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: 70 (1979)

Heft: 13

Artikel: La foudre et les arbres

Autor: Szpor, S.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-905398

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: 09.07.2025

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

La foudre et les arbres

Par S. Szpor

551.594.21:635.055;

L'article présente un tour d'horizon du problème de la foudre descendant sur les arbres. Il est basé sur [1] *qu'il complète par certaines observations, expériences et considérations propres de l'auteur.*

Der Aufsatz gibt einen Überblick über das Problem des Blitzeinschlages in Bäume. Er beruht auf Lit. [1], *die er mit eigenen Beobachtungen, Untersuchungen und Überlegungen des Autors ergänzt.*

1. Introduction

Le problème de la détérioration des arbres par la foudre est sujet de publications nombreuses depuis plus d'une centaine d'années. Récemment, la grande nomographie sur la foudre [1] a rappelé la matière. En particulier, le dernier chapitre du second volume présente une vue d'ensemble préparée par *A. R. Taylor* du U.S. Department of Agriculture, Forest Service. Ce chapitre est suivi d'une bibliographie de 83 positions, dont une grande partie restera sans doute inconnue aux électriciens. En conséquence, il est utile de présenter ici quelques informations nouvelles pour les électriciens.

L'auteur a publié deux articles au sujet du foudroiement des arbres pendant la guerre déjà [2; 3]. Il s'agit ici de rappeler quelques conclusions prouvées depuis longtemps et pourtant restées peu connues, et de les compléter d'informations sur des résultats nouveaux obtenus tant en laboratoire que dans la nature en Pologne. Quelques nouvelles idées sur la nécessité de la protection des arbres sont également émises.

2. Différences entre les espèces d'arbres

On connaît depuis des siècles les espèces détériorées souvent par la foudre: chênes, saules, peupliers, pins de différentes espèces, mélèzes, épicéas, poiriers. Par contre, les hêtres ne sont détériorés que très rarement: Il est rapporté que dans une forêt ayant 11% de chênes et 70% de hêtres, 58% de détériorations touchaient les chênes, 6% seulement les hêtres [1].

On sait depuis bien longtemps que les espèces endommagées souvent par la foudre ont une écorce épaisse pourvue de sillons, tandis que le hêtre possède une écorce lisse. Ce fait a été expliqué par la localisation de l'étincelle secondaire [2; 3], qui s'amorce le long du tronc sous la tension de choc produite par le courant de la foudre.

Si l'écorce est crevassée, l'étincelle ne choisit pas la surface du tronc, mais s'allume sous l'écorce ou même à l'intérieur du bois. L'étincelle enfermée à l'intérieur du tronc atteint une température de plusieurs milliers de degrés centigrades et produit une pression énorme, due partiellement à la vaporisation de l'eau et à la production de différents gaz. L'explosion de l'écorce et parfois aussi celle du bois situé sous l'écorce est d'autant plus forte, que le courant de choc est plus grand.

Si, au contraire, l'écorce est lisse ou à faibles sillons, l'étincelle s'amorce à la surface, sans provoquer une explosion et souvent sans laisser une trace visible sur le tronc. On connaît des foudroiements mortels de personnes sous des arbres où aucune trace n'a été trouvée sur les troncs.

Cette explication a été vérifiée en 1963 par *Samula* [4], qui a fait couper différents arbres, les a amenés aussi tôt au laboratoire et a appliqué des tensions de choc progressivement augmentées. L'étincelle était localisée à la surface ou sous l'écorce, selon l'épaisseur et les sillons de l'écorce.

Outre l'écorce, c'est la forme de l'arbre qui peut jouer un rôle important. Si les poiriers sont détériorés plus fréquemment que les pommiers, la cause en est leur hauteur plus grande. Dans les bois mixtes des Tatra les épicéas jouent souvent le rôle de paratonnerres pour les pins cembro (pins d'arole), qui sont moins élevés [5].

3. Lésions des arbres causées par la foudre

La largeur du ruban éclaté de l'écorce est le plus souvent située entre 5 et 25 cm [1]. L'auteur a vu un frêne entièrement écorcé. On rencontre rarement des pins cembro [5] dont la largeur du ruban éclaté n'atteint que 1 cm environ. Ce ruban a souvent une forme rectangulaire régulière, sur une longueur de plusieurs mètres (fig. 1). Parfois la forme est irrégulière; des plaies locales atteignent des longueurs de quelques dizaines de centimètres. Dans le premier cas l'étincelle était localisée régulièrement sous l'écorce, dans le deuxième, elle s'est amorcée partiellement sous l'écorce et partiellement à l'extérieur.

