Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 17

Artikel: Choix du niveau de tension supérieur à 420 kV en Europe

Autor: [s.n.]

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915200

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: 12.07.2025

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

Choix du niveau de tension supérieur à 420 kV en Europe

Par le Sous-Groupe d'experts pour le choix de la tension d'interconnexion [1])

Die Autoren weisen auf die Entwicklung der Höchstspannungsnormung im Rahmen der IEC hin und zählen die Faktoren auf, die für die Wahl einer neuen Netzspannung entscheidend sind.

Im Jahre 1974 wurde eine Umfrage unter den UNIPEDE-Mitgliedsländern durchgeführt, um zu erfahren, wie diese die Aussichten für die Einführung einer Spannungsebene über 420 kV beurteilen. Sie gibt einen Einblick darüber, wie sich der Verbrauch, die Erzeugung und die Übertragung elektrischer Energie auf nationaler und internationaler Ebene in diesen Ländern entwickelt haben.

Für die 17 Länder, die an dieser Umfrage beteiligt waren, werden die technischen und wirtschaftlichen Gründe für die Wahl einer nächsthöheren Spannungsebene im einzelnen beschrieben.

Après avoir rappelé l'évolution de la normalisation de la très haute tension dans le cadre de la CEI, les auteurs énumèrent les facteurs déterminants pour le choix d'un nouveau niveau de tension.

Une enquête a été lancée en 1974 pour recueillir l'avis des pays membres de l'UNIPEDE sur les perspectives de l'introduction d'une tension du transport supérieure à 420 kV. Elle a permis de faire le point sur la situation dans ces pays en ce qui concerne le développement de la consommation de la production et des transports nationaux et internationaux d'énergie électrique.

Pour les 17 pays ayant participé à l'enquête, on expose en détail les bases techniques et économiques du choix du prochain niveau de tension.

1. Introduction

Depuis 1969, l'UNIPEDE étudie, en vue d'apporter sa contribution aux travaux de la *Commission Electrotechnique Internationale* (CEI), la question de la normalisation du futur niveau de très haute tension européen. Les entreprises d'électricité groupées au sein de l'UNIPEDE estiment souhaitable que tous les pays européens directement interconnectés, lorsqu'ils seront obligés d'introduire un nouveau niveau de tension supérieur à 420 kV, choisissent la même valeur. Le *Comité d'Etudes des Grands Réseaux et des Interconnexions Internationales* a été chargé d'effectuer des études préliminaires destinées à faciliter ce choix et, en vue d'arriver finalement à une valeur commune de la tension, il a établi un programme comprenant les cinq points ci-après:

1. Chaque pays étudie séparément le développement du transport d'énergie électrique dans son réseau, en tenant compte, dans toute la mesure du possible, des tâches internationales prévisibles. De ces études nationales, on déduit la meilleure valeur du prochain niveau de tension, ou tout au moins la plage à l'intérieur de laquelle elle se situe.
2. Les solutions nationales sont comparées entre elles. Les possibilités et les perspectives d'arriver à un niveau de tension commun sont discutées.
3. Chaque pays reprend ses études en cherchant à les ajuster aux résultats de la discussion.
4. A la suite de cet examen, on discute à nouveau de la possibilité d'un niveau de tension commun et on élabore une recommandation.
5. Sur la base de cette recommandation pour un niveau de tension commun, on précise les tâches de l'interconnexion européenne et on reprend l'étude de «La structure optimale future du réseau européen d'interconnexion» avec ce nouveau niveau de tension.

Pour le moment, seul le premier point de ce programme a conduit à certains résultats, tandis que le deuxième est en cours de réalisation.

2. Evolution de la normalisation internationale de la très haute tension

La *Commission Electrotechnique Internationale* étudie, depuis un certain nombre d'années, la normalisation des tensions au-dessus de la valeur de 765 kV, déjà contenue dans ses recommandations[2]). Ce problème est devenu urgent en raison des nécessités qui apparaissent dans certains grands pays: en URSS, en particulier, l'utilisation d'un niveau de 1200 kV superposé au niveau de 525 kV est prévue dans un futur assez proche, et les Etats-Unis d'Amérique désirent également concentrer sur une seule tension leurs efforts de développement.

La normalisation de cette seule valeur de 1200 kV pourrait s'avérer trop restrictive du point de vue du choix du niveau futur de la tension d'interconnexion européenne: ce choix serait en effet limité aux valeurs de 765 et 1200 kV, alors que les études en cours au sein de l'UNIPEDE pourraient faire apparaître plus avantageuse une tension intermédiaire. Le *Comité de Direction* de l'UNIPEDE a donc proposé un compromis visant à permettre aux pays européens de choisir éventuellement un niveau de tension inférieur à 1200 kV. La proposition de l'UNIPEDE a été acceptée par la CEI sous la forme suivante: la tension de 1200 kV sera normalisée, mais une valeur intermédiaire entre 765 kV et 1200 kV pourra être introduite ultérieurement dans le tableau des tensions normalisées si une certaine région du monde l'estime nécessaire. Cependant, cette valeur intermédiaire ne pourra être utilisée que dans les régions où ne sont employées ni la tension de 765 kV, ni celle de 1200 kV. Grâce à cette formule, l'UNIPEDE n'est plus pressée par la CEI de choisir à bref délai la tension européenne unifiée supérieure à 420 kV, et les pays européens interconnectés ont désormais le temps d'étudier les problèmes que pose le choix d'un nouveau niveau de tension. Quelques pays membres de l'UNIPEDE ont déjà choisi la tension normalisée de 765 kV. Comme ces pays ne sont pas reliés directement en courant alternatif au réseau de l'Europe continentale, leur choix n'engage pas les autres pays.

[1]) La composition du sous-groupe d'experts est la suivante: MM. *Ariatti* (Italie), *Bergougnoux* (France), *Dwek* (Royaume-Uni), *Lehmhaus* (Allemagne fédérale), *Schwab* (Suisse), *Stalberg* (Suède).

