



HAL
open science

Étude préliminaire à la mise au point d'un didacticiel en thermique et climatique

Jean-Pierre Péneau, Denis Manceau, Dominique Groleau, Christian Marenne,
Sylvie Delettre

► To cite this version:

Jean-Pierre Péneau, Denis Manceau, Dominique Groleau, Christian Marenne, Sylvie Delettre. Étude préliminaire à la mise au point d'un didacticiel en thermique et climatique. [Rapport de recherche] 0268/85, Centre de recherches méthodologiques d'architecture (CERMA); Ecole Nationale Supérieure d'Architecture de Nantes; Secrétariat de la recherche architecturale (SRA). 1984. hal-03090762

HAL Id: hal-03090762

<https://hal.science/hal-03090762>

Submitted on 30 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



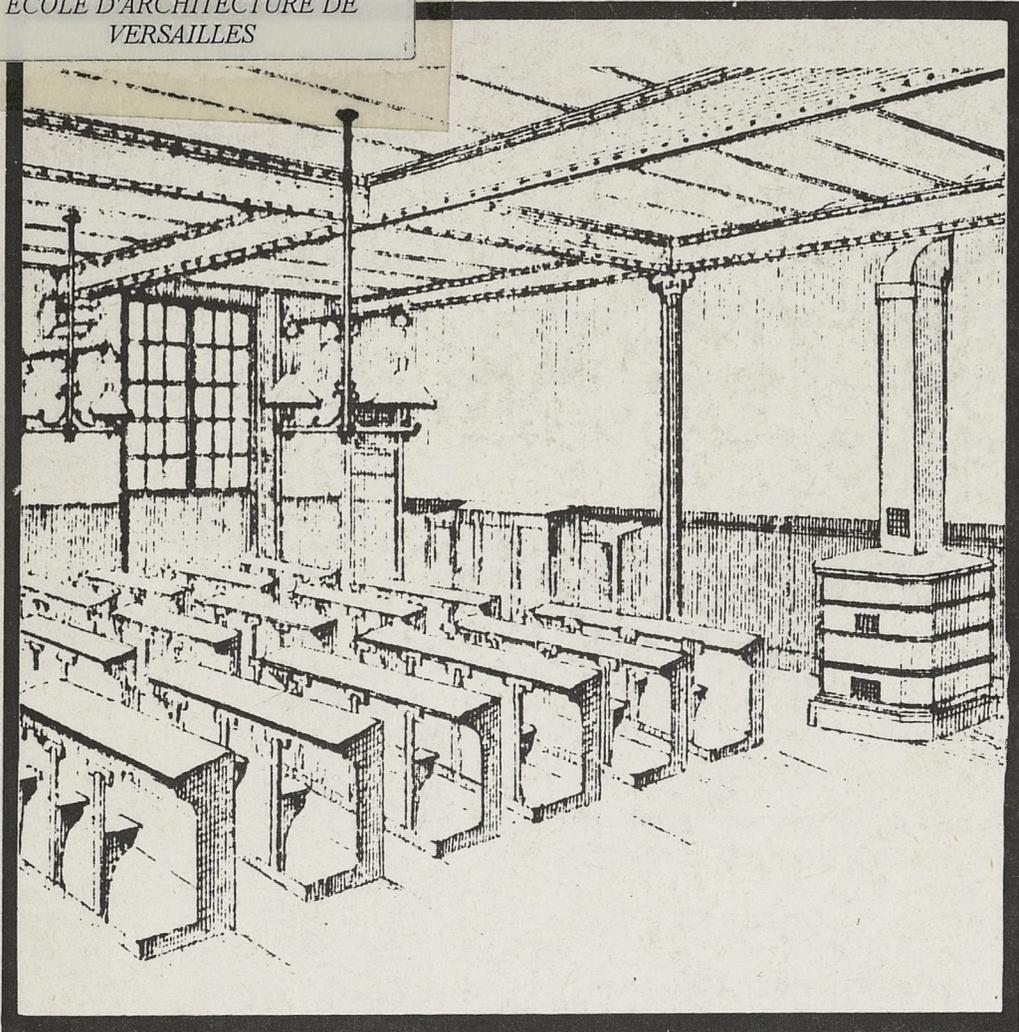
Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0
International License

6262



3030018058354

ECOLE D'ARCHITECTURE DE
VERSAILLES



ETUDE PRELIMINAIRE A LA MISE AU POINT D'UN DIDACTICIEL
EN THERMIQUE ET CLIMATIQUE

ES MAI 1985

CERMA
CENTRE DE RECHERCHES METHODOLOGIQUES D'ARCHITECTURE ET D'AMENAGEMENT / ASSOCIATION DE RECHERCHE
AGREEE DE L'UNITE PEDAGOGIQUE D'ARCHITECTURE DE NANTES / RUE MASSENET 44300 NANTES (40, 59.43.24

ETUDE PRELIMINAIRE A LA MISE AU POINT D'UN DIDACTICIEL
EN THERMIQUE ET EN CLIMATIQUE

Le présent document constitue le rapport final d'une recherche remise au Secrétariat de la Recherche Architecturale en exécution du programme général de recherche mené par le Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports avec le Ministère de la Recherche et de la Technologie. Les jugements et opinions émis par les responsables de la recherche n'engagent que leurs auteurs.

(Contrat n° 84 01433 00 223 75 01 Exercice 1984
Chapitre 57-58 - Article 92)

RAPPORT CERMA n° 56

378
CEN
-

Ce document a été réalisé par :

Jean Pierre PENEAU Architecte - U
Denis MANCEAU Architecte
Dominique GROLEAU Architecte - Informaticien
Christian MARENNE Architecte - Ingénieur
Sylvie DELETTRE Secrétaire

ÉCOLE D'ARCHITECTURE
DE VERSAILLES
BIBLIOTHÈQUE
2, Avenue de Paris
78000 VERSAILLES
Tél. : 951.52.51

C.E.R.M.A. - Association de Recherche Agréée
de l'Unité Pédagogique d'Architecture de NANTES
Rue Massenet - 44300 NANTES
Tél. (40) 59.43.24
(40) 59.54.28

SOMMAIRE

- INTRODUCTION (p. 4)
- L'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNIQUE ET L'APPROCHE BIO-CLIMATIQUE
DANS LES ECOLES D'ARCHITECTURES (p. 12)
 - . Les cycles de D.E.P.A. et du D.P.L.G. (p. 13)
 - . Les C.E.A.S. (p. 44)
 - . Les activités de recherche (p. 59)
- EN AMONT DE L'E.A.O. : "L'ENSEIGNEMENT PROGRAMME" (p. 69)
- L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR (p. 81)
- LES LOGICIELS EXISTANTS (p. 89)
- HYPOTHESES POUR L'ADAPTATION DES MODULES DU LOGICIEL "SIMULA"
A L'ENSEIGNEMENT DE LA TECHNIQUE (p. 98)
- BIBLIOGRAPHIE (p. 122)

Ce document a été réalisé par :

Jean Pierre PENEAU	Architecte - Urbaniste
Denis MANCEAU	Architecte
Dominique GROLEAU	Architecte - Informaticien
Christian MARENNE	Architecte - Ingénieur
Sylvie DELETTRE	Secrétaire

INTRODUCTION

Cette étude préliminaire à la mise au point d'un didacticiel en thermique et en bio-climatique s'inscrit dans une double problématique :
 Tout d'abord, celle de l'ajustement du projet à un contexte et à un usage, opération qui représente une des finalités majeures de l'activité architecturale. Celle ensuite de la pédagogie de cet ajustement, correspondant, à son tour, à une fonction importante de la formation du

SOMMAIRE

- INTRODUCTION (p. 4)
 - L'ENSEIGNEMENT DE LA THERMIQUE ET L'APPROCHE BIO-CLIMATIQUE
 DANS LES ECOLES D'ARCHITECTURES (p. 12)
 - . Les cycles du D.E.F.A. et du D.P.L.G. (p. 13)
 - . Les C.E.A.A. (p. 44)
 - . Les activités de recherche (p. 59)
 - EN AMONT DE L'E.A.O. : "L'ENSEIGNEMENT PROGRAMME" (p. 69)
 - L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR (p. 81)
 - LES LOGICIELS EXISTANTS (p. 89)
 - HYPOTHESES POUR L'ADAPTATION DES MODULES DU LOGICIEL "SIMULA"
 A L'ENSEIGNEMENT DE LA THERMIQUE (p. 98)
 - BIBLIOGRAPHIE (p. 114)
- Aux hommes de 1,83 mètre, uniformément distribués dans des cellules
 chauffés ou refroidis par une énergie abondante et peu coûteuse, on
 a tendance à substituer d'autres hommes. Ces derniers habitent un pays
 ou une région donnée. Ils doivent * * trouver un cadre de vie adaptable en
 regard de désirs, de valeurs, de * choix individuels et collectifs émi-
 nemment changeants. Or, une telle demande ne peut être satisfaite
 que par des concepteurs et des aménageurs du cadre bâti dotés de
 connaissances et d'outils d'un type nouveau. La segmentation habituel-
 le des tâches entre conception architecturale et conception technique
 doit, en conséquence, être révisée.
- Si l'architecte est conduit, comme à l'accoutumée, à gérer des préoccu-
 pations strictement spatiales, il doit aussi, et de plus en plus, être

INTRODUCTION

Cette étude préliminaire à la mise au point d'un didacticiel en thermique et en bio-climatique s'inscrit dans une double problématique : Tout d'abord, celle de l'ajustement du projet à un contexte et à un usage, opération qui représente une des finalités majeures de l'activité architecturale. Celle ensuite de la pédagogie de cet ajustement, correspondant, à son tour, à une facette importante de la formation du futur architecte.