Dans l'étude des pins cembro foudroyés, des plaies régulières ont parfois été rencontrées n'allant pas jusqu'au sol, mais disparaissant sur la partie inférieure du tronc, sur une longueur de 1...2 m. La cause en est que l'étincelle a passé du tronc sur quelqu'objet voisin: roche ou branches de pins nains.

L'écorce épaisse et crevassée ne recouvre que des troncs à grands diamètres. Les jeunes arbres et les parties supérieures des arbres âgés ont des écorces relativement lisses. L'explosion se produit donc surtout à la partie inférieure de l'arbre âgé.

Il arrive souvent que l'explosion se produit non seulement à la partie inférieure du tronc, mais aussi au commencement des racines (fig. 2). Des parties visibles des racines sont alors dépourvues d'écorce. Parfois il est évident que des pierres et de la terre végétale ont éclaté à proximité immédiate du tronc foudroyé. Cela arrive surtout sur des crêtes sèches.

Les cimes des arbres foudroyés qui survivent sont parfois sèches. Ce n'est souvent pas dû à l'action directe de la foudre, c'est plutôt l'effet de la réduction de l'alimentation en eau. Sous la plaie dans l'écorce le bois dessèche, d'où résulte le dessèchement des branches, en particulier à la partie supérieure. Sur un mélèze foudroyé avant 1964 on a bientôt remarqué le dessèchement des branches à la cime (fig. 3). Cela pourrait aussi être dû à l'action directe de la foudre, surtout d'une foudre de longue durée.

On note également des plaies marquées dans le tronc en forme de spirale (fig. 4). Sur les pins cembro [5] c'est rare: environ 1% des lésions. Cette forme de l'explosion semble être due aux irrégularités dans les troncs.

L'intérieur pourri de vieux troncs semble être le siège préféré de l'étincelle secondaire. L'explosion complète du tronc en résulte facilement. Un vieil arbre peut donc être abattu par

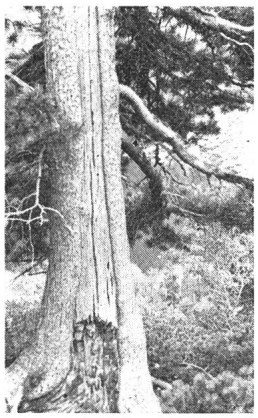

Fig. 1
Pin cembro avec une plaie foudroyée rectangulaire

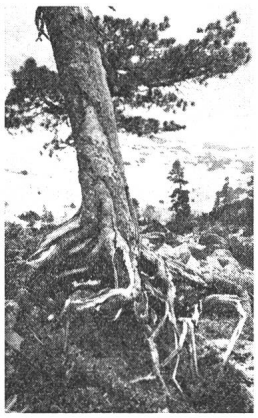

Fig. 2
Pin cembro avec des racines découvertes par la foudre

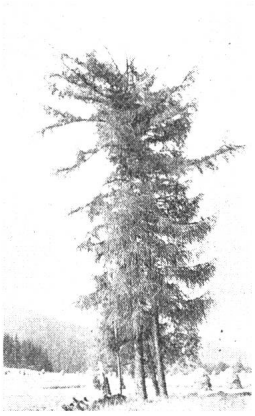

Fig. 3
Mélèze avec une couronne desséchée par la foudre

Fig. 4
Pin cembro avec une lésion en spirale

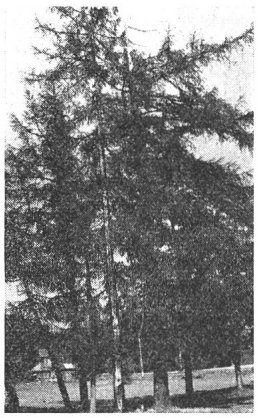

Fig. 5
Mélèze avec une plaie récemment foudroyée à côté du mélèze avec la couronne desséchée de la fig. 3

la foudre non seulement à cause d'un courant de choc très puissant, mais aussi à cause de la vermoulure intérieure.

Suivant les observations en Pologne les épicéas sont fréquemment détruits par la foudre: fendus et renversés. Au contraire les pins cembro sont très résistants. Dans les Tatras un seul exemplaire abattu par la foudre a été trouvé, mais plusieurs arbres renversés par le vent. Beaucoup de pins cembro survivent des centaines d'années après le foudroiement qui a enlevé une grande partie de leur écorce.