[2]) Dans la publication 38, la *Commission Electrotechnique Internationale* donne les valeurs normalisées des «tensions nominales» et des «tensions les plus élevées pour le matériel» jusqu'à 220/230 kV. Pour les valeurs supérieures, seule est normalisée la «tension la plus élevée pour le matériel» qui, à ce niveau, coïncide avec la tension la plus élevée que l'on peut avoir dans les réseaux, en conditions de fonctionnement normales.

A une valeur de cette tension peuvent correspondre plusieurs valeurs de tensions nominales, consacrées par l'usage dans les différents pays: par exemple, à la tension la plus élevée 420 kV, correspondent les valeurs nominales 380 et 400 kV pour des réseaux qui ne sont pas toujours exploités en fait à des tensions différentes. Pour éviter toute confusion, les réseaux seront, dans cette note, toujours désignés par la «tension la plus élevée pour le matériel»; les seules valeurs actuellement normalisées par la CEI sont: 420, 525, 765 et 1200 kV.

3. Facteurs déterminants pour le choix d'un nouveau niveau de tension

Les perspectives de l'introduction d'un nouveau niveau de tension sont très variables selon les pays membres de l'UNIPEDE considérés. Quelques pays viennent de commencer la construction d'un réseau à 420 kV et ne voient pas la nécessité d'une tension plus élevée à l'avenir. D'autres, qui possèdent déjà un réseau de 420 kV, estiment que cette tension suffira pour quelques dizaines d'années encore. D'autres, en revanche, pensent que l'introduction d'une tension plus élevée sera nécessaire dans un avenir relativement proche. Les raisons suivantes peuvent conduire à l'introduction d'une telle tension:

– le transport sur de grandes distances;

– le transport des puissances produites par de très grandes centrales ou par un groupe de centrales concentré dans une même zone géographique;

– la limitation ou la réduction des courants de court-circuit;

– l'amélioration de la stabilité du réseau;

– la meilleure utilisation des couloirs de lignes et les exigences de la protection de l'environnement;

– l'interconnexion internationale.

Pour connaître l'opinion de tous les pays membres de l'UNIPEDE, le Comité d'Etudes a lancé une enquête concernant des différents points. Les réponses ont été recueillies au cours de l'année 1974 et certaines d'entre elles ont été complétées en 1975. Les résultats de l'enquête sont analysés dans le présent rapport.

4. Développement de la consommation

Il a toujours été très difficile de prévoir avec exactitude l'évolution de la consommation, et ces prévisions sont devenues presque impossibles de nos jours. Néanmoins, tous les pays se sont efforcés de donner des taux d'accroissement, en indiquant qu'il s'agissait de valeurs moyennes qui étaient susceptibles d'être supérieures ou inférieures à la réalité.

Les prévisions à long terme sont très importantes, mais elles sont beaucoup plus difficiles à faire que celles à court terme. En tout cas, ce ne sont pas les entreprises d'électricité qui déterminent les taux d'accroissement: il est bien évident que ceux-ci dépendent des besoins de la population et de l'industrie. L'enquête fait le point de la situation en 1974, et les prévisions portent sur les années 1980 et 1990. En 1975, l'augmentation de la consommation a été presque nulle dans un certain nombre de pays. Cependant, les taux d'accroissement retrouveront probablement leurs valeurs anciennes une fois la crise économique surmontée et en raison également des besoins de substitution résultant de la crise du pétrole.

Dans tous les pays, on a étudié l'évolution future de la consommation pour une période allant jusqu'aux années 1990–2000. Les pays n'ont pas tous considéré la même période: c'est ainsi que la Belgique et l'Autriche ont limité leurs prévisions à 1990, la Norvège, la Suisse et la Yougoslavie à 1985. Tous les autres pays considèrent la période allant jusqu'en l'an 2000, et ils prévoient que l'accroissement de la consommation continuera jusqu'à cette date et au-delà. La Grèce, l'Irlande et l'Espagne s'attendent à un doublement de la consommation en moins de dix ans. Les pays suivants ont prévu un doublement de la consommation tous les dix ans: l'Autriche, la Belgique, la Pologne, la Suède et la Yougoslavie. Pour la Grande-Bretagne, la Suisse et les Pays-Bas, les dernières évaluations prévoient une augmentation moyenne annuelle d'environ 4 % pour les vingt dernières années du siècle. L'Italie envisage au moins le doublement de la consommation tous les dix ans en moyenne jusqu'à l'année 1990 et ensuite un taux d'accroissement annuel plus modéré. La Norvège estime que le taux d'accroissement annuel de la consommation d'énergie électrique, sans l'industrie grosse consommatrice, diminuera progressivement de 6 à 4 % au cours de la période de 1975 à 1985. Pendant la même période, l'industrie grosse consommatrice ne pourra accroître sa demande que de 2 % par an.

Quant à la France, elle a tenté une évaluation de la date à laquelle apparaîtrait une saturation de la consommation et du niveau qui serait alors atteint: après une période au cours de laquelle le taux de croissance serait du même ordre de grandeur que celui des dernières années, on observerait un ralentissement progressif de la croissance et une stabilisation de la consommation peu après le début du XXIe siècle.

Concernant la répartition de la consommation sur le territoire national, chaque pays a ses caractéristiques propres, et il est difficile d'établir des règles générales pour l'évolution future. Il semble qu'il y aura, à l'avenir comme aujourd'hui, des zones à forte et des zones à faible densité de charge. Certains pays, tels que la Belgique, la Suisse, l'Espagne, l'Irlande, l'Ecosse et la Suède, prévoient une concentration de la consommation encore plus forte qu'actuellement; d'autres, comme l'Allemagne fédérale, s'attendent, par contre, à un certain nivellement. En Italie, les concentrations de charges actuelles se développeront et de nouvelles concentrations apparaîtront dans les régions du pays où la consommation est aujourd'hui inférieure.

