Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 93 (1967)
Heft: 1

Artikel: La disponibilité des centrales nucléaires
Autor: Gardel, André / Vermeille, François
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-69052

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 13.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

93e année Lausanne, 14 janvier 1967 N° 1

BULLETIN TECHNIQUE DE LA SUISSE ROMANDE

Paraissant tous les 15 jours

ORGANE OFFICIEL
de la Société suisse des ingénieurs et des architectes
de la Société vaudoise des ingénieurs et des architectes (SVIA)
de la Section genevoise de la SIA
de l'Association des anciens élèves de l'EPUL (Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne)
et des Groupes romands des anciens élèves de l'EPF (Ecole polytechnique fédérale de Zurich)

COMITÉ DE PATRONAGE
Président: E. Martin, arch. à Genève
Vice-président: E. d'Okolski, arch. à Lausanne
Secrétaire: S. Rieben, ing. à Genève
Membres:
Fribourg: H. Gicot, ing.; M. Waeber, arch.
Genève: G. Bovet, ing.; Cl. Grosgurin, arch.; J.-C. Ott, ing.
Neuchâtel: J. Béguin, arch.; M. Chevalier, ing.
Valais: G. de Kalbermatten, ing.; D. Burgener, arch.
Vaud: A. Chevalley, ing.; A. Gardel, ing.; M. Renaud, ing.; J.-P. Vouga, arch.

CONSEIL D'ADMINISTRATION
de la Société anonyme du « Bulletin technique »
Président: D. Bonnard, ing.
Membres: Ed. Bourquin, ing.; G. Bovet, ing.; M. Bridel; J. Favre, arch.; A. Robert, ing.; J.-P. Stucky, ing.
Adresse: Avenue de la Gare 10, 1000 Lausanne

RÉDACTION
D. Bonnard, E. Schnitzler, S. Rieben, ingénieurs; M. Bevilacqua, architecte
Rédaction et Editions de la S.A. du « Bulletin technique »
Tirés à part, renseignements
Avenue de Cour 27, 1000 Lausanne

ABONNEMENTS

1 an	Suisse	Fr. 40.—	Etranger	Fr. 44.—
Sociétaires	»	» 33.—		
Prix du numéro	»	» 2.—	»	» 2.50

Chèques postaux: « Bulletin technique de la Suisse romande », N° 10 - 5775, Lausanne

Adresser toutes communications concernant abonnement, vente au numéro, changement d'adresse, expédition, etc., à: Imprimerie La Concorde, Terreaux 29, 1000 Lausanne

ANNONCES
Tarif des annonces:

1/1 page	Fr. 423.—
1/2 »	» 220.—
1/4 »	» 112.—
1/8 »	» 57.—

Adresse: Annonces Suisses S.A.
Place Bel-Air 2. Tél. (021) 22 33 26, 1000 Lausanne et succursales

SOMMAIRE

La disponibilité des centrales nucléaires, par André Gardel, professeur à l'EPUL, et François Vermeille, ingénieur EPUL.
La valeur de liquidation d'un bureau d'architecte ou d'ingénieur, par Georges Gruner, ingénieur EPF.
Bibliographie. — Société suisse des ingénieurs et des architectes.
Documentation générale. — Documentation du bâtiment. — Informations diverses.

LA DISPONIBILITÉ DES CENTRALES NUCLÉAIRES [1]

par ANDRÉ GARDEL, professeur à l'Ecole polytechnique de l'Université de Lausanne et FRANÇOIS VERMEILLE, ingénieur EPUL [2]

1. Introduction

Assurer la sécurité de l'approvisionnement en énergie électrique est pour l'exploitant d'un réseau un impératif aussi important que celui de produire cette même énergie au moindre prix. Ces deux notions sont d'ailleurs liées sous bien des aspects et la disponibilité des moyens de production joue à leur égard un rôle essentiel. Quand ceux-ci se présentent de surcroît sous une forme nouvelle, comme c'est le cas des centrales nucléaires, on est conduit à devoir porter sur la sûreté de leur fonctionnement une appréciation qui est délicate, car elle ne peut s'appuyer sur une longue expérience préalable. Cette appréciation est cependant nécessaire ; aussi, nous sommes-nous efforcés de l'esquisser dans ce bref article en nous référant pour cela à des études poursuivies depuis plusieurs années, à des entretiens et discussions divers avec des constructeurs et des exploitants, ainsi qu'à une analyse fouillée de la littérature technique relative à cette question.