Si l'examen de ces questions ne peut se faire hors du contexte des progrès scientifiques, il ne peut pas plus être abordé hors de toute référence aux évolutions de la doctrine et des théories architecturales. Les conditions présentes ont conduit à certains bouleversements qui sont venus battre en brèche les principes les plus solidement fondés de la modernité. La diffusion universelle d'un modèle de construction insensible aux variations climatiques, comme à toute forme de particularisme locaux, n'est plus au programme. Insensiblement, on assiste à un glissement allant d'une pensée normative de l'organisation de l'espace vers une attitude relativiste beaucoup plus soucieuse :

- des variables individuelles,
- des contextes et des caractéristiques physiques locales,
- des spécificités socio-culturelles en un lieu donné.

Aux hommes de 1,83 mètre, uniformément distribués dans des cellules standardisées, elles-mêmes assemblées dans des blocs indifféremment chauffés ou refroidis par une énergie abondante et peu coûteuse, on a tendance à substituer d'autres hommes. Ces derniers habitent un pays ou une région donnée. Ils doivent trouver un cadre de vie adaptable en regard de désirs, de valeurs, de choix individuels et collectifs éminemment changeants. Or, une telle demande ne peut être satisfaite que par des concepteurs et des aménageurs du cadre bâti dotés de connaissances et d'outils d'un type nouveau. La segmentation habituelle des tâches entre conception architecturale et conception technique doit, en conséquence, être révisée.

Si l'architecte est conduit, comme à l'accoutumée, à gérer des préoccupations strictement spatiales, il doit aussi, et de plus en plus, être

au fait d'éléments scientifiques et techniques qui interagissent avec les caractéristiques précédentes. Ce problème des intersections, toujours difficiles à définir, entre la sphère de l'architecture et les sphères de la science physique et des techniques nécessaires à sa mise en oeuvre, est au coeur de notre propos. Puisqu'il s'agit de concevoir un dispositif pédagogique, permettant de former à la conception d'un projet bien ajusté aux exigences du confort et aux contraintes de l'environnement, il est clair que les seuls aspects scientifiques et techniques ne peuvent suffire. Leur prise en charge doit être composée avec les préoccupations d'ordre culturel, spatial et fonctionnel qui représentent, qu'on le veuille ou non, la dominante de l'activité de conception du projet.

Dans cette perspective d'hybridation des deux ordres de préoccupations, quels peuvent être les caractéristiques du didacticiel envisagé ? Doit-il être conçu comme un dispositif spécifique finalisé sur le seul apprentissage en thermique et bio-climatique ? Doit-il, au contraire, n'apparaître que comme une des modalités techniques d'une procédure très générale de C.A.O. ?

Dans le premier cas, il s'agirait de la transposition, au moyen des techniques de l'enseignement programmé et de l'enseignement assisté par ordinateur, d'un utilitaire ou de plusieurs utilitaires à dominante thermique. Dans le second, l'intégration de la question de l'ajustement bio-climatique au projet et du contrôle des ambiances serait soumise à une logique d'ensemble de traitement d'un problème de conception architecturale. Au sein de celle-ci, certaines phases de calcul pourraient intervenir pour valider des choix techniques, mais la part dominante de la procédure relèverait, de fait, de l'intelligence artificielle.

Cette dernière solution aurait au moins l'avantage de bien marquer le caractère général et globalisant de la conception du projet. Elle éviterait toute fixation réductrice sur un seul paramètre de la mise en forme, aussi important qu'il puisse paraître. Pourtant des objections ne manquent pas de se faire jour. Elles tiennent principalement à la minceur des développements probants de ce type d'approche. Certes, leur mise au point relève encore de la recherche, mais leurs perspec-

tives d'aboutissement restent fortement hypothétiques. On ne peut pas, en conséquence, inférer de l'examen des travaux de C.A.O. architecturale, que l'on va disposer, à court terme, d'un système général, sur lequel pourrait venir se greffer un module intéressant des calculs thermiques ou des bilans liés au confort.

Si l'on s'en tient aux études récentes sur la question, (en particulier les rapports LIA 82 et LIA 83 d'une équipe de recherche de l'Ecole d'Architecture de TOULOUSE), l'opinion semble prévaloir que les "systèmes de gestion de base de données" de type relationnel sont les plus appropriés pour décrire un objet en cours de conception. Elles comportent trois catégories d'informations :

- celles concernant les objets à combiner,
- celles intéressant les relations entre les objets,
- celles correspondant aux lois qui régissent la connaissance des intersections entre les objets ;

Ce sont ces lois qui renferment la sémantique de la base. Mais ces S.G.B.D. sémantiques, au même titre que les systèmes experts -dont on pourrait imaginer l'utilisation pour la conception du projet- ne permettent pas de rendre compte de toutes les dimensions culturelles correspondant à l'aspect référentiel de la mise en forme.

Il ne faut pas alors s'étonner que les exemples les plus récents et les plus aboutis d'utilisation de procédures de C.A.O. de type S.G.B.D., continuent de s'appliquer à des techniques de conception agrégatives. Celles-ci, à la différence de l'appareillage méthodologique et informatisé près, présentent une continuité troublante avec les principes des outils de première génération de la C.A.O. architecturale. Bien sûr, la forme des éléments à distribuer s'est enrichie, le caractère conversationnel s'est accru, les règles de division entre éléments sont moins naïves, la genèse de la constitution d'une distribution est plus proche de la manière dont les choix sont réellement faits par le projeteur. Il n'en demeure pas moins que la solution architecturale est construite pas à pas, en référence à un modèle de conception qui, si elle rejoint la démarche structuraliste et combinatoire de M. DUPLAY, n'a pas grand chose à voir avec les conceptions et modes de projection de H. HOLLEIN, de M. BOTTA ou de A. ROSSI.

Une pensée organiciste et globalisante préside souvent à la genèse du projet. Autant qu'un assemblage de matériaux ou de composants plus ou moins normalisés, celui-ci peut être vu comme le regroupement de motifs, d'images, de stéréotypes puisés dans un corpus propre à chaque concepteur. Les dimensions poétiques, les charges affectives, les correspondances sensorielles qui sont en jeu dans toute action de mise en forme de projet -et qui sont d'autant plus en jeu que l'opération est réussie- amènent à s'interroger sur la pertinence du recours à la seule "intelligence" en la matière. Si l'on admet qu'il entre dans l'élaboration du projet une dose importante de sensibilité, d'expérience, de gestion de références, de soumissions à des "types", l'architecture interpelle les techniques de C.A.O. en leur demandant de compléter impérativement les catégories de l'intelligence artificielle par celles peut-être paradoxales de "sensibilité artificielle". De la même manière, elle appelle la constitution au plus tôt des procédures de gestion de banques de références imagées ; s'il est admis que ces dernières sont des "composants" aussi essentiels que les éléments constructifs généralement repérés par ce vocable.

Est-ce que la piste esquissée par l'équipe du LI2A, avec la recours à la "représentation des connaissances" recoupe ce programme ? Il est encore trop tôt pour en juger. Cela conduit à réviser à la baisse les ambitions d'intégrer l'apprentissage des techniques d'ajustement bio-climatique et de contrôle des ambiances, dans une procédure globale de C.A.O. architecturale.

Comment alors sortir de l'alternative que nous avons posé entre cette solution optimale et le seul entraînement à l'utilisation d'un logiciel de calcul thermique ?

Précisons que nous éliminons, à priori, une approche hybride qui prendrait la forme d'une "C.A.O. thermique" et mettrait en oeuvre une procédure de conception assistée, d'un point de vue réduit, du seul contrôle thermique.

