

**Zeitschrift:** Bulletin de l'Association suisse des électriciens  
**Herausgeber:** Association suisse des électriciens  
**Band:** 38 (1947)  
**Heft:** 23

**Artikel:** Position, sur le plan international, du choix des tensions supérieures à 220 kV  
**Autor:** Ailleret, P.  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-1056769>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **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. [Voir Informations légales.](#)

### **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. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 18.01.2025

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

# ASSOCIATION SUISSE DES ÉLECTRICIENS

# BULLETIN

## RÉDACTION:

Secrétariat de l'Association Suisse des Electriciens  
Zurich 8, Seefeldstrasse 301

## ADMINISTRATION:

Zurich, Stauffacherquai 36 + Téléphone 23 77 44  
Chèques postaux VIII 8481

Reproduction interdite sans l'assentiment de la rédaction et sans indication des sources

38<sup>e</sup> Année

N<sup>o</sup> 23

Samedi, 15 novembre 1947

## Position, sur le plan international, du choix des tensions supérieures à 220 kV

Par P. Ailleret, Paris

621.3.027.7

*Le Comité d'Etudes N<sup>o</sup> 30 de la CEI, Tensions au-dessus de 220 kV, institué en 1945, s'est réuni pour la première fois les 20 et 21 octobre 1947, à Lucerne. L'auteur, président de ce comité d'études et, comme tel, particulièrement compétent pour traiter cette matière, expose dans le rapport suivant l'ensemble du problème sur le choix des tensions de transmission au-dessus de 220 kV et résume le résultat de la réunion de Lucerne: Une série de pays seraient disposés d'adopter 380 kV comme valeur moyenne et 400 kV comme valeur maximum de tension la plus élevée des grandes artères de transmission d'énergie électrique. La décision a été renvoyée, pour attendre le résultat des études et expériences actuellement en cours aux Etats-Unis.*

*Am 20. und 21. Oktober 1947 fand in Luzern die erste Sitzung des im Jahre 1945 eingesetzten Comité d'Etudes Nr. 30 der CEI, Spannungen über 220 kV, statt. Der Autor, der als Präsident dieses Comité d'Etudes zur Behandlung der Materie besonders kompetent ist, legt im folgenden Bericht den Problembereich dar, der mit der Wahl der Uebertragungsspannungen über 220 kV verknüpft ist, und er gibt das wesentliche Resultat der Luzerner Sitzung bekannt: Eine Reihe von Ländern wäre bereit, einen Mittelwert von 380 kV und einen Höchstwert von 400 kV der zur Diskussion stehenden Uebertragungsspannung anzunehmen; ein Beschluss wird jedoch erst gefasst, wenn das Resultat der Untersuchungen bekannt ist, die gegenwärtig in Amerika stattfinden.*

En règle générale, une normalisation ne doit être entreprise qu'après que des applications suffisamment nombreuses aient bien dégagé la meilleure technique: Mieux vaut faire quelques expériences superflues que de figer la technique dans une voie médiocre faute d'avoir tenté toutes les diverses autres voies possibles.

Mais dans quelques rares cas, la normalisation doit nécessairement être faite assez tôt: Il en a été ainsi, au siècle dernier, du choix de l'écartement des voies de chemin de fer; les inconvénients de poursuivre trop longtemps les tentatives divergentes sur des lignes appelées à être reliées plus tard sont évidents en pareil cas. La situation est à peu près la même aujourd'hui lorsqu'il s'agit de lignes électriques à des tensions suffisantes pour que leur rayon d'action fasse prévoir que sur un même continent ces lignes pourront s'interconnecter un jour.

L'étude de cette normalisation est engagée dans le cadre de la Commission Electrotechnique Internationale (CEI), dont le Comité n<sup>o</sup> 30 (tensions au-dessus de 220 kV — extra high voltages) s'est réuni à Lucerne le 20 et le 21 octobre 1947. A la suite de ces réunions, il est utile de faire le point pour que tous les intéressés puissent y réfléchir avant que la question ne soit figée, soit par des règles, soit par des réalisations.

### Les deux ordres d'intérêt d'une normalisation de ces tensions

Il faut bien séparer les deux points de vue auxquels la normalisation peut présenter de l'intérêt:

le point de vue de la construction du matériel et le point de vue de la liaison directe entre réseaux.

