

Zeitschrift: Bulletin technique de la Suisse romande
Band: 67 (1941)
Heft: 23

Artikel: Comparaison du coût de transmissions d'énergie à grande distance par courants continu et alternatif
Autor: [s.n.]
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-51349>

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: 22.02.2026

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

En introduisant les expressions bien connues de la dilatation plastique $\bar{\lambda}$ et de la courbure plastique $\bar{\mu}$ dues au système donné de déformations plastiques, on aura en définitive

$$\delta = \int_{z_1}^{z_2} (\mathfrak{N}' \bar{\lambda} + \mathfrak{M}' \bar{\mu}) dz$$

L'application de cette formule est immédiate.

Prenons par exemple le cas d'une poutre simplement appuyée (fig. 22), ou bien rigidement encastrée à ses bouts (fig. 23).

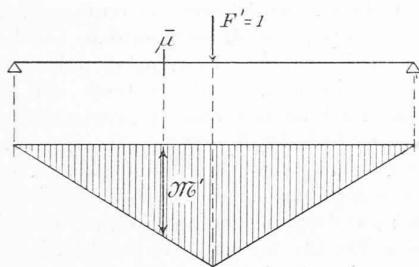


Fig. 22.

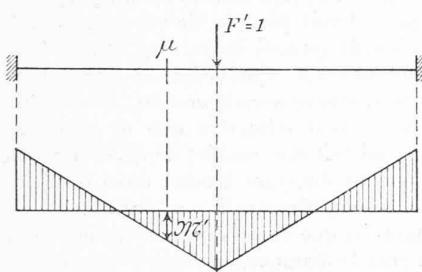


Fig. 23.

Et supposons que, sous l'action d'une condition de charge bien déterminée, la limite élastique du matériau soit atteinte dans certaines régions de la poutre, et que le calcul des déformations plastiques, et des valeurs de $\bar{\lambda}$ et $\bar{\mu}$ qui en dérivent, soit effectué.

Le déplacement, qui se produit dans un point quelconque de la poutre à la suite de ces déformations plastiques s'obtiendra en imaginant la force $F' = 1$ appliquée en ce point.

Si pour cette sollicitation $\mathfrak{N}' = 0$, on aura tout simplement

$$\delta = \int_{z_1}^{z_2} \mathfrak{M}' \bar{\mu} dz$$

Il suffit donc de considérer le diagramme des courbures plastiques $\bar{\mu}$ comme un diagramme de charge ; le diagramme des moments de flexion \mathfrak{M}' dus à la sollicitation $F' = 1$ pourra alors s'interpréter comme ligne d'influence du déplacement δ .

Comparaison du coût de transmissions d'énergie à grande distance par courants continu et alternatif.

Il y a quelques semaines, la Société anonyme Brown, Boveri, & Cie, à Baden, fêtait le 50^e anniversaire de sa fondation. A l'occasion de ce jubilé, elle convia en ses ateliers les représentants des milieux les plus divers de la technique et de la presse. Elle avait préparé, à l'intention de ses invités, des séances de démonstration d'un intérêt remarquable, illustrant avec une rare clarté la variété de la production de ses usines et précisant en outre les difficultés techniques qu'il faut vaincre pour mener à chef la mise au point de quantité de machines et d'appareils du type le plus récent et spécialement adaptés aux exigences actuelles.

Il n'est pas besoin de rappeler à nos lecteurs ce qui fit, au cours des dernières décades, la réputation de l'une des maisons qui honorent le plus notre industrie suisse. Le souci continual d'innover et d'améliorer les produits de ses ateliers, l'importance qu'elle attache aux travaux de recherches de longue haleine ont permis à la Société Brown Boveri d'acquérir une expérience incontestée dans une foule de domaines dont nous citons ici les principaux : Equipment électrique des locomotives, alternateurs, disjoncteurs, mutateurs, relais, turbines à vapeur, turbo-compresseurs, turbo-soufflantes, compresseurs, machines frigorifiques, installation de soudure à l'arc, turbines à gaz, fours électriques, etc.

Nous ne saurions mieux faire, pour associer notre périodique aux témoignages d'estime dont furent l'objet les dirigeants, les cadres techniques et administratifs et le personnel de cette importante entreprise, que de reproduire ici l'essentiel de l'un des articles qu'a publiés la Revue B. B. C. dans son numéro du jubilé, brochure entièrement consacrée au problème du transport à grande distance de l'énergie électrique¹. Cette étude est due à la plume de M. Ch. Ehrenspurger. (Réd.)

I. Généralités.

Nous avons admis dans notre étude qu'une quantité d'énergie donnée est transmise d'une station émettrice, alimentée elle-même par plusieurs centrales, à une station réceptrice à partir de laquelle l'énergie est distribuée à un ou plusieurs réseaux de consommateurs. Nous admettons dans ce qui suit que le groupe de centrales alimentant la station émettrice, de même que les réseaux distributeurs alimentés par la station réceptrice, sont exploités à des tensions absolument indépendantes de celle de la ligne de transmission. La tension des groupes de centrales et des réseaux distributeurs a été fixée arbitrairement à 110 kV. Il a donc été nécessaire, dans

¹ Nous trouvons au sommaire de cette publication : Introduction. Comparaison du coût de transmissions d'énergie à grande distance par courants alternatif et continu. Le problème de la stabilité des transmissions à grande distance par courant triphasé. Considérations techniques et économiques sur les lignes électriques aériennes. Application de la construction articulée aux lignes à très haute tension. Réalisations modernes de transmission d'énergie électrique par courant alternatif. Disjoncteur ultra-rapide à courant alternatif à pouvoir de coupure très élevé, pour très hautes tensions. Mise à la terre du neutre dans les réseaux à courant alternatif à très haute tension (superréseaux). Phénomènes d'arcs à la terre dans une ligne de transport d'énergie en courant continu avec point milieu isolé. La terre utilisée comme conducteur de retour dans la transmission d'énergie à grande distance. Le circuit magnétique des transformateurs de grande puissance pour très haute tension. Dispositif pour la mesure de la tension aux bornes d'un transformateur. Le couplage des transformateurs pour la transmission d'énergie par courant continu à très haute tension. Mutateur à vide très poussé pour la transmission d'énergie à courant continu. Mutateur de grande puissance pour la transmission d'énergie par courant continu. Disposition d'une station d'extrémité pour la transmission à grande distance d'énergie électrique à haute tension. Les harmoniques des transmissions à haute tension continue. Données expérimentales sur la première ligne de transport d'énergie Wettigen-Zurich. Le problème des télécommunications et transmissions de signaux.

tous les cas étudiés, de prévoir l'installation, aussi bien dans la station émettrice que dans la station réceptrice, de transformateurs ramenant la tension de la ligne de transmission à la valeur de 110 kV. Dans ce but, des transformateurs, de caractéristiques inusitées jusqu'ici, ont été construits¹.

