semblent remettre encore de quelques années.

Or, l'eau lourde a été reconnue, depuis les premières études des physiciens atomistes, comme le matériau le plus apte à ralentir les neutrons, tout en n'en détruisant par absorption qu'une fraction très faible. Son usage est très répandu dans les réacteurs expérimentaux. Son prix (280 francs le litre) est élevé certes, mais l'utilisation très poussée du combustible qu'elle permet d'atteindre compense cet investissement supplémentaire. Par contre son emploi comme fluide refroidisseur se heurte à la difficulté d'atteindre par son intermédiaire les hautes températures de vapeur, nécessaires au bon rendement, qui sont actuellement courantes dans les centrales conventionnelles. Son rôle dans EL 4 est donc limité à celui de modérateur, le fluide refroidisseur étant le gaz carbonique, à une pression de 60 atmosphères, qui se trouve porté à environ 500° et qui produit la vapeur vive alimentant la turbine à une température du même ordre.

Ces avantages ne vont pas sans une audace certaine dans la conception. L'eau lourde, matériau coûteux, exige de multiples précautions technologiques pour en éviter la pollution et la perte ; l'expérience de nos réacteurs pour physiciens, EL 2 et EL 3, nous ont d'ailleurs familiarisés avec ces impératifs. Le gaz carbonique à haute pression et haute température impose également de sévères conditions aux aciers qui le contiennent, aux soufflantes qui le mettent en mouvement, aux vannes et aux joints qui en limitent les fuites. Enfin, la juxtaposition de ces matériaux dont l'un doit être aussi chaud que possible, l'autre maintenu froid sous peine de perdre une bonne part de ses propriétés neutroniques, représente une prouesse technique dont l'audace a dû être longuement pesée.

A cette audace, EL 4 ajoute indéniablement la nouveauté d'un prototype, puisque seul un réacteur tchèque, dont nous connaissons d'ailleurs fort peu de chose et qui doit également entrer en fonctionnement en 1966, et un réacteur suisse de faible puissance devant diverger en 1965, utilisent la même conjonction de matériaux. On comprendra que, dans ces conditions, des nécessités, à la fois de prudence dans la taille du réacteur et de complexité quelque peu accrue pour pouvoir acquérir le maximum de connaissances, conduisent à un coût d'électricité éloigné de l'objectif que permet d'espérer la nouvelle filière et de celui déjà atteint dans les filières concurrentes.



Fig. 1. — Construction du bâtiment du réacteur au 1^{er} juin 1963

En réalité, EL 4 apparaît comme un réacteur à double fin, dont incontestablement le produit principal sera l'expérience et le sous-produit l'électricité. L'expérience portera essentiellement sur la tenue des structures dans le temps et sous rayonnement, les rendements obtenus (tenant compte en particulier des pertes de calories inévitables dans l'eau lourde) et enfin les éléments combustibles d'uranium dont divers types seront essayés dans des conditions réelles de fonctionnement. Depuis 1959 un programme de recherches de plusieurs milliards d'anciens francs a largement éclairci ces différents points ; il est apparu, à partir d'un certain stade, que seul un prototype donnerait les renseignements statistiques permettant d'aller plus loin.

EL 4 n'en constituera pas moins un appoint important au réseau national, puisqu'il représentera une puissance installée de 70 à 80.000 kilowatts électriques. Essentiellement centrale de base (c'est à dire destinée à fournir une puissance aussi constante que le permet la courbe de consommation), EL 4 permettra également d'étudier l'adaptation au réseau d'une centrale d'un type nouveau, ajoutant ainsi sa modeste expérience à celle de la centrale de Chinon.

IMPLANTATION ET REALISATION DE LA CENTRALE :

C'est le 7 juin 1962, après trois ans d'études préliminaires, que le Comité de l'Energie Atomique, qui réunit les responsables français dans le domaine nucléaire, décida la construction d'EL 4.

La réalisation en était confiée, partie au C.E.A. (pour le réacteur), partie à l'E.D.F. (pour les installations conventionnelles). Les études de détail en furent réparties au sein de l'industrie française, parmi les Sociétés intéressées par les activités atomiques, sous la coordination de la Société INDATOM (également chargée d'assurer la coordination des fabrications et du chantier).

L'implantation de la centrale sur le site des monts d'Arrée était envisagée depuis 1959, date des premières études sur ce site, particulièrement intéressant au double point de vue de l'abondance de l'eau de refroidissement et de l'étendue disponible en terrains de médiocre valeur. Seul son éloignement des grandes voies de communication pouvait poser un problème, qui se révéla surmontable après examen, et en tout cas, largement compensé par l'intérêt d'apporter quelque activité dans une région déshéritée du point de vue économique.