4. Groupes d'arbres

La détérioration de tout un groupe d'arbres dans une forêt ou dans une plantation par une seule foudre n'est pas observée souvent. Dans les études sur les pins cembro [5] un seul cas a été rencontré où deux pins cembro très proches ont des troncs avec des plaies foudroyées.

En outre nous connaissons un autre groupe isolé de quelques arbres. Une foudre y a frappé un grand mélèze vers 1963; la cime en a été partiellement desséchée (fig. 3), le tronc ne porte pas d'autres traces de la foudre; en bas l'étincelle secondaire a passé par des branches sur un bouleau voisin de faible hauteur, qui a été abattu. Environ 10 années plus tard une autre foudre a frappé un grand mélèze du même groupe, en laissant une longue et large plaie sur le tronc, fig. 5.

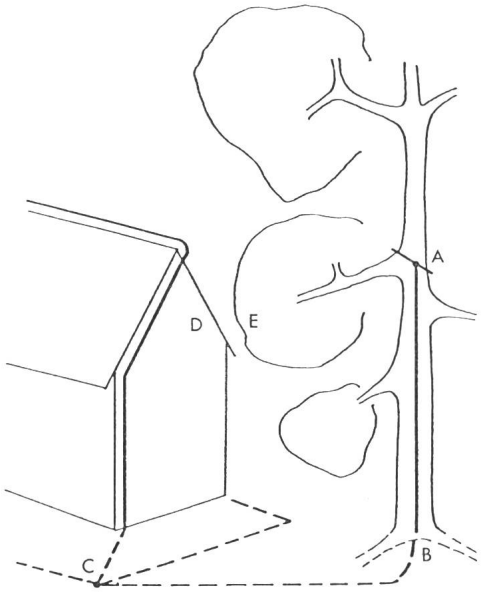

Fig. 6 Protection d'un arbre à côté d'un bâtiment, solution défavorable
Conducteurs indiqués en traits forts

De grands dégâts sont causés dans les plantations de citrus en Floride. Selon [1], la plupart des foudroiements sur des groupes de citrus affecte moins que 20 arbres. Cependant quelques foudroiements en août 1972 ont affecté 3255 arbres sur 52 hectares (750 × 750 m). Six mois après l'orage, 2327 de ces arbres étaient morts ou mourants et ont été enlevés. Le mécanisme d'une telle catastrophe est inconnu. Il s'agit peut-être de lésions passant entre les arbres par les racines. Cependant une distance d'environ 750 m n'est pas concevable, puisqu'il ne s'agit pas de rochers ni de sable très sec. Il faut admettre que ce n'est pas une action directe de la foudre, mais une action secondaire des insectes ou des microorganismes.

5. Incendies des forêts

Dans certaines régions des incendies de forêts sont attribués à la foudre. Selon [1] 40 % des incendies des forêts en Colombie Britannique et 60 % aux Etats Unis occidentaux sont causés par la foudre. En Pologne on note beaucoup d'incendies de forêts, mais on attribue la plupart à l'imprudence de l'homme avec le feu.

Le feu s'allume surtout lors d'une foudre de longue durée. L'étincelle secondaire le long du tronc produit des gaz inflammables, qui explosent en se mêlant à l'air et en allumant le bois, surtout ses petits fragments. Le feu peut s'amorcer aussi au sol, si des étincelles se produisent entre les racines et le sol.

6. Rôle des résistances électriques

Selon [2] les résistances électriques des troncs, branches et racines n'ont presque jamais d'influence sur le choix de l'arbre par la foudre. La résistance du tronc et des racines est presque toujours trop petite pour repousser le leader descendant [6]. Les grandes différences entre les résistances spécifiques des différentes espèces d'arbres ne joue aucun rôle dans les statistiques des foudroiements. Les espèces foudroyées fréquemment présentent aussi bien de petites résistances spécifiques (saules

et peupliers par ex. 30 Ωm) que des valeurs moyennes (chênes par ex. 100 Ωm) et grandes (pins, mélèzes, pins cembro par ex. 200 Ωm).

Exceptionnellement, de très jeunes arbres peuvent avoir des résistances de tronc suffisamment grandes pour repousser le leader descendant vers d'autres arbres, moins hauts mais à résistance plus petite. De telles situations sont rares.