En cours d'étude, nous nous sommes aperçus que, pour établir une comparaison entre des transmissions par courants alternatif et continu, le choix de la tension pour chaque système de transmission doit être fait, pour chaque cas, d'une façon absolument indépendante. Il existe pour chaque projet basé sur la transmission d'une puissance déterminée à une distance également déterminée, une tension optimum que l'on peut fixer par une série de calculs comparatifs.

La première transmission d'énergie à courant continu par mutateurs, entre Wettingen et Zurich, que nous avions construite, avait un seul conducteur et retour du courant par la terre. Rappelons qu'en son temps, la transmission d'énergie par courant continu, installée par le Dr Thury, utilisait également la terre comme conducteur de retour². Dans les deux cas, l'utilisation de la terre comme conducteur n'a donné lieu à aucune difficulté. Précisons que l'on peut utiliser la terre comme conducteur de retour aussi bien lors de transmission par courant alternatif³ que continu. Les considérations suivantes ont pu être déduites d'études faisant l'objet d'un autre article de cette revue⁴ traitant plus en détail cette question des prises de terre. Lorsqu'il s'agit d'une transmission par courant alternatif, le courant de retour par la terre circule, par suite d'un effet semblable à l'effet pelliculaire, le long de la ligne ; par contre, dans une transmission à courant continu, le courant de retour par le sol se répartit sur une très grande section, d'après la loi de la résistance ohmique la plus faible. La résistance du conducteur de retour par le sol sera par conséquent plus petite pour une transmission à courant continu que pour une transmission à courant alternatif⁵.

¹ Voir entre autres : « Le circuit magnétique des transformateurs de grande puissance pour très haute tension », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 307.

² Dr R. THURY : « Transmission de force motrice à grande distance par courant continu à haute tension », *Bulletin A. S. E.* 1930, p. 177.

Prof. J. LANDRY : « Berichterstattung der Kommission für Erdrückleitung von Starkströmen », *Bulletin A. S. E.* 1910, p. 288.

³ « Réalisations modernes de transmission d'énergie électrique par courant alternatif », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 289.

⁴ « La terre utilisée comme conducteur de retour dans la transmission d'énergie à grande distance », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 303.

⁵ Il ne faut pas exagérer outre mesure les risques de corrosion des tuyaux d'eau et câbles souterrains lorsqu'on utilise en permanence le sol comme conducteur de retour. De telles corrosions peuvent d'ailleurs se produire suivant la nature du sol même si aucun courant ne circule dans la terre. Une aggravation des phénomènes de corrosion par les courants de terre ne se produira que sur la partie anodique des circuits, c'est-à-dire aux endroits où le courant sort des câbles souterrains ou des conduites d'eau. La quantité de métal attaqué est proportionnelle à la densité du courant sortant, c'est-à-dire qu'elle dépend de la loi de Faraday ; on peut toutefois observer en général que, suivant la nature du sol, la quantité de métal enlevé est plus faible que celle donnée par cette loi. Lorsqu'il s'agit de courant alternatif, les phénomènes corrosifs sont beaucoup moins marqués que lorsqu'il s'agit de courant continu. On s'efforcera, pour les diminuer dans la plus grande mesure possible, de placer les endroits de mises à terre, nécessités par l'exploitation, aussi éloignés que possible des conduites d'eau ou câbles souterrains existants. Les prescriptions en vigueur dans de nombreux pays, destinées à empêcher les corrosions dans le voisinage des installations de chemins de fer électriques, pourront être étendues pour leur application aux installations de transmission par courant continu avec retour du courant par le sol. Lors de transmission par courant continu à très grande distance, il faut s'attendre à ce que la densité de courant dans le sol soit très petite, car le courant se répartit, comme déjà mentionné plus haut, sur une très grande section. Si, après avoir construit une ligne de transmission avec retour par le sol, des phénomènes de corrosion devaient être observés, il sera d'ailleurs toujours possible d'y remédier au moyen des solutions précisées ci-après. La première consiste en un « drainage électrique », obtenu en portant à un potentiel négatif par rapport à l'électrode de mise à terre du système de transmission, tout le système de câbles ou de conduites d'eau ; ceci pourra se faire, par exemple, en reliant ce dernier par résistances à des électrodes de mise à terre. On évitera par cette disposition que des courants s'écoulent des câbles ou conduites d'eau vers la terre. La seconde solution réside dans la subdivision du réseau de conduites d'eau en sections isolées les unes des autres. De cette façon, la chute de tension est répartie, et le courant s'écoulant entre les conduites d'eau et le sol devient beaucoup plus faible. La troisième solution consiste à entourer les conduites d'un bandage spécial graphité, de façon que le courant ne puisse plus passer dans la conduite sous forme de ions.

Les lignes à haute tension sont généralement protégées contre les surtensions atmosphériques par un ou plusieurs fils de terre. L'effet de protection de ces derniers est d'autant plus marqué qu'ils se trouvent à une distance plus grande au-dessus de la ligne. Les observations faites jusqu'ici montrent que, lors de coups de foudre directs sur la ligne, le courant peut atteindre 100 000 A. Ce courant provoque, dans les lignes de terre et les liaisons au sol, des chutes de tension très importantes pouvant entraîner des claquages entre les câbles de terre ou le pylône et les conducteurs de la ligne. Il est donc nécessaire, pour éviter ceci dans la plus grande mesure possible, de faciliter l'écoulement de ce courant à la terre. On s'efforcera donc de diminuer les résistances de terre des pylônes de la ligne, pour renforcer l'action protectrice du ou des fils de terre. Cas échéant, on renforcera la mise à la terre des pylônes par des câbles logés dans le sol. On peut se demander actuellement s'il est indiqué de prévoir de nouvelles lignes de transmission avec fils de terre, car en effet l'on dispose maintenant de systèmes de protection extrêmement efficaces, tels que le déclenchement et réenclenchement rapides d'une phase mise à la terre, ou les parafoudres à haute tension à pouvoir d'écoulement élevé. Pour des tensions de service supérieures à une certaine tension critique, il semblerait que la suppression des fils de terre soit justifiée, les systèmes de protection mentionnés ci-dessus suffisant à protéger la ligne contre les conséquences des coups de foudre directs. Les expériences faites jusqu'ici ne nous permettent toutefois pas d'affirmer d'emblée que pour une très longue ligne, sur laquelle les coups de foudre directs seront proportionnellement plus fréquents, il soit possible de renoncer aux fils de terre. La suppression de ceux-ci devra être examinée par la suite, lorsque les résultats d'exploitation de lignes de transmission à très longue distance seront connus. Dans l'état actuel de la technique, il faut admettre que de nouvelles lignes de transmission doivent être munies de fils de terre ; c'est ce que nous avons admis dans nos études, aussi bien pour la transmission par courant alternatif que continu.

