

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 109 (1983)
Heft: 11

Artikel: Etat et perspectives des recherches sur la protection des eaux en Suisse
Autor: Bundi, Ueli
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-74954>

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: 18.03.2025

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

Etat et perspectives des recherches sur la protection des eaux en Suisse

par Ueli Bundi, Dübendorf

Les agglomérations et l'industrie en Suisse sont pour la plus grande part rattachées à des stations d'épuration. Du fait de la forte densité des activités humaines, de l'utilisation de produits chimico-synthétiques et des strictes exigences de qualité auxquelles doivent satisfaire les eaux, il sera nécessaire de poursuivre et multiplier les efforts. La recherche et le développement se concentrent de plus en plus sur les domaines suivants:

- Détection, comportement et effets des substances chimico-synthétiques
- Charge chimique et physique que peuvent supporter les eaux qui doivent satisfaire à de strictes exigences écologiques
- Epuration plus poussée des eaux usées et lutte contre les causes du mal dans l'industrie
- Optimisation des installations existantes de protection des eaux.

Annuellement, les dépenses pour la recherche et le développement dans le secteur public (y compris les universités) se montent à environ 170 années-personnes. La recherche et le développement continueront à avoir besoin de contacts intensifs sur le plan international.

1. La recherche sur la protection des eaux en considération des problèmes: évolution

Les tâches de la recherche et du développement (R + D)

La figure 1 esquisse le cadre technique et scientifique dans lequel s'inscrit la recherche sur la protection des eaux:

Les eaux sont soumises à de nombreuses charges qui transforment directement et indirectement leurs propriétés physiques, chimiques et biologiques. L'état des eaux, caractérisé par une multitude de facteurs, doit permettre des exploitations déterminées et offrir aux organismes aquatiques des conditions de vie appropriées. Les divers buts d'exploitation sont en général fixés par des décisions politiques.

Le complexe recherche et développement (R + D) poursuit en résumé les tâches suivantes:

- identification et quantification des charges;
- conception de mesures en vue de réduire les charges des eaux;
- détermination des causalités entre charges et état des eaux;
- quantification des propriétés exigées des eaux afin de satisfaire aux conditions de vie et exploitations prévues.

A l'intérieur de ce cadre général, les activités de R+D plus ou moins complexes sont nombreuses. L'ensemble des disciplines impliquées comprend — pour ne citer que les plus courantes — la construction hydraulique, la technique de traitement, la chimie, la biologie, l'écologie, le droit, l'économie et la politologie. Alors que la recherche fondamentale est essentiellement monodisciplinaire, les questions étudiées par la re-

cherche orientée vers l'application sont souvent pluridisciplinaires.

La question de savoir quels problèmes de R + D sont prioritaires à un moment déterminé dépend de la pollution des eaux, des exigences concernant la qualité des eaux, des mesures de protection des eaux et, partant, de la conscience générale à propos des problèmes en question, ainsi que du niveau même de la recherche et du développement. De plus, l'orientation et les capacités intuitives des chercheurs participant à ces études jouent un rôle essentiel.

Quelques indications sur le développement du complexe R + D en Suisse

La recherche et le développement suisses en matière de protection des eaux avaient et ont encore lieu dans le cadre de contacts internationaux et ne diffèrent pas essentiellement de ceux de beaucoup d'autres pays industrialisés.

Summary

In Switzerland the major part of communal and industrial wastewater is treated by sewage plants. However, due to high density of anthropogenic activities, growing use of synthetic chemicals and stringent water quality objectives additional measures are needed. As a result, research and development are dealing more and more with the following topics:

- Detection, behaviour and effects of synthetic chemicals
- Studies on the physical and chemical carrying capacity of natural waters in compatibility with stringent ecological standards
- Advanced wastewater treatment as well as preventive measures in industry
- Optimization of the existing water pollution control structure.

The yearly expenditure for R + D in the public sector (including universities) amounts to about 170 person/years. Future R + D activities will continue to depend on extensive international contacts.

