Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 113 (1987)
Heft: 15-16

Artikel: Vérification du programme de simulation des bâtiments DOE-2
Autor: Baumgartner, Thomas / Gass, Jürg / Marcus, Isidore
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76400

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: 24.04.2025

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

Vérification du programme de simulation des bâtiments DOE-2

par Thomas Baumgartner, Jürg Gass, Isidore Marcus et Gerhard Zweifel, Dübendorf

L'informatique est devenue aujourd'hui un outil de première importance pour l'ingénieur et l'architecte. L'ordinateur permet, en effet, de dimensionner les systèmes techniques et, à l'aide de la simulation, de calculer leur consommation d'énergie. Plusieurs programmes de simulation du comportement énergétique des bâtiments ont été mis au point ces dernières années dans le but d'assurer une utilisation rationnelle de l'énergie. Ils permettent au projeteur d'effectuer des calculs détaillés pour démontrer le besoin d'une installation de climatisation ou pour mener à bien une étude paramétrique. Vu que certains de ces programmes prennent en considération tous les éléments de la consommation d'énergie d'un bâtiment, l'utilisateur a la possibilité de procéder à une véritable étude intégrée de son projet.

La simulation et son utilisation

Par simulation il faut comprendre la reproduction de l'évolution, dans le temps, d'un phénomène à l'aide d'un modèle. Dans notre cas, il s'agit d'un modèle mathématique qui est résolu par voie numérique. Tous les paramètres intéressants sont calculés pas à pas (1 h au maximum) sur un intervalle de temps variant de quelques jours à une année. Les programmes de simulation sont mis en œuvre dans deux domaines essentiellement, celui de l'utilisation passive de l'énergie solaire et celui de la technique de climatisation. Dans le premier cas, il s'agit avant tout de déterminer les interactions entre le climat extérieur et la structure du bâtiment, avec le souci primordial d'utiliser la capacité d'accumulation de la chaleur du bâtiment pour économiser l'énergie de chauffage. Dans le deuxième cas, les programmes de simulation s'utilisent pour le choix du système de climatisation, pour le dimensionnement des composants et la mise au point de stratégies économisant l'énergie en connaissance de cause des effets sur le confort dans le bâtiment.

A l'aide d'un calcul de simulation, on peut traiter les questions suivantes:

- besoin annuel en énergie d'immeubles chauffés et climatisés: cette grandeur est définie en tant qu'énergie utile; elle est le résultat d'un calcul de la charge de chauffage et de climatisation;
- comportement en température des locaux: cette question est très importante pour les problèmes de confort dans les maisons solaires passives et pour l'examen d'un besoin de climatisation;
- charges de pointe se produisant dans le but de dimensionner les composants;
- besoin annuel d'énergie finale et gestion des charges: cette tâche est résolue par la simulation des générateurs de chaleur et de froid, elle est décisive pour l'évaluation de la rentabilité de l'installation de chauffage et de climatisation.

Les utilisateurs des programmes de simulation sont, outre les chercheurs à qui l'ordinateur permet souvent de renoncer à de coûteuses expériences sur le terrain, des projeteurs, de plus en plus nombreux, dans les bureaux d'ingénieurs. L'effort que demande la préparation d'un paquet de données d'entrée peut paraître grand au premier abord, mais une fois fait, il permet de comparer entre elles des variantes du bâtiment et de trouver une solution optimale. De plus, il évite le dimensionnement à la main des composants de chauffage et de climatisation. Il faut cependant relever qu'une utilisation rentable des programmes de simulation nécessite un certain «know-how» spécifique.

Le programme de calcul DOE-2

Dans le cadre de sa collaboration aux projets de l'AIE (Agence internationale de l'énergie), le LFEM (EMPA) a reçu en 1979, à titre gracieux, un modèle de calcul de l'Université de Californie à Berkeley, le programme DOE-2 [1]. La 6e version du programme est installée aujourd'hui, elle fonctionne sur les grandes installations de calcul de l'EPFZ et sur l'ordinateur VAX du LFEM; une version pour ordinateur personnel PC en est en vente aux Etats-Unis. Le programme calcule le transfert de chaleur instationnaire, ainsi que les charges de chauffage et de climatisation, à l'aide d'une méthode d'approximation par pas d'une heure, sur la base de données météorologiques réelles. Le paquet du programme est très bien documenté et doté de nombreux exemples (fig. 1).