Il est sans doute inutile de présenter aux lecteurs de *Penn ar Bed* ce site situé à cheval sur les communes de Loqueffret et de Brennilis et remarquable par sa noblesse et sa faune particulière. Tout sera fait pour préserver l'un et l'autre ; centrale sans bruits, sans fumées, sans salissure, EL 4 doit trouver son harmonie sur ces hauts lieux, dès que l'agitation des chantiers aura cessé et que la terre remuée par les bull-dozers aura repris sa place.

Dès 1961, l'E.D.F., propriétaire du site, avait entrepris les travaux d'infrastructure : route d'accès, aménagement de l'Ellez en aval du barrage et pont sur l'Ellez, terrassements préliminaires, clôture du site et rétablissement des communications entre les hameaux voisins. Ces travaux furent confiés essentiellement à des entreprises locales.

Les travaux du réacteur proprement dits commencèrent en juillet 1962. Malheureusement certaines difficultés géologiques et surtout l'hiver très rude en ralentirent la progression. Aujourd'hui le bâtiment cylindrique étanche qui doit abriter le réacteur s'élève à quelques 40 mètres au dessus du sol. Nous ne reviendrons pas ici, la presse en ayant longuement parlé, sur le caractère exceptionnel de cet ouvrage, en béton précontraint, armaturé de quelque 50 kilomètres de câbles (voir figure n° 1) ; la démonstration est faite que cette technique représente des avantages de rapidité et d'économie par rapport aux enceintes métalliques.

Nous tenons simplement à souligner que, ici encore, la décision d'enfermer le réacteur dans une enceinte, imperméable à toutes les conséquences d'un accident survenant sur le réacteur ou sur ses circuits, a été prise en fonction du caractère prototype de l'ouvrage. Seule l'expérience d'exploitation des réacteurs permettra, en toute sécurité pour les populations avoisinantes, de juger de la véritable nécessité de cette protection contre un accident qui demeure, en tout état de cause, bien improbable.

Si la visite actuelle du chantier n'offre guère d'intérêt que pour les spécialistes du génie civil, nous pouvons, dès maintenant, grâce à la photographie de la maquette du site imaginer ce qu'il sera, lors de la mise en service d'EL 4 (voir figure n° 2).

Cette vue permet de distinguer :

— le réservoir de Saint-Michel qui alimente par ailleurs, la petite

centrale hydraulique de Saint-Herbot et l'Ellez, suivant son nouveau tracé actuellement réalisé.

- le bâtiment du réacteur, de forme cylindrique, haut de 56 mètres dont 45 au-dessus du sol et d'un diamètre de 46 mètres.
- parmi les bâtiments classiques qui l'entourent : au centre le hall abritant le turbo alternateur et ses auxiliaires, à sa gauche un bâtiment comprenant les salles de relaying et de contrôle commande et les bureaux, enfin à l'extrême gauche la piscine dans laquelle sont stockés les éléments combustibles d'uranium après emploi.
- à droite le bassin de rejet et le long de ce bassin un hall allongé contenant différents auxiliaires généraux (compresseur d'air, station de pompage, groupe Diesels de secours, etc...).
- enfin, au pied de la colline, le stockage de gaz carbonique.

L'eau du lac utilisée pour le refroidissement du condenseur s'écoule à travers celui-ci, du lac au bassin de rejet situé à un niveau inférieur ; elle est ensuite pompée et rejetée à la surface du lac où par évaporation et échange avec l'atmosphère elle dissipe les calories perdues. Des expériences sur maquette ont permis de chiffrer l'élévation de température correspondante à la surface du lac qui n'excèdera pas quelques degrés. Au cas où la pluviométrie le permettrait, l'eau pourrait d'ailleurs être rejetée directement à l'aval du barrage par le déversoir visible sur la maquette.