Durant la période initiale (jusque dans les années cinquante), il s'agissait principalement de faire du travail d'information ainsi que de transposer les connaissances acquises à l'étranger aux conditions suisses. A cela vinrent s'ajouter des travaux de développement de la technique des canalisations et les recherches et le perfectionnement de la technique de l'épuration mécano-biologique. L'étude et l'amélioration de l'élimination du phosphore (3^e étape) étaient un autre domaine prioritaire. En ce qui concerne la recherche sur les lacs et rivières, l'intérêt se fixa d'abord sur les effets des eaux résiduaires brutes ou épurées sur les eaux courantes. Puis la recherche sur l'eutrophisation des lacs, c'est-à-dire principalement les conséquences de la charge grandissante en phosphore, gagna en importance.

Du fait de l'énorme développement de la civilisation, la production de substances polluantes augmenta très rapidement durant les trois dernières décennies. A cela vint s'ajouter une augmen-

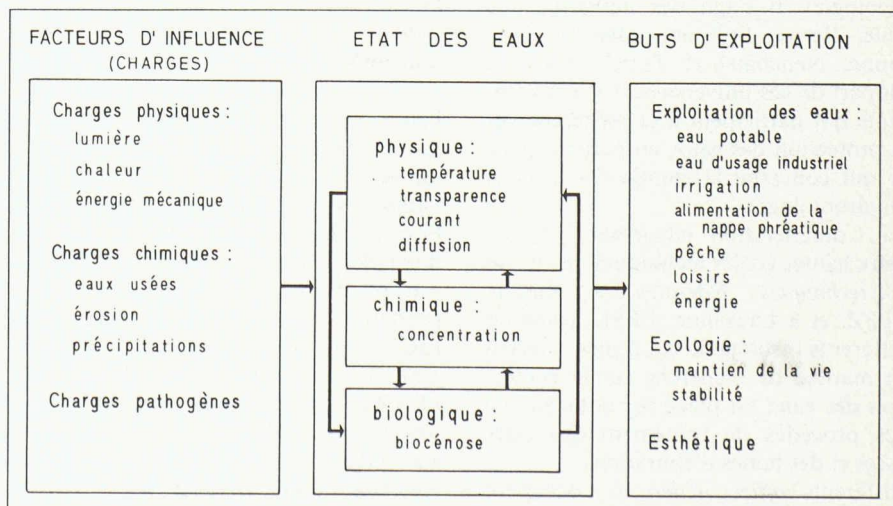


Fig. 1. — Relations entre les charges des eaux, l'état des eaux et les buts d'exploitation.

tation croissante du nombre de *nouveaux types de polluants* (métaux lourds, substances chimico-synthétiques). Parallèlement, les exigences concernant la qualité des eaux en tant qu'objets d'exploitation économique, esthétique et comme zones de loisirs devinrent toujours plus rigoureuses. La *stratégie initiale de la protection des eaux* préconisant une solution uniforme des problèmes dans tout le pays (épuration en commun des eaux usées industrielles et domestiques dans des stations d'épuration mécano-biologiques) a dû être *réadaptée et complétée*.

La science se trouvait et se trouve toujours confrontée à de nouveaux problèmes plus subtils. Son orientation initiale axée sur les besoins immédiats et pratiques ne pouvait valoir plus longtemps. Un approfondissement dans le sens de la recherche fondamentale et un renforcement de la recherche appliquée devinrent indispensables, et cette évolution se poursuivra sans aucun doute.

2. Quels sont les institutions qui s'occupent de R+D?

Délimitation

Les présentes réflexions se limitent au domaine *R+D scientifique et technique* effectué par des *institutions publiques*. On ne traitera pas des aspects *juridiques, économiques et politiques* qui — bien que négligés ici — jouent un rôle essentiel dans l'évolution de la protection des eaux. On ne parlera pas non plus des activités de *l'industrie* vouées principalement à des travaux de développement de la technique de traitement.