Mentionnons ici que dans l'étude de projets de transmission d'énergie à grande distance, les frais d'installation de la ligne elle-même¹ sont supérieurs à ceux du reste de l'installation. On accordera donc une attention toute particulière à la construction de la ligne et aux conditions spéciales dont il faut tenir compte dans l'établissement de cette dernière² dans l'étude de la rentabilité du système de transmission. Une différence de principe entre les lignes de transmission par courants alternatif et continu réside dans la nécessité, pour les hautes tensions alternatives, d'utiliser, à cause de l'effet pelliculaire, des conducteurs creux, tandis que pour des transmissions par courant continu des conducteurs pleins peuvent être employés, la section complète étant alors utilisée.

Dans l'état actuel de la technique, l'emploi de câbles pour les hautes tensions entrant en ligne de compte présente des chances d'avenir beaucoup plus grandes pour le courant continu que pour le courant alternatif³. Des études entreprises par des spécialistes ont montré que, pour des câbles servant à la transmission de courant continu, la tension continue pouvant être supportée d'une façon pratiquement illimitée est très peu inférieure à la tension de claquage. Il est toutefois encore indiqué actuellement de faire travailler les câbles avec une tension de service égale au tiers de la tension de claquage. Il n'est pas possible, aujourd'hui déjà, d'affirmer pour les très hautes tensions que des câbles à huile utilisés pour courant continu seront supérieurs aux câbles à isolant

¹ « Considérations techniques et économiques sur les lignes électriques aériennes », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 279.

² « Application de la construction articulée aux lignes à très haute tension », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 287.

³ Nous tenons à remercier tout spécialement ici les Câbleries de Brugg pour la documentation qu'elles ont aimablement mise à notre disposition.

solide, comme c'est le cas pour le courant alternatif; en effet, on ne dispose actuellement d'aucun résultat d'exploitation de câbles à haute tension travaillant avec courant continu. Les câbles présentent le grand avantage de n'être pas influencés par les intempéries et les décharges atmosphériques. Par contre, ils sont exposés à être endommagés lors de fouilles ou lors de déplacements de terrain. Les irrégularités du terrain, montagnes, rivières, marais, etc., entraînent une augmentation partielle du coût de la ligne aussi bien lorsqu'elle est constituée par un câble, que lorsqu'elle est aérienne. Lors de l'utilisation de câbles, il est indiqué de prévoir d'emblée un conducteur de réserve. Les différents câbles de la transmission seront placés dans des caniveaux, à des distances suffisantes afin d'empêcher qu'un défaut sur l'un des conducteurs se transmette aux autres.

II. Transmission par courant alternatif.

L'étude du problème de la stabilité dynamique de l'ensemble du réseau et de celui de la compensation du courant déwatté de la ligne doit être reprise sur de nouvelles bases, car les points de vue adoptés jusqu'ici pour de courtes distances ne sont plus valables lorsqu'il s'agit de transmission à grande distance¹. En rapport avec ces questions, il faut également examiner s'il est plus avantageux de compenser les courants déwattés par machines synchrones ou par bobines de self combinées avec des condensateurs. Dans nos calculs, nous admettrons que la compensation est obtenue, comme indiqué dans l'article mentionné ci-dessus, par des condensateurs en série et des bobines de self en parallèle.

Il faut faire la différence, dans les réseaux à courant alternatif, entre la mise à la terre directe du point neutre et la mise à la terre par bobine d'extinction². On dispose, pour la protection contre les défauts à la terre sur les lignes, de deux systèmes : 1^o les bobines d'extinction ; 2^o le déclenchement et le réenclenchement rapides par phase des lignes siège d'un défaut³. Lorsque le point neutre du réseau est mis directement à la terre, il suffit que l'isolation des conducteurs par rapport à la terre, tout au moins théoriquement, ne soit dimensionnée que pour la tension de phase. Lors de la mise à la terre par bobine d'extinction, la ligne doit être, par contre, isolée pour la tension composée. Il faut remarquer que les défauts à la terre, dus à des surtensions atmosphériques, deviennent plus rares quand la tension du réseau dépasse une certaine zone critique (peut-être 100 à 200 kV), comme l'expérience l'a prouvé jusqu'ici. Si l'isolation d'une ligne est choisie au-dessus de cette zone, le second des systèmes de protection mentionnés ci-dessus pourrait suffire et on pourra exploiter cette ligne, le point neutre du réseau étant mis directement à la terre, à une tension plus élevée que quand le réseau est mis à la terre par bobines d'extinction. Au-dessous de cette zone critique, il faudra de toute façon choisir l'isolation en tenant compte des perturbations atmosphériques plus fréquentes ; donc rien n'empêche d'envisager l'emploi de bobines d'extinction et d'utiliser ainsi les avantages de ce système de protection. Nous avons néanmoins envisagé dans nos calculs l'emploi de bobines d'extinction pour toutes les lignes à courant alternatif comme c'est encore l'usage actuellement et, dans un cas particulier seulement, à titre comparatif, étudié une variante avec point neutre du réseau mis directement à la terre.

Notons encore que les systèmes de transmission à courant alternatif utilisés jusqu'ici peuvent être simplifiés, en employant la terre comme conducteur de retour, c'est-à-dire

¹ « Le problème de la stabilité des transmissions à grande distance par courant triphasé », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 264.

² « Mise à la terre du neutre dans les réseaux à courant alternatif à très haute tension (superréseaux) », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 294.

³ « Disjoncteur ultra-rapide à courant alternatif à pouvoir de coupure très élevé, pour très hautes tensions », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 292.

en la considérant comme étant l'une des phases du réseau. Une autre simplification réside dans l'emploi de deux systèmes biphasés indépendants⁴. Nous étudierons également ce cas dans nos calculs comparatifs.

En ce qui concerne la protection des réseaux proprement dits, nous renvoyons au numéro spécial de la *Revue Brown Boveri* de juin 1941.