2. Qu'entend-on par disponibilité ?

Une centrale électrique ne saurait fonctionner de manière permanente à pleine puissance durant de longues années : des interruptions de marche sont indispensables à la révision de l'équipement (contrôle, entretien, échange de pièces, etc.) ; d'autres interruptions sont la conséquence d'incidents ou d'accidents non prévus. Le temps qui, déduction faite de ces interruptions normales ou accidentelles, reste à disposition peut être rapporté à la durée totale prise en considération, qui est généralement d'une année. Le pourcentage ainsi obtenu constitue le *facteur de disponibilité*.

Cette notion ne tient pas compte du fait que pendant le temps disponible la centrale fonctionnera ou non à pleine charge, avec un rendement variable, en s'adap-

[1] Texte diffusé par le Bulletin de la *Société suisse pour l'énergie atomique*, en septembre 1966.

[2] Adresse des auteurs : Bonnard & Gardel, ingénieurs-conseils, 10, avenue de la Gare, 1000 Lausanne.

tant plus ou moins rapidement aux demandes du réseau, toutes questions qui ont cependant une incidence directe sur la rentabilité. Le facteur de disponibilité est donc différent du *facteur de charge* ou facteur d'utilisation qui est le rapport entre l'énergie effectivement produite pendant une période donnée (généralement une année) et celle qu'aurait fournie la centrale si elle avait fonctionné constamment à la puissance nominale durant cette même période [1].

3. Disponibilité des centrales thermiques

Une disponibilité élevée a été, et reste évidemment, une préoccupation constante de l'exploitant. Cette disponibilité s'est régulièrement améliorée. Les indisponibilités *normales* ont pu être réduites par une rigoureuse planification des opérations d'entretien et une augmentation des intervalles des révisions générales. Cet espacement des révisions générales joue un rôle relativement important, car il s'agit d'arrêt de longue durée. Souvent fixé à trois ans (notamment en France), la tendance semble être de le porter à cinq ou six ans (particulièrement en Allemagne) ou même de ne plus opérer de révision générale que lorsque la nécessité s'en fait sentir (optique américaine) [2].

De même, une meilleure qualité des équipements et une conception de ceux-ci permettant un entretien plus aisé ont permis de réduire le nombre et la durée (les deux choses sont importantes) des indisponibilités *accidentelles*. Ces améliorations justifient à leur tour l'espacement des révisions générales mentionné ci-dessus [3].

Dans ce qui suit, nous ne pensons qu'aux centrales importantes (plus de 100 MW) quel que soit le type de chauffe. Les statistiques connues font ressortir dans l'ensemble un rôle sensiblement égal des indisponibilités normales et de celles qui sont accidentelles [4]. On peut admettre aujourd'hui que les indisponibilités normales ne doivent pas dépasser 6 à 8 % (3 à 4 semaines par an, moyenne pluriannuelle), les indisponibilités accidentelles étant du même ordre. La disponibilité globale s'établira ainsi à environ 85 %. Ce chiffre peut toutefois varier dans d'assez larges limites et la répartition autour de cette valeur moyenne est assez uniforme. Certains groupes atteignent des facteurs de 90 à 95 % tandis que d'autres descendent jusqu'à 70 % [5]. Il est en outre intéressant de relever qu'il y a souvent compensation entre les disponibilités normales et accidentelles, les machines subissant les révisions les plus longues n'étant pas nécessairement sujettes aux accidents les plus nombreux.

Les quelques chiffres mentionnés au sujet de cas particuliers ont montré l'importance des périodes de mise au point initiales, notamment lors du passage à des groupes de puissances unitaires plus élevées. Dans la mesure où l'on désire mettre en évidence les performances d'une centrale déterminée ou d'une catégorie de machines appartenant par exemple à un même palier de puissance, il semble que l'on devrait systématiquement écarter de la statistique les résultats concernant les 10 000 premières heures de marche, c'est-à-dire les un à deux ans du début [6].