Les partenaires R+D

La figure 2 donne un aperçu des partenaires publics travaillant dans le cadre de la recherche fondamentale, de la recherche appliquée et du développement. Il y a en Suisse sept *universités* publiques, chacune étant sous la direction d'un canton (plus une haute école de sciences économiques et une faculté de théologie). Il s'agit des universités de Bâle, Berne, Fribourg, Genève, Lausanne, Neuchâtel et Zurich. Dans la plupart de ces universités, il y a des instituts qui participent à la recherche sur la protection des eaux, en particulier en ce qui concerne la chimie des eaux et l'hydrobiologie.

La Confédération elle-même possède deux hautes écoles techniques, les *écoles polytechniques fédérales* à Zurich, EPFZ, et à Lausanne, EPFL. Dans les différents instituts de ces écoles, l'accent en matière de recherche sur la protection des eaux est placé sur la technique des procédés de traitement des eaux usées et des boues d'épuration.

Différents *offices fédéraux* s'occupent également de R+D. L'Office fédéral de la protection de l'environnement, qui a

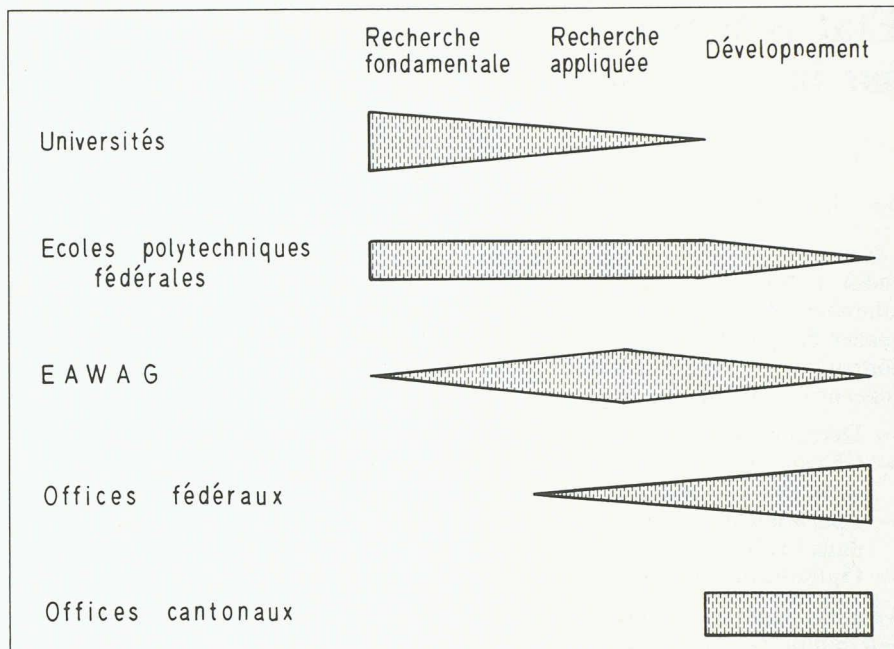


Fig. 2. — Orientation des partenaires R+D publics travaillant à la protection des eaux.

pour tâche de surveiller et coordonner l'exécution par les cantons des dispositions de protection des eaux, confiée à des bureaux privés et publics des travaux de R+D comportant un large éventail de problèmes. L'Office fédéral de l'agriculture possède sept instituts de recherches agricoles, dont certains étudient eux aussi des problèmes de protection des eaux relatifs à leur secteur particulier.

De même, les *organes cantonaux* chargés de la protection des eaux exécutent ou font exécuter des travaux qui tombent sous la catégorie R+D et contribuent ainsi à la solution de questions primordiales d'appréciation, de surveillance, d'assainissement et de technique de traitement des eaux.

Institut fédéral pour l'aménagement, l'épuration et la protection des eaux (EAWAG)

L'EAWAG, fondée en 1945, est la plus importante institution de recherche suisse sur la protection des eaux. En tant qu'*annexe des écoles polytechniques fédérales*, son statut est semblable à celui d'un institut universitaire. Ses tâches consistent à faire de la recherche et de l'enseignement et à conseiller des institutions publiques et privées dans les domaines de la protection des eaux, de l'approvisionnement en eau et de la gestion des déchets. Elle fournit annuellement des prestations de travail d'environ 160 années-personnes (y compris les prestations de travail fournies par environ 10 étudiants de l'EPFZ qui préparent leur thèse à l'EAWAG). A l'EAWAG, la *recherche sur la protection des eaux est prioritaire*. Conformément au budget annuel, les dépenses sont couvertes pour environ 80% par la Confédération, environ 10% des moyens proviennent de travaux d'ex-

pertises et le reste de contributions accordées par le Fonds national suisse de la recherche scientifique, ainsi que d'autres fonds.