Les données météorologiques horaires ont été préparées au LFEM pour huit stations différentes [2]. Elles proviennent de l'Institut suisse de météorologie (ISM) et ont été récoltées à l'aide du réseau automatique des stations ANETZ. De plus, le LFEM dispose du logiciel nécessaire pour la préparation des données provenant de l'ensemble des 62 stations de l'ANETZ.

Vérification du programme

Pour obtenir la confiance indispensable en un programme d'ordinateur, il faut procéder à des comparaisons détaillées avec des données de mesure provenant d'un bâtiment témoin. La vérification d'un programme de calcul peut alors s'effectuer à trois niveaux:

- 1er niveau: pas de possibilité de contrôle des résultats, le premier calcul fait foi. Ce sont surtout les instances officielles qui s'intéressent à ce genre de vérification dans le cadre de l'examen des prescriptions en matière de consommation d'énergie.
- 2e niveau: les corrections sont autorisées. A la suite d'un premier calcul et d'une comparaison avec les données de mesure, les erreurs sont corrigées et les simplifications inadmissibles éliminées. Du point de vue de l'ingénieur, c'est le niveau acceptable d'une vérification.
- 3e niveau: adaptation de paramètres («tourner les boutons»). Dans chaque simulation, il faut estimer divers paramètres (tels que l'infiltration d'air, la réflexion du sol, l'absorption du rayonnement solaire dans le local), pour lesquels il existe une certaine marge de liberté. Ces paramètres peuvent alors être variés afin d'obtenir une meilleure concordance avec les données mesurées. Pour le chercheur, c'est à ce stade qu'a lieu l'appréciation des aptitudes d'un modèle.

Les travaux au LFEM, en particulier ceux concernant le projet de mesure du bâtiment Collins, ont été effectués à ce dernier niveau.

Une étude américaine [3] sur la validité du programme de calcul DOE-2 a pour sa part mis en lumière l'influence de l'utilisateur sur le résultat final d'un calcul de simulation. Six utilisateurs du programme ont été mandatés pour une analyse de la consommation d'énergie d'un bâtiment-tour administratif. L'exercice s'est déroulé en trois phases, d'abord sans possibilité de contrôle, puis avec demandes de précisions et recherche des erreurs, enfin avec utilisation de profils de charge prescrits et des valeurs par défaut fixées dans le programme (selon la prescription américaine de consommation d'énergie, Building Energy Performance Standards BEPS).

Dans cette dernière phase, les paramètres inconnus ont été fixés par une norme, et non à l'aide d'une comparaison avec des mesures comme ci-dessus. La figure 2 montre la diminution de la déviation

[1] Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.

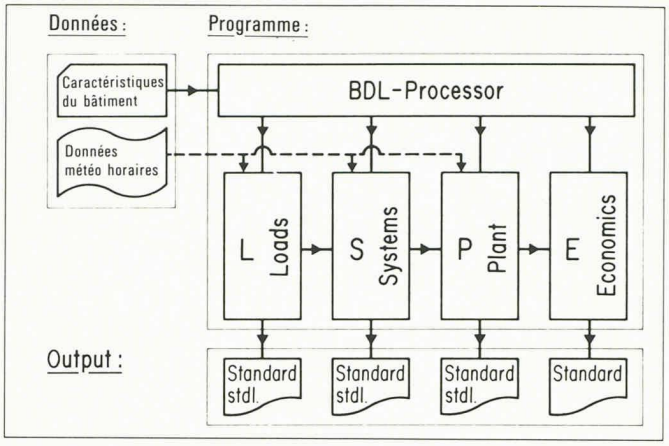

Fig. 1. — Structure du programme DOE-2.
Processeur BDL : traite les données d'entrée (sous forme de commandes en anglais). LOADS : calcule les charges de chauffage et de climatisation à température intérieure constante en tenant compte des gains de chaleur internes, de l'utilisation de la lumière du jour et du renouvellement naturel de l'air. SYSTEMS : simule le fonctionnement des systèmes de chauffage et de climatisation, en calculant la température effective et la consommation d'énergie utile. PLANT : simule le fonctionnement des installations de production de chaleur et de froid en tenant compte de la stratégie d'exploitation. ECONOMICS : calcule les coûts d'exploitation du bâtiment pour la durée de vie de l'objet.