Ce n'est en effet que pour des groupes bien au point, de construction déjà éprouvée à de multiples reprises, c'est-à-dire pour lesquels on n'a pas cherché des performances extrêmes que l'on atteindra, ou éventuellement dépassera, les valeurs supérieures mentionnées plus haut.

Si, par contre, on désire connaître le facteur moyen de disponibilité caractérisant un parc de centrales thermiques, il convient de tenir compte de toutes les unités et même de celles qui viennent d'être mises en service car, dans un réseau électrique en expansion, de nouveaux groupes sont régulièrement mis en exploitation. Leur facteur de disponibilité passagèrement faible durant les première et éventuellement deuxième années de service devient permanent si l'on considère l'ensemble du parc des machines.

Il est important de noter ici qu'il ressort des informations relatives aux centrales thermiques seules — nous entendons d'informations n'ayant aucune préoccupation de comparaison avec les centrales nucléaires — que la partie de l'équipement qui donne lieu aux plus importants travaux d'entretien est la chaudière [7]. Ce n'est pas surprenant si l'on songe aux conditions de fonctionnement extrêmement dures de cet élément (température de 1200° à 1700° C en milieu corrosif, tuyauteries sous forte pression de 100 à 180 atm, remplies de vapeur d'eau à haute température de 500 à 600° C, etc.).

Il est également essentiel d'avoir présent à l'esprit que l'équipement des centrales thermiques a évolué considérablement au cours des dernières décennies, tant par la recherche d'un meilleur rendement que par celle de l'abaissement du coût comme conséquence notamment de l'augmentation des puissances unitaires. On en a une mesure en se souvenant que le groupe standard d'EDF était de 125 MW il y a moins de 10 ans ; les groupes en construction atteignent 600 MW avec une seule ligne d'arbre (Porcheville, p. ex.). Tant en ce qui concerne la chaudière que la turbine (lubrification des

[1] On définit parfois le facteur d'utilisation par rapport à l'énergie qu'aurait produite la centrale si elle avait fonctionné à puissance nominale pendant le temps de disponibilité compris dans la période considérée. Le rapport des facteurs d'utilisation obtenus selon les deux méthodes est d'ailleurs égal au facteur de disponibilité.

[2] Cette évolution est parfois freinée par les dispositions légales concernant la cadence de révision de certains équipements (chaudières, réservoirs, etc.).

[3] Par exemple, la politique française en matière de révision des tranches de 125 MW est, selon notre information, de procéder à une révision annuelle de routine, principalement axée sur les organes de sécurité, d'une durée de 10 à 15 jours, et à une révision générale intervenant tous les trois ans et s'étendant sur 4 à 6 semaines. Cela donne au total une indisponibilité normale (et par conséquent prévisible) de 4 à 6 %.

[4] En 1964, les indisponibilités des centrales françaises équipées de tranches de 125 MW ont été prévues à raison de 45 % et imprévues pour le solde, soit 55 %.

[5] En limitant la statistique à 33 tranches EDF de 125 MW ayant une durée d'existence supérieure à une année, la disponibilité moyenne a atteint 83 % en 1964. La disponibilité maximale a naturellement été obtenue dans les centrales qui, cette année-là, ne faisaient pas l'objet d'une révision importante :

Artix 1	94 %	Nantes-Cheviré 4 . .	91 %
Artix 3	95 %	Porcheville 1 et 4 . .	91 %
Ambès 2	90 %		

[6] Ainsi, la disponibilité moyenne des centrales EDF comportant des tranches de 250 MW, dont certaines sont encore dans la période initiale de fonctionnement, n'a atteint que 62 % en 1964. En revanche, la tranche n° 1 de Champagne-sur-Oise, plus ancienne et qui cette année-là ne subissait pas de révision importante, a offert une disponibilité de 90 %. De telles différences sont également apparues en Belgique lors du passage des tranches de 60 MW à 125 MW. En 1962, la disponibilité totale de six groupes de 60 MW a atteint 92 %, alors que celle de neuf groupes de 125 MW, plus récents, n'était que de 79,5 %.