En fait, l'EAWAG occupe une *fonction clé entre la science et la pratique*. La recherche axée principalement sur les buts de la protection des eaux en Suisse est motivée par les problèmes pratiques, les connaissances acquises par la recherche fondamentale internationale et l'analyse prévisionnelle des problèmes. Par rapport à d'autres institutions de R+D, l'EAWAG se caractérise par le fait qu'un *large éventail de disciplines* y est représenté. Cela lui permet d'intégrer les efforts de plusieurs disciplines dans des projets de recherche orientés vers des problèmes pratiques.

Investissements R+D

L'ensemble des institutions publiques produisent un total annuel de prestations de travail d'environ 170 *années-personnes* en matière de R+D. On estime comme suit la part respective de ces diverses institutions :

Universités	15-20%
Ecoles polytechniques fédérales	10-15%
EAWAG	40-45%
Offices fédéraux	10-15%
Organes cantonaux	10-15%

3. Orientation R+D actuelle

Problèmes de protection des eaux

L'explication suivante des *problèmes de protection des eaux* considérés comme urgents ces dernières années donne des indications pour l'appréciation de l'aperçu suivant de R+D (tableau 1).

Il y a quelques années encore, il s'agissait avant tout de réaliser une infrastructure des eaux usées dans tout le pays.

TABLEAU 1: Aperçu des domaines R + D et évaluation de la part des différents domaines au total des investissements R + D publics en faveur de la protection des eaux en Suisse.

1	Canalisation	5%
	Hydraulique, dynamique de l'écoulement, transport des substances, bassins pour les eaux de précipitations, analyse de systèmes.	
2	Technique de traitement des eaux usées	20%
	Élimination et transformation de composés de C, P et N, séparation des substances solubles et non solubles, élimination et comportement des métaux lourds et de substances chimico-synthétiques, combinaisons de différents procédés, réglage.	
3	Boues d'épuration	10%
	Déshydratation des boues, stabilisation aérobie et anaérobie des boues, hygiénisation des boues, décèlement de substances nocives, utilisation en agriculture, tolérance des sols.	
4	Chimisme des eaux superficielles	10%
	Méthodes analytiques, processus chimiques et physico-chimiques, processus de mélange, de transport et de diffusion dans les eaux, échanges de substances entre les sédiments et l'eau, relation entre le fond et le chimisme de l'eau, échanges de substances entre l'eau et l'atmosphère.	
5	Biologie et écologie des eaux superficielles	20%
	Rapports entre les facteurs d'environnement et les organismes individuels ou les biocénoses, conséquences biologiques de l'eutrophisation, effets biologiques des substances toxiques, dynamique des populations de poissons, rapports entre la végétation terrestre et les biocénoses aquatiques, autoépuration biologique.	
6	Eaux souterraines	10%
	Hydrologie des eaux souterraines, chimisme, processus d'autoépuration (bactéries, virus, substances chimico-synthétiques, composés pétrolières, métaux, etc.) dans les eaux souterraines et dans leur couche supérieure, biocénoses des eaux souterraines, problèmes de l'exploitation thermique.	
7	Gestion de la protection des eaux	15%
	Méthodes de planification, planification pilote, surveillance des eaux, modèles d'eutrophisation, modèles d'autoépuration, modèles d'eaux souterraines.	
8	Substances dangereuses pour l'environnement	10%
	Chemins parcourus par les métaux et les substances chimico-synthétiques et leur séjour définitif dans l'environnement, transformations chimiques et biologiques, accumulation dans la chaîne alimentaire, toxicologie de l'environnement (eaux).	
		100%
		= 170 années-personnes par an

Partant de cette base, on perfectionne et adapte les mesures à prendre en tenant compte des conditions spécifiques des différentes eaux et de leur aire de drainage. Ce faisant, on essaie de parvenir au but fixé par la loi, selon lequel toutes les eaux devraient atteindre un état analogue, à faible charge et proche de l'état naturel.