Parmi les éventualités, on peut tout d'abord retenir les techniques de simulation. La problématique de leur utilisation peut se poser d'une

manière qu'il convient de développer quelque peu :

Au stade de la réalisation du projet, il paraît impossible d'imaginer des concepteurs intervenant sans aucun recours à des connaissances techniques ou scientifiques. Il ne semble pas, à l'inverse, très plausible de voir ces mêmes concepteurs prendre à leur table à dessin les multiples décisions nécessaires, à l'issue de modélisation et de calculs du type de ceux mis en oeuvre par les scientifiques ou les ingénieurs.

Le temps et l'espace du projet sont ceux de l'intuition, du savoir-faire, de l'expérience. Comment acquérir : intuition, savoir-faire, expérience dans des domaines où les phénomènes se prêtent bien à la formalisation et où les principes physiques en cause sont complexes ? La thermique du bâtiment, et de manière extensive tout ce qui regroupe le contrôle des ambiances, font partie de ces domaines. Leurs spécialistes, au prix d'une formation théorique solide et de l'apprentissage des technologies et des procédures de mise en oeuvre, arrivent à maîtriser un secteur particulier : le génie thermique et climatique, l'acoustique, l'éclairagisme. Dans la répartition des tâches de conception de bâtiment, ces ingénieurs ou techniciens collaborent avec des architectes et fournissent à ceux-ci une gamme d'informations allant des propositions de principe à l'évaluation quantitative détaillée. Or, il n'est pas rare de constater qu'à l'issue de plusieurs années de ce travail en équipe, les concepteurs d'architecture arrivent à une connaissance empirique des solutions techniques. Dans la pratique courante, il est fréquent de voir un concepteur expérimenté donner de façon quasi-réflexe la section correcte d'une poutre ou l'épaisseur idoine d'une isolation. Ce genre de réponse, aussi imprécis, routinier et peu satisfaisant qu'il puisse paraître, constitue pourtant une facette importante de la réalité du travail d'élaboration du projet.

Partant de ce constat, une première piste se présente. Ne pourrait-on, en effet, accélérer le processus d'accumulation d'expériences qui porte sur trop d'années ? N'y a-t-il pas des procédures qui, pour d'autres spécialités, se donnent pour tâche cette acquisition condensée des savoirs ? En une association, qui connaît bien sûr des limites évidentes, vient tout de suite à l'esprit, la formation sur simulateur de vol

du personnel de l'aéronautique. Chacun sait que le futur pilote, s'il a bien reçu une formation théorique à propos des lois de la mécanique, de l'aérodynamique et de la météorologie, n'est pas pour autant appelé à mettre en oeuvre les modèles correspondants lors des manoeuvres d'approche ou de décollage. Préalablement à son entrée en activité, il aura été entraîné sur des simulateurs de manière à acquérir les réflexes commandés par les réactions prévisibles de sa machine. Cet entraînement simulé sera renouvelé aussi longtemps qu'il sera nécessaire pour acquérir une certaine accoutumance aux comportements de l'avion.

Il n'y a pas, à l'évidence, beaucoup d'éléments transposables de l'apprentissage du pilotage à celui de la conception bio-climatique d'un bâtiment. L'exigence de travail en temps réel n'est pas un impératif essentiel d'une procédure de simulation du comportement thermique d'un projet. Ce qu'il y a de stéréotypé dans les séquences de vol prévues par un simulateur, ne correspond pas à la multiplicité des configurations architecturales. Enfin, le nombre des paramètres à modéliser, pour rendre compte à la fois des caractéristiques de l'environnement et des attributs d'un bâtiment, semble nettement dépasser celui mis en oeuvre dans un simulateur de vol.

Pour simplifier le problème, on peut cependant imaginer le choix d'un nombre restreint d'objets architecturaux, sur lesquels porteraient des variations de sollicitations climatiques ou d'exigences thermiques internes. Au prix d'un dispositif efficace de communication des résultats, les calculs et les bilans thermiques apparaîtraient sous une forme immédiatement accessible. Il est clair que c'est au moyen d'outils graphiques que cet objectif serait atteint et l'on peut envisager des colorations, des représentations schématiques, des déformations des images de départ du bâtiment servant de support aux simulations.

Si l'on pense pouvoir mettre au point un tel appareillage s'appuyant sur la simulation numérique et les procédés de traitement d'image, on peut raisonnablement avancer l'hypothèse que le passage répété sur ce dispositif de simulation remplacera de façon avantageuse l'acquisition de résultats calculés à grand peine, dans le cadre d'un enseignement de thermique conventionnel. Les rapidités de temps de ré-

ponse, associée à la possibilité d'effectuer des modifications significatives du bâtiment et d'en évaluer les conséquences seraient des facteurs précieux. Elles permettraient d'effectuer des comparaisons et d'acquérir cette connaissance intuitive des ordres de grandeur et des tendances générales qui caractérise l'expérience du praticien.

Le simulateur du comportement thermique d'un bâtiment peut donc être retenu comme une réponse possible au problème posé. Certaines objections sont pourtant susceptibles d'être formulées en regard d'une telle proposition. La première qui vient à l'esprit correspond à l'inconvénient pédagogique évident que représenterait la manipulation d'un tel dispositif en totale méconnaissance des principes théoriques régissant les phénomènes simulés. Si la compréhension de ceux-ci est indispensable, on peut s'interroger sur la manière dont leur enseignement se greffe sur la procédure de simulation envisagée. Fait-il l'objet d'une séquence didactique tout à fait indépendante, de type cours de thermique avec exercices d'application ? Est-il associé à la procédure automatisée de simulation sous forme d'un module préalable d'enseignement assisté par ordinateur sur le sujet ? De façon plus diffuse, est-il intégré à la suite des opérations de simulation de manière à unir les explications théoriques et les applications dans une même procédure ?

Une autre objection porte sur la nature de l'objet architectural servant à la simulation. A des fins de simplification des opérations de calcul et de réduction du temps d'utilisation, il serait souhaitable de constituer un ensemble réduit de quelques cas types. Ceux-ci pourraient correspondre à un ensemble de bâtiments significatifs et servir de support à des variations des paramètres liés aux matériaux ou aux exigences du confort. Mais cette solution ne risque-t-elle pas d'être moins mobilisatrice que la simulation du comportement thermique d'un projet propre à l'étudiant ? Les possibilités d'effectuer l'apprentissage sur un projet que l'on connaît bien et que l'on peut modifier à l'issue des séances de simulation présente un intérêt pédagogique non négligeable. Elle a le mérite de resituer le problème dans la globalité de la conception et prépare à une utilisation opérationnelle des procédures de calcul et d'évaluation mises en oeuvre.

Pourtant, si l'on pousse à l'extrême cette argumentation de similitude avec les situations de la pratique, on risque d'aboutir à une démarche marquée par l'empirisme. Elle pourrait se résumer en ces termes : "définir un dispositif de diagnostic permettant de répondre aux questions qu'un projeteur se pose en matière de thermique et de confort des espaces intérieurs". Ce dispositif recouperait la formule de l'utilitaire de calcul en spécifiant certaines exigences sur la représentation des résultats.

Nous n'avons sans doute pas épuisé la gamme des commentaires, des éventualités et possibilités dans ce domaine, mais il est temps de recadrer le propos dans une trame moins lâche. Nos interrogations, dont beaucoup sont restées en suspens, ont permis de situer la thématique et la problématique de ce travail exploratoire. Pour sortir des discours généraux et venir au plus près des différentes réalités caractérisant le système d'enseignement spécialisé qui est en cause, il faut recueillir des informations plus précises. A ce titre, nous allons tour à tour aborder les questions :

- de l'enseignement thermique et bio-climatique dans les écoles d'architecture,
- des logiciels existants dans le domaine de la simulation thermique.

Nous compléterons cet examen par un rappel des principes et des méthodes mis en oeuvre dans l'enseignement programmé et dans l'enseignement assisté par ordinateur. Ces différents éléments devraient nous permettre de mieux poser le problème de l'adaptation du logiciel développé par le CERMA, aux exigences pédagogiques propres à l'enseignement de l'architecture.

Sur la question des places respectives de l'initiation au projet et des enseignements des disciplines, et des disciplines scientifiques et techniques en particulier, des transformations apparaissent également. Les points de vue extrêmes d'une intégration totale ou d'une dualité maintenue ont tendance à s'éroder.

De tels changements, rapportés ici à grands traits, ne rendent peut-être pas aisément compte du nuancier des positions de tel ou tel groupe.