[7] A titre d'exemple, les principales avaries survenues en 1964 sur les groupes à haute pression de l'EDF furent au nombre de 33, se répartissant à raison de 21 sur la chaudière et de 12 sur le reste de l'installation.

paliers, longueur d'aubage basse pression, vibrations, longueur d'axe de près de 60 m, etc.), de telles machines posent de sérieux problèmes. La commande s'est aussi beaucoup perfectionnée (nombre élevé des points de mesure, automatisation, optimalisation). Tous ces perfectionnements qui sont indispensables à l'amélioration de la rentabilité sont également source d'indisponibilités accidentelles, en tout cas au début de la marche.

4. Disponibilité des centrales nucléaires

Le nombre beaucoup plus petit des grandes centrales nucléaires en service (une vingtaine de plus de 100 MW) et surtout le nombre restreint d'années de service ne permettent pas de tirer à partir des statistiques des informations d'une valeur comparable à celles provenant des centrales thermiques. Néanmoins, de nombreux chiffres sont aujourd'hui disponibles, mais beaucoup d'entre eux exigent des commentaires appropriés ; en effet, des indisponibilités proviennent parfois d'un programme expérimental lié au fait que le constructeur est lui-même intéressé dans la réalisation. On doit d'autre part tenir compte du type de chargement du réacteur, la possibilité du remplacement du combustible en marche modifiant sensiblement la situation [1]. Enfin et surtout, il y a lieu de tenir compte du caractère plus ou moins avancé de la réalisation. Nous nous limiterons, par conséquent, à l'examen des grandes centrales ayant passé le cap des mises au point initiales (durant une à deux années) et construites sur un type éprouvé (réacteurs à graphite-gaz à uranium naturel de conception anglaise ou française, réacteurs à eau bouillante ou eau sous pression à uranium enrichi de conception américaine).

L'étude des statistiques concernant les centrales « graphite-gaz » anglaises, dont le chargement en combustible s'effectue en marche, fait apparaître des facteurs de disponibilité élevés et dans l'ensemble supérieurs à ceux de centrales thermiques. C'est ainsi que Calder Hall (4 tranches de 45 MW) mise en service de mai 1956 à décembre 1958 a offert en 1960 une disponibilité de 85,7 %, valeur qui a augmenté au cours des années suivantes pour atteindre 92,2 % en 1962 et 93 % en 1965. La centrale de Chapelcross, de même puissance mais de construction un peu plus récente (mise en service d'octobre 1958 à décembre 1959) a conduit à des disponibilités très voisines : 85,4 % en 1960, 93,3 % en 1962 et 95,4 % en 1965. Ces quelques chiffres mettent en évidence l'évolution favorable de la disponibilité au fur et à mesure que sont mieux planifiées les opérations d'entretien et que sont éliminées les « maladies d'enfance ». Ces deux centrales ont par ailleurs servi à fournir de l'énergie de base de telle sorte que leurs facteurs de charge ne sont que de 1 à 4 % inférieurs aux facteurs de disponibilité. Deux autres centrales anglaises, Berkeley (276 MW) et Bradwell (300 MW) mises en service entre 1961 et 1962 ont, après les premiers mois d'essais et de contrôle, atteint en 1965 des facteurs d'utilisation de 89,3 % et 94,5 % respectivement [2].

Quant aux centrales dont les réacteurs appartiennent à l'un ou à l'autre des deux types à uranium enrichi refroidis par eau bouillante (BWR) ou par eau sous pression (PWR), leur disponibilité est influencée par la durée du remplacement du combustible qui doit intervenir pendant l'arrêt complet du réacteur. Or, les progrès ont été à cet égard impressionnants. Le premier chargement de combustible a, pour la centrale prototype américaine de Shippingport (PWR 60 MW, mise en service en 1957), exigé 134 jours ; pour le second, 43 jours étaient déjà suffisants alors que le troisième n'en demandait que 32 [3]. On estime que le chargement de combustible prendra encore moins de temps à l'avenir, une durée d'une quinzaine de jours devant être, selon certains avis, une performance réalisable. La fréquence de remplacement du combustible dépend également du facteur de charge ; pour fixer l'ordre de grandeur, disons que pour un réacteur à eau bouillante, le remplacement peut intervenir tous les douze mois si la centrale fonctionne avec un facteur de charge de 80 %.