La résistance électrique du tronc peut intervenir pour la capacité d'écouler le courant de foudre par des arbres de grands diamètres. On rencontre rarement de tels arbres. Ce sont surtout des saules et des peupliers. Ces arbres présentent des résistances suffisamment petites, pour que les tensions produites par les courants de foudre ne puissent pas détériorer les troncs.

7. Protection des arbres séculaires

Certains arbres séculaires sont si précieux, que leur protection contre la foudre semble justifiée. Ils sont souvent très hauts, d'où une grande probabilité de foudroiement.

Dans les Tatras 5 pins cembro d'environ 1000 ans ont été trouvés. Trois d'entre eux ont été gravement détériorés par la foudre il y a des centaines d'années [5]. Un d'eux a récemment été frappé à nouveau; une grande portion de bois vermoulu à été arrachée en bas à cette occasion, tandis qu'aucune lésion n'est visible dans la partie supérieure. Les deux pins cembro de 1000 ans évités par la foudre sont situés dans des forêts mixtes, où de grands épicéas jouent le rôle de paratonnerre. Un de ces pins avait une longue excavation dans le tronc; il a été abattu par le vent récemment: non pas cassé au niveau de l'excavation, mais déraciné partiellement.

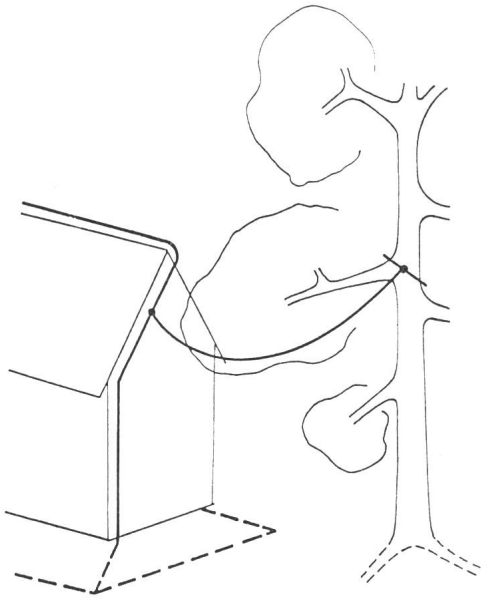

Fig. 7 Protection d'un arbre à côté d'un bâtiment, solution favorable
Conducteurs indiqués en traits forts

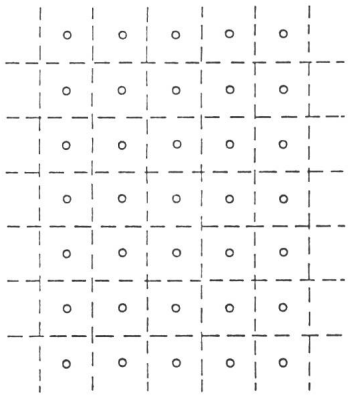

Fig. 8 Protection d'une plantation de citrus

Il a été proposé à la Direction du Parc National des Tatras d'installer sur les grands pins cembro des paratonnerres légers. Cependant cette solution a été abandonnée pour ne pas intervenir dans la nature.

On s'occupe de la protection des arbres séculaires surtout en Angleterre et aux Etats-Unis. On attache un conducteur au tronc aussi haut que possible, on l'amène jusqu'au sol et on le met à la terre par des prises soit horizontales, soit verticales. Exécutée conformément aux prescriptions, une telle protection est très coûteuse: Aux Etats-Unis le coût de la protection d'un sapin de 20 m de hauteur et de 80 cm de diamètre répondant au Code Américain se montait en 1975 à 200...700 dollars.

Taylor [1] suggère d'avoir recours au paratonnerre léger, introduit en Pologne avec succès en 1956 [7]. Ces paratonnerres légers sont utilisés également sur des arbres au voisinage immédiat de bâtiments à la campagne. On y emploie un fil en acier galvanisé de 10 mm², également pour des prises de terre.

Pour les arbres séculaires, on pourrait remplacer l'acier par du cuivre pour une résistance à la corrosion plus grande. La fusion du fil sous un courant de foudre très grand, dépassant 100 kA, ne causera pas une détérioration importante du tronc. On remplacera alors simplement le fil.