L'importance relative de ces deux points de vue est tout autre pour les très hautes tensions que pour les moyennes tensions. Aux extrêmement hautes tensions on ne peut envisager des fabrications de série et les appareils seront faits sur mesure. L'intérêt de la normalisation du point de vue du matériel est donc réduit bien qu'il subsiste cependant, notamment au point de vue des études et au point de vue des matériels secondaires. Par contre, le rayon d'action de ces tensions devient tel qu'il faut penser aux interconnexions futures même entre réseaux éloignés appartenant à des pays différents ou à des groupes industriels distincts.

### Les différents sens de la «tension d'un réseau»

A ces deux ordres différents d'intérêt de l'interconnexion correspondent deux notions différentes de la tension d'un réseau.

Au point de vue du matériel, c'est la tension maximum en exploitation normale qui conditionne le fonctionnement du réseau: quelles que soient les chutes de tension à certaines heures et dans certaines régions, c'est cette tension maximum qui commande le fonctionnement des disjoncteurs et le niveau des surtensions internes qu'ils peuvent engendrer et faire subir aux transformateurs du réseau. Ainsi, deux réseaux, l'un fonctionnant à des tensions variables dans l'espace et le temps entre 210 et 240 kV, l'autre fonctionnant à une tension

beaucoup plus fixe n'allant que de 235 à 240 kV appellent exactement le même matériel.

Au contraire, la possibilité d'interconnecter deux réseaux sans troubler l'exploitation de chacun d'eux, sans donner lieu à des échanges excessifs de puissance réactive, et sans arriver aux limites des crans de réglage en charge, est beaucoup plus en corrélation avec la tension moyenne qu'avec la tension maximum. Pour permettre de comparer deux réseaux différents, il faut préciser ce que l'on convient d'appeler la tension moyenne: il est apparu nécessaire, au cours des réunions de Lucerne, d'abandonner la référence aux «extrémités réceptrices du réseau» qui figurait dans les règles de la Commission Electrotechnique Internationale et à laquelle la structure de bien des réseaux à très haute tension ne laisse plus de sens. Il a été convenu de se référer à la valeur moyenne par intégration à la fois dans le temps et dans l'espace tout le long du réseau; bien entendu, il ne s'agit pas de baser une mesure sur cette définition, mais seulement d'estimer la tension correspondante d'après une notion bien définie. Ainsi chaque réseau est caractérisé par deux chiffres de tension: tension maximum et tension moyenne.

Ceci laisse bien entendu de côté la question de classe d'isolement du matériel qui est tout autre chose: Il faut pouvoir choisir la tension de choc à laquelle résiste le matériel indépendamment de la tension du réseau, car il y a d'autres paramètres qui interviennent: Emploi de parafoudres, réglage des éclateurs, sévérité de la foudre, conceptions de chaque réseau sur le compromis coût-sécurité, etc.

Il a donc été convenu à Lucerne de caractériser provisoirement la tension d'un réseau par ces deux tensions, moyenne et maximum, et d'éviter avec soin la terminologie de «tension nominale» ou «tension de base» qui n'est pas interprétée de la même manière dans les différents pays et donne lieu à des malentendus internationaux.

Il reste, mais c'est le rôle d'un autre comité de la Commission Electrotechnique Internationale, à repenser complètement la terminologie et aussi à réviser les tensions standards de la CEI dont les tensions en usage diffèrent considérablement. C'est ainsi, par exemple, que tous les réseaux dénommés 230 kV aux Etats-Unis, 220 kV en France et en Italie, 200 kV en Suède fonctionnent en fait dans des conditions si semblables qu'il n'y aurait, du seul point de vue des tensions, aucune difficulté à les interconnecter directement ou à transférer du matériel de l'un à l'autre. La tension moyenne de ces réseaux est voisine de 220 kV et la tension maximum de 242 kV. Ces conditions de fait parfaitement semblables sur tous les réseaux, sont ainsi différentes des valeurs réglementaires (200 en moyenne à l'extrémité réceptrice, 220 maximum) qui ne sont employées nulle part.

Il est bien évident que pour définir les échelons supérieurs de tension il faut éviter les erreurs de terminologie, donc préciser pour le moment à la fois la tension moyenne et la tension maximum.

**Les motifs de passer à des tensions plus élevées**

Plusieurs motifs distincts peuvent conduire à augmenter la tension:

1. La nécessité de transporter à de plus grandes distances.

C'est le cas de la Suède qui doit maintenant aller chercher son énergie hydraulique très au Nord par une ligne de 970 kilomètres de long.

2. La croissance des puissances à transporter.

C'est le motif principal de montée des tensions en Europe Occidentale et Centrale, comme dans le centre des Etats-Unis.