Divers autres bâtiments compléteront le site au Nord de l'Ellez : administration, magasins, ateliers. Enfin, une cantine pour le personnel d'exploitation sera installée au bord du réservoir. Mentionnons à ce sujet que ce personnel s'élèvera au total à environ trois cents personnes, compte tenu des services généraux qu'il sera nécessaire de prévoir sur ce site (ce chiffre ne tient

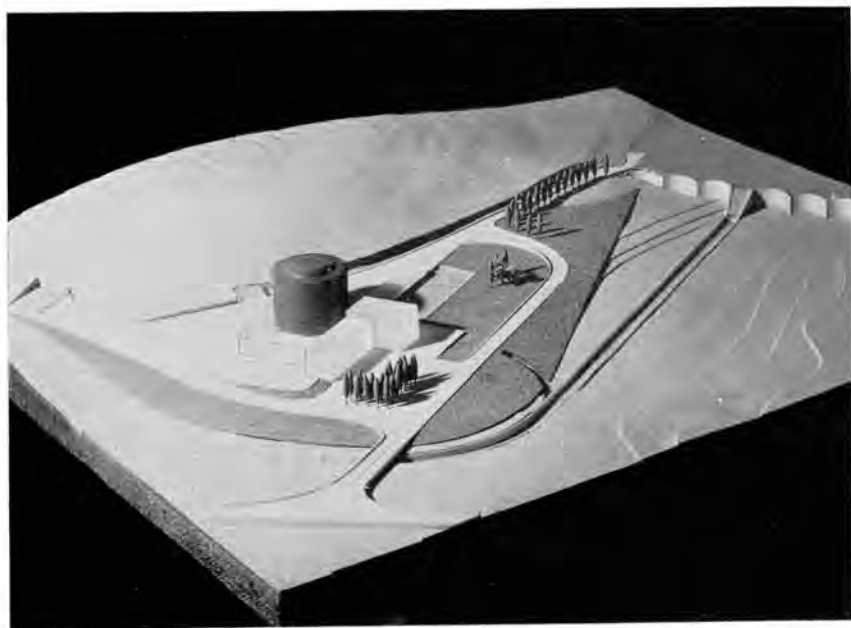


Fig. 2. — Vue générale du site, maquette

(d'après H. et L. Marty, Paris)

évidemment pas compte des installations qui pourront être, à un stade ultérieur, édifiées sur la partie Nord du site).

Pénétrons maintenant, non point par un des sas étanches réservés à cet usage, mais grâce à la figure n° 3, dans le bâtiment du réacteur. On le voit, cette immense coupe sera finalement remplie jusqu'au bord de montages mécaniques et de circuits. Le centre en est occupé par le « cœur » où a lieu la réaction nucléaire : il s'agit en réalité d'une grande cuve de 5 mètres de long sur 4 mètres de diamètre, remplie de 80 tonnes d'eau lourde et traversée par les 216 canaux contenant les éléments combustibles. Le gaz carbonique passe à travers ces canaux et s'y chauffe au contact de l'uranium. Chacun de ces canaux représente un montage mécanique délicat dont certaines parties sont portées à 500° et soumises à l'effort aérodynamique violent du gaz qui les traverse.

Deux canaux prototypes ont été réalisés et ont fonctionné au titre du programme d'études ; ils ont permis de sélectionner les matériaux adéquats et d'effectuer les mesures et les essais nécessaires.

Le cœur, inaccessible après le démarrage de l'installation, est placé à l'intérieur d'une protection limitant le rayonnement qu'il émet et comprenant 30 cm d'eau et 1,30 m de béton.