Il faut éviter des constructions rigides, car il faut laisser au tronc la possibilité de s'allonger et de grossir. Pour éviter l'emploi de clous, on fixe le fil aux branches par des boucles présentant assez de jeu.

8. Protection des arbres près des bâtiments

In ne suffit pas de protéger un bâtiment contre la foudre en oubliant des arbres plus hauts au voisinage immédiat. Si la foudre frappe l'arbre, le courant de choc produit une telle tension le long du tronc qu'une étincelle secondaire peut être amorcée entre certaines branches et le bâtiment si la distance est relativement petite. Si les distances entre les branches et le bâtiment sont grandes, l'étincelle suit le tronc.

Compte tenu du gradient d'amorçage environ 2 fois plus petit pour le tronc que pour l'air, des prescriptions [1] exigent que la distance entre les branches et le bâtiment fasse au moins la moitié de la voie le long du tronc. De façon générale cette règle semble juste. Certains bâtiments peuvent exiger une sécurité plus grande, par ex. en cas de danger d'explosion. On pourrait prévoir une distance branche – bâtiment égale au chemin le long du tronc. Si ce n'est pas possible, l'arbre doit être protégé avec grande précaution et compte tenu des objets conducteurs à l'intérieur du bâtiment et des gens, qui peuvent s'y trouver.

Pour inclure les arbres dans le système de protection du bâtiment, on trouve parfois la solution représentée sur la fig. 6. C'est une méthode défavorable à cause des tensions induites. Le courant de choc descendant le conducteur AB produit un flux magnétique dans la boucle à peu près rectangulaire ABCDEA; D représente par ex. un grand objet métallique dans le bâtiment, à distance relativement petite de la branche E. La tension inductive correspondant au flux agit sur la distance isolante DE et peut y amorcer une étincelle secondaire. Il est

donc préférable d'utiliser la solution représentée sur la fig. 7. Le danger de la tension induite n'y existe pas. De plus, on y emploie moins de conducteurs et moins de main-d'œuvre.

9. Protection des plantations de citrus

Selon [1], on n'a pas prévu de système de protection évitant les dégâts énormes dans les plantations des citrus. On pourrait prévoir un réseau de conducteurs dans la terre, qui ne serait pas connecté aux arbres (fig. 8). La foudre frappant un arbre peut alors le détériorer, mais le réseau de terre éliminera la propagation par les racines sur d'autres arbres.

Ce réseau de terre pourrait être réalisé en cuivre de 10 mm^2, placé dans des sillons creusés à la charrue. En général on exige pour des mises à la terre horizontales une profondeur de 0,5...1 m. Dans le cas présent, on pourrait se contenter de 0,3 m. Les liaisons aux croisements des fils pourraient être faites par du fil de cuivre sans soudure ou construction plus chère.

Bibliographie

[1] *R. H. Golde:* Lightning. Vol. I/II. London/New York/San Francisco, Academic Press, 1977.

[2] *S. Szpor:* Résistances électriques des arbres et problèmes des foudroiements. Recueil de Travaux Scientifiques des Polonais Internés en Suisse 2(1944), p. 523...570.

[3] *S. Szpor:* Elektrische Widerstände der Bäume und Blitzgefährdung. Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen 96(1945)9, S. 209...219.

[4] *J. Samula:* The impulse strength of trees and conclusions for lightning protection. Acta Technica Gedanensia –(1963)2, p. 223...239.

[5] *S. Szpor* e.a.: Topographie et fréquence de la foudre. I. Le pin cembro comme enregistreur séculaire de la foudre. Acta Geophysica Polonica 17(1969)–, p. 331...358.

[6] *S. Szpor:* Attraction sélective de la foudre, rôle des résistances électriques. Rev. Gén. Electr. 55(1946)1, p. 25...31.

[7] *S. Szpor:* Paratonnerres ruraux de type léger. Rev. Gén. Electr. 68(1959)4, p. 263...270.

Adresse de l'auteur

Prof. Dr. *Stanislaw Szpor*, Institut des Hautes Tensions et des Appareils Electriques, Ecole Polytechnique de Gdansk, Gdansk, Pologne.

Literatur – Bibliographie

DK: 621.311 SEV-Nr. A 737

Elektrische Kraftwerkstechnik. Grundlagen, Maschinen und Geräte, Schutz-, Regelungs- und Automatisierungstechnik. Von *Helmut Schaefer.* Berlin/Heidelberg/New York, Springer-Verlag, 1979; 8°, XI/131 S., 94 Fig. – Preis: bro. DM 52.–.