III. Transmission par courant continu.

Si ce système de transmission n'a, jusqu'ici, pas été utilisé sur une grande échelle, la raison en est due à la difficulté de la transformation d'un courant alternatif en courant continu à haute tension en tête de la ligne et de la transformation du courant continu en courant alternatif à l'autre extrémité. Notre grande expérience en matière de construction de mutateurs nous a permis d'établir, à l'occasion de l'Exposition nationale suisse en 1939, une transmission par courant continu à 50 kV d'une puissance de 500 kW, installation qu'il a été possible de montrer en service aux nombreux visiteurs⁵. Le récent développement des mutateurs pour grande puissance, tels que ceux nécessaires pour une transmission à grande distance et à très haute tension, a conduit à de tels progrès que l'on peut, aujourd'hui déjà, envisager la construction d'une transmission par courant continu⁶. Le développement de lampes émettrices à grande puissance nous donne d'autre part un mutateur à vide extrêmement élevé, qui peut également entrer en ligne de compte pour les transmissions à grande distance⁷. Le mutateur à vapeur de mercure possède une cathode à émission pratiquement illimitée, une chute de tension extrêmement faible, mais sa tension de service est limitée actuellement aux environs de 50 kV. Les lampes émettrices ont, par contre, à cause de leur cathode incandescente, une émission limitée, mais un seul étage de ces lampes devrait suffire pour la pleine tension de service ; l'augmentation de la chute de tension par rapport à celle des mutateurs à vapeur de mercure peut être négligée étant donné la tension de service choisie. Selon que l'on utilise des mutateurs à vide très élevé ou des mutateurs à vapeur de mercure, il faudra envisager des couplages différents de façon à utiliser les transformateurs et mutateurs dans les meilleures conditions possibles⁸.

La question, très discutée, de savoir si une transmission à courant continu doit se faire à tension ou à courant constant, a également fait l'objet d'une étude approfondie. Dans une transmission à courant constant, les générateurs et les consommateurs sont couplés en série. Si un consommateur doit être mis hors service, la tension aux bornes de son circuit doit être ramenée à 0 ; ceci étant obtenu, le consommateur sera shunté par un sectionneur. Il s'ensuit immédiatement qu'un interrupteur pour courant continu n'est, dans ce cas, pas nécessaire. Dans un service à tension constante, les générateurs et consommateurs sont couplés en parallèle entre eux. Pour la mise hors service d'un groupe consommateur, il est nécessaire de couper celui-ci du reste du réseau à l'aide d'un interrupteur de puissance. Si l'on relie, conformément à l'hypothèse précisée au début de cet article, une station émettrice et une station réceptrice sans l'aide de stations intermédiaires, la ligne de liaison constitue une simple boucle et l'on peut considérer l'émetteur et le récepteur comme étant reliés entre eux aussi bien en série qu'en parallèle. Si l'on veut exploiter cette ligne

¹ « Réalisations modernes de transmission d'énergie électrique par courant alternatif », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 289.

² Voir *Revue Brown Boveri* avril-mai 1939, p. 92 ; *Bulletin A. S. E.* 1939, cahier 18, p. 548.

³ « Mutateur de grande puissance pour la transmission d'énergie par courant continu », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 322.

⁴ « Mutateur à vide très poussé pour la transmission d'énergie à courant continu », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 319.

⁵ « Le couplage des transformateurs pour la transmission d'énergie par courant continu à très haute tension », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 314.

à courant constant, il suffira de régler les mutateurs en conséquence dans les deux stations. On pourrait aussi, dans les deux stations, brancher du côté alternatif des circuits Boucherot au moyen desquels la transformation d'un système à tension constante en un système à courant constant ou réciprocement peut être obtenue. De tels circuits présentent l'avantage que, même lors de court-circuit, l'intensité du courant reste constante, ce qui n'est pas nécessairement le cas lors de l'utilisation d'un réglage par grilles. Les circuits Boucherot doivent toutefois être établis pour une puissance plus élevée que la puissance transmise. Si de tels circuits peuvent faciliter la commutation des mutateurs, nous croyons toutefois, sur la base d'autres considérations et pour tenir compte du développement ultérieur des réseaux simples en réseaux plus compliqués, qu'il est d'emblée indiqué de donner la préférence à un système de transmission à tension constante et courant variable.

Nous partons ci-après du système à deux conducteurs avec point milieu du système mis à la terre, et considérons en outre le cas d'une ligne unipolaire avec retour par la terre. Dans le système à deux conducteurs avec point médian mis à la terre, il suffit d'isoler la ligne par rapport à la terre pour la moitié de la tension de service ; si le point médian de la distribution est par contre isolé¹, chaque conducteur doit être isolé pour la pleine tension de service. La mise à la terre du point médian de la distribution constitue donc un avantage, d'autant plus grand que lors d'une perturbation (par exemple défaut à la terre permanent ou rupture d'un conducteur), le conducteur siège du défaut peut être déclenché et l'exploitation poursuivie avec le conducteur resté sain, la terre étant utilisée temporairement comme conducteur de retour.

Dans les deux stations, émettrice et réceptrice^a, plusieurs mutateurs en série formeront un groupe de façon à obtenir la tension de service nécessaire. Si un tel groupe n'est pas suffisant pour fournir la puissance nécessaire, on branchera en parallèle avec lui des groupes supplémentaires. Les différents mutateurs travaillent en monophasé, mais il est possible, par un couplage spécial des différents mutateurs et groupes entre eux, d'obtenir une ondulation à 6, 12 ou même 24 phases. Ceci permettra de diminuer dans une grande proportion les perturbations dans les circuits voisins à courant faible¹.

Comme il n'existe actuellement, pour des tensions continues élevées, aucun interrupteur de puissance, la protection du système de transmission doit être basée sur l'extinction du courant par les grilles polarisées des mutateurs. Normalement, la protection sera assurée par la commande des grilles des mutateurs et ce n'est qu'exceptionnellement, en cas de défaillance de la commande des grilles, que les interrupteurs de puissance du côté alternatif de la transmission assureront le déclenchement définitif de cette dernière. Le couplage en série de plusieurs mutateurs entraîne une exécution spéciale de la protection par grilles. En principe, celles-ci auront à assurer l'extinction, d'une part des courants de court-circuit dus à des défauts sur la ligne (le point médian de la transmission étant mis à la terre, chaque défaut à la terre représente un court-circuit), et d'autre part des allumages en retour éventuels dans les mutateurs. Chaque mutateur sera muni en principe de sa protection, constituée par un relais de grille à surintensité. Lors de courts-circuits sur la ligne, les relais de grilles de tous les groupes mutateurs vont fonctionner ; par contre, lors d'allumages en retour dans l'un des

mutateurs, seul le relais de grille de ce dernier réagira. Lors du fonctionnement de son relais de grille, le mutateur est bloqué car son réglage est instantanément commuté sur service courant continu-alternatif. Cette disposition présente l'avantage que, lors de courts-circuits, l'énergie magnétique accumulée sur la ligne, due au courant de court-circuit et à la réactance de la ligne, peut être récupérée dans le réseau alternatif ; ceci contribue à une extinction extrêmement rapide du défaut². Lors d'un allumage en retour dans l'un des mutateurs, seul le relais de grille de ce dernier fonctionne, le défaut s'éteignant sans que le courant de service soit interrompu.