Le remplacement du combustible à l'arrêt provoque une indisponibilité normale et prévisible de la centrale pendant laquelle d'autres travaux d'entretien de routine peuvent prendre place. En fin de compte, la situation ne se présentera, pour les centrales prochainement mises en service, guère différemment que celle des centrales thermiques qui, chaque année, doivent être arrêtées pour permettre les révisions courantes.

Quant à l'indisponibilité de nature accidentelle, il faut pour l'apprécier examiner le comportement des centrales entre deux chargements de combustible. Cette manière de procéder met en évidence des disponibilités élevées. C'est ainsi que le facteur d'utilisation de la centrale de Shippingport a atteint 75 % avec la première charge de combustible, et 97 % avec les deux charges suivantes. De tels résultats se retrouvent à l'égard d'autres centrales.

Ainsi, dans la période du 10 mars 1963 au 12 avril 1964 s'étendant entre deux opérations de chargement, la centrale de Dresden I (BWR, 210 MW, en service depuis octobre 1959) a présenté une disponibilité de 91,5 %. Toujours en excluant la durée de remplacement du combustible, les valeurs atteintes à la centrale de Yankee (PWR, 185 MW, en service depuis novembre 1960) ont été les suivantes :

1961	90,7 %
1962	99,8 %
1963	97,5 %
1964	99,0 %
1965	99,0 %

En tenant compte de toutes les indisponibilités accidentelles ou normales (donc y compris celle due au remplacement du combustible), l'examen du fonctionnement de quelques centrales nucléaires du type améri-

[1] Ce remplacement est dû à l'épuisement du combustible et à l'apparition de produits de fission. La cadence de remplacement dépend de nombreux facteurs tels qu'enrichissement, disposition des éléments de combustible au sein du cœur, désir de récupérer le plutonium ou au contraire de le consommer partiellement dans le réacteur, etc.

[2] La centrale de Latina, en Italie, de 200 MW, mise en service en 1962 et appartenant au même type, a été disponible à raison de 85 % en 1964 et de 89 % en 1965.

[3] La centrale de Shippingport a été en fait arrêtée pendant une longue période, du 9 février 1964 au 30 avril 1965, pour être l'objet de nombreuses modifications inhérentes au programme d'expériences en cours, puisque ce n'est pas une centrale de nature commerciale. Néanmoins, la disponibilité calculée sur l'ensemble de 1965 a atteint 52,4 %.

cain fait apparaître, pour 1965, les facteurs de charge et de disponibilité suivants [1] :

Centrale	Puissance MW	Année de mise en service	Facteur de charge %	Facteur de disponibilité %
Shippingport	(60) 100	déc. 1957	41,4 [2]	52,4
Dresden I	210	oct. 1959	55,4	83,0
Yankee	185	août 1960	64,7	75,7
Indian Point	275	août 1962	46,4	64,0
Humboldt Bay	52	fév. 1963	59,9 [3]	78,8
Garigliano	160	juin 1963	65,0	72,0
Kahl	15	nov. 1960	83,5	87,7

[1] Les valeurs citées dans le tableau ne sont pas exceptionnelles ; elles ne font que confirmer celles obtenues au cours d'années précédentes. Ainsi, Dresden 1 avait en 1962 une disponibilité de 79,4 %, en 1963 de 75,6 % et en 1964 de 81 %.

[2] En exploitation depuis le 30 avril 1965 seulement (voir note précédente).

[3] En exploitation comme centrale de base jusqu'à fin juin 1965 seulement.