Il n'est certainement pas économique de multiplier indéfiniment le nombre des lignes pour faire face à l'augmentation des puissances et un moment vient où il faut passer à un nouvel échelon. Si l'on a trop attendu, on regrette ensuite d'avoir établi tant de circuits en parallèle à la tension plus basse alors que le même investissement en lignes à tension plus élevée aurait fait par la suite plus d'usage.

Sans doute, les puissances en jeu ne déterminent pas seules la tension optimum d'un réseau; d'autres éléments interviennent, en particulier les distances, mais statistiquement, la tension apparaît comme en corrélation bien étroite avec la puissance: par exemple, la tension est de l'ordre de 110 kV quand la puissance correspond, sur chaque trajet, à un petit nombre de circuits portant chacun une trentaine de milliers de kilowatt. A la tension de 150 kV, correspondent en fait toujours des puissances de l'ordre de 50 000 à 70 000 kW par circuit, à celle de 220 kV, des puissances de 120 000 ou 140 000 kW. La corrélation est assez nette et l'on peut dire statistiquement que la tension augmente à peu près comme la racine carrée des puissances en jeu, peut-être un peu plus vite.

Or, le développement de l'électricité se poursuit à la cadence du doublement des puissances tous les 10 ou 12 ans; la corrélation montrée par la statistique entre les puissances et les tensions, laisse donc prévoir un doublement des tensions sur une période d'une vingtaine d'années, ce qui est assez cohérent avec la progression dans le passé.

Evidemment les choses changeraient si l'on passait à un autre genre de technique, mais le transport en courant continu dont il est question depuis déjà longtemps n'est pas encore dans la phase des grandes réalisations et répondrait économiquement plutôt à l'accroissement des distances qu'à l'accroissement des puissances. La compensation série, si elle parvient à sortir du domaine des projets pour entrer dans celui des réalisations, peut permettre d'augmenter très sensiblement la puissance par circuit et par suite reculer la date à laquelle une élévation de la tension deviendra nécessaire; elle retarderait alors pour certaines régions le problème du nouvel échelon de tension, mais sans changer sensiblement les conditions de ce problème.

3. Cette nécessité de monter la tension pour faire face à l'accroissement des puissances est encore renforcée dans certaines régions par l'impossibilité

pratique de multiplier le nombre des lignes sur un même trajet; c'est le cas dans les vallées des Alpes suisses, autrichiennes ou françaises; c'est aussi le cas dans les zones qui tendent à prendre un caractère urbain.

4. L'accroissement des puissances sur un réseau peut aussi conduire à des courants de court-circuit dont la modernisation des disjoncteurs n'arrive pas à suivre la croissance. On ne peut alors plus faire débiter directement les centrales nouvelles sur le réseau existant; il faut même parfois morceler ce réseau en plusieurs blocs que l'on interconnecte par une tension supérieure. C'est une des raisons qui ont conduit l'Angleterre à s'engager dans un équipement à 275 kV superposé au grid actuel à 132 kV. On voit ainsi renaître, à l'échelle d'un pays entier, la solution bien connue de «l'interconnexion en gradins» qui est fréquemment employée dans les grands centres urbains pour limiter le court-circuit sur des blocs «consommation-production locale» qui ne communiquent entre eux que par le gradin de tension supérieur, chargé à la fois d'assurer cette interconnexion et d'acheminer les apports extérieurs.

#### Les possibilités d'emploi de tensions supérieures et les réalisations en cours

Depuis la fin de la guerre un nombre assez élevé de réalisations montre que le problème des tensions plus élevées n'est pas purement théorique.

En France, une ligne de 400 km de long est en service depuis janvier 1947, dont les pylônes portent provisoirement deux circuits à 220 kV transformables en un circuit unique à 400 kV. En outre, une station d'essai comportant une portée de lignes de 500 mètres et un groupe de trois transformateurs monophasés donnant une tension réglable entre 300 kV et 500 kV, sert depuis décembre 1946 à des expériences d'effet couronne, notamment sur les faisceaux de deux conducteurs.

En Suède, une ligne à 380 kV de 970 km de long est en construction pour amener dans le sud de la Suède l'énergie de la grande centrale en construction à Harspraenget. Cette ligne est équipée de trois faisceaux de deux conducteurs en disposition horizontale; les transformateurs correspondants sont sur le point d'être commandés.

L'Angleterre entreprend la construction d'une section de ligne à 275 kV d'environ 75 km de longueur équipée avec trois faisceaux de deux conducteurs en disposition horizontale. Il est envisagé pour expérimenter la tension nouvelle de réunir les deux extrémités de cette ligne au réseau à 132 kV par des autotransformateurs.