Le réglage de la transmission à courant continu est conçu de façon que la tension à la station émettrice soit constante ou augmente légèrement en fonction de la charge à l'aide d'un compoundage approprié. La puissance transmise sera ajustée du côté récepteur. Le réglage automatique se fera à l'aide des grilles des mutateurs pour le réglage fin, et à l'aide de transformateurs de réglage pour le réglage grossier. Cette combinaison permet d'obtenir le déphasage le plus favorable ; il devrait être possible de maintenir le $\cos \phi$ du côté émetteur au-dessus de 0,9, de telle façon que la puissance réactive nécessaire puisse être livrée sans aucune difficulté par les alternateurs eux-mêmes. Du côté récepteur, il sera par contre nécessaire de maintenir d'emblée un certain déphasage entre le courant et la tension (décalage du point d'allumage), de façon que la commutation des mutateurs continu-alternatif se fasse correctement. D'après les résultats d'expériences obtenus jusqu'ici, il est indiqué, tout au moins pour le moment, de tabler sur un $\cos \phi$ d'environ 0,8 du côté récepteur. Ceci signifie que, dans cette partie de l'installation, une puissance déwattée supplémentaire doit être fournie pour ramener le $\cos \phi$ à 1. A cette puissance déwattée s'ajoutera encore celle du réseau, c'est-à-dire celle absorbée par les consommateurs, dont le $\cos \phi$ est plus petit que 1. Nos calculs comparatifs seront établis pour une compensation à $\cos \phi = 1$, c'est-à-dire dans l'hypothèse que, dans la station réceptrice, seule la puissance déwattée utilisée dans les mutateurs doit être compensée. Cette puissance déwattée est toutefois extrêmement élevée car, exprimée en MVA elle nécessite, dans les hypothèses faites ci-dessus, environ $\frac{3}{4}$ de la puissance wattée transmise. Nous nous plaçons, bien entendu, dans le cas où la transmission d'énergie ne doit se faire que dans le sens station émettrice - station réceptrice. Dans le cas où la transmission d'énergie devrait se faire dans les deux sens, il serait également nécessaire d'installer également à l'autre extrémité les compensateurs de puissance déwattée nécessaires. Ceux-ci pourront être constitués soit par des machines synchrones, soit par des condensateurs statiques.

En liaison avec la question de la fourniture d'énergie réactive, se pose celle de la détermination de la fréquence du réseau alimenté par les mutateurs continu-alternatif à l'arrivée de la transmission. Il faut ici établir une distinction entre mutateurs continu-alternatif à fréquence « imposée » et ceux à fréquence « indépendante ». Dans le premier cas, la puissance transmise aux mutateurs et transformée dans ceux-ci, est livrée à un réseau dont la fréquence est maintenue par des machines synchrones dont la puissance totale est plus élevée que celle fournie par la ligne de transmission. Ces machines synchrones doivent livrer également la puissance réactive nécessaire au fonctionnement des groupes mutateurs. Si, pour une raison ou une autre, la fréquence du réseau varie, elle doit être ramenée à sa valeur initiale par variation de la puissance wattée. On réglera la puissance wattée livrée au réseau au moyen des moteurs d'entraînement des machines synchrones, ou des grilles des mutateurs, de façon à maintenir la fréquence constante. Dans le cas des mutateurs

¹ « Phénomènes d'arcs à la terre dans une ligne de transport d'énergie en courant continu avec point milieu isolé », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 299.

² « Les harmoniques des transmissions à haute tension continue. Données expérimentales sur la première ligne de transport d'énergie Wettigen-Zurich », *Revue B. B. C.*, octobre 1941, p. 330.

¹ Voir *Revue Brown Boveri*, décembre 1934, p. 218.

à fréquence indépendante, la puissance de toutes les machines synchrones du réseau alimenté par ces mutateurs est faible par rapport à la puissance du système de transmission. Les machines synchrones ne sont donc pas suffisantes pour fournir la puissance réactive nécessaire au fonctionnement des mutateurs. Indépendamment du fait que la puissance réactive nécessaire peut être livrée par des compensateurs synchrones ou des condensateurs statiques, on peut dire que, dans le cas ci-dessus, la fréquence est fixée par une condition de résonance. Elle peut être formulée comme suit : L'inductance correspondant à la puissance réactive demandée par les mutateurs et tous les consommateurs d'énergie réactive dans le réseau, doit être en résonance avec la capacité résultante de tous les générateurs d'énergie réactive du réseau. Si une variation de fréquence intervient, elle doit être compensée par une variation de puissance déwattée. Une variation de la puissance déwattée par modification soit de la capacité, soit de la réactance du réseau entraîne une variation de la fréquence. Un réglage grossier de celle-ci sera obtenu par variation de la capacité ou par l'enclenchement de selfs de réglage. Un réglage plus fin sera obtenu par la commande des grilles des mutateurs dans la station réceptrice et, si nécessaire, également dans la station émettrice. Au moyen de ce réglage, l'inductivité des mutateurs due au décalage du point d'allumage se trouve ainsi réglée d'une façon continue. Notons encore que le réglage par les grilles devra également intervenir, mais passagèrement, lors de variations brusques de l'état du réseau.