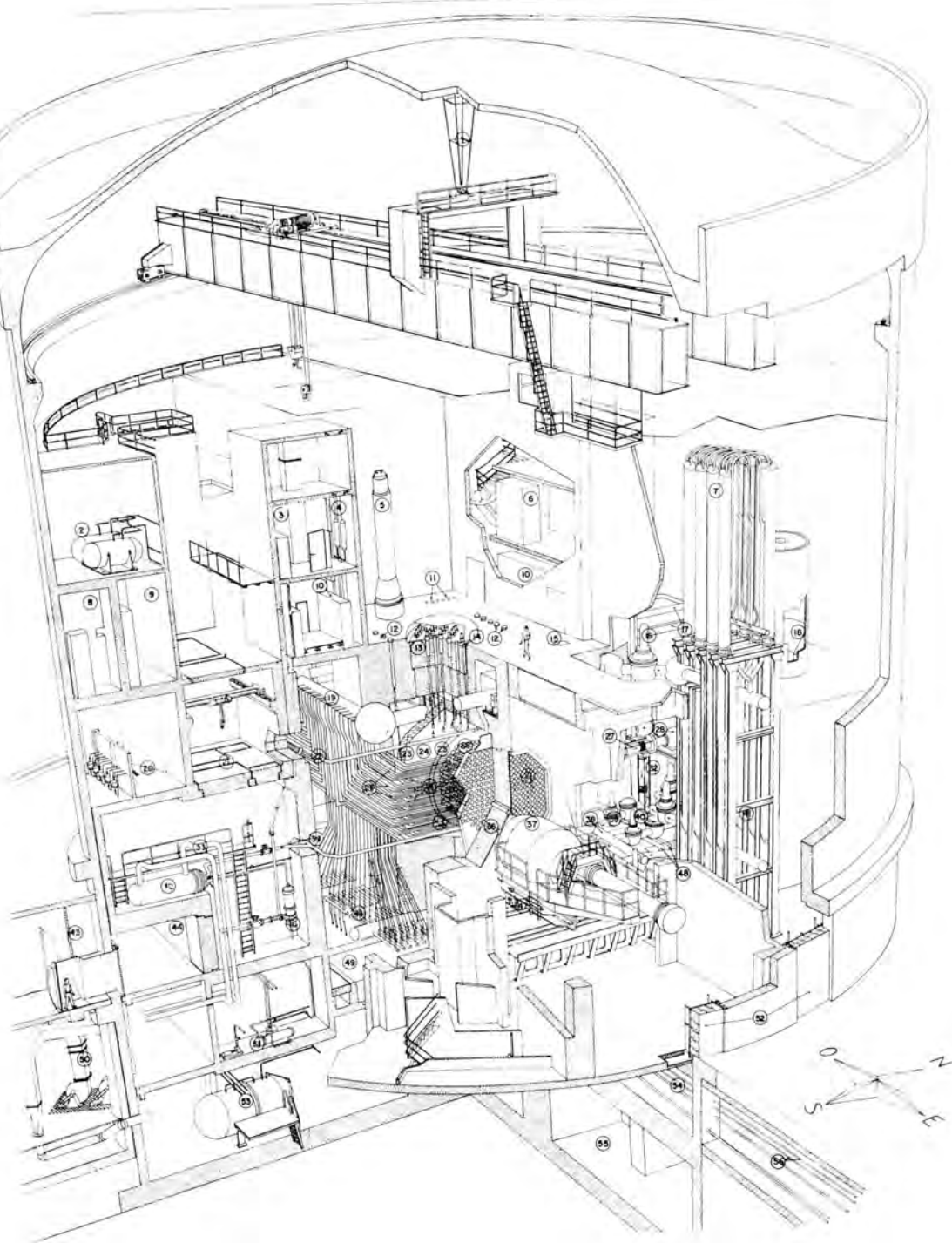
Dans la partie supérieure de cette protection se déplacent les barres chargées de contrôler les phénomènes neutroniques ; ce sont des éléments absorbant les neutrons et introduits plus ou moins à l'intérieur du cœur.

Le reste de l'enceinte est divisé en quatre quadrants :

- le Sud est le domaine de l'eau lourde ; pompes et échangeurs de chaleur assurent sa circulation et son refroidissement ; des installations plus complexes se chargent de maintenir sa pureté et sa teneur en gaz dissous. Au sous-sol trois bidons permettent son stockage. Toutes les parties du circuit au-dessus de l'eau lourde sont remplies d'hélium qui est également purifié. L'ensemble de ces circuits est réalisé en acier inoxydable, toutes les soudures en seront radiographiées ; rien ne doit être négligé pour sauvegarder le capital de 30 millions d'eau lourde contenue dans l'installation.
- le Nord est le royaume du gaz carbonique : 8 grandes tours

Ci-contre fig. 3. — Vue écorchée du bâtiment du réacteur. Légende :

1. Support alimentation électrique pont tournant ; 2. Gazomètre hélium ; 3. Transmetteurs mesures thermodynamiques CO₂ ; 4. Canaux de stockage - échangeurs circuit de refroidissement ; 5. Machine manutention barres de contrôle ; 6. Commandes de vannes circuit principal CO₂ ; 7. Tours d'échangeurs ; 8. Epuration hélium : adsorbants ; 9. Epuration hélium : tableaux de commande ; 10. Salles des électro vannes détection rupture de gaine ; 11. Puits de stockage barres de contrôle ; 12. Puits pour chambres d'ionisation ; 13. Barres de contrôle ; 14. Puits pour caméras de télévision ; 15. Puits de démontage barres de contrôle ; 16. Vanne d'isolement amont échangeurs ; 17. Canalisations décharge D₂O ; 18. Séparateur récupérateur D₂O ; 19. Collecteur chaud ; 20. Recombinaison eau lourde ; 21. Evacuation matériel eau lourde ; 22. Circuit D₂O - sortie cuve ; 23. Ecran latéral d'eau ; 24. Virole d'acier inoxydable ; 25. Fond de cuve ; 26. Prolongement des canaux (zone des tubulures) ; 27. Compensateur de dilatation ; 28. Soufflantes ; 29. Nappes tubulures chaudes ; 30. Nappes tubulures froides ; 31. Face de chargement ; 32. Vanne d'isolement aval échangeurs ; 33. Circuit secondaire échangeurs D₂O ; 34. Circuit D₂O - entrée cuve ; 35. Ecran d'eau axial ; 36. Prolongement de canal ; 37. Machine manutention combustible ; 38. Bretelle de refoulement soufflantes ; 39. Vannes d'isolement aval soufflantes ; 40. Clapets anti-retour ; 41. Bretelle d'aspiration soufflantes ; 42. Echangeurs circuit principal D₂O ; 43. Sas entrée personnel ; 44. Couloir ; 45. Pompes circuit principal D₂O ; 46. Clarinettes ; 47. Support machine manutention combustible ;