L'ENSEIGNEMENT DE LA THERMIQUE ET L'APPROCHE BIO-CLIMATIQUE
DANS LES ECOLES D'ARCHITECTURE

Les intitulés du titre du présent chapitre : "enseignement de la thermique" et "approche bio-climatique", consignent une opposition pédagogique et doctrinale, qui a marqué l'enseignement de l'architecture depuis la réforme de 1968. En regard de la transmission des éléments de la thermique considérée comme une démarche d'un cours conventionnel de physique, l'apprentissage des connaissances correspondantes dans une procédure intégrée de conception d'un projet représente plus qu'une différence de méthode. Cet écart véhicule des oppositions qui ne se réduisent pas aux séquelles des antagonismes entre tenants des sciences dures et contestataires se réclamant de l'écologie et des énergies douces. Ce qui est aussi en cause, c'est la manière d'enseigner l'architecture. Doit-on véhiculer une mosaïque de disciplines transmises chacune de manière isolée ? Au contraire, faut-il envisager le projet comme l'élément fédérateur, sur lequel viennent se greffer des enseignements spécialisés ?

Sans refaire l'historique détaillée des controverses et des turbulences ayant agité les divers courants des Unités Pédagogiques d'Architecture depuis quinze ans, on peut tout au moins observer une évolution et une modification des points de vue. L'une et l'autre peuvent être repérées par les changements de vocables. De l'affirmation polémique de la nécessité d'une "architecture solaire", on est passé à l'exigence d'une adaptation à l'homme et au milieu avec "l'architecture bio-climatique", pour préconiser de manière plus modeste et plus globale dans les formulations récentes "la maîtrise des ambiances".

Objectifs : Initiation aux aspects physiques (autres que mécaniques)
 Sur la question des places respectives de l'initiation au projet et des enseignements des disciplines, et des disciplines scientifiques et techniques en particulier, des transformations apparaissent également. Les points de vue extrêmes d'une intégration totale ou d'une dualité maintenue ont tendance à s'éroder.

De tels changements, rapportés ici à grands traits, ne rendent peut-être pas aisément compte du nuancier des positions de tel ou tel groupe,

- facteurs d'ambiances physiologiques et psycho-sociologiques

de telle ou telle des personnalités marquantes ayant développé ces enseignements dans les Unités Pédagogiques d'Architecture. Ils sont cependant symptomatique d'une évolution générale visant à remettre les problèmes d'ajustement bio-climatique du projet à leur juste place et à ne pas en faire l'objet principal de la conception.

2) Notions de contrôle des milieux physiques :

Les textes réglementaires, organisant la réforme des études d'architecture qui se met en place à la rentrée 1984, traduisent en partie cette redistribution.

3) Coûts et stratégies de contrôle des milieux physiques :

Le dispositif pédagogique des certificats regroupant des disciplines, l'affirmation de la primauté du projet peuvent être interprétés comme un refus d'un enseignement en disciplines éclatées. La formulation des directives fixant des contenus et des horaires pour des enseignements obligatoires, marquent un désaveu des pratiques perpétuant le seul système de l'atelier des Beaux-Arts. Ainsi, avant d'examiner la manière dont ces nouvelles orientations sont mises en oeuvre pour le domaine qui nous intéresse dans ce rapport, dans les programmes des 23 écoles d'Architecture, il est nécessaire de rapporter les contenus indicatifs donnés par les responsables de l'enseignement, dans une note du Directeur de l'Architecture en date du 12 juillet 1984.

Le texte distingue le certificat du premier cycle de deux ans (D.E.F.A.) et celui du cycle conduisant au diplôme d'architecte en trois ans (D.P.L.G.).

Cycle de D.E.F.A.

"Connaissance et maîtrise du milieu physique"

Objectifs : Initiation aux aspects physiques (autres que mécaniques) du bâtiment, au contrôle du milieu physique interne (hygrothermique, lumineux et acoustique) et à la gestion de ses rapports avec le milieu ambiant.

Contenu :

1) Milieu physique et ambiances :

- notion de milieu physique
- facteurs d'ambiance physiologiques et psycho-sociologiques

- 2) *Elements d'énergétique des milieux physiques :*
 - énergie, exergie : formes, transformations et thermodynamisme
 - notions de base en hygrothermique acoustique et éclairage naturel (lois, grandeurs, unités)

- 3) *Notions de contrôle des milieux physiques :*
 - Applicables à l'obtention du confort des phénomènes d'échanges thermiques, de transmission acoustique et de la lumière naturelle

- 4) *Coûts et stratégies de contrôle des milieux physiques :*
 - économie générale des systèmes
 - systèmes actifs, systèmes passifs
 - Applications

Cycle D.P.L.G.

"Maîtrise du milieu physique et maîtrise des ambiances"

Objectifs : Suite de l'enseignement sur le même thème du premier cycle, en insistant sur certains aspects globaux : coût global, relation entre enveloppe et équipements, mise en oeuvre des systèmes. Ces enseignements devraient concrétiser l'intuition du milieu physique développé dans le cycle d'orientation, et donner les moyens d'intégrer la maîtrise dès le début de la mise en forme architecturale.

Contenu :

- 1) *Prise en compte spécifique des exigences en matière d'ambiance dans un projet.*
- 2) *environnement, stratégies énergétiques et coût global.*
- 3) *Complément en physique et physiologie des ambiances :*
 - hygrothermie
 - Acoustique
 - Eclairage
- 4) *Relations entre enveloppe et équipements, dans chaque catégorie d'ambiance : Technologie des ouvrages.*

L'ensemble des enseignements devrait associer approche théorique et pratique

En raison du démarrage présent de cette réforme, seuls les programmes remis pour approbation à la Direction de l'Architecture pour l'année 1984/1985 ont pu être exploités. Le premier travail possible, avant toute analyse plus fine, consistait à extraire les enseignements recoupant notre thème des propositions pour les deux premiers cycles des 23 Ecoles d'Architecture.

Le caractère disparate du degré de formulation de ces programmes est un obstacle à la comparaison ; mais la nomenclature qui suit permet néanmoins de recueillir une information intéressante. Examinons, en conséquence, ce que chaque école présente dans le domaine de référence que nous avons choisi, et que nous avons exploré d'une manière qui se voulait la moins restrictive possible. L'ensemble des expériences et des acquis de la réforme de 1968 étant refondu dans un cadre nouveau, il est intéressant de voir comment les préoccupations liées à la thermique, à l'ajustement bio-climatique, au solaire, qui se trouvent regroupées dans les textes officiels sous le vocable du "contrôle des ambiances", sont prises en charge dans les écoles. Une telle lecture peut se faire à plusieurs niveaux :

- celui, d'abord des certificats du premier cycle de deux ans (le D.E.F.A.) et des certificats de second cycle de trois ans (D.P.L.G.) ;
- celui, complémentaire, des enseignements de spécialisation post-diplôme, les Certificats d'Etudes Approfondies d'Architecture ;
- enfin, des recherches menées dans les équipes spécialisées des Ecoles d'Architecture sur les thèmes correspondants.

2ème année. Certificat : "Projet et construction"

un module intitulé : "Maîtrise des ambiances" 10 heures de cours et 20 heures de Travaux Dirigés. Enseignants : MM. BASSOULET ET DREVET

ECOLE D'ARCHITECTURE DE BORDEAUXCycle D.E.F.A.

2ème Année. Certificat : "Environnement et cadre bâti"

Un module intitulé : "Connaissance et maîtrise du milieu physique"
10 heures de cours et 20 heures de Travaux Dirigés. Enseignant :
M. MOULINE.

(Certificat associant : sociologie, histoire de l'architecture, environnement et aménagement, Droit, Dessin d'architecture et Histoire de la construction).

2ème année. Certificat : "Sciences de la construction"

Un module intitulé : "Connaissance et maîtrise du milieu physique"
8 heures de cours, 12 heures de Travaux Dirigés. Enseignant :
M. MOULINE

(Certificat associant : Initiation au projet, Mathématiques, Descriptive, Théories de la construction).

Cycle D.P.L.G.

lère année. Certificat : "Gestion et pathologie des constructions"

Un module intitulé : "Maîtrise des ambiances" 10 heures de cours et
20 heures de Travaux Dirigés. Enseignants : M. AIGROT et Mme
SIGNORET.

(Certificat associant en outre : Economie de la construction et connaissance des techniques de production, Conception technique, Matériaux et Structure, Réhabilitation, Rénovation, Transformation du site existant, Projet).

lère année : Certificat : "Composition et Construction"

Un module intitulé : "Maîtrise des ambiances", 32 heures de cours et
28 heures de Travaux Dirigés. Enseignants : M. BASSOULET et
Mme SIGNORET.