Il n'existe pas de différence de principe entre l'emploi de condensateurs statiques ou de machines synchrones pour la compensation du courant déwatté ou, cas échéant, pour le réglage de la fréquence. Les machines synchrones présentent l'avantage de pouvoir être réglées plus facilement, tandis que les condensateurs statiques possèdent des pertes plus faibles. Les machines synchrones doivent être raccordées au réseau 110 kV par l'intermédiaire de transformateurs élévateurs, alors que les condensateurs statiques peuvent être raccordés directement. Les condensateurs statiques sont en outre très efficaces pour absorber les courants d'harmoniques supérieurs du côté alternatif des mutateurs. Si la fourniture d'énergie déwattée doit être assurée par des condensateurs statiques, il faudra prendre garde au fait que, lors d'une disparition brusque de la charge wattée sur la ligne de transmission, les machines synchrones doivent assurer le maintien de la tension du réseau, même si la batterie des condensateurs statiques est raccordée à ce moment-là. Pour éviter que les alternateurs viennent à être excités par le réseau, il est nécessaire que la capacité ne dépasse pas une valeur limite déterminée. Cette capacité limite, d'après les expériences faites jusqu'ici, peut être telle que, combinée avec la réactance synchrone de tous les alternateurs, elle détermine une fréquence qui ne soit pas inférieure à la fréquence nominale du réseau. La réactance synchrone est différente selon qu'il s'agit de machines lentes ou à grande vitesse, et il est difficile d'indiquer ici une règle générale. D'après les expériences faites jusqu'ici, on peut admettre en moyenne qu'on pourra tenir en permanence un réseau sous tension normale si la puissance capacitive du réseau ne dépasse pas environ 50 % de la puissance totale apparente des machines synchrones installées. Si la batterie de condensateurs comporte plusieurs unités pouvant être insérées ou déclenchées automatiquement en fonction de la tension, on pourra sans crainte dépasser momentanément cette limite de 50 %. Il faut d'ailleurs également remarquer que, lors d'une interruption de la transmission d'énergie, la tension du réseau alternatif alimenté va de toute façon tomber ; la présence des condensateurs ne peut donc que faciliter le maintien de la tension à sa valeur normale. Il semble donc justifié d'admettre, pour les condensateurs statiques, une

puissance capacitive plus grande ne dépassant toutefois pas la puissance totale des machines synchrones installées. Une comparaison de prix montre que la solution avec machines synchrones et transformateurs élévateurs, et celle avec condensateurs statiques, sont pratiquement équivalentes. Il faut toutefois, dans une telle comparaison, tenir compte du rendement bien meilleur des condensateurs statiques. Nous supposons dans la suite que l'emploi de condensateurs statiques pour la compensation de l'énergie réactive des mutateurs continu-alternatif est admissible. Il sera admis que ces condensateurs statiques sont divisés en plusieurs groupes, pouvant être insérés ou non à volonté selon les besoins du service. Pour obtenir un réglage plus précis, on pourra envisager, pour quelques-uns de ces groupes, un branchement par l'intermédiaire de transformateurs de réglage.

IV. Rentabilité et sécurité de service.

Dans l'étude d'un projet de transmission d'énergie, il est courant d'envisager plusieurs variantes et d'en comparer les avantages et désavantages, afin de déterminer la solution la plus favorable. Généralement, ces variantes diffèrent entre elles sur deux points : 1^o le prix, 2^o la sécurité de service. Souvent la solution la plus chère donne une sécurité plus grande, et l'art est de trouver la solution la meilleure en pesant bien le pour et le contre des facteurs prix et sécurité de service. Si l'on veut comparer des transmissions d'énergie par courant alternatif et par courant continu, il faudra s'efforcer de comparer des projets dont l'étude est basée sur le même degré de sécurité d'exploitation.

Pour bien pouvoir juger la rentabilité d'une ligne de transmission, il faut se baser sur le prix du kWh au commencement de la ligne et le prix du kWh que l'on obtient à l'autre extrémité.

Il n'est pas possible d'admettre, pour le prix du kWh au commencement de la ligne, une valeur fixe et bien déterminée ; en effet, ce prix dépend des conditions locales des variations du débit d'eau, de la consommation d'énergie et des disponibilités des sources d'énergie. Pour pouvoir étudier l'influence du prix de l'énergie sur la rentabilité de la transmission, nous avons admis dans nos calculs deux valeurs extrêmes de 0,7 et 1,4 cts par kWh au commencement de la ligne. Le prix de 0,7 cts est valable pour des projets basés sur des conditions naturelles particulièrement favorables, tandis que le prix de 1,4 cts correspond à des conditions naturelles extrêmement défavorables, pour lesquelles la construction de centrales n'est presque plus rentable, pour autant toutefois qu'il ne s'agisse pas de centrales à accumulation, lesquelles peuvent livrer de l'énergie de pointe à prix élevé. Pour des centrales à accumulation, il faudrait admettre d'autres bases de calcul ; nous nous limiterons dans notre comparaison de prix au cas de centrales au fil de l'eau.

Les frais pour l'intérêt du capital engagé, l'amortissement de celui-ci, l'entretien et l'exploitation, entraînent une dépense annuelle, laquelle dépend elle-même dans une grande proportion des frais de construction ainsi que du système de transmission adopté. Pour tenir compte de cette influence sur le résultat des calculs, on admettra deux valeurs extrêmes en pour-cent du capital investi. Il semble justifié d'adopter un taux plus faible pour l'amortissement, l'exploitation et l'entretien d'une ligne de transmission par courant alternatif, que pour une transmission par courant continu ; en effet, dans ce dernier cas, les stations intermédiaires nécessaires pour la compensation de la puissance déwattée et le maintien de la stabilité nécessitent une augmentation du personnel, qui n'entre pas en ligne de compte pour l'autre système de transmission ; on admettra dans nos calculs les valeurs du tableau suivant, exprimées en pour-cent du capital investi :

	Courant alternatif		Courant continu	
	minimum	maximum	minimum	maximum
Intérêt du capital engagé . . .	5	6	5	6
Amortissement, entretien et exploitation . . .	4	5	3,5	4,5
Total	9	11	8,5	10,5

Pour pouvoir établir une comparaison économique exacte entre les deux systèmes de transmission, il serait évidemment nécessaire de connaître le diagramme de charge du système de transmission correspondant à une année complète. Bien entendu, un tel diagramme peut varier très fortement d'un cas à l'autre et nous avons été obligés de nous limiter à l'étude de deux variantes, correspondant à deux cas de durées d'utilisation de la transmission (8000 et 6000 heures par an).

Les pertes de la transmission représentent une dépense annuelle que l'on évaluera différemment suivant le prix de l'énergie au commencement de la ligne. Dans certaines limites, il est possible d'établir la transmission de façon à obtenir des pertes plus ou moins grandes. Ces pertes devront être déterminées à l'aide de calculs répétés de façon à obtenir le prix minimum pour le kWh en bout de ligne.