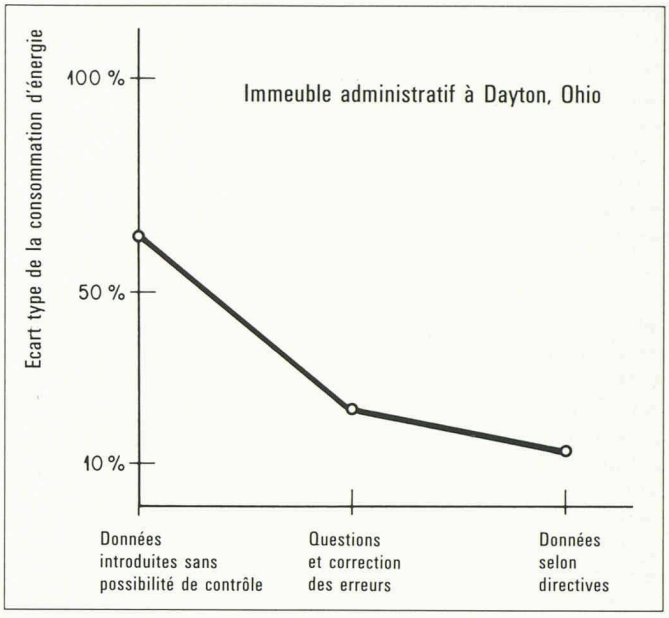

Fig. 2. — Déviation standard dans la prévision de la consommation mensuelle d'énergie.

standard de la prévision de consommation mensuelle d'énergie au cours des trois phases de l'exercice (les déviations sont rapportées à la moyenne des résultats de la 3e phase). Cette étude a montré que, lors de la première phase de préparation des données, les résultats de différents utilisateurs peuvent s'écarter les uns des autres d'un facteur 2. Mais, d'autre part, on a également démontré par la même occasion que l'influence de l'utilisateur sur les résultats peut être réduite considérablement si ce dernier a la possibilité de clarifier les points incertains et de corriger les suppositions erronées.

Travaux en Suisse

En Suisse, des comparaisons entre calculs de simulation et mesures sur trois bâtiments témoins ont été effectuées dans le cadre de projets de l'AIE (Agence internationale de l'énergie) sous mandat de l'OFEN (Office fédéral pour l'énergie); elles ont porté sur:

- une maison individuelle non habitée, à Maugwil SG, instrumentée par le LFEM [4]
- un immeuble multifamilial à Lausanne, La Chaumière, instrumenté par l'EPFL [5]
- un bâtiment administratif climatisé, à Glasgow («Collins Building»), instrumenté par l'Université de Glasgow [6] et [7].

Ce sont les résultats de ce dernier projet qui sont présentés ici.

Le bâtiment Collins

Le bâtiment, situé à proximité de Glasgow, a été l'objet d'un projet de mesures international. Il possède quatre niveaux et un sous-sol (fig. 3). Ses façades sont orientées exactement du nord au sud et d'est en ouest. Le premier et le second étage comprennent chacun un bureau-paysage de plus de 4300 m² de surface. La construction est à structure métallique avec sols en béton. La façade est faite, pour plus de 50%, de doubles vitrages isolants avec vitre de protection contre le rayonnement solaire. Le reste est formé de murs de maçonnerie en briques, habillés de marbre. Les deux étages à bureaux-paysages sont divisés chacun en une zone centrale et quatre zones périphériques de 5 m de profondeur pour le système de climatisation. Ces zones ainsi que les locaux du rez-de-chaussée sont climatisés à l'aide d'une installation à volume d'air variable (VAV). L'air repris est aspiré au travers de luminaires ventilés et est reconduit le long de l'espace vide entre le plafond et le faux-plafond. Un système supplémentaire fournit de l'air réchauffé dans les zones périphériques afin de compenser les pertes de chaleur de la façade. Une description détaillée des installations techniques ainsi qu'un schéma de principe du système de climatisation se trouvent dans un article antérieur [6].