La protection des eaux actuelle, plus fortement préoccupée des nuisances,

implique que l'on connaisse les charges en substances polluantes tolérables pour les eaux. Pour être à même de les évaluer et de les quantifier, il est indispensable de bien comprendre les processus déterminants — d'ordre physique, chimique et biologique — se déroulant dans les eaux, ainsi que les rapports existant entre les biocénoses et les conditions qui règnent dans l'environnement. L'étude et la recherche de ces processus essentiels revêtent une importance capitale.

La production quantitative et l'utilisation de substances dangereuses pour l'environnement (en particulier les produits chimiques synthétiques tels que les hydrocarbures halogénés, les phénols, etc.) augmentent continuellement. Pour écarter toute menace de la vie humaine, végétale ou animale, il serait nécessaire dans bien des cas d'émettre des prescriptions restrictives. Or, les informations sur le comportement, les endroits où se trouvent ces substances dangereuses et leurs effets précis manquent.

Aujourd'hui, presque toutes les agglomérations et les entreprises industrielles sont rattachées à des stations d'épuration. Cependant, dans beaucoup de bassins de drainage à forte densité de population, ou forte densité industrielle ou agricole, il y a lieu de recourir à des mesures additionnelles. En les concevant, il faut non seulement tenir compte des conditions posées par les stations d'épuration existantes, mais aussi y savoir intégrer de nouveaux procédés. De nombreux travaux de R + D se rapportant à la technique de traitement seront nécessaires afin de résoudre les multiples questions surgissant dans ce contexte.

L'assainissement des petites sources d'eaux usées dispersées dans les régions rurales a déjà commencé. On s'efforcera d'ordonner des mesures peu coûteuses et adaptées aux conditions locales. Les données y relatives ne sont que partiellement disponibles.

Afin de pouvoir adapter les mesures de protection des eaux aux besoins spécifiques des eaux elle-mêmes, il faut avoir de bonnes connaissances de l'état chimique et biologique des eaux. Il y a donc lieu de développer les méthodes analytiques et de les mettre à l'essai dans la pratique.

L'intensification de la production et de la productivité agricoles ont amené une forte augmentation de la charge imposée aux eaux (en particulier le phosphore et le nitrate). Il importe donc, par des mesures appropriées, de limiter cette charge et, si possible, de la réduire.

Les diverses informations sur la teneur en métaux lourds des boues d'épuration soulèveront successivement des réserves envers l'utilisation agricole de ces boues sur une grande échelle. Il importe de prendre des mesures pour réduire la teneur en substances nocives des boues et d'approfondir nos connaissances sur la

tolérance en métaux des sols. Aussi faut-il envisager d'autres méthodes d'élimination.

Il manque dans cet aperçu les interventions dans les lits des lacs et rivières ainsi que dans le régime des eaux fort nombreuses dans tout le pays et qui ont porté de graves atteintes à l'état des eaux. La portée de ces interventions n'a pas suscité toute l'attention qu'elle eut méritée. C'est pourquoi ces interventions ne peuvent être comptées parmi les problèmes généralement considérés comme étant de première importance ces dernières années. Elles ne seront donc traitées qu'au chapitre suivant.

Tableau synoptique R + D

L'énorme diversité des tâches de protection des eaux et des disciplines nécessaires pour les résoudre rend la systématisation du domaine R + D difficile et peu satisfaisante. Le tableau 1 essaie d'ordonner, de façon pragmatique et objective, les différents domaines du complexe R + D. La quote-part attribuée aux différents secteurs correspond à la répartition actuelle des investissements R + D.