(Certificat associant, en outre : Conception technique des matériaux, Structures et enveloppes, Informatique, Projet).

2ème année. Certificat : "Projet et construction"

un module intitulé : "Maîtrise des ambiances" 10 heures de cours et
20 heures de Travaux Dirigés. Enseignants : MM. BASSOULET ET DREVET

(Certificat associant, en outre : Economie de la construction et connaissances des types de production, Conception technique, Matériaux et techniques, Réhabilitation, Rénovation transformation du bâtiment existant, Projet).

ECOLE DE CLERMONT-FERRAND

Cycle du D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Fabrication et Projet"

Un enseignement intitulé : "Connaissance du milieu physique"

64 heures. Enseignants :

Contenu résumé : Bases en éclairage, Acoustique, Thermique, Electricité, Application au projet.

Cycle D.P.L.G.

Optionnel. Certificat : "Technologies nouvelles"

Un enseignement intitulé : "Thermique et thermodynamique"

contenu résumé : Tranferts thermiques, Energie solaire, Thermodynamisme, Pompe à chaleur, Récupération d'Energie.

192 heures. Enseignants : MM. MASSOT, FAUCHEUX

(Certificat associant en outre : Architecture et un module non précisé).

ECOLE DE GRENOBLE

Cycle du D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Matériaux, conception architecturale et thermique".

Un enseignement intitulé : "Confort thermique et énergétique, thermique située". 16 heures. Enseignant : M. LAVIGNE

(Certificat associant, en outre : Les matériaux, Informatique, Formes et reproduction des formes, Conception et Technique de mise en oeuvre)

Cycle D.P.L.G.

2ème année. Certificat : "Construction et architecture II"

Un enseignement intitulé : "Confort thermique et énergétique".

Un enseignement intitulé : "Module court de thermique" 16 heures
(Certificat associant, en outre : R.D.M., Mécanique des sols, Structures complexes, Acoustique des bâtiments, éclairagisme, T.P., Informatique, Studios, avec un système d'options)

ECOLE DE LILLE

Cycle de

année : Certificat : "Initiation aux structures architecturales"

Un enseignement intitulé : "Construction et démarche de conception
architecturale"

Objectifs de l'enseignement

Donner à l'étudiant l'habitude d'intégrer la recherche des solutions constructives dans sa démarche de conception architecturale, et pour cela :

- présenter le minimum de connaissances techniques nécessaires ;
- acquérir progressivement un vocabulaire architectonique étendu ;
- l'utiliser dans des travaux de conception architecturale de plus en plus ambitieux.

Programme

L'enseignement fera alterner

- des cours théorique ;
- des analyses ponctuelles et des séances de T.P. préparatoires ;
- des exercices notés ;
- des analyses globales d'un édifice.

L'ensemble sera consigné dans un carnet de cours.

Premier trimestre : Compléments sur les structures.

- . Fondations
- . structure et ossature
- . Confortement mécanique des structures
- . Typologie des structures
- . Exemples d'éléments structuraux
- . Conception des structures;

Deuxième trimestre : Etude générale du confort des lieux

- . Les paramètres du confort physiologique
- . Les problèmes du conditionnement climatique
- . Les transferts d'énergie
- . Le rôle de l'enveloppe dans le contrôle des échanges
- . La constitution des parois extérieures
- . Principe d'architecture solaire passive
- . Apports complémentaires
- . Le traitement de la lumière en architecture
- . Notions d'acoustique
- . Questions de sécurité
- . Durabilité, pathologie

Troisième trimestre : Projet intégrant l'ensemble des préoccupations précédentes.

Enseignants : Cours : B. GUY. T.D. : B. GUY, Ph. LEGROS, A. PESKINE.

ECOLE DE LYON

Cycle du D.E.F.A.

1ère Année : Certificat "Art et Technique"

Un enseignement intitulé : "Milieu physique et ambiances"

Objectifs : Initiation à la maîtrise des ambiances psycho-physiologiques liées aux espaces architecturaux.

- Compréhension des relations entre le milieu et les formes et matériaux ; appréhension des formes et matériaux comme facteurs d'ambiances sensorielles ;
- Apprentissage de la manipulation simultanée du concret et de l'abstrait : Le cours essaye d'expliquer théoriquement l'expérience vécue et de dégager des connaissances abstraites de l'expérience concrète.

Résumé du contenu : Le cours suit simultanément trois axes :

- Axe 1 : Principes architecturaux de la maîtrise du climat,
- = mécanismes thermorégulateurs du corps humain et ambiance de confort thermique,
 - = connaissance du climat et maîtrise de l'ensoleillement,
 - = connaissance des modes de transfert thermique et rôle des formes et matériaux dans la maîtrise architecturale des ambiances thermiques.

Axe 2 : Principes architecturaux de la maîtrise de la lumière et des couleurs.

Axe 3 : Principes architecturaux de la maîtrise de l'acoustique

Cycle D.P.L.G.

2^{ème} année : Certificat : "Formes et matérialisations : le parti technique"

Enseignement intitulé : "Contrôle des ambiances et maîtrise de l'énergie." Enseignant : M. DEPECKER

1 - Thermique et CAO

Objectifs pédagogiques

Elaboration d'une réflexion critique sur la CAO et ses développements à venir dans le domaine de la thermique.

Illustrer une problématique générale à l'aide d'exemples empruntés au champ de la thermique.

Résumé du contenu

L'état de la recherche scientifique dans le domaine de la thermique.

- Pourquoi la CAO thermique ?
- Les aspects algorithmiques en thermique
- L'émergence du courant bioclimatique
- Pratique itérative et recherche de performance
- Introduction des systèmes solaires
- Les bilans énergétiques
- Logiciels et calculateurs pour la thermique
- Pratique de la CAO thermique - systèmes optimisés
- Réflexion sur la CAO thermique - opérationnalité pour l'architecte

2 - Les problèmes spécifiques liés à la CAO architecture

Objectifs pédagogiques

Connaissances approfondies des problèmes et techniques informatiques liés à la CAO architecture.

Résumé du contenu

- Organisation et gestion des données graphiques
- Organisation et gestion des données non graphiques
- Intelligence interne des logiciels
- Ergonomie des systèmes CAO
- Modularité et extensibilité des logiciels
- Gestion mémoire

Résumé du contenu

3ème année. Un certificat optionnel intitulé : "Energie et habitat"

Objectifs de formation

Faire prendre conscience aux futurs architectes du problème énergétique et de la nécessité de construire aussi avec le climat.

Approfondir les connaissances dans les domaines de la thermique et de la physique de l'environnement par l'introduction des énergies solaires, éolienne, biomassique, etc... tant au plan théorique que technologique.

Préparer les voies de recherche et d'approfondissement du 3ème cycle.

Organisation des enseignements

Le certificat repose sur deux types d'activités :

- un enseignement théorique centré sur le bio-climatisme et l'énergie solaire
- une mini-recherche pratique touchant un choix de problèmes particuliers en énergétique de l'habitat.

D'autre part, ce certificat est complémentaire du certificat CAO-thermique où sont traités les problèmes d'instrumentation des méthodologies développées ici.

3ème année. Un certificat sur les "CAO architecturales" comportant un enseignement "Thermique et CAO"

Objectifs pédagogiques

Approfondissement des connaissances de base acquises en premier cycle sur le milieu physique.

Intégration du concept d'énergie dans la pratique du projet d'architecture.

Initiation aux outils nouveaux d'aide à la conception.

Introduction à la notion de performance.

Résumé du contenu

Cet enseignement vient compléter les connaissances des élèves issus du premier cycle, mais il constitue en même temps un tremplin vers les enseignements optionnels et futurs de 4ème et 5ème année dans la mesure où il aborde des problématiques plus générales comme l'aide à la conception et l'évaluation de la performance. Il s'agit d'un cours charnière devant préparer les élèves à des approches plus globalisantes du projet et très corrélées avec les réalités contemporaines de l'énergie et de l'économie.

- 1 - La notion d'ambiance - caractérisation objective*
- 2 - Maîtrise de l'énergie et choix des partis architecturaux*
- 3 - Phénoménologie thermique du bâtiment*
- 4 - Enveloppe et lumière - volume et lumière*
- 5 - Phénoménologie acoustique du bâtiment*
- 6 - L'analyse sitologique et le milieu physique*
- 7 - Morphologie et énergie*
- 8 - Le bilan énergétique du bâtiment*
- 9 - L'aide à la conception thermique*
- 10 - Introduction à l'approche bio-climatique*
- 11 - Initiation à l'analyse économique*
- 12 - Extension de la notion de performance*

ECOLE DE MARSEILLE

Cycle D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Territoire et Paysage"

Un enseignement intitulé : "Architecture, Aménagement et Paysage"

Enseignants : MM. CROS, THIRY, HIRSCHI, CHAUSSAT, VERDEVIC.