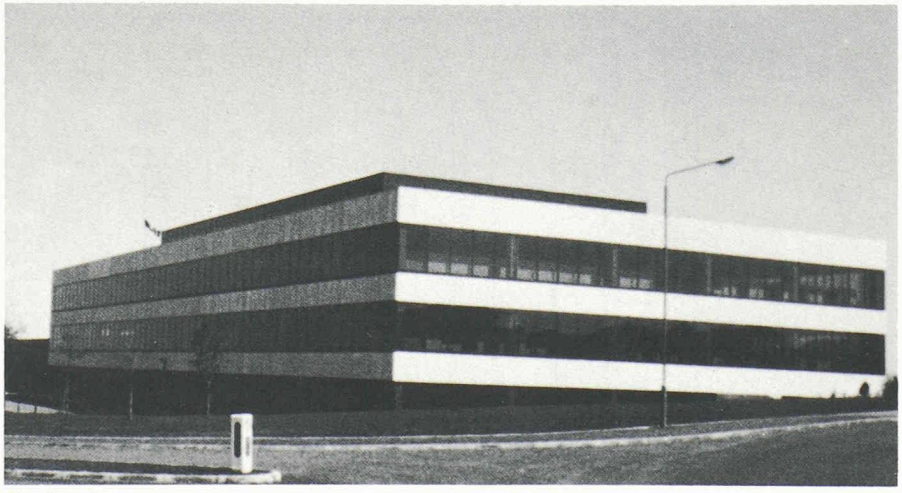

Fig. 3. — Vue du bâtiment Collins.

Modèle du bâtiment pour les calculs de simulation

Un modèle du bâtiment entier a été préparé sur la base des spécifications. Cependant, après dépouillement et analyse des données, le but qu'on s'était fixé - recueillir le bilan énergétique exact du bâtiment Collins - s'est révélé trop ambitieux. La vérification d'un modèle de calcul présuppose l'acquisition de données de mesure dans chaque élément particulier du bâtiment, chose qui n'était pas possible dans un projet de cette taille. La reconnaissance de cet état de fait nous a ainsi menés à ne choisir qu'une partie du bâtiment pour la vérification du programme, à savoir les deux bureaux-paysages avec leur système à volume d'air variable.

Résultats de la vérification

La vérification du programme de simulation DOE-2 a été réalisée en comparant des résultats de calcul avec des données

de mesures de plusieurs semaines particulières. Les courtes périodes de calcul permettent de tenir compte des déviations du mode d'exploitation du bâtiment par rapport aux spécifications originales. Les figures suivantes montrent les résultats obtenus pour une fin de semaine en septembre, avec système arrêté, et pour une semaine de juillet, avec climatisation en service.

Dans la figure 4, on a représenté les évolutions de température calculée et mesurée (1,8 m au-dessus du plancher) dans la zone ouest du 1er étage pendant une période de fin de semaine de trois jours en septembre. L'installation de climatisation était arrêtée. L'éclairage et les équipements électriques avaient été pleinement enclenchés le samedi matin, le dimanche et le lundi partiellement seulement.

L'augmentation de température du samedi matin était due à l'apport de chaleur des installations électriques ainsi qu'au rayonnement solaire ; elle a été très bien reproduite par l'ordinateur. L'augmentation plus faible le dimanche, due au rayonnement solaire, a été moins bien reproduite (1 K de différence). La raison en est que le gain de chaleur dû à l'éclairage est réparti plus uniformément dans le local que celui provenant du rayonnement solaire ; par conséquent, la température calculée par le programme correspond mieux à la valeur mesurée.