4. R + D dans les années à venir: tendances et besoins

Quelques remarques en marge

- La tendance à l'utilisation accrue de substances chimico-synthétiques dans l'industrie, le commerce, l'agriculture et d'autres secteurs va se poursuivre dans les années à venir. Par conséquent, la charge des eaux en ces substances va augmenter aussi.
- Les eaux résiduaires et les substances nocives — du moins dans les régions fortement industrielles — auront également tendance à augmenter. Il en résultera des exigences plus élevées envers l'efficacité des stations d'épuration.
- Les exigences strictes concernant l'état des eaux sont généralement acceptées, et il est peu probable qu'elles soient relâchées. L'étude des charges physiques et chimiques tolérables pour les eaux continuera à exiger des efforts scientifiques particuliers.
- D'ici à 1990, la Suisse sera dotée d'une infrastructure pour la collection et l'épuration des eaux usées dont la valeur de renouvellement s'élèvera à environ 30 milliards de francs suisses. Il faudra graduellement remplacer, réadapter et optimiser ces installations.
- S'il est vrai que les résultats obtenus dans la protection des eaux contre la pollution sont considérables, la protection des eaux contre les interventions dans leurs lits et leur régime est encore tout à ses débuts. Des corrections hydrauliques ne tenant pas suf-

fisamment compte de la protection de l'environnement, des exploitations excessives de l'énergie hydraulique, des assainissements agricoles et des abus de béton dans le paysage, sont tous responsables du sérieux préjudice porté au régime des eaux et à l'écoulement d'un grand nombre d'eaux courantes. Il s'agit donc d'un important secteur de la protection des eaux qui devra être étudié et développé plus à fond.

Domaines de R + D publics prioritaires dans les 5 à 10 ans à venir

La détection et le comportement de substances chimico-synthétiques dans l'environnement et les eaux occuperont une importance capitale parmi les sujets de la recherche. Il faudrait qu'il en soit de même en ce qui concerne la toxicité de ces substances du point de vue écologique pour l'investigation desquelles les structures institutionnelles sont à créer.

La recherche scientifique physique, chimique et écologique concernant l'appréciation et la capacité de charge des eaux ne perdront pas leur importance alors que la recherche sur les ruisseaux et rivières sera vraisemblablement intensifiée par rapport à la recherche sur les lacs. Pendant longtemps, la science a quelque peu négligé les cours d'eau, de sorte que les connaissances sur les relations entre la charge et l'état des eaux courantes sont très limitées surtout en ce qui concerne les effets des interventions dans leurs lits et régimes. L'étude et la mise à disposition des données concernant la protection contre de telles interventions sera une des tâches principales. Les activités de R + D en matière de technique de traitement garderont également leur importance. Les exigences allant généralement en s'accroissant dans l'épuration des eaux usées rendront né-

cessaires l'application accrue de procédés spécifiques de filtration et de nitrification, ainsi que de procédés de dénitrification et d'adsorption. C'est surtout dans le secteur des eaux usées industrielles que la technique de traitement sera appelée à effectuer de nombreuses réalisations de R + D.

D'importants travaux de R + D seront nécessaires en ce qui concerne l'optimisation constante de l'infrastructure existante. D'une part il s'agit de perfectionnements de la technique de traitement et de l'exploitation des stations d'épuration, d'autre part il s'agit de perfectionnements dans la construction et la conception des canalisations. La conception même des réseaux de canalisation pourra, par exemple, être modifiée lors de nombreux travaux de canalisation nécessaires, ce qui demande une meilleure compréhension du mode de fonctionnement de l'ensemble d'un système.

D'autres tâches de R + D découlent des obligations imposées à l'industrie de réduire dans la mesure du possible ses charges en eaux usées et en substances nocives par des dispositifs techniques de production — modifications des procédés et recyclage des eaux usées. Ces tâches ne peuvent être accomplies que par des ingénieurs de l'industrie en question.

5. Conclusions

Un grand nombre de bureaux, d'instituts universitaires et des écoles polytechniques, y compris l'EAWAG, d'offices cantonaux et fédéraux ainsi que l'industrie participent au complexe R + D dans la protection des eaux en Suisse. Dans cette situation, la question fréquemment posée est de savoir s'il est nécessaire de

coordonner les efforts. Etant donné les problèmes actuels dans la pratique, on peut y répondre par l'affirmative. Cependant, du fait de la structure des activités de R + D suisses, coordination signifie échange mutuel des informations, et en considérant le nombre appréciable d'informations à la disposition des diverses institutions, le niveau de ces échanges peut être qualifié aujourd'hui déjà de bon. Des améliorations dépendront essentiellement de l'intérêt et de la volonté des institutions impliquées à s'engager activement dans cet échange d'informations.