48. Circuit eau vapeur ; 49. Commandes manuelles réglage débit CO₂ ; 50. Bâtiment ventilation ; 51. Echangeurs circuits écrans ; 52. Panneaux démontables ; 53. Réservoir stockage D₂O ; 54. Galerie évacuation combustibles irradiés ; 55. Ventilation caisson échangeurs CO₂ ; 56. Evacuation effluents.

assurent le transfert des calories entre gaz carbonique et vapeur d'eau ; trois turbosoufflantes mettent le gaz en circulation, alimentées par une partie de la vapeur produite dans les échangeurs.

La figure montre à gauche du cœur (le même existe à droite) l'écheveau des tubulures répartissant le gaz entre les 216 canaux à l'entrée et le récupérant de même à la sortie. Le débit dans chaque canal est d'ailleurs réglable. Un circuit annexe assure la filtration et la dessiccation du gaz ; l'eau en particulier risquant de produire des corrosions très dangereuses pour les matériaux nobles du cœur, sa teneur doit être maintenue à quelques millièmes. La nuance de l'acier a été choisie après des essais de corrosion de longue durée.

— enfin à l'Est et à l'Ouest, les canaux du réacteur débouchent dans deux salles de manutention du combustible. Deux machines blindées de béton, permettent, sans arrêter le réacteur, d'ouvrir chaque canal, d'y introduire les éléments combustibles neufs et d'en retirer les éléments usés, enfin de refermer le canal. Chacune de ces machines pèse une centaine de tonnes et doit venir s'accoupler sur chaque tête de canal avec une très grande précision de positionnement. Les éléments usés seront ensuite évacués hydrauliquement par la galerie sortant de l'enceinte à l'Est vers la piscine de stockage.

A la partie supérieure de l'enceinte un pont tournant, capable de porter 45 tonnes sur ses 46 mètres de portée, assurera les manutentions, notamment pendant la période de montage.

En cours d'exploitation, l'ensemble des équipements sera actionné électriquement depuis la salle de contrôle commande située à l'extérieur de l'enceinte. En dehors des rondes d'entretien et des interventions de maintenance ou de dépannage, il n'y aura donc pratiquement pas de personnel à l'intérieur, quoique le séjour y soit parfaitement possible. Une ventilation assure d'ailleurs le conditionnement de l'atmosphère.

La plupart des équipements que nous avons mentionnés sont aujourd'hui en fabrication dans de nombreuses usines, dont un certain nombre de l'Ouest de la France. Les montages mécaniques de chantier auront lieu essentiellement en 1964 et 1965, le relayage électrique sera mis en place en 1965 et 1966. On peut évaluer à 400 personnes le nombre d'ouvriers et de personnel d'encadrement qui assureront la marche du chantier en période de pointe.

★ ★

Ayant lu ce qui précède, le lecteur n'attendra pas de nous une conclusion définitive sur l'aventure en cours dans les monts d'Arrée. Essentiellement destinée à apprendre et à faire comprendre les phénomènes encore si mal connus des applications de la jeune science atomique, la centrale EL 4 doit contribuer à faire moins chère demain l'énergie dont le monde et notre pays ont grand besoin. Nous avons dit quelques mots au début de ce court article sur la compétition engagée entre filières. En vérité, quel qu'en soit le résultat, nous ne devons pas douter que toute réalisation de l'envergure d'EL 4 permette d'aborder et de résoudre une telle quantité de problèmes nouveaux qu'elle constitue déjà une opération dont la rentabilité à long terme est considérable. Après la Provence et les pays de Loire, il était bon que la Bretagne associée à l'ouvrage, aujourd'hui par ses ouvriers, dans quelques années par ses exploitants, apporte ainsi une nouvelle pierre, dont l'avenir nous dira la réelle importance, au monde de demain.