Dans la figure 5, on a représenté les évolutions de température dans la zone centrale du 1er étage pendant une semaine de juillet très ensoleillée. L'installation de climatisation avait été enclenchée manuellement pendant deux heures le dimanche après-midi. Cela n'a pas pu être reproduit exactement dans la simulation, d'où une différence de 0,5 à 1 K entre valeur calculée et valeur mesurée durant les trois premiers jours de la semaine. Le laps de temps pendant lequel les conditions initiales se font ressentir dans l'évolution de la température représente la « capacité de mémoire » du bâtiment.

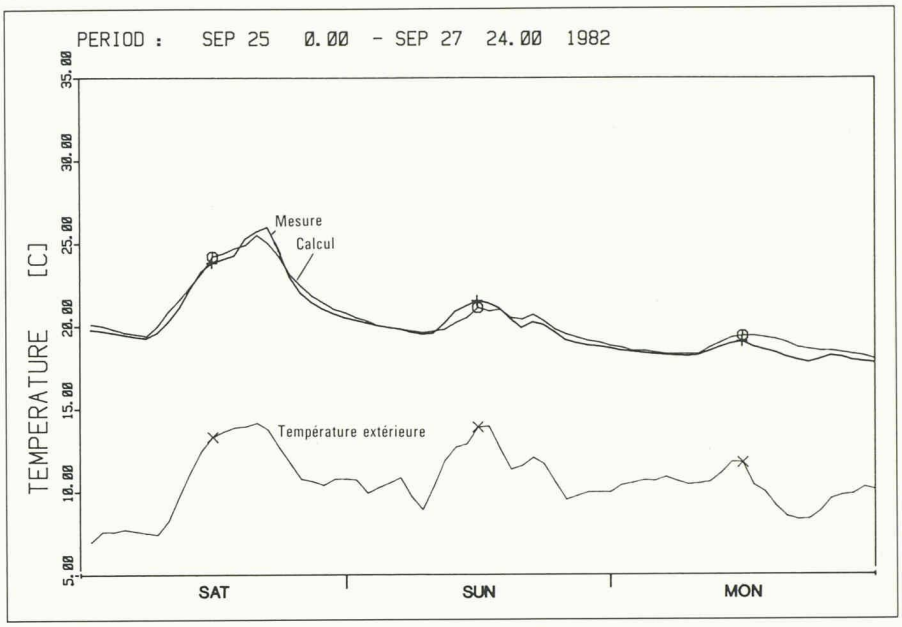

Fig. 4. — Evolution de la température au 1er étage, zone ouest, en fin de semaine.

L'augmentation de la température à la fin de l'après-midi, avec la chute abrupte qui la suit (notamment le lundi), est due aux temps d'interruption différents pour le système de climatisation et pour l'éclairage : l'installation de climatisation est en général arrêtée deux heures avant l'éclairage.

La figure 6 montre, en plus, la puissance-chaleur évacuée par le système à volume d'air variable heure par heure. La charge calculée dépasse d'environ 20% la valeur obtenue à partir des mesures. Cette erreur systématique s'explique par le fait que la puissance-chaleur évacuée est déterminée par la température de l'air dans l'espace vide au-dessus du faux-plafond et que le programme forme le produit du débit d'air avec la différence de température entre air repris et air soufflé. Mais vu que le couplage complexe entre zone occupée et espace vide n'a été modélisé dans le programme que d'une manière simplifiée, la température calculée de l'air dans l'espace vide dépasse de 1,5 K la valeur mesurée, avec les consé-

Bibliographie

[1] Lawrence Berkeley Laboratory : *DOE-2 Reference Manual*, Vol. I and II, Ca 94720, Berkeley, 1981.

[2] Zellweger, R. : *Aufbereitung der ANETZ-Wetterdaten für das Rechenprogramm DOE-2*, 1A, Dübendorf, 1983.

[3] Los Alamos National Laboratory : *DOE-2 Verification Project Phase I*, Final Report, 87545, Los Alamos (New Mexico), 1986.