5. Développement de la production

Dans tous les pays, on continuera à s'efforcer, à l'avenir, d'implanter les centrales à proximité des centres de consommation. En dehors des difficultés résultant de la localisation des sources d'énergie primaire (l'eau et les combustibles fossiles), cette tendance est contrariée notamment en raison des contraintes d'environnement et de la disponibilité en eau de refroidissement. Certains pays, tels que la Belgique et la Grande-Bretagne, implantent leurs centrales le long des côtes et près des embouchures: étant donné leur disposition géographique, il n'en résulte pas de grandes distances de transport. Pour l'Allemagne fédérale, la technique des réfrigérants atmosphériques s'impose par suite du débit insuffisant des cours d'eau. Pour la France, et dans la mesure où des sites convenables pourront être trouvés, les centrales seront, à l'avenir, réparties entre le bord de mer et l'intérieur du pays, en tenant le plus grand compte du coût des différentes solutions. En Italie, le nombre des sites possibles pour l'implantation des centrales semble être très limité, en particulier en raison des impératifs de la protection du paysage et du développement touristique. On a pris en considération, comme hypothèse de base, un nombre relativement réduit de sites, généralement au bord de la mer, ce qui rendra indispensable des transports d'énergie importants. En Suède, la même situation se présente du point de vue de l'opinion publique. Pour les Pays-Bas, qui ont une certaine richesse en eau de surface, des normes nouvelles pour l'échauffement admissible des eaux fluviales, imposées par le gouvernement,

forceront les entreprises d'électricité à utiliser de plus en plus de grandes tours de réfrigération. Cela accentuera les contraintes d'environnement, et c'est la raison pour laquelle on envisage aussi des sites près des côtes ou même sur des îles artificielles. Malgré les courtes distances, la connexion de telles centrales avec le réseau de transport pose de grands problèmes du point de vue de l'environnement, surtout dans les régions à forte densité de population. Il va de soi que le nombre de sites disponibles pour des centrales électriques ne s'accroîtra pas beaucoup dans le futur, et par conséquent, la puissance installée sur un même site augmentera sensiblement. En Suisse, l'épuisement des forces hydrauliques économiquement rentables impose la construction de centrales nucléaires, qui sont implantées à proximité des centres de consommation.

Dans les années après 1990, la puissance unitaire des tranches sera en général de 800 à 1300 MW. L'Allemagne fédérale, la France et l'Italie envisagent des tranches de 2000 à 2400 MW; les Pays-Bas prévoient 1500 MW au maximum. Une centrale est en général constituée par deux à quatre tranches, et s'il y a un groupe de deux centrales, cela donne des concentrations allant jusqu'à 10 000 MW au même endroit. En Italie et en Suède, plusieurs centrales pourront être localisées à faible distance l'une de l'autre. On n'exclut pas la possibilité de concentrations encore plus fortes, atteignant 20 000 MW.

6. Situation actuelle du transport

Le développement des lignes d'interconnexion internationales à très haute tension entre les pays de l'Europe est déjà actuellement fort considérable. La croissance des capacités d'interconnexion a été accompagnée d'une croissance continue des échanges internationaux d'énergie. Même si chaque pays poursuit en principe une politique consistant à couvrir ses besoins avec ses propres moyens de production, il peut exister, en fonction des circonstances, tantôt des excédents, tantôt des déficits de puissance ou d'énergie. Les échanges ont permis et permettent d'assurer une bonne compensation de ces excédents ou de ces déficits entre les différents pays. Ils assurent également une meilleure utilisation des moyens de production existants. Il a été ainsi possible de surmonter des périodes difficiles, et en tout cas de mieux exploiter les disponibilités énergétiques, grâce, non seulement à l'existence du réseau international d'interconnexion, mais aussi à l'esprit de coopération et à la bonne coordination d'Organisations internationales telles que l'UCPTE, le NORDEL, l'UFIPTE et le SUDEL. La tension maximale actuellement utilisée dans les pays européens interconnectés membres de l'UNIPEDE est de 420 kV. En Irlande et au Portugal, cette tension vient d'être introduite, et en Grèce, elle est envisagée pour les années prochaines. Comme tensions intermédiaires, on dispose des échelons de 90 à 150 kV ou bien de 220 à 275 kV (auxquelles correspondent les tensions les plus élevées pour le matériel de 245 et 300 kV).

En Italie, on estime que les tensions de 245 et 420 kV sont trop rapprochées et que leur utilisation a conduit à des solutions non optimales, aussi bien du point de vue de la conception des réseaux que de celui de l'exploitation.

En général, à l'exception de l'Allemagne fédérale et de la Suisse, il est très rare de voir coexister des circuits de tensions différentes sur un même pylône. Par contre, l'usage de cir-

Tableau I

Caractéristiques des lignes à 420 kV utilisées en Europe

	Allemagne fédérale				Autriche	Belgique	Espagne		France		Grande-Bretagne	Italie	Norvège	Pays-Bas	Suède	Suisse	Yougo-slavie
Tension maximale (kV)	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420	420
Nombre de circuits	2	4	4		2	2	2	1	2 (non trans-formables)	2 (trans-formables à 765)	2	1	1	1	1	2	1
Section des conducteurs (mm^2)	4×265/35 4×265/35 4×560/50				2×680/85	2×593,5	2×547	2×524	2×570	2×570	4×400	3×520/66	2×644/82	3×423/37	3×772	2×600	2×490/65
Puissance naturelle (MW)	1 320	2 600	2 600		1 030	1 200	1 120	600	1 200	1 200	1 240	700	650	1 330	600	1 200	650
Capacité thermique (MVA)	3 800	7 600	11 400		3 030	3 000	3 200	1 220	3 000	3 000	6040	3 000	–	3 900	2 600	3 000	1 350
Isolement 50 Hz (kV)	680	680	680		680	680	680	680	680	680	630	680	680	680	680	680	630
Hauteur du pylône (m)	50	64	50		50	63,5	38	32	40	42	50	28	25	48	31	48	29
Largeur maximale du pylône (m)	30	38	38		23	14,8	26	24	16	34	20	20,2	19	32	18	20	20
Largeur du tracé (m)	70	80	80		60	50	40	50	54	90	–	35,5	42	72	42	30	50

cuits multiples à la même tension est très fréquent, tout au moins en ce qui concerne les lignes doubles. Les lignes à plus de deux circuits sont d'usage courant en Allemagne fédérale et sont à l'étude en Belgique et en Grande-Bretagne. La taille des postes à 420 kV dépend de la densité de la charge: la puissance desservie est ou sera de l'ordre de 500 à 2000 MW.