Personne ne peut garantir que tous les problèmes prenant de l'importance dans les 5 à 10 prochaines années soient à l'étude à l'heure actuelle. Il est cependant possible de minimiser le risque de négliger certains problèmes du fait que les institutions qui se préoccupent de les reconnaître à temps et de les étudier restent indépendantes d'intérêts et de directives restrictives. C'est heureusement le cas en Suisse. Un échange continu d'informations entre les participants et avec tous les groupes ou institutions intéressés est cependant la condition essentielle d'une bonne réussite.

Cet échange d'informations ne peut et ne doit être limité au cadre national. Les institutions de R + D suisses ne pourraient en aucun cas accomplir seules leurs tâches. Sans contacts étroits avec l'étranger, l'acquis en R + D suisse s'immobiliserait et serait vite dépassé par l'évolution des problèmes à résoudre.

Adresse de l'auteur:

Ueli Bundi
Institut fédéral pour l'aménagement,
l'épuration et la protection des eaux,
EAWAG
8600 Dübendorf

Bibliographie

Electronique appliquée à la transmission de l'information. — Tome 2: principe et réalisation des systèmes de communication

par J. Hervé. — Un vol. 16 × 24 cm, 360 pages, Editions Masson, Paris 1982. Prix broché: 120 ffr.

Ce livre constitue la seconde partie d'un traité d'électronique appliquée à la transmission d'informations de formes diverses: sonores, optiques, numériques. En fait les deux volumes de ce traité sont à lire «en parallèle» plutôt que l'un après l'autre. Le tome 1 est consacré à la réalisation des principales fonctions non linéaires. Dans le tome 2, on étudie comment ces fonctions peuvent être associées entre elles et

avec des fonctions linéaires (amplification, filtrage) pour constituer des systèmes de communications.

La forme de l'ouvrage est conditionnée par trois objectifs:

- mettre le lecteur en contact avec la réalité technique, en particulier avec les systèmes de communication actuels et leur réalisation au moyen de circuits intégrés;
- lui fournir les moyens nécessaires à une analyse des systèmes et circuits, application numérique comprise;
- solliciter de sa part un effort de réflexion et d'évaluation quantitative.

Ce triple but explique en particulier le rôle important attribué aux problèmes, dont les énoncés, solutions et commentaires occupent environ la moitié du texte.

Ils ont tous pour point de départ un système réel, extrait le plus souvent de la littérature technique. Parmi les domaines d'application faisant l'objet des problèmes, citons: la radiodiffusion à latérale unique, la stéréophonie, la télévision, la télémétrie par impulsions, la téléphonie par codage d'impulsions.

Les problèmes sont inclus dans un texte qui permet de couvrir le sujet de façon cohérente. On trouve dans ce texte:

- le principe des systèmes actuels de communication, leur structure étant à ce stade limitée aux fonctions indispensables;
- une discussion comparative des performances des diverses solutions, en ce qui concerne la bande passante nécessaire et la sensibilité au bruit;
- la description de fonctions, accessoires sur le plan théorique, mais indispensables

pour répondre aux exigences des télécommunications actuelles (changement de fréquence, commande automatique de gain et de fréquence, synchronisation des horloges);

- un aperçu sur la mesure de l'information, tout au moins lorsque celle-ci est sous forme numérique.

Sommaire

Chap. I: Structure des systèmes de communication. — Chap. II: Modulation, d'amplitude et système à porteuse conservée. — Chap. III: Systèmes dérivés de la modulation d'amplitude. — Chap. IV: Modulations angulaires et systèmes associés. — Chap. V: Communications par signaux analogiques échantillonnés. — Chap. VI: Caractérisation des messages numériques et leur transmission. — Chap. VII: Communications par codage d'impulsions.