[4] *Messprojekt Maugwil : Verifikation des Rechenprogramms DOE-2 anhand des gemessenen Energiehaushaltes*, EMPA-Bericht Nr. 41643/2, 1983.

[5] *Etude de cas : La Chaumière - Simulation des améliorations thermiques de l'enveloppe, de l'installation de chauffage et du réglage*, rapport EMPA N° 48310, 1986.

[6] Gass, J. ; Baumgartner, Th. : « Messprojekt Collins-Gebäude in Glasgow », *Schweizer Ingenieur und Architekt*, 12/83, pp. 336-338.

[7] *Verifikation des DOE-2-Rechenprogramms anhand der Messdaten aus dem IEA-Annex IV Messprojekt « Collins Building » in Glasgow*, EMPA-Bericht Nr. 48304, 1985.

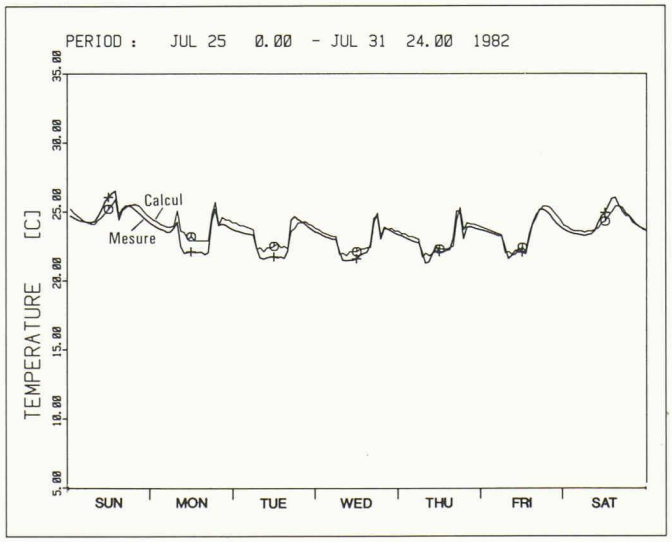

Fig. 5. — Evolution de la température au 1er étage, zone centrale.

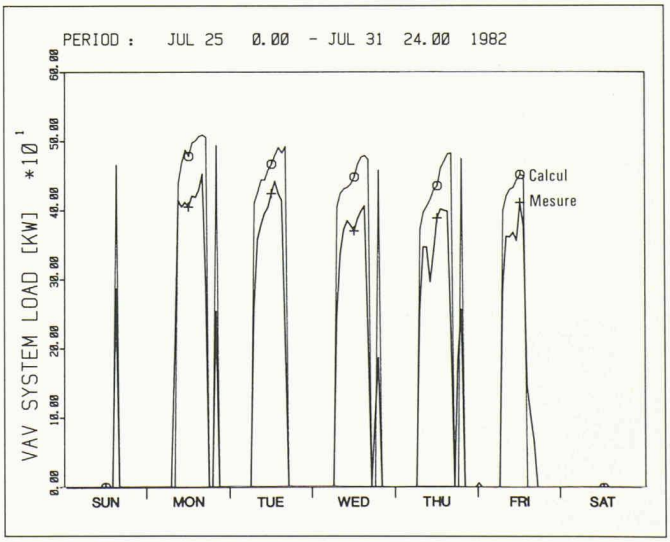

Fig. 6. — Puissance-chaleur évacuée.

quences qui en découlent pour la puissance-chaleur.

Conclusion

Les travaux de vérification du programme DOE-2 ont démontré que la précision du modèle mathématique pour la prévision de la consommation d'énergie est de l'ordre de 5%. Cependant, les suppositions que l'utilisateur doit admettre lors de la préparation des données d'entrée peuvent porter l'erreur à 20%. Les programmes de simulation ne sont toutefois pas là pour livrer la grandeur absolue de la consommation d'énergie annuelle, mais bien plus pour tracer les limites de la consommation et permettre un dimensionnement optimal, grâce à la comparaison de différentes variantes. A cette fin, ce sont des outils particulièrement puissants.