Un enseignement intitulé : "Territoire et Paysage"

Enseignants : MM. PARISIS, HAYOT, PERCOFF, TIRONE, LANDRIN, TESSIER.

Nota : Ces deux enseignements proposent des études de cas. La problématique de la maîtrise d'ambiance n'apparaît pas formellement dans les résumés des contenus. La "Connaissance et la maîtrise du milieu physique" sont cependant incorporées dans la fiche programme.

Cycle D.P.L.G.

Certificat : "Les outils du projet"

Un enseignement intitulé : "Maitrise ensoleillement, lumière, vent et ventilation"

Enseignants : MM. J.L. IZARD, A. GUYOT, M.A. DABAT, M. POTI.

Obligatoire. 40 heures.

A ce certificat sont associées des filières de projet.

Une filière est intitulée : "Maitrise des facteurs d'ambiance"

Enseignants : J.L. IZARD, A. GUYOT.

Certificat : "Architecture dans l'espace méditerranéen"

Un enseignement intitulé : "Ambiances, énergie". Optionnel.

Enseignants : MM. DABAT, IZARD, GUYOT.

Certificat : "Architecture et vie quotidienne"

Un enseignement intitulé : "Pratique et contrôle des facteurs d'ambiance".

Enseignant : R. THIRY.

ECOLE DE MONTPELLIER

Cycle D.E.F.A.

1ère année. Certificat : "Construction 1"

Un enseignement intitulé : "Milieu" ayant pour contenu résumé : Principe de base de la thermique physique, du solaire, de l'éclairagisme. 16 heures de cours, 24 heures de T.D.

(Certificat comportant, en outre : Descriptive, Mathématiques, Construction).

Un enseignement intitulé : "Technologie"

Contenu résumé : généralités sur les techniques traditionnelles. Les matériaux et les formes. Confort thermique : ventilation, moyens, procédés (applications).

2ème année. Certificat : "Construction 2"

Un enseignement intitulé : "Milieu physique" ayant pour contenu résumé : Sensibilisation à l'environnement, Formes d'énergie utilisable, Chauffage, Climatisation, Isolation.

8 heures de cours, 24 heures de T.D.

(Certificat comportant, en outre : Techniques de visualisation, Informatique, Construction).

Cycle D.P.L.G.
Cycle D.P.L.G.

1ère année. Certificat : "Habitat individuel groupé"

Un enseignement intitulé : "Sciences constructives".

Contenu résumé : système d'unités de grandeur - généralités et notions de thermique - les phénomènes thermiques, sonores et lumineux - énergie solaire - application au projet - calcul des apports.

Obligatoire. 40 heures.

Certificat : "Habitat dense en site urbain"

Un enseignement intitulé : "Sciences de la construction"

*Contenu résumé : Eclairagisme : sources, confort, aspect thermique
Acoustique : sources, confort, isolation - Mécanique des fluides.*

Obligatoire : 24 heures de cours.

Certificat : "Construction 1"

Un enseignement intitulé : "Sciences de la construction : Thermique, acoustique et éclairagisme appliqué".

Obligatoire. 24 heures de cours et 24 heures de T.D.

2ème et 3ème année.

Certificat : "A.U.A.F.N. Propédeutique ateliers Aménagement Architecture, Facteurs physiques et humains".

Un enseignement intitulé : "Sciences exactes"

Contenu résumé : Informatique : traitement des données. Le confort thermique dans un contexte déterminé. Mesures, quantifications du confort thermique.

Un enseignement intitulé : "Technologie"

Contenu résumé : généralités sur les techniques traditionnelles. Les matériaux et les formes. Confort thermique : ventilation, moyens, procédés (applications).

ECOLE DE NANCYCycle D.E.F.A.

1ère année : Certificat : "Approche constructive"

Un enseignement intitulé : "L'architecte et la construction".

Contenu résumé : Série de problèmes où la construction se définit comme enjeu architectural ; exemples : l'appareil, la lumière, le squelette.

Enseignant: J.C. BIGNON. 32 heures.

Cycle D.P.L.G.

2ème année : Certificat : "Architecture construite".

Un enseignement intitulé : "Thermique acoustique".

Contenu résumé : Introduction aux phénomènes physiques intervenant dans les problèmes de constructions : isolation thermique (coefficients K, G, B), confort thermique, isolation phonique, confort acoustique.

Enseignant : B. DEVIOT. 45 heures. Obligatoire.

3ème année : Certificat : "Pratiques constructives"

Un enseignement intitulé : "Energie".

Contenu résumé : La maîtrise de l'énergie implique de nouvelles préoccupations pour l'architecte liées à des produits, des techniques et des codes dont on fera l'analyse.

Enseignants : P. GOSSELIN, M. FEIDT. 28 heures. Optionnel.

ECOLE DE NANTESCycle D.E.F.A.

2ème année : Certificat : "Sciences exactes et constructives"

Un enseignement intitulé : "Connaissance et maîtrise du milieu physique".

Contenu résumé : Physico-chimie des matériaux, Hydrothermie, Acoustique, Eclairagisme, Thermique. 64 heures. Obligatoire.

(Certificat comprenant, en outre : Géométrie 2, Statique Résistance des matériaux, Analyse mathématique, Informatique).

Cycle D.P.L.G.

2ème et 3ème année : Certificat : "Mathématiques et sciences exactes"

Un enseignement intitulé "Thermique"

Contenu résumé : contrôle du confort thermique et sciences physiques appliquées à la construction.

Enseignant : M. DENOS.

Optionnel. 32 heures en 2ème année. 32 heures en 3ème année.

(Certificat comportant, en outre : Mathématiques, Informatique, Structures spatiales et acoustiques, Mécanique des sols, Acoustique).

ECOLE DE RENNES

Cycle D.E.F.A.

1ère année. Certificat : "Construction 1"

Enseignement intitulé : "Connaissances et maîtrise du milieu physique"
90 heures.

Enseignants : MM. HUET, CAMPS. Obligatoire.

(Certificat comportant, en outre : Eléments d'une théorie de la construction, Outils architecturaux, Environnement et Aménagement).

Résumé du contenu

1 - Connaissance et maîtrise du milieu physique

- . Milieu physique et ambiances
- . Eléments d'énergétiques des milieux physiques
- . Notions de contrôle des milieux physiques
- . Coûts et stratégies de contrôle des milieux physiques

2 - Eléments d'une théorie de la construction et application.

Stratégies techniques mises en oeuvre dans la construction

- . Mise en relation des phénomènes physiques, des procédés de traitement dans ambiances et des moyens et processus de réalisations.
- . Typologie des systèmes enveloppe, équipement.

Cycle D.P.L.G.

1ère année. Certificat : "Construction"

Enseignement intitulé : "Maitrise des ambiances". 60 heures.

Enseignant : J.L. BOUR. Obligatoire.

(Certificat comportant, en outre : Connaissances des techniques de production, Conception technique des matériaux, structures).

Apprendre à concilier les approches quantitatives et qualitatives con-
Résumé du contenu *des ambiances.*

Connaitre les paramètres qui entrent en jeu dans les ambiances et ana-
leurs relations.

Proposer des modèles permettant de simuler les comportements.

Intégrer les coûts d'exploitation au cours de la conception :

- Thermique

1 - Les phénomènes physiques liés à l'hygrométrie :

- le confort thermique lié à la réglementation,

- le confort thermique lié à l'activité humaine,

3ème année. *en d'exothermie et d'endothermie.*

Certificat : "Mise en forme I" *renouvellement de l'air.*

Un enseignement intitulé : "Maitrise des ambiances". 65 heures.

Enseignant : M. BEAUPRE. Obligatoire.

- physique du son, lois générales,

3ème année. *ances et comportement physiologique.*

Certificat : "Usage de l'espace III"

Un enseignement intitulé : "Maitrise des ambiances". 50 heures.

Enseignant : M. BEAUPRE. Obligatoire.

- lois de photométrie. Physiologie de l'oeil,

- le confort visuel lié à l'activité humaine,

- dispositions constructives : éclairage naturel et éclairage arti-

ECOLE DE ROUEN

Un certificat obligatoire faisant référence à la "Maitrise des ambian-
ces". 60 heures.

Enseignant : MM. FEENY, NOVICZKY.

Objectifs de la formation

ECOLE DE SAINT-ETIENNE

Cycle D.E.F.A.

1ère année. Certificat : "Les déterminants... physiques, géographiques
 et culturels de la construction".