En général, la puissance transportée est plus grande que la puissance naturelle de la ligne; elle est limitée par la capacité thermique, et, dans certains cas exceptionnels, par les chutes de tension, le réglage de la tension ou par des raisons de stabilité.

On trouvera au tableau I les données les plus importantes concernant les lignes à 420 kV utilisées en Europe.

7. Développement du transport et choix d'un nouveau niveau de tension

Pour les pays suivants, l'introduction d'un échelon de tension supérieur à 420 kV n'est pas envisagé avant les années 1990: l'Allemagne fédérale, la Grande-Bretagne, l'Autriche, la Belgique, le Danemark, l'Espagne, la Grèce, l'Irlande, la Norvège, les Pays-Bas, la Pologne et la Suisse. La France, l'Italie et la Yougoslavie pensent que l'introduction d'une tension supérieure à 420 kV pourrait intervenir dans une quinzaine d'années. Seule la Suède a déjà choisi le prochain niveau de tension de 765 kV. Si la Norvège doit introduire une nouvelle tension, elle suivra le choix de la Suède. Pour les réseaux d'Autriche, de Belgique, du Danemark, d'Espagne, de Grèce, des Pays-Bas et de Suisse, le prochain niveau de tension est fortement influencé par les interconnexions internationales.

Pour les pays membres de l'UNIPEDE, les bases techniques du choix du prochain niveau de tension sont les suivantes:

Allemagne fédérale

Lorsque la charge totale aura atteint 140 GW, c'est-à-dire une valeur quadruple de celle qui a été constatée en 1970, la tension de 420 kV sera encore suffisante pour permettre au réseau d'interconnexion allemand de remplir les tâches qui lui sont assignées. A cette date, la charge et la production d'énergie électrique seront probablement réparties sur tout le territoire de l'Allemagne fédérale, de telle manière que les distances de transport ne dépasseront pas 100 km. Entre les différents sites de production et les centres de consommation, les puissances nécessaires pourront être transportées dans des conditions économiques par des lignes à 420 kV à plusieurs circuits.

On estime, par ailleurs, que les problèmes techniques que posera la maîtrise des puissances de court-circuit (jusqu'à 50 GVA) pourront être résolus avec la tension de 420 kV. Aucune difficulté technique ne devrait surgir non plus pour ce qui concerne l'insertion dans le réseau des puissances prévues pour les centrales (jusqu'à 5000 MW) et pour les tranches de centrales (jusqu'à 1300 MW).

L'utilisation de l'espace très limité, disponible pour le passage des lignes, est déjà si intense avec les lignes à 420 kV à plusieurs circuits, que l'introduction d'un niveau de tension plus élevé n'apportera guère d'amélioration de ce point de vue. Des lignes ont déjà été construites qui, au stade final, comprendront, soit quatre circuits à 420 kV, soit deux circuits à 420 kV, deux à 245 kV et deux à 123 kV sur un seul support.

Même lorsque la charge totale dépassera la valeur déjà citée de 140 GW, aucune limite technique ne pèsera sur l'utilisation du 420 kV comme niveau supérieur de la tension. En ce qui concerne notamment la maîtrise des puissances de court-circuit, les mesures qui sont déjà prévues pour une charge inférieure ou égale à 140 GW seront suffisantes pour longtemps.

Des tranches de centrale d'une puissance atteignant 2000 MW, telles qu'elles sont considérées comme possibles pour la fin du siècle, pourront être insérées dans le réseau à 420 kV, tout au moins en nombre limité. L'introduction d'un niveau de tension supérieur à 420 kV ne deviendra donc nécessaire que lorsqu'apparaîtront des besoins de transport justifiant une telle augmentation de tension pour des raisons économiques. Des besoins de ce genre pourraient apparaître, par exemple, s'il fallait, pour des raisons de protection de l'environnement, édifier des centrales de grande puissance sur des sites éloignés des centres de consommation.

Les lignes de tension supérieure à 420 kV ne remplaceront pas le réseau à 420 kV, mais se superposeront à ce dernier. Sur la base de l'expérience acquise jusqu'ici, il serait souhaitable de choisir une tension aussi éloignée que possible de 420 kV, ce qui parle en faveur d'un niveau de tension situé dans la plage de 1000 à 1200 kV.

Si toutefois l'accroissement de la demande devait se ralentir sensiblement à l'avenir, ou même la consommation atteindre progressivement un niveau de saturation, l'époque à laquelle les besoins imposeraient le choix d'une tension à l'intérieur de cette plage se trouverait reportée si loin dans le temps que l'Allemagne fédérale pourrait, elle aussi, envisager l'introduction de la tension de 765 kV.

Etant donné qu'en Allemagne fédérale, la tension de 420 kV est suffisante pour de nombreuses années encore, ce pays peut attendre, avant de prendre une décision définitive concernant le choix de la tension supérieure la mieux adaptée à ses besoins, de disposer de renseignements plus précis sur le développement de la demande et sur les progrès techniques dans le domaine de l'équipement des réseaux.

Autriche

Le réseau actuel à 245 kV sera renforcé au cours des années 1980 par un système à 420 kV, notamment en vue de faciliter l'insertion des grandes centrales nucléaires dans le réseau autrichien. Une fois développé, ce réseau suffira jusqu'à la fin du siècle.

Belgique, Danemark, Grèce, Pays-Bas et Suisse

Ces pays ne voient pas la nécessité d'introduire un niveau de tension supérieur à 420 kV avant la fin du siècle. Une tension supérieure serait seulement envisagée en raison des besoins de l'interconnexion internationale.

Espagne

Il y a deux ans, avant la crise du pétrole, on considérait en Espagne que, vu le rythme accéléré du développement de la consommation et la politique d'implantation de grandes unités nucléaires nécessaires pour faire face à l'augmentation de la demande, un niveau de tension supérieur à 420 kV deviendrait souhaitable du point de vue économique dans un délai de quelque quinze ans, c'est-à-dire entre 1985 et 1990.