En Suisse, pour un trajet de 50 km où il serait difficile de multiplier les files de pylônes, à cause de l'étroitesse des vallées des Alpes, on construit actuellement une nouvelle ligne à deux circuits suffisamment écartés pour pouvoir être portés tous deux à la tension de 400 kV. Cette ligne prolonge celle du Gothard à un circuit simple en nappe horizontale, prévue en son temps pour une tension ultérieure d'environ 400 kV, et une ligne qui va

doubler celle du Gothard, sur tracé séparé, à un seul circuit en nappe horizontale, capable également d'être porté à 400 kV. Pour toutes ces lignes, les pylônes sont prévus pour la tension d'environ 400 kV, mais elles seront exploitées tout d'abord à 150 kV. Toutefois, les deux lignes en construction seront d'emblée pourvues de conducteurs suffisants pour la tension de 220 kV, tandis que la ligne du Gothard est équipée de conducteurs pour 150 kV seulement. L'isolation actuelle des trois lignes ne permet l'exploitation qu'à la tension de 150 kV.

Enfin, aux *Etats-Unis*, une station d'expérience vient d'être mise en service à côté de la centrale «Tidd»; elle comporte deux lignes triphasées, chacune de plusieurs portées, alimentées à des tensions pouvant aller jusqu'à 500 kV.

Toutes ces réalisations récentes révèlent l'intérêt qui est porté aux tensions nouvelles et l'urgence de chercher une entente sur les nouvelles tensions si l'on ne veut pas voir compromettre des possibilités ultérieures d'interconnexion.

L'ensemble des constructions de ligne déjà faites pour ces tensions montre clairement l'évolution des prix de lignes; le résultat principal peut s'en résumer simplement: Quand on passe d'une ligne à 220 kV à une ligne à 400 kV en doublant en même temps la section des conducteurs, le prix de la ligne double.

Nous ne sommes malheureusement pas aussi bien fixés sur l'accroissement du prix des transformateurs et des disjoncteurs avec la tension. Il faut faire attention que les prix des premiers matériels à 380/400 kV ne peuvent se comparer avec les prix actuels du matériel à 220 kV qui a été fabriqué en grand nombre d'unités. Déjà autrefois, les prix des premiers matériels à 220 kV avaient pu faire croire à une croissance très rapide de prix du matériel en fonction de la tension au-dessus de 150 kV. Mais quand le matériel à 220 kV fut devenu presque aussi courant que celui à 150 kV, on s'est aperçu que la loi de croissance était beaucoup moins rapide. Il faut se défier de la même illusion dans le cas 380/400 kV et ne pas surestimer la croissance du prix avec la tension dans des études économiques qui portent sur une série d'investissements successifs à prévoir dans l'avenir.

#### Echelonnement optimum des tensions

Notons d'abord qu'il n'existe aucun rapport privilégié pour l'échelonnement des tensions: ni le rapport 2 ni le rapport  $\sqrt{3}$  n'ont un intérêt quelconque pour des tensions aussi élevées, car personne ne songe à faire un matériel transformable par couplage d'une tension à l'autre. Tous ceux qui prévoient un fonctionnement provisoire à 220 kV avec marche ultérieure à 380 kV installent d'abord des transformateurs à 220 kV; le moment venu, ils les remploieront à d'autres usages après avoir mis à la place des transformateurs à 380 kV. Un matériel transformable impliquerait à la fois des intérêts intercalaires sur le supplément de dépense et la perte du progrès intercalaire de la tech-

nique dont pourront bénéficier les appareils construits un peu plus tard.

D'autre part il ne serait d'aucune utilité, ni pratique ni théorique, de s'astreindre à prendre des multiples ronds de tensions de base telles que 110 V ou 115 V: d'une part ces chiffres ne sont même plus utilisés en basse tension où ils ont dérivé progressivement vers 120 V, d'autre part les chiffres ronds n'ont rien à voir dans cette question.

Tout le monde est bien d'accord qu'il faut, dans une même région, éviter les tensions trop rapprochées. Les pays qui ont à la fois du 150 kV et du 220 kV mesurent bien tout l'inconvénient de cette juxtaposition. On a pu dire, non sans raison, que le choix du 220 kV a été une erreur étant donné l'extension qu'avait déjà le 150 kV à l'époque. Il eût mieux valu attendre quelques années de plus et sauter à une tension de l'ordre de 280 kV. Mais il faut bien partir maintenant de ce qui existe.