Un enseignement intitulé : "Le contrôle du milieu physique"

Objectifs de la formation

Aborder la notion d'ambiance par l'énoncé des comportements physio-
 logiques.

Thèmes

Apprendre à concilier les approches quantitatives et qualitatives concernant la maîtrise des ambiances.

Une série de cours magistraux constitue le support thermique de l'analyse de cas.

Thèmes

1 - Les phénomènes thermiques liées à l'hygrométrie :

- le confort thermique lié à la réglementation,
- le confort thermique lié à l'activité humaine,
- notion d'exothermie et d'endothermie,
- la vapeur d'eau et le renouvellement de l'air.

2 - Confort acoustique :

- physique du son, lois générales,
- nuisances et comportement physiologique,
- dispositions constructives.

3 - Lumière et éclairage :

- lois de photométrie. Physiologie de l'oeil,
- le confort visuel lié à l'activité humaine,
- dispositions constructives : éclairage naturel et éclairage artificiel.

Enseignant : M. HAFNER. 32 heures. Obligatoire.

Un enseignement intitulé : "Géophysique"

Objectifs de la formation

Clarifier la vision concernant les grands phénomènes naturels : compréhension de leurs mécanismes, mise en évidence des contraintes qu'ils entraînent, mais aussi des façons d'en tirer parti.

Introduire la notion de synergie dans l'étude des cycles naturels, des éco-systèmes des ressources énergétiques.

Thèmes

- 1 - Les grands phénomènes naturels :
 - notions de climatologie liées à l'habitat : climats, micro-climats,
 - le soleil, "moteur" des phénomènes climatiques,
 - le vent et les phénomènes atmosphériques,
 - la pluie et les cycles de l'eau,
 - éco-système, cycles écologiques, équilibres,
 - l'écorce terrestre et les séismes.
- 2 - Les énergies (origine, production, conversion) :
 - recensement : énergies fossiles, énergies renouvelables,
 - conversions thermo-dynamiques et thermo-électriques,
 - comportement énergétique du bâti : systèmes actifs, systèmes passifs,
 - applications à l'économie générales des systèmes,
 - réflexion sur la consommation française actuelle et prévisionnelle.

Enseignant : M. ACETTA. 32 heures. Obligatoire.

(Certificat comprenant, en outre : Les techniques de constructions et leur rapport à l'architecture, Sciences sociales et architecture, Géographie).

2ème année. Certificat de construction

Un enseignement intitulé : "Thermique"

Objectifs de la formation

Enseignement de formation sur tous les problèmes thermiques de la construction.

Thèmes

- 1 - Isolation thermique
 - unités de grandeur,
 - notions de confort,
 - éléments de thermique du bâtiment,
 - définition K,
 - déperditions,
 - ventilation,

- coefficient G,
- exigences fonctionnelles,
- points faibles thermiques,
- matériaux isolants,
- problème d'été.

2 - Les énergies :

- les produits,
- énergies nouvelles.

3 - Les équipements :

- les systèmes,
- chauffage électrique,
- récupérateur, échangeur.

Enseignant : M. GAUTHIER.

ECOLE DE STRASBOURG

Cycle D.P.L.G.

Certificat : "Option contrôle d'environnement"

Issue du séminaire de recherche des années précédentes, articulant désormais systématiquement projet et développement de la connaissance, cette option permanente ne repose pas sur la "mode" de l'architecture dite "bio-climatique".

Enseignant : Mme P. MILLER.

ECOLE DE TOULOUSE

Cycle D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Oeuvres figurées, oeuvres construites 2"

Enseignement intitulé : "Physique, climatique" ayant pour objectif "la connaissance et la maîtrise du milieu physique" et se proposant de communiquer : "Les éléments de base permettant de cerner les relations entre les bâtiments et le climat en vue d'une meilleure maîtrise de l'énergie".

Enseignant : M. SOUM. Obligatoire.

Cycle D.P.L.G.

3ème année. Certificat : "Pratiques spécifiques et d'approfondissement"

Option : "Architecture bio-climatique"

Enseignants : MM. CORDIER, GERBER, SOUM, CHATELET, CZERZUK.

Ex U.P. n° 1 : ECOLE DE PARIS VILLEMINCycle D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Sciences et techniques"

Un module intitulé : "contrôle du milieu II, Physique appliquée"

1 h 30 semaine et 1 h 30 de T.P. tous les quinze jours.

Enseignant : J. CAMI assisté de G. TURCK

Programme

- Introduction aux sciences de l'habitabilité ;
- Hygrothermique dans le bâtiment :
 - . Rappel de quelques notions physiques - exigences humaines ;
 - . Hygrothermique d'hiver : confort thermique en hiver - déperdition - coefficient G ;
 - . renouvellement d'air : principes de ventilation ;
 - . condensation : condensation superficielle - condensation dans la masse ;
 - . hygrothermique d'été ;
 - . Synthèse : conception du projet - choix des solutions - exemples d'application.
- Sécurité en cas d'incendie :
 - . le problème de la sécurité ;
 - . Paramètres fondamentaux de l'incendie : apparition et évolution du feu dans le local et hors du local où il a pris naissance ;
 - . Comportement au feu des éléments de constructions - classement ;
 - . les différentes classes : immeubles d'habitations et autres locaux ;
 - . Exemples de solutions ;
 - . synthèse : conception du projet - choix des solutions - exemples d'application
- Etanchéité à l'eau :
 - . Données ;
 - . physique des phénomènes ;
 - . exemples de solutions.

(Ce certificat associe : R.D.M. Construction Informatique)

Un atelier intitulé : "Atelier Constructions bio-climatiques"

Cycle D.P.L.G.

4^{ème} année. Certificat "Sciences et techniques de la construction"

Un module intitulé : "Architecture, Economie d'énergie, Contrôle du milieu"

Optionnel. Enseignant : MM. CAMI, TURCK.

Programme

16 cours consacrés à un rapide rappel et à un complément des enseignements antérieurs - (relations simplifiées, règles d'application).

- Les données du problème
- Exigences humaines et données du site
- Les sciences appliquées au milieu (appel)
 - . Hygrothermique d'hiver, coefficient G et G1, coefficient B,
 - . Ventilation, débit d'air,
 - . Acoustique - applications au logement, aux bureaux,
 - . Sécurité Feu
 - . Eclairage.
- Présentation d'un exemple concret.

Application ; soit :

Les applications au projet (permet d'approfondir et de coordonner ses* connaissances).

L'élève choisit, de préférence dans le cadre des travaux de son studio :

- le sujet de son étude,
- le site.

Par étapes successives,, il élabore la solution définitive par les caractéristiques physiques (parti du projet).

soit, établissement d'un diagnostic thermique, calcul de G et B - Proposition de solutions - améliorations.

(Certificat associant, en outre : Béton armé, Constructions métalliques, Charpente bois, Réhabilitations et des options dont l'enseignement ci-dessus).

ÉCOLE D'ARCHITECTURE

78000 VERSAILLES

Tel. : 951.62.51

5ème année. Certificat : "Architecture 5"

Un atelier intitulé : "Atelier Constructions bio-climatiques"

Enseignants : MM. CHAULIAGUET, HUBERT.

Objet de l'enseignement :

Il concerne, en principe, tous les projets architecturaux (ici et ailleurs) où se pose de façon un peu plus précises et volontaires les économies d'énergie, bien sûr, mais surtout l'interaction Architecture (Site, programme, référence)-Technique (matériaux-systèmes de production ou d'économie d'énergie)-Règlementation (code d'évaluation, normes minimas les coefficients G, G1, B... en sont l'aspect le plus contraignant à priori).

But de l'enseignement :

Donner (ou tenter de...) aux étudiants les éléments indispensables, reprendre des connaissances antérieures pour être à même de penser un projet. Car qu'on le veuille ou non, et ce pour des raisons économiques parfaitement justifiées, l'Architecture bio-climatique ou Architecture climatique deviendra simplement... Architecture.

Méthode :

A travers une série d'exercices proposés sur des thèmes précis qui baliseront, de façon aussi complète que possible, la démarche de conception. En particulier, le niveau de rendu sera très complet sur certains éléments du projet (ex. : serre + système de traitement de l'air, etc...) qui seront dimensionnés, dessinés à des échelles significatives et décrits.

L'Atelier a un caractère assez opérationnel sur son thème compte tenu de l'expérience des enseignants en recherche et réalisations expérimentales.

Support :

Séminaires, conférences d'intervenants extérieurs, si possible visites d'opérations ; utilisation de projiciels, héliodon, maquette, photos, cours et textes divers photocopiés.