L'examen des chiffres du tableau ci-dessus fait ressortir des facteurs de disponibilité légèrement plus faibles que ceux des centrales thermiques. Par contre, les chiffres cités précédemment au sujet des centrales anglaises ont mis en évidence des facteurs de disponibilité du même ordre de grandeur, voire plus grands. Il convient cependant de nuancer ces appréciations car les valeurs citées dans le domaine du thermique concernent soit une moyenne multiannuelle s'il s'agit d'une centrale bien déterminée, soit une moyenne portant sur plusieurs centrales si l'on se réfère à une seule année [1]. On est ainsi assuré de tenir compte d'une manière ou d'une autre de l'influence des grandes révisions périodiques. Ce n'est pas encore possible pour les centrales nucléaires, leur nombre étant encore trop restreint d'une part et leur mise en service trop récente d'autre part. Il est certes prématuré de conclure sur la base des chiffres énoncés plus haut. Mais en tenant compte des conditions précises dans lesquelles les performances des centrales nucléaires ont été obtenues et en les comparant avec toutes les précautions voulues avec celles des centrales thermiques, il apparaît malgré tout que les disponibilités réciproques sont voisines et qu'il y a même un léger avantage des centrales nucléaires sur les centrales thermiques dans certains cas. Nous pensons que ce problème de disponibilité est actuellement résolu pour les centrales nucléaires de types éprouvés et que l'avantage du nucléaire sur le thermique devrait même à l'avenir se marquer plus nettement. Pour s'en convaincre, il n'est pas inutile de procéder à un examen comparatif des équipements en présence dans les deux genres de centrales et d'apprécier les indisponibilités des équipements respectifs.

5. Comparaison des équipements des centrales thermiques et nucléaires

Nous admettrons d'emblée que les installations de transport, manutention, stockage et préparation du combustible comportent généralement des marges de dimensionnement et des volants suffisants pour ne pas être source d'indisponibilité dans les centrales thermiques. Il en est aisément de même pour les centrales nucléaires, étant donné les faibles quantités à manipuler [2].

Dans la centrale nucléaire, le réacteur remplace la chaudière de la centrale thermique. C'est évidemment sur cette partie de l'installation que se situe l'essentiel de la question. L'estimation des indisponibilités relatives est affaire d'appréciation, mais celle-ci doit se baser sur certains faits. Nous avons déjà souligné que la chaudière est un élément particulièrement sollicité des centrales thermiques et cause de la majeure partie des travaux d'entretien, mais des informations concluantes sur les conséquences de ce fait sur le pourcentage d'indisponibilité de la centrale sont rares. Cela s'explique d'ailleurs en partie par le fait que l'on saisit l'occasion de certaines interruptions pour faire des travaux de réparation ailleurs ; il n'est donc pas toujours possible d'attribuer exactement l'indisponibilité à un élément plutôt qu'à un autre, tout spécialement en ce qui concerne les indisponibilités normales [3]. Quoi qu'il en soit, la suppression de la chaudière comporte certainement la disparition d'une cause importante d'indisponibilité.

Qu'en est-il des indisponibilités introduites avec le réacteur, en lieu et place de la chaudière ? Rappelons qu'un réacteur est dans une plus large mesure un élément statique : il n'y circule ni combustible, ni carburant ; les pressions et températures sont généralement plus faibles bien qu'à cet égard on ait tendance, pour certains types, à se rapprocher des valeurs les plus courantes admises pour les centrales thermiques modernes. Si les phénomènes de radioactivité peuvent être cause d'altérations de matériaux, ils sont généralement considérés comme étant bien dominés grâce aux innombrables essais technologiques exécutés à ce jour [4]. De tels problèmes se sont principalement posés pour les gaines des éléments combustibles, soumises à de fortes irradiations et d'importants efforts thermiques, cela d'autant plus qu'à chaque nouvelle réalisation les constructeurs s'efforçaient d'augmenter les performances des éléments (température plus élevée à la surface des gaines, taux de combustion plus élevé, etc.). Mais les résultats sont actuellement satisfaisants au point que l'on peut affirmer qu'il est rare que des centrales deviennent, après la période initiale de fonctionnement, indisponibles à cause de défauts concernant le combustible. Dans certains types de réacteurs, on réserve d'ailleurs la possibilité d'isoler purement et simplement les éléments combustibles défectueux éventuels, une détermination adéquate de la charge de combustible permettant de continuer l'exploitation sans réduction sensible de puissance. Ainsi considéré, le réacteur apparaît comme ne pouvant guère être cause d'indisponibilités importantes (pas d'indisponibilité normale à part le chargement du combustible s'il ne se fait pas en marche). La partie délicate

[1] Dans ce cas, les statistiques résultent de moyennes couvrant un grand nombre d'installations, dont certaines déjà plus anciennes exigent des interruptions de marche plus fréquentes.