La sécurité d'exploitation de toute la transmission ne dépend pas seulement de celle de la ligne de transmission proprement dite, mais également de la sécurité d'exploitation des stations terminales et éventuellement des stations intermédiaires. Si l'on compare une ligne triphasée simple (trois conducteurs) à une ligne à courant continu également simple (deux conducteurs), il faut admettre que cette dernière présente un degré de sécurité d'exploitation plus élevé que la ligne à courant alternatif, car le pourcentage de chances qu'une perturbation se produise sur deux conducteurs est évidemment plus faible que dans le cas de trois conducteurs. Par contre, il faut reconnaître que le degré de sécurité pouvant être obtenu dans les sous-stations à courant alternatif est extrêmement élevé, étant donné le développement auquel on est arrivé actuellement dans la construction du matériel utilisé ; par contre les sous-stations à installer aux deux extrémités d'une transmission par courant continu représentent une nouveauté ; on ne dispose évidemment jusqu'ici d'aucune indication sur le degré de sécurité que peuvent présenter de telles sous-stations. Les perturbations pouvant se produire sur les lignes (bris d'isolateurs, ruptures de conducteurs, etc.) entraînent très souvent des interruptions de longue durée, dues aux réparations à effectuer. Par contre, les perturbations pouvant se produire dans les mutateurs (allumages en retour et courts-circuits), même si elles sont relativement plus nombreuses que celles sur les lignes, ne seront que de très courte durée, car ces défauts sont instantanément supprimés par les grilles des mutateurs ; l'installation sera, normalement dans ces cas, prête à reprendre immédiatement le service. Pour pouvoir établir nos calculs sur une base solide, nous admettons que les deux points ci-dessus (perturbations plus fréquentes sur les lignes à courant alternatif et incertitude sur le degré de sécurité des stations à courant continu), se compensent.

Avant d'entreprendre l'étude d'un projet de transmission d'énergie, il est nécessaire d'examiner la question fondamentale de savoir s'il est indiqué de prévoir dès le début la transmission de la puissance par plusieurs lignes, ou s'il est admissible de n'envisager qu'une seule artère. Bien que, dans le cas le plus défavorable, il faille admettre, même lorsque la transmission est assurée par plusieurs lignes en parallèle, que des interruptions de service sont possibles, il est certain que la

subdivision de la puissance transmise entre plusieurs lignes en parallèle contribue à assurer la permanence de la fourniture d'énergie. Si la technique permettait d'arriver à construire et exploiter avec des frais raisonnables des lignes de transmission à un seul circuit avec une sécurité aussi grande que celle obtenue, par exemple, dans la construction des ponts de chemin de fer, on pourrait alors renoncer aux lignes à plusieurs circuits.

Si l'on veut transporter à une très grande distance une quantité d'énergie élevée au moyen d'une ligne de transmission à un seul terme, c'est-à-dire envisager pour cette transmission la solution la meilleur marché, il est nécessaire auparavant d'examiner les conséquences d'une perturbation sur la ligne. Ces conséquences peuvent varier évidemment d'un cas à l'autre. Si la ligne de transmission est utilisée principalement pour le transport d'énergie d'appoint aux différents consommateurs, on pourra admettre des interruptions de service de certaine durée. Ce sera par exemple le cas pour un réseau urbain important, disposant de grosses réserves thermiques prêtes à prendre la charge et recevant une énergie d'appoint par une ligne de transmission à grande distance. Il en serait de même si la ligne de transmission alimentait un réseau industriel pour lequel des interruptions peuvent être admissibles. Dans de tels cas, on s'arrêtera évidemment à la solution la meilleur marché, c'est-à-dire à la ligne simple à une seule artère.

Si l'alimentation du réseau consommateur dépend essentiellement de la fourniture d'énergie par la ligne de transmission, il est nécessaire que celle-ci comporte au moins deux ternes en parallèle, sinon plusieurs, de façon que, lors d'une perturbation sur l'un des ternes, la transmission d'énergie puisse se faire par celui resté sain. Il est possible de monter les deux ternes sur les mêmes pylônes, ou de prévoir des lignes passant dans des régions différentes. L'avantage de cette dernière solution réside dans la probabilité plus petite de perturbations se produisant simultanément sur les deux artères.

Au point de vue économique, on peut traiter la question du nombre des ternes d'une ligne de transmission de la façon suivante : Admettant que la ligne de transmission possède une seule artère, on évaluera le nombre d'heures total annuel des interruptions éventuelles dans la livraison d'énergie d'où l'on pourra évaluer les frais annuels moyens entraînés par l'arrêt dans la fourniture d'énergie et les dérangements causés. Si ces frais sont inférieurs au supplément de dépenses annuelles entraînées par la construction d'une ligne à artères multiples, on pourra, dans ce cas, se contenter d'un simple terme. Toutefois, il existe souvent des raisons, particulièrement dans les réseaux de distribution publics, qui sont déterminantes dans le choix de la solution adoptée et que les Américains désignent par le terme « Goodwill ». De telle raisons s'opposent, évidemment, aux considérations ci-dessus, et dans de tels cas où ces raisons interviennent, on prévoira d'emblée une ligne à deux ou plusieurs ternes.

Les frais supplémentaires dus à la construction de lignes à plusieurs ternes sont relativement beaucoup moins importants pour les courtes que pour les longues lignes. Remarquons ici qu'il ne serait pas correct de mettre hors service un terme d'une ligne de transmission multiple de plusieurs centaines de kilomètres de longueur pour la simple raison qu'un défaut s'est produit en un point de cette ligne. On peut alors prévoir des postes de couplage, c'est-à-dire des stations intermédiaires au moyen desquelles la ligne sera subdivisée en plusieurs tronçons. Il suffira, par exemple, lors d'une perturbation sur un conducteur d'une ligne double, de déclencher le terme siège du défaut uniquement entre les stations encadrant celui-ci. L'autre terme sur le même tronçon sera surchargé, tandis que le reste de la ligne travaillera dans les conditions normales. Dans les systèmes de transmission à courant alternatif, la

subdivision de la ligne en plusieurs tronçons est imposée d'emblée par la nécessité d'installer des compensateurs d'énergie déwattée le long de la ligne ; il s'ensuit que, pour ce cas de transmission, les sous-stations où sont installés ces compensateurs peuvent être complétées pour servir de stations de couplage sans qu'il en résulte des frais supplémentaires élevés. Dans nos calculs comparatifs, nous admettrons, pour tenir compte de ce point de vue, des stations intermédiaires avec commutation transversale tous les 200 km si c'est possible. Dans les systèmes de transmission à courant continu, utilisant des lignes à plusieurs ternes et avec point médian du système mis à la terre, les conditions sont quelque peu différentes car, lors d'une perturbation sur l'un des conducteurs, il n'est pas nécessaire de mettre hors de service toute la ligne, mais uniquement le conducteur siège du défaut. Par exemple, si l'on admet le cas d'une ligne double avec quatre conducteurs et un défaut sur l'un de ceux-ci, les trois conducteurs sains ne seront surchargés que de $\frac{1}{3}$, car le retour du courant par la terre est admissible, tout au moins temporairement. Il est aussi possible, dans les transmissions à courant continu, tout particulièrement lorsqu'il s'agit de câbles, de prévoir un conducteur de réserve et plusieurs postes de couplage le long de la ligne, ce qui contribue évidemment à augmenter dans une forte proportion la sécurité de la transmission d'énergie. Les calculs suivants des prix de revient sont faits pour des lignes aériennes à courant continu sans station de compensation transversale, en revanche les câbles ont un conducteur de réserve et une station de commutation tous les 200 km.