Dem Inhaber des Lehrstuhles für Energiewirtschaft und Kraftwerkstechnik der TH München ist es gelungen, seinen Vorlesungsstoff in knapper, übersichtlicher Form zu präsentieren. Der bewusste Verzicht auf theoretische Grundlagen ermöglicht dem Praktiker wie dem Studenten höherer Semester einen raschen Zugriff zum anwendungsorientierten Stoff. Das Verständnis für das Zusammenwirken der einzelnen Komponenten und Systeme wird dank den praxisnahen Erläuterungen rasch gefunden.

Nach einer knappen Einführung über die Entwicklung von Kraftwerkstechnik und Verbundbetrieb werden die Grundbegriffe der Elektrizitätswirtschaft dargelegt und grundsätzliche Überlegungen zur Konzeption von Kraftwerken angestellt. Es folgen ausführlichere Beschreibungen der Hauptelemente Generatoren, Transformatoren und Verteilungsanlagen. In gleicher Weise werden Schutzeinrichtungen, Spannungs- und Blindleistungsregelung, Frequenzleistungsregelung und die Automatisierung im Dampfkraftwerk behandelt.

Dank den vielen Abbildungen und der textlichen Beschränkung lässt sich jedes Kapitel mühelos innert kürzester Zeit überblicken, was für den Praktiker äusserst wertvoll ist. Ohne Angst vor zu hohem Zeitaufwand darf er sich an die Auffrischung seiner Kenntnisse heranwagen.

Der Umstand, dass fast ausschliesslich das Dampfkraftwerk als Vorlage dient, entspricht wohl der Bedeutung dieses Kraftwerktyps in der Bundesrepublik. Einige zusätzliche Hinweise zur maschinellen Ausrüstung wie auch zu energiewirtschaftlichen Fragen hätten den Stoff noch besser abgerundet. Der interessierte Leser wird aber in einem Literaturverzeichnis auf einschlägige Bücher und Zeitschriftenaufsätze aufmerksam gemacht.

Das Buch kann jedem, der mit Energietechnik zu tun hat, bestens empfohlen werden. *K. Thalmann*

DK: 620.9 SEV-Nr. A 738

L'énergie. Le compte à rebours. Par *Thierry de Monbrial.* Rapport au Club de Rome. Recommandations de Robert Lattès et Carroll Wilson. Paris, Editions Jean-Claude Lattès, 1978; 8°, 318 p., tab. 33.

Ce livre est un appel angoissant à toutes les personnes responsables, de placer le problème de l'énergie au centre de leurs préoccupations étant donné que, de par ses aspects économiques, sociaux et politiques, «la problématique énergétique est au cœur du devenir de la planète».

En guise d'introduction, R. Lattès et C. Wilson, tous deux membres du Club de Rome, le second également dirigeant du rapport du workshop on alternative energy strategies (WAES) présentent leurs recommandations placées sous le thème de «alerte mondiale à l'énergie».

Le rapport proprement dit se compose de deux parties et d'une série d'annexes, en particulier de tableaux statistiques. La première partie est une rétrospective («la crise des énergies politisées») où l'auteur analyse plus particulièrement ce qui s'est passé depuis octobre 1973, les réactions aux événements de 1973, la crise de l'énergie nucléaire et l'évolution de la politique de l'énergie. La seconde partie est prospective («la réalité de la crise de l'énergie»): L'évolution de la demande globale d'énergie conduira à un déséquilibre du marché du pétrole, qu'il faudra compenser par d'autres sources, limitées elles aussi. Une hausse massive du prix du pétrole ne manquera pas d'avoir des effets économiques bouleversants. Il faut prévoir une nouvelle crise de l'énergie, mais pour tenter de l'éviter. Le compte à rebours consiste précisément à anticiper les situations énergétiques de l'avenir, car c'est la demande qui devra s'adapter à l'offre.

L'auteur présente lui-même un résumé de son rapport. Ses conclusions sont impératives: «Pour éviter une catastrophe, ou éviter ses conséquences si elle survenait, il faut avoir pensé et agi longtemps avant. Au plan international, cela implique des sacrifices volontaires de souveraineté.»

C'est un livre bien ordonné et systématique, écrit en un style aisé, mais d'un contenu grave qui fait réfléchir. Et ce que l'auteur souhaite surtout: qu'il fasse agir. *Eb*