Aujourd'hui, en raison du ralentissement du rythme de croissance de la consommation, la date en cause se trouve repoussée d'au moins cinq ans, c'est-à-dire qu'elle sera située entre 1990 et 1995, et plus vraisemblablement, vu l'incertitude actuelle concernant l'avenir, entre 1990 et 2000.

Ce sont les raisons habituelles qui sont invoquées en faveur de l'adoption d'un niveau de tension supérieur à 420 kV (transports massifs de puissance sur des distances de quelques centaines de kilomètres, limitation des puissances de court-circuit, possibilités d'insertion dans le réseau d'unités de production de grande taille, limitation pour des raisons d'environnement du nombre de lignes servant à raccorder les centres de gravité de la production avec ceux de la consommation, etc.), et elles seront largement influencées par la politique d'implantation des centrales et, par conséquent, par les possibilités de réfrigération des grandes unités nucléaires.

Pour la raison déjà citée, face au choix du prochain échelon de tension entre les niveaux de 765 kV, 1200 kV et une valeur intermédiaire, les circonstances actuelles font pencher la balance vers une probabilité majeure d'adoption du niveau le plus bas, c'est-à-dire le 765 kV. En effet, pour les besoins intérieurs du pays, cette valeur semble tout à fait suffisante pour une période d'au moins vingt ou trente années à partir de la date de son introduction.

Dans le cas de l'Espagne, cependant, c'est l'interconnexion internationale qui aura probablement une influence décisive sur le choix du prochain échelon de tension, et de ce point de vue, il est encore prématuré de prendre une position définitive.

France

Sur la base d'un ensemble d'études théoriques concernant la doctrine d'emploi des différents niveaux de tension, d'une part, et d'études prospectives relatives aux besoins de transport d'énergie électrique jusqu'à la fin du siècle, d'autre part, on a adopté en France la philosophie générale suivante pour le développement des réseaux à THT et l'introduction d'un nouvel échelon de tension:

Le premier fait – et ceci est à certains égards une révision des conceptions antérieures – est qu'en tout état de cause, le réseau à 420 kV continuera à se développer substantiellement. Il quadrillera le territoire, en conjuguant en première étape les trois rôles du transport, d'interconnexion et de grande répartition régionale, et alimentera, par l'intermédiaire de postes à 420/245 kV assez nombreux et de puissance relativement modérée, des réseaux à 245 kV courts, dont la vocation deviendra rapidement très locale.

A cette infrastructure directement liée à la consommation et aux implantations de production relativement bien réparties que l'on peut envisager dans les prochaines années, viendront se superposer les réseaux permettant d'assurer les transports d'énergie systématiques entre de très grands centres futurs éventuels de production et les zones de consommation. La prévision de ces transits, directement liés aux possibilités d'implantation des unités de production, apparaît aujourd'hui comme entachée de beaucoup plus d'incertitude.

A moyen terme – c'est-à-dire jusqu'en 1985 au moins – il semble qu'une utilisation judicieuse des sites de bord de mer situés près des zones de consommation importantes, d'une part, des possibilités de réfrigération atmosphérique «humide», d'autre part, conjuguée à une certaine dispersion des sites, permettra de limiter à des valeurs assez modestes les distances sur lesquelles s'effectueront des transports massifs d'énergie (100–150 km). Dans ces conditions, la poursuite du développement du réseau à 420 kV dans sa fonction transport paraît une solution à la fois techniquement satisfaisante et économique. Il va de soi que ce réseau sera planifié en gardant présente à l'esprit la fonction ultérieure de grande répartition qui sera finalement dévolue au 420 kV. En règle générale, on ne favorisera donc pas la réalisation de «grands axes» de transport. Au cas où ils apparaîtraient cependant nécessaires, ils seraient réalisés en lignes à 420 kV doubles transformables, permettant de ménager l'avenir moyennant un surcoût réduit.

A plus long terme, les perspectives sont naturellement bien plus incertaines, et c'est pourquoi l'on peut imaginer différentes situations permettant de «faire l'enveloppe» de situations envisageables à une échéance éloignée (an 2000).

Une variante extrême serait celle d'une implantation des sites de production aussi proche que possible des zones de consommation, impliquant un large recours aux réfrigérants atmosphériques secs. En ce cas, on pourrait envisager de poursuivre l'utilisation du 420 kV fort longtemps, encore que la croissance de la taille unitaire des groupes et les problèmes de limitation des courants de court-circuit puissent causer certaines difficultés.

Une autre variante extrême serait celle d'un regroupement très poussé des moyens de production en des sites fort éloignés des zones de consommation. On pourrait alors, à bon droit, envisager des niveaux de THT dépassant les 1000 kV.

Au total, cependant, aucune de ces deux variantes n'apparaît aujourd'hui comme très plausible. Si l'on se limite aux évolutions qui semblent actuellement les plus vraisemblables, on arrive à la conclusion que les puissances à transporter et les distances sur lesquelles ces transports seront nécessaires justifieront, quasi certainement à ces échéances, le recours à un niveau de tension supérieur, et qu'en ce cas, la tension de 765 kV serait bien adaptée aux besoins nationaux, compte tenu des perspectives ultérieures de développement de la consommation qu'il paraît raisonnable d'envisager.

C'est donc finalement à partir de la date – que l'on ne peut préciser exactement aujourd'hui, mais qui pourrait se situer entre 1985 et 1990 – où apparaîtront les couples puissance-distance de transport suffisants, qu'un réseau à 765 kV viendrait, au moins dans certaines régions, progressivement se superposer (avec éventuellement une récupération de certaines lignes doubles transformables à 420 kV) au réseau à 420 kV. Ce réseau de tension supérieure présenterait, en outre, évidemment certains avantages supplémentaires appréciables quant à l'insertion d'unités de très forte puissance, à la limitation des courants de court-circuit, et à l'encombrement du réseau sur les grands axes de transport.

L'une des caractéristiques essentielles de la stratégie de développement des réseaux à THT qui vient d'être esquissée est sa souplesse d'adaptation à l'évolution des conditions extérieures. Au premier rang de celles-ci, on a placé – car elle est sans doute déterminante – la politique de localisation des moyens de production. Il convient cependant de ne pas négliger l'incidence d'évolutions éventuelles concernant par exemple les prévisions à très long terme de la demande, les techniques et les coûts ... ou le contexte européen.