Adresse des auteurs:

Thomas Baumgartner, Jürg Gass,
Isidore Marcus et Gerhard Zweifel
LFEM/EMPA
8600 Dübendorf

La mort des forêts: quel rôle peuvent jouer les engrais?[1]

par Johannes Detwiller, Berne

Depuis cent ans, on accorde une grande importance au maintien de la superficie des forêts et à l'entretien, dans cet écosystème, de la santé et de la diversité des espèces. Au siècle dernier, et bien avant, les forêts étaient en danger. Elles le sont de nouveau aujourd'hui. Mais les causes ont changé: autrefois, il y avait le défrichement, l'abattage du bois (chauffage, construction) et le passage du bétail en forêt; aujourd'hui, ce sont les polluants contenus dans l'air qui font mourir les arbres.

Les maladies peuvent toucher directement la partie aérienne de l'arbre, ou indirectement ses racines, par la modification des propriétés chimiques et biologiques des sols forestiers. Mais les effets des polluants aériens sur l'activité biologique et les propriétés (fertilité) de ces sols suscitent un intérêt qui, marginal au début, va aujourd'hui grandissant.

Ainsi, les propriétaires de forêts ont vu se multiplier les exigences à leur égard pour améliorer la vitalité des arbres ou compenser l'acidification des sols par l'emploi d'éléments nutritifs ou d'oligo-éléments (potassium, magnésium, calcium). De telles tentatives de fumure des forêts ont lieu notamment en République fédérale allemande, mais elles portent essentiellement sur de jeunes sapins et n'ont pas de but thérapeutique.

Or, il ne faut pas épandre ces produits-là sur de grandes superficies, dans les forêts tout particulièrement, sans contrôle scientifique. En effet, les forêts croissent sur des sols dont la plupart n'avaient pas encore subi de manipulation chimique et donc abritent les dernières nappes phréatiques pures. En forêt, tout le monde peut cueillir baies, herbes ou champignons et les sols constituent l'habitat de communautés végétales et animales étroitement imbriquées et très sensibles.

[1]Extrait de *Protection de l'environnement en Suisse*, Bulletin de l'Office fédéral de la protection de l'environnement, 1/87.

La situation juridique

Dans ses ordonnances du 9 juin 1986 sur les substances dangereuses pour l'environnement et sur la protection des forêts, le Conseil fédéral a réglementé avec rigueur l'utilisation d'engrais et de pesticides dans les forêts. Ces textes, qui limitent l'utilisation des produits phytosanitaires et des engrais en forêt et à la lisière des forêts à quelques cas soumis à autorisation, imposent également une interdiction générale des herbicides. Pour traiter une forêt, il faut avoir une autorisation, limitée dans le temps et dans l'espace. Elle est octroyée par le service cantonal des forêts après consultation des services cantonaux spécialisés dans la protection de l'environnement et de la nature. Toute décision (positive ou négative) est communiquée à l'Office fédéral des forêts et de la protection du paysage.

La fumure des forêts

Le rapport publié par l'Office fédéral de la protection de l'environnement (OFPE) sous le titre « Ausgewählte Probleme in Waldböden » (Les sols forestiers: problèmes choisis; traduction prochainement) présente les processus biologiques et chimiques propres aux sols forestiers. Il repose sur une riche bibliographie et sur le résultat de travaux de groupe sur la circulation des produits et sur les mycorhizes, ces champignons à longs filaments qui s'associent par symbiose aux racines de certains arbres.

Cette association est vitale pour les arbres forestiers. En effet, ces champignons protègent leurs racines contre les agents pathogènes et assurent leur nutrition en leur apportant substances nutritives et eau. Le mycorhize a un effet bien plus intense sur les arbres que, par exemple, sur les plantes agricoles cultivées en plein champ: si bon nombre de ces dernières peuvent manifestement s'en passer, ce n'est pas le cas des arbres forestiers traditionnels.

Il faut admettre que les écosystèmes forestiers sont vulnérables non seulement à la pollution de l'environnement, de l'air par exemple, qui a une action directe, mais aussi à la transformation du sol, par exemple par la fumure. La fumure agricole, qui porte en général sur