L'accord international sur la nouvelle tension serait très aisé si l'on partait dans toutes les régions d'une même tension. Malheureusement la tension nouvelle ne se superpose pas seulement à du 220 kV mais aussi dans certaines régions directement à du 150 ou du 132 kV. C'est la seule cause de difficulté dans cette question.

Mais il semble que cette difficulté elle-même disparaît si l'on porte toute l'attention qu'elle mérite aux distances sur lesquelles pourront s'étendre les interconnexions futures à des tensions de l'ordre de 380/400 kV. Avec le développement des consommations on verra apparaître ces tensions nouvelles successivement dans une série de régions actuellement considérées comme trop lointaines pour être interconnectées, après quoi ces réseaux se souderont aisément entre eux par les bords si une différence de tension n'oppose pas à de telles liaisons les obstacles d'une dépense supplémentaire et d'un effet de «bouchon».

De même que les réseaux à 150 kV et 220 kV seulement se sont petit à petit soudés de la mer du Nord à la Méditerranée, ou des Grands Lacs au golfe du Mexique, de même l'Europe d'une part, l'Amérique du Nord et l'est des Rocheuses d'autre part, constituent chacune un «espace» à l'échelle des tensions futures.

Ainsi les problèmes de nouvelle tension qui se posent aujourd'hui d'une manière séparée dans des pays différents ou dans des régions desservies par des groupes industriels distincts, méritent d'être aussi considérés sous l'angle de l'économie d'ensemble telle qu'elle apparaîtra dans 10 ou 20 ans. Il ne faut donc pas se borner aux études économiques séparées des problèmes distincts qui se posent aujourd'hui dans chaque réseau mais penser aussi l'économie à l'échelle des «espaces» intéressés par

ces futures interconnexions dont chacune peut englober plusieurs des réseaux actuels.

Bien entendu il ne s'agit pas de compromettre l'économie de chaque réseau considéré séparément, mais le calcul de l'optimum de tension d'un nouveau transport régional laisse en fait une très grande marge d'imprécision et c'est ce qui permettra à la considération de l'économie d'ensemble dans l'avenir, de faire adopter partout le même niveau de tension.

Dans d'aussi grands «espaces» la tension de 220 kV existe déjà toujours et c'est un point de fait important lorsque l'on veut fixer des chiffres. En ce qui concerne ces valeurs numériques des tensions futures, les réunions du Comité N° 30 de la CEI à Lucerne ont abouti à la résolution suivante:

«Les pays suivants: Autriche, France, Italie, Portugal, Suède, Suisse, Tchécoslovaquie, dont plusieurs envisageaient des tensions plus élevées, sont prêts à se rallier, dans le but de se rapprocher des tensions envisagées aux Etats-Unis, au niveau de tension défini par les chiffres:

Moyenne : 380 kV

Maximum : 400 kV

Les Etats-Unis ont envisagé dans leur réponse au questionnaire la possibilité de se rallier à un niveau de tension dans lequel la tension maximum serait de 386 kV, mais les essais auxquels ils procèdent actuellement sur leur ligne expérimentale peuvent être un élément important de détermination. Il convient donc d'attendre les résultats de ces essais, dont le Comité américain a bien voulu annoncer que les résultats seraient portés à la connaissance du Comité 30. C'est ensuite que le Comité N° 30 pourra prendre une position définitive et voir s'il est possible d'aboutir à un accord général.»

Ainsi une orientation nette se dégage en faveur de la tension 380/400 kV, mais il faut attendre pour conclure que les américains aient dégagé les résultats de leurs essais en cours.

D'autre part, il a été considéré que si l'Angleterre adoptait la tension 275/303 kV du transport Boulder Dam-Los Angeles, au lieu du double exact de la tension du «grid» comme il avait été envisagé jusqu'à présent, alors le développement de l'usage de cette tension, joint à l'intérêt qu'elle peut présenter pour des problèmes de transport en Afrique ou en Asie, conduira à la considérer comme une tension normale, mais applicable seulement dans les «espaces» où elle existe déjà (Californie) et dans ceux où il n'existe pas de 220 kV (Grande-Bretagne, Afrique, Asie).

Tel est, sur le plan international, le point actuel du problème du nouvel échelon de tension. Il est important que tous les intéressés réfléchissent à ce problème, gros de conséquences futures, en vue de la décision définitive qui devra nécessairement être prise vite, étant donné les diverses réalisations qui se préparent.

Adresse de l'auteur:

P. Ailleret, directeur du Service des Etudes et Recherches de l'Electricité de France, 12, Place des Etats-Unis, Paris 16<sup>e</sup>.