Grande-Bretagne

Des études à long terme ont été réalisées, concernant le développement du système de production et de distribution d'énergie électrique de l'Angleterre et du Pays de Galles durant la période de 25 à 40 années au terme de laquelle la charge maximale de ce système pourrait atteindre 175 GW, soit quatre fois la valeur présente. Plusieurs modèles de réseau envisageant, soit le transport en 420 kV uniquement, soit 420 kV en liaison avec 765 kV, 1050 kV ou le courant continu à très haute tension, ont été examinés sous l'angle des problèmes techniques, économiques et d'environnement. On a également évalué les conséquences, pour le choix de la tension de transport, de conditions plus ou moins favorables en ce qui concerne les sites des centrales. Les résultats obtenus sont les suivants:

a) Compte tenu de la technologie actuelle, des coûts d'investissements et des conditions futures probables dans ce réseau, il n'existe aucune raison technique ou économique pour l'introduction d'une tension de transport supérieure à 420 kV, sur une base régionale ou nationale, durant la période au terme de laquelle la demande maximale totale atteindra environ le quadruple de sa valeur actuelle, et ceci même dans le cas où la production serait concentrée dans de vastes parcs de centrales.

b) Les contraintes d'environnement donnent lieu à de nombreuses incertitudes, mais il est probable qu'elles défavorisent le choix de tensions supérieures à 420 kV.

c) Pour la charge maximale considérée, il apparaît possible avec 420 kV de maîtriser les courants de court-circuit en sectionnant les jeux de barres, et d'obtenir une stabilité du réseau acceptable.

d) En raison du coût des équipements terminaux et des pertes élevées, l'utilisation du courant continu à très haute tension, même associée à une mise en souterrain plus importante du réseau, se révèle moins économique que toutes les solutions en courant alternatif envisagées (420 kV, 765 kV, 1000 kV).

A long terme, l'éventualité subsiste que l'on soit obligé de concentrer de très grandes capacités nucléaires sur des sites éloignés des zones de consommation, ce qui impliquerait de grands transports de puissance et d'énergie sur de longues distances. Cela pourrait conduire à l'introduction plus rapide, en Grande-Bretagne, d'une tension supérieure à 420 kV, qui sera peut-être voisine de 1000 kV.

Il est certainement prématuré de choisir actuellement un niveau de tension supérieur à 420 kV, et il est souhaitable de conserver les options ouvertes car le choix futur dépendra largement de l'évolution des besoins de transport de puissance et d'énergie ainsi que des problèmes d'environnement.

Des études récentes effectuées en Ecosse du Sud ont montré que la tension de transport de 420 kV sera suffisante jusqu'à la fin de ce siècle. Toutefois, vers le terme de cette période, il sera nécessaire de sectionner les barres collectrices assez largement pour maintenir les courants de défaut dans les limites des capacités de coupure des disjoncteurs: dès maintenant, les nouveaux postes à 420 kV sont conçus pour répondre à cette exigence future.

Par suite de cette limitation des courants de court-circuit, il deviendra de plus en plus difficile d'utiliser entièrement la capacité de transport d'un réseau bouclé de lignes aériennes comprenant deux circuits avec des conducteurs d'une section de 4×400 mm², et il pourra être plus économique d'exploiter le réseau à 420 kV en plusieurs zones, connectées entre elles par des liaisons limitant le passage des courants de défaut, plutôt que d'introduire une tension supérieure à 420 kV.

En ce qui concerne enfin l'Ecosse du Nord, la tension de 420 kV ne sera probablement pas introduite avant la fin des années 1980, et les estimations faites montrent qu'une tension supérieure à cette valeur ne sera pas nécessaire avant la fin du siècle.

Hongrie

L'extension du réseau de transport national est envisagée avant tout au niveau de tension de 420 kV. Le réseau à 245 kV ne sera pratiquement pas développé. D'ici 1980, une ligne à 765 kV sera mise en service entre l'Union soviétique et la République populaire hongroise, dans le cadre du réseau d'interconnexion des pays européens membres du COMECON. Le niveau de tension de 765 kV a été choisi en fonction des besoins de l'interconnexion et des importations d'énergie électrique. Des études internationales en cours examinent les possibilités d'un développement éventuel de cet échelon de tension au cours des années 1980.

Irlande

Le niveau de tension de 420 kV n'est pas encore introduit, mais ce sera le prochain niveau de tension.

Italie

L'introduction d'un nouvel échelon de tension sera vraisemblablement nécessaire aux environs de l'année 1990. Il est prévu que le réseau à 420 kV passera progressivement de la fonction de transport à la fonction de répartition; par conséquent, ce réseau se superposera, pour cette fonction, au réseau à 145 kV. Une étude a montré que pour des densités de charge inférieures à 1–2 MW/km², les deux niveaux de 420 et 145 kV peuvent coexister économiquement. Par ailleurs, au-dessus de 4 MW/km², le niveau de 145 kV n'est plus justifié économiquement comme tension intermédiaire. Dans ce cas, l'alimentation des réseaux de distribution à 20 kV pourra être confiée au 420 kV.

Pour déterminer le niveau supérieur à 420 kV qu'il convient de choisir, on a effectué une étude, à l'aide d'un modèle simplifié du réseau de l'Italie du Nord. Deux stratégies ont été comparées, en prenant en considération une période de soixante ans. La première prévoit l'introduction du niveau de 1050 kV, et la deuxième, celle du niveau de 765 kV et, par la suite, d'un niveau de 1500 kV.

Cette étude technico-économique a indiqué que c'est la solution du 1050 kV qui est préférable. Une des raisons fondamentales en faveur de l'adoption d'un nouvel échelon de tension est la nécessité, imposée par la situation des zones de production et de consommation, d'effectuer des transports massifs de puissance, à partir de vastes concentrations de production.

C'est donc l'exigence du transport à l'intérieur du pays qui est le motif principal du choix.