[2] Remarquons tout au plus que le danger potentiel constitué par un grand parc à combustible, plus particulièrement l'hydrocarbure, n'est pas sans analogie avec le danger potentiel constitué par le combustible irradié et les produits de fission enfermés dans le réacteur.

[3] Pour ses tranches de 125 MW, EDF prévoit la répartition suivante de main-d'œuvre pour chaque révision triannuelle :

— Pour la chaudière	3180 jours-ouvriers
— Pour la turbine	1072 jours-ouvriers
— Pour le reste de l'installation .	1698 jours-ouvriers
Total	5950 jours-ouvriers

[4] Il n'en reste pas moins que la radio-activité reste un problème de première importance, nécessitant une attention toute particulière eu égard à la sécurité des personnes.

du réacteur est constituée avant tout par les barres de réglage, également mais à un moindre degré par les dispositifs de chargement et déchargement du combustible. L'indisponibilité de ces derniers ne constitue pas, du moins durant un intervalle prolongé, une cause d'arrêt de la centrale ; de même que pour les centrales thermiques, et pour des motifs analogues, nous écartons donc cette cause. Restent les barres de réglage. Celles-ci comportent une mécanique de précision dont le fonctionnement doit être sûr et rapide. Elles pourraient donc constituer une source marquée d'indisponibilité. Mais de fait, leur nombre élevé (plusieurs dizaines), la possibilité de les démonter et changer individuellement, et surtout la grande sûreté de fonctionnement qu'on exige d'elles pour des raisons de sécurité générale font que, en fait, elles ne semblent pas source d'indisponibilités notables. C'est pourquoi la disponibilité du réacteur est souvent comprise entre 90 et 100 % et, dans la plupart des cas, supérieure à celle du reste de l'installation [1].

Cette dernière constatation n'est pas surprenante car, mise à part la partie nucléaire, l'équipement d'une centrale nucléaire est voisin de celui d'une centrale thermique dont les disponibilités partielles sont bien connues. Le premier est même moins sollicité du fait des caractéristiques de vapeur plus faibles qui caractérisent encore les centrales nucléaires. Il n'y a, par exemple, pas de corps haute pression à la turbine. Par contre, à puissance égale, les débits de vapeur sont plus élevés et la partie basse pression sera plus étendue (corps BP plus nombreux ou plus gros). Quant au reste de l'équipement thermique, il paraît être d'une complexité équivalente (réchauffeurs plus nombreux pour la centrale thermique, refroidissement de secours pour la centrale nucléaire) [2].

[1] En se référant à l'exemple déjà cité de la centrale de Dresden (période du 10 mars 1963 au 12 avril 1964), la disponibilité du réacteur a été de 99,2 % contre 95,6 % pour le groupe turbogénérateur.

Autre exemple : durant 1965, la centrale Yankee a été arrêtée trois fois à part l'interruption imposée par le remplacement du combustible : les deux premières à cause de réparations concernant le poste de couplage et la troisième à cause de réparation à la turbine. L'indisponibilité accidentelle du réacteur a donc été nulle.

[2] Alors que la sollicitation moindre de l'équipement classique d'une centrale nucléaire par rapport à une centrale thermique devrait tendre à procurer une disponibilité meilleure et valoriser par conséquent la supériorité du réacteur sur la chaudière, on constate que c'est précisément des indisponibilités accidentelles concernant l'équipement classique qui diminuent parfois les performances des centrales nucléaires. Cela s'explique dans de très nombreux cas par le fait que des constructeurs, poussés par le caractère de nouveauté inhérent à l'équipement nucléaire, se sont laissé tenter, pour les équipements classiques, par des solutions inédites mais encore inexpérimentées. La centrale nucléaire s'est révélée dans bien des cas être aussi un banc d'essai pour des constructions non nucléaires.