(A suivre.)

Révision des principes à observer dans l'organisation des concours d'architecture¹.

L'Assemblée des délégués de la Société suisse des ingénieurs et des architectes vient, dans sa séance du 18 octobre 1941, à Zurich, d'adopter une nouvelle édition des « Principes à observer dans l'organisation des concours d'architecture ».

Ce nouveau texte, qui entre immédiatement en vigueur, marque une amélioration certaine sur les anciens principes, adoptés en janvier 1909 et complétés par la « Notice annexe » du 10 mars 1928.

C'est à la suite des travaux du concours Geiser de 1939, dont l'objet était précisément d'améliorer les concours d'architecture et dont nos lecteurs se souviennent (voir « Bulletin technique de la Suisse romande » des 24 octobre, 4 et 10 novembre, 2 et 16 décembre 1939), que fut décidée la révision des anciens textes. Les différentes propositions formulées par les auteurs des travaux primés au concours Geiser furent examinées et longuement discutées par un comité de rédaction nommé par le Comité central de la S. I. A. et composé, rappelons-le, de MM. Max Kopp, architecte, président, F. Brauning, H. Murset, E. Rentsch, J.-P. Vouga, architectes et C. Jegher, ingénieur.

Le texte, remanié à diverses reprises fut ensuite soumis à la Commission des concours avant d'être présenté à l'Assemblée des délégués qui l'adopta en dernier ressort.

Mentionnons en outre que la Fédération des architectes suisses (F. A. S.) s'est associée aux discussions relatives à ces textes qui désormais sont obligatoires pour les membres des deux sociétés qui s'engagent à ne participer à aucun concours dans lequel il serait dérogé aux « Principes ».

Cette nouvelle édition des « Principes », précisons-le d'emblée, contient peu d'innovations sensationnelles. Elle ne fait en somme que d'améliorer la présentation et la lecture de

l'ancienne édition, rendue confuse par la dualité des textes. De plus, les « Principes », excellents par eux-mêmes, manquaient du caractère affirmatif qui leur aurait donné l'autorité nécessaire dans les cas litigieux qui, malheureusement, ne manquent pas. De par son caractère de commentaire, la notice annexe était fréquemment ignorée ou négligée, bien qu'elle contint de nombreuses prescriptions de caractère impératif.

Le nouveau document précise tout d'abord les différents genres de concours auxquels il s'applique et insiste sur les *concours avec mandat d'exécution* en n'autorisant l'ouverture d'un concours sans mandat d'exécution que pour certains cas précis (problèmes d'urbanisme, problèmes spéciaux ou d'un caractère peu défini) ne comportant en aucun cas des plans d'exécution. Il fait également une place à part aux *concours à deux degrés* qu'il recommande pour les problèmes d'une certaine importance.

Les positions respectives de l'*organisateur*, du *jury* et des *concurrents* sont ensuite définies dans quelques chapitres tenant une série d'articles concis et clairement ordonnés. Il est notamment prévu que l'*organisateur* sera invité, dans chaque cas, à faire appel à un spécialiste avant d'ouvrir un concours. Les responsabilités et les devoirs des membres du *jury* et des experts éventuels sont nettement établis. Quant aux concurrents, la question de leurs collaborateurs est désormais réglée par l'article que voici :

ART. 24. — Les *collaborateurs occasionnels* appelés à participer à un concours devront signer le projet et remplir les conditions de participation au règlement. Dans les concours restreints, l'adjonction de ces collaborateurs est interdite.

Il est recommandé aux concurrents de donner les noms de ceux de leurs *collaborateurs attitrés* dont l'activité a une portée artistique et créatrice dans l'élaboration d'un projet de concours.

Cet article a pour but d'exclure, dans la mesure du possible, l'activité des hommes de paille dans les concours limités aux architectes d'une commune ou d'une région.

Désormais, à moins que le règlement ne demande des variantes, celles-ci sont interdites, de même qu'il est interdit de présenter plus d'un projet pour un même concours (art. 23). Cet article cherche à exclure les projets faits pour plaisir au *jury*.

Le chapitre consacré au *règlement* et au *programme* différencie tout d'abord le *règlement* (ensemble des clauses administratives) et le *programme* (ensemble des prescriptions spécialement relatives à l'objet du concours). Il donne la liste minutieuse de tout ce que le *règlement* doit contenir ou mentionner. Ce même chapitre précise également que le *règlement* ne saurait contenir aucune clause restreignant les droits des concurrents. Voici cet article :

ART. 17. — Les prescriptions selon lesquelles les concurrents sont censés reconnaître le *jury* ou l'*organisateur* comme dernière instance pour les questions juridiques relatives au concours ne sont pas valables. La Commission des concours statuera sur toute contestation en matière de droit.

Selon l'art. 4, le règlement forme un lien contractuel entre l'*organisateur* et les concurrents. Les concurrents peuvent, de ce fait, exiger que le *jury* s'en tienne scrupuleusement aux dispositions du règlement. Bien que le *jury* décide en dernier ressort sur toutes les questions d'opinion et d'appréciation, il ne saurait porter atteinte aux droits civils des concurrents, ce qu'il ferait en n'observant pas les dispositions impératives du règlement.

Parallèlement, il est désormais recommandé au *jury* de limiter au strict minimum les dispositions impératives du règlement, partant de l'idée que

« Les solutions seront d'autant plus intéressantes que le programme aura laissé plus de liberté aux concurrents ». (Art. 19.)

Enfin, le nouveau texte s'attache tout spécialement à définir les opérations du *jugement*. Il est clairement dit dans quels cas un projet doit être exclu du jugement ou seulement de la répartition des prix (cas d'un projet enfreignant le programme ou s'en écartant). Un concours n'ayant d'autre but que la réalisation d'un problème d'architecture, il est précisé que tout le poids du jugement doit porter sur le choix du projet se prêtant le mieux à la construction envisagée et que, ce projet découvert, tout doit être mis en œuvre pour que son auteur soit chargé de la construction de l'édifice.

¹ Norme 101 de la Société suisse des ingénieurs et des architectes.