En ce qui concerne les problèmes de l'environnement, l'adoption du niveau de 1050 kV assure une utilisation optimale des couloirs de lignes. Pour ce qui est des interconnexions internationales, elles ne sont possibles qu'au Nord, et ne comportent pas de distances importantes.

Pour essayer directement tous les composants du réseau à 1050 kV avant de passer à sa réalisation, l'ENEL a prévu la construction d'une installation pilote. Elle est constituée par une ligne à 1050 kV d'une longueur de 15 km, à insérer dans le réseau 420 kV par l'intermédiaire de postes de transformation 1050/420 kV.

La première phase de ce projet concerne l'essai des solutions techniques à adopter. Elle comprend une ligne de 1 km, qui sera mise sous la tension de 1050 kV avant la fin de l'année.

Norvège

Les lois sur la protection de la nature ne permettant pas d'accroître la production d'énergie hydro-électrique de plus de 70 % environ, entre 1975 et 1985, la Norvège a conclu, avec le Danemark et la Suède, des contrats prévoyant l'importation, de chacun de ces deux pays, de 500 MW de puissance thermique hors-pointe, dans les années sèches. A cet effet, deux lignes à 420 kV seront construites entre la Norvège et la Suède, et deux câbles de 250 kV en courant continu posés entre la Norvège et le Danemark (Jutland), au cours des prochaines années.

Après 1985, la Norvège aura recours à des centrales thermiques classiques (brûlant du fuel ou du gaz naturel, éventuellement off-shore), ou nucléaires. La politique du choix des sites des centrales nucléaires n'est pas encore fixée, mais il est possible que les impératifs de la protection de la nature conduisent à concentrer ces centrales sur un petit nombre de sites côtiers.

Pour le moment, il n'existe aucun plan pour l'introduction d'une tension de transport supérieure à 420 kV en Norvège, et il n'est pas sûr qu'une telle tension sera nécessaire après 1990. Les courants de court-circuit sont en Norvège plus faibles que dans les pays d'Europe continentale, et ils peuvent être facilement maîtrisés dans le réseau de transport.

De toute manière, étant donné que la Suède a déjà choisi la valeur de 765 kV pour le prochain échelon de tension, il apparaît que la seule possibilité pour la Norvège sera de choisir également cette valeur, si elle devait estimer nécessaire, après 1990, d'introduire une tension supérieure à 420 kV.

Suède

Si les sites des nouvelles centrales étaient choisis de façon optimale, la tension de 420 kV serait suffisante pour une longue période de temps (probablement vingt ans). Aujourd'hui cependant, on sait qu'il sera impossible de réaliser ce choix optimal.

Pour des raisons de protection de l'environnement, la production nucléaire sera concentrée en un nombre relativement faible de centrales, qui auront donc une puissance très élevée. Telle est la raison qui a conduit la Suède à étudier l'introduction d'un niveau de tension supérieur à 420 kV.

Les études effectuées portent sur la période de 1980 à 2000, et les solutions qui ont été comparées sont l'introduction du 765 kV, celle du 1200 kV, et enfin la poursuite du développement du 420 kV. Le transport en courant continu à très haute tension a été également examiné.

Différentes solutions ont été envisagées en ce qui concerne le choix des sites des nouvelles centrales. Il résulte de ces études que le nouveau niveau de tension qui sera introduit très prochainement dans le système suédois est le 765 kV. On a vérifié que ni la tension de 1200 kV, ni le courant continu à très haute tension, n'apportaient d'avantages techniques en comparaison du 765 kV, alors que le coût de leur introduction était beaucoup plus élevé. Afin de pouvoir utiliser au maximum les avantages de la nouvelle tension de transport dans le cadre de son programme nucléaire, la Suède prévoit de mettre en service, vers 1980, la première ligne construite pour 765 kV.

Les raisons les plus importantes qui ont conduit la Suède à envisager l'introduction du 765 kV au début des années 1980 sont les suivantes:

1. La puissance des centrales nucléaires déjà en service ou en construction sera encore augmentée. Pour des raisons de protection de l'environnement, il est nécessaire de réduire au minimum l'occupation du sol par les lignes de transport qui évacuent l'énergie produite par ces centrales. Dans le cas d'une installation de très grande puissance, il faudrait construire jusqu'à dix lignes à 420 kV, tandis que trois ou quatre lignes à 765 suffiront.

2. La concentration de la production dans de grandes installations augmente les puissances à transporter et les distances de transport. Au bout d'un certain nombre d'années, il résultera de cette évolution que le transport à 765 kV sera plus économique que celui à 420 kV.

3. Un problème d'importance croissante pour le réseau suédois est celui de l'augmentation des courants de court-circuit. Cela ne constitue pas une raison pour introduire le 765 kV, mais il n'en reste pas moins qu'avec cette tension, et si la plupart des nouvelles grandes centrales sont raccordées directement au réseau à 765 kV, les courants de court-circuit diminuent considérablement, surtout dans le réseau 420 kV.

Enfin, il convient de noter que la tension de 765 kV semble être la valeur la plus appropriée pour le futur réseau d'interconnexions entre les pays du NORDEL.

En mai 1975, le *Swedish State Power Board* a pris la décision d'engager la construction d'une première ligne à 765 kV, à mettre en service en 1980. Lors de sa mise en service, toutefois, elle sera exploitée à 420 kV, l'équipement de la centrale ayant été commandé pour cette tension. Il est prévu, mais non encore décidé, de passer en 1982 à la tension d'exploitation de 765 kV.

Yougoslavie

La tension de 420 kV a été introduite, pour la première fois, en Yougoslavie en 1970, et actuellement, un réseau d'interconnexion de base à 420 kV, reliant tous les centres de production et de consommation importants, est en construction. On pense que ce réseau à 420 kV, avec les extensions nécessaires, sera à même de couvrir tous les besoins jusqu'en 1985.

Après 1985, l'introduction d'un nouvel échelon de tension pourrait être envisagé. La tension choisie sera probablement 765 kV, pour les raisons ci-après:

– Nécessité de transports de grandes puissances et quantités d'énergie sur de longues distances, par suite d'une distribution inégale des ressources d'énergie primaires (en particulier le charbon).