6. Conclusions

Dans l'ensemble, nous croyons donc que les risques d'indisponibilité accidentelle liés à la nature des équipements sont en principe un peu moins élevés dans la centrale nucléaire, essentiellement du fait du remplacement de la chaudière par le réacteur, le reste de l'équipement étant analogue ou identique.

S'il est par ailleurs indéniable que les centrales nucléaires sont de conception plus récente et qu'on n'a pas à leur sujet la même expérience que pour les centrales thermiques, il faut d'autre part tenir compte des faits suivants :

— Le développement des centrales thermiques se poursuit et les éléments les plus importants sont également sollicités à la limite des possibilités techniques raisonnables.

— Des motifs de sécurité à l'égard du personnel et des populations ont conduit à des exigences de sûreté de fonctionnement bien plus élevées pour beaucoup d'éléments des centrales nucléaires, en particulier le réacteur, que pour les centrales thermiques dans lesquelles ce sont surtout des conséquences purement matérielles qui sont à craindre (risque humain d'un côté, risque simplement technique de l'autre).

Quant à l'indisponibilité normale due au rechargement du réacteur, elle n'existe que pour certains types de réacteurs et elle correspond à un moindre investissement initial. C'est au niveau du prix du kWh que l'inconvénient doit être apprécié ; or, on sait que ce coût du kWh est actuellement à peu de chose près le même quel que soit le type éprouvé de réacteur envisagé.

Signalons enfin que la centrale nucléaire s'adapte aussi vite que la centrale thermique aux variations de charge du réseau, mieux même dans certains cas en ce qui concerne la marche à charge partielle (certaines chaudières peuvent ne pas fonctionner de manière satisfaisante à 20 ou 30 % de charge), le réglage du réacteur étant considérablement plus simple et plus rapide que celui de la chaudière (combustible, air, tirage, etc.).

Ces faits, et l'expérience de plus de vingt ans d'exploitation de réacteurs portant sur plusieurs centaines d'unités construites, peuvent expliquer que la disponibilité des centrales nucléaires soit probablement un peu supérieure à celle des centrales thermiques, pour le moins égale.

BIBLIOGRAPHIE

Limnologie. L'étude des eaux continentales par *B. Dussart*. Editions Gauthier-Villard, Paris (1966). — Un volume de 700 pages, 100 figures. Prix : cartonné, 138 F.

Ce volume condense ce que nous savons sur tous les types d'eaux continentales : propriétés physiques et chimiques des eaux, caractéristiques géographiques, géologiques et climatiques du milieu, organismes vivants dans les eaux.

La limnologie n'avait pas encore été présentée au public averti, naturalistes et curieux cultivés. Il fallait compulser de nombreux traités dans des disciplines variées, allant de l'hydrologie à la physiologie, pour se faire une idée de la vie aquatique et de ses liens avec les facteurs qui la font évoluer. L'ouvrage présenté rendra de grands services à tous ceux qui s'occupent des eaux naturelles, ingénieurs, chimistes, biologistes, professeurs, etc.

D'une présentation remarquablement claire, rappelant les définitions des divers concepts utilisés, cet ouvrage de synthèse permettra au spécialiste de l'une des disciplines traitées de s'initier aux domaines connexes.

Sommaire de la table des matières :

L'eau du point de vue physique ; le cycle de l'eau ; propriétés chimiques de l'eau, stabilité et instabilité des composants de l'eau. Les lacs, les étangs, le milieu saumâtre, les milieux associés. Les organismes : protocaryotes, eucaryotes, végétaux et animaux. Les zones littorale, pélagique, profonde ; les milieux temporaires, lotiques. La matière vivante, production, transformation ; les chaînes alimentaires. Evolution des masses d'eau, notion de trophie ; l'oblitération des cuvettes. Bibliographie indexée.