– Introduction de la valeur de 765 kV dans certains pays voisins (Hongrie, Roumanie et Bulgarie) et éventualité d'une interconnexion internationale à ce niveau de tension.

8. Conclusions

Par suite de la décision de la CEI de laisser ouvert le choix d'une tension située entre 765 et 1200 kV, les pays membres de l'UNIPEDE ont le temps d'étudier les problèmes que pose ce choix. Excepté la Suède et la Hongrie, l'introduction d'une nouvelle tension n'apparaît pas nécessaire dans ces pays avant dix à quinze ans. Le choix dépend des conditions du transport, qui sont influencées à leur tour par la politique des sites pour les centrales futures, par les contraintes d'environnement, par les puissances à transporter et par le développement de la consommation.

Les prévisions à long terme sont très incertaines, et il faut poursuivre les études afin de réduire leur marge d'incertitude. Pour le moment, on peut dire que la possibilité de fixer le prochain niveau de tension, soit à 765 kV, soit à une valeur intermédiaire de l'ordre de 1000 kV, soit enfin à 1200 kV offre une gamme suffisamment large pour que l'on y trouve la valeur la mieux adaptée aux conditions européennes, aussi bien du point de vue technique que du point de vue économique. Le choix des pays (Suède et Hongrie) qui se voient obligés d'introduire prochainement une tension plus élevée que 420 kV n'aura que peu d'influence sur les interconnexions internationales.

Les autres pays européens, où l'introduction d'une telle tension ne s'impose pas encore, sont unanimes à penser qu'une tension commune est nécessaire.

L'introduction de cette tension sera dictée, en premier lieu, par les besoins de l'interconnexion interne des réseaux nationaux. Pour quelques pays, cependant, elle est aussi étroitement liée avec les nécessités de l'interconnexion internationale qui, pour le moment, n'exige pas une tension supérieure à 420 kV.

Bibliographie

[1] *E. Abilgaard:* Zukunftsaussichten für die Übertragung elektrischer Energie mit Freileitungen und Kabeln. Energie und Technik, 25(1973)4.

[2] *Banks, Dwek, B. Jones* et *P. B. Jones:* Long Term Network Development Trends in England and Wales. Rapport CIGRE 1976, Comité d'Etudes 32.

[3] *J. Bergougnoux, F. P. Jenkin, F. Lehmhaus, C. Marique* et *P. L. Noferi:* Planification des interconnexions entre systèmes électriques. Rapport CIGRE 32-17, 1974.

[4] *Booth, Clark, Egginton* et *Forrest:* The 400 kV Grid System for England and Wales. Proc. IEE, Rapport nº 3883, mars 1962.

[5] *H. G. Busch:* 25. Internationale Hochspannungskonferenz (CIGRE) – Gruppe 31: Übertragungsnetze. ETZ-A 95(1974), p. 570–572.

[6] *H. G. Busch, P. F. Heidinger, H. Holstein* et *F. Lappe:* L'importance du niveau de tension de 380 kV pour les réseaux en Allemagne de l'Ouest. Rapport CIGRE 32-04, 1970.

[7] *A. Chorlton:* Conception of the British 400 kV System. IEE, Conference Publication 15, 1965.

[8] *A. Chorlton, H. B. Dreyfus, P. R. Howard* et *D. F. Oakeshott:* Développements conduisant à l'adoption d'un nouveau réseau de transport à 400 kV en Angleterre et au Pays de Galles. Rapport CIGRE nº 416, 1962. 1962.

[9] *H. B. Dreyfus* et *Laine:* Transmission in U.K. IEE, Conference Publication 34, 1968.

[10] *M. G. Dwek:* The Role of Electricity in Energy Transport. IEE Conference on Energy Europe and the 1980's, mai 1974.

[11] *M. Erche:* Stromversorgung von Ballungszentren. Techniken der Zukunft (1971), p. 99–103.

[12] *H. J. Haubrich* et *W. Kiwit:* 25. Internationale Hochspannungskonferenz (CIGRE) – Gruppe 32: Planung und Betrieb von Netzen. ETZ-A 95(1974), p. 572–577.

[13] *A. Hofmann, B. Lezenik* et *G. Lottes:* Gestaltung künftiger Erzeugungs- und Übertragungsanlagen für elektrische Energie in der Bundesrepublik Deutschland bis 1985. Elektrizitätswirtschaft, 71(1972), p. 727–737.

[14] *G. Jancke, W. Carlshem, R. Engstrom, T. Johansson, S. Smedsfelt* et *B. Thoren:* Le réseau suédois à 800 kV. Rapport CIGRE 31-11, 1974.

[15] *G. Jancke, O. Edberg* et *T. Johansson:* Etudes concernant les futures tensions de transport en Suède. Rapport CIGRE 31-04, 1972.

[16] *W. Kiwit:* Aktuelle Probleme der Netztechnik. Technische Mitteilungen 60(1967), p. 517–521.

[17] *G. Niehage:* Möglichkeiten und Grenzen der derzeitigen Übertragungsnetze. Energiewirtschaftliche Tagesfragen, 17(1967).

[18] *G. Niehage:* Erzeugung, Übertragung und Verteilung elektrischer Energie in der Bundesrepublik Deutschland. VDE-Fachbericht, 28(1974), p. 43–54.

[19] The Swedish EHV Transmission System – Past and Future. American Power Conference, 1972, t. 34.

[20] Special Session for Presentation and Discussion of the Italian Power System of the Future, CIGRE SC 31, Rome, 2 mai 1969, Résumé dans Electra nº 10, octobre 1969.

[21] *L. Paris, F. Reggiani* et *M. Valtorta:* Evolution of the Transmission System in Italy and Adoption of a New Voltage Level. Symposium de la CEE sur les perspectives à long terme de la situation de l'énergie électrique. Stockholm, septembre 1973.

[22] *L. Paris, F. Reggiani, M. Sforzini* et *M. Valtorta:* The Italian 1000 kV Project. IEEE Canadian Communication and Power Conference, Montréal, novembre 1974.