**ÉCOLE D'ARCHITECTURE
DE VERSAILLES
BIBLIOTHÈQUE
2, Avenue de Paris
78000 VERSAILLES
Tél. : 951.52.51**

Option. Certificat : "Matériaux industrialisés et composition structurale"

Un enseignement en : "Bionique structurale"

Enseignants: MM. BROSSIN, DELARUE, JOSSIFORT

2^e année. Certificat : "Construction générale"

Bionique : sciences des systèmes artificiels imités ou "inspirés des systèmes naturels".

- Pathologie du bâtiment

Les acquis de la bionique structurale ont établi que dans le monde organique, à chaque problème, la nature sait trouver une solution appropriée.

Le séminaire se propose de décrire et analyser quelques cas significatifs susceptibles d'inspirer des systèmes constructifs artificiels. Des exercices simples portant sur des espaces programmés auront pour but de tester les capacités de composition structurale procédant de l'analogie et en rupture avec les procédés de conception habituels.

3^e année. D. n° 3 : ÉCOLE D'ARCHITECTURE DE VERSAILLES

Cycle D.P.L.G.

1^{re} année. Certificat : "La construction technique et ses outils"

Enseignants : MM. AUROUSSAS, BARRER, CHARUE, MASSON, LI, ROUSSIGNAN.

Sur le cycle.

Certificat : "Habitabilité, Économie, Représentation"

Un enseignement intitulé : "Chargement, aléatoire, électricité"

Enseignant : MM. BLANDIN, MISSENAUD.

Ex. U.P. n° 2.Cycle D.E.F.A.Cycle D.P.L.G.

2^{ème} année. Certificat : "Construction générale"

Ce certificat comprend deux cours : "Connaissance et mise en oeuvre du béton" et un cours au choix entre :

- 1°) - Pathologie du bâtiment
- 2°) - Problèmes techniques de la réhabilitation
- 3°) - Voiries et réseaux divers.

Ces cours sont complétés par 15 séances de conférences avec Travaux Dirigés sur :

- Acoustique
- Thermique
- Eclairage

2^{ème} a - Certificat : "Application des sciences de la construction au projet d'architecture".

Un enseignement intitulé : "Connaissances et maîtrise du milieu physi-

Ex. U.P. n° 3 : ECOLE D'ARCHITECTURE DE VERSAILLES

(Certificat comprenant, en outre : Eléments d'une théorie de la construction, Equilibre, Résistance des matériaux, Structu-

Cycle D.P.L.G.

1^{ère} année. Certificat : "La conception technique et ses outils"

Enseignants : MM. AUROUSSEAU, BOUDIER, CHARUE, MASSON, LI, MUSSIGMAN.

Ex. U.P. n° 5 :Sur le cycle.

Certificat : "Habitabilité, Economie, Règlementation"

Un enseignement intitulé : "Chauffage, plomberie, électricité"

Enseignant : MM. BLANDIN, MISSENARD.

Cycle D.P.L.G.

1^{ère} ou 2^{ème} année. Certificat : "Projet ou problématique de la réalisation architecturale"

Une option : "Ambiances"

(Certificat comprenant, en outre : Technologies, Second-oeuvre)

Enseignant : MM. HAMAYON, HAUMONT. 30 heures.

Ex. U.P. n° 6 :Cycle D.E.F.A.

Ex. U.P. n° 4 année. Certificat : "Physique"Cycle D.E.F.A. A. LIEBARD

1ère année. Certificat : "Introduction aux sciences de la construction" ayant les objectifs suivants :

- 1°) Une mise à niveau des connaissances mathématiques essentielles, et des mécanismes du raisonnement logique.
- 2°) Un rappel ou une acquisition des connaissances physiques concernant la construction, notamment en matière d'équilibre des corps, de comportement mécanique de la matière et des actions du milieu environnant.
- 3°) Une prise de connaissance des principaux matériaux de construction, de leur mise en oeuvre et du vocabulaire correspondant.

Enseignant : MM. OLIVE, LIEBARD

2ème année. Certificat : "Application des sciences de la construction au projet d'architecture".

Un enseignement intitulé : "Connaissance et maîtrise du milieu physique".

(Certificat comprenant, en outre : Eléments d'une théorie de la construction et applications, Equilibre, Résistance des matériaux, Structures, Initiation à la mise en forme et au projet).

Ex. U.P. n° 5 : de l'énergieCycle D.E.F.A. comprenant, en outre : Acoustique, Eclairagisme)

2ème année. Certificat : "Sciences de la construction"

Disciplines concernées : Résistance des matériaux, Béton armé, Bois-métal, Chauffage, Electricité, Acoustique, Fluide, Mécanique des sols.

Certificat : "Concevoir et construire l'architecture"

Cycle D.P.L.G. intitulé : "Maîtrise des Energies"

1ère ou 2ème année. Certificat : "Projet ou problématique de la réalisation architecturale".

Une option : "Ambiances"

(Certificat comprenant, en outre : Technologies, Second-oeuvre)

Enseignant : MM. HAMAYON, HAUMONT. 30 heures.

Ex. U.P. n° 6 :Cycle D.E.F.A.

1ère année. Certificat : "Physique"

Enseignant : A. LIEBARD

Objectif du cours

Donner des bases sensibles, précises et théoriques des données physiques qui régissent les transferts, transports, échanges de toutes nature qui ont lieu au niveau des matières, matériaux, composants, bâtiments et plus généralement de l'environnement.

2ème année. Certificat : "Ambiances"

Un enseignement : "Thermique"

Enseignant : MM. OLIVE, LIEBARD.

Thermique

- Température et quantité de chaleur
- exigences humaines, autres exigences
- données climatiques
- comportement thermique des constructions : isolation, inertie
- condensation
- ventilation
- principes des solutions passives et actives
- maîtrise de l'énergie

(certificat comprenant, en outre : Acoustique, Eclairagisme)

Cycle D.P.L.G.

Certificat : "Concevoir et construire l'architecture"

Un enseignement intitulé : "Maitrise des Energies"

Enseignants : MM. OLIVE, LIEBARD.

Introduction au génie climatique

Le principe de base de la conception thermique d'une construction est de considérer l'enveloppe comme régulatrice principale entre les ambiances extérieures et intérieures. Après la conception de l'enveloppe, la conception du mode de renouvellement d'air précisera le comportement thermique de la construction. Ensuite, la conception des équipements permettra d'aboutir au confort intérieur souhaité.

Production des énergies renouvelables

Héliothermie et héliotechnique urbanistiques et architecturales. Développement et réalisation de programmes en économies d'énergies en contexte développé et en contexte de développement. Production décentralisée d'énergie électrique photovoltaïque.

Aérogénérateurs performants de la nouvelle génération. Chauffe-eau solaires. Développement urbanistique en économie d'eau. Diapo sur les grandes réalisations mondiales.

Un enseignement de projet intitulé : "Une architecture d'économie d'énergie".

Enseignants : MM. A. ENARD, F. PHILIPPE.

A l'occasion d'un programme de projet, on étudiera certaines techniques d'économie d'énergie et leur intégration au bâtiment.

Les techniques retenues (occultations, capteurs, photopiles) cernent le thème de la "lumière" dans le bâtiment projeté.

Le travail s'effectue en liaison avec l'Ecole d'Ingénieurs des Travaux Publics d'Etat.

Une partie du projet se fait donc par binome (1 étudiant architecte - 1 étudiant ingénieur).

Certificat : "Architecture et climats"

Un enseignement intitulé : "Orientation Architecture solaire en Europe"

Maisons bioclimatiques, rénovation urbaine et rurale, étude de groupements et d'unité de voisinage optimisant la maîtrise de l'énergie...

Outre le groupe de projet, le certificat comporte :

- . Un cours annuel consacré à l'architecture solaire et bioclimatique dans le contexte français et à l'architecture tropicale. Ce cours comporte également des analyses des habitats traditionnels sous l'angle climatique et débouche sur des T.P. et expérimentations (soleil vrai et héliodon) ;
- . Des applications particulières seront expérimentées par petits groupes au CIMA ;
- . Des activités plastiques par équipe seront programmées à diverses périodes de l'année et articulées sur les projets après une phase d'imprégnation.

Enseignants : MM. FRANCA, STEIN, DAVALAN. 40 heures.

(Certificat comprenant, en outre : Sociologie urbaine, typologies et structures, Activité de projet.)

Certificat : "Architecture, Aménagement et Environnement"

Un enseignement intitulé : "Ecohabitat : l'habitat conçu comme écosystème".

Enseignants : MM. G. ALEXANDROFF, J.M. ALEXANDROFF, EDERY, MENARD, TATTEGRAIN.

Un enseignement intitulé : "Architecture solaire, Architecture tropicale"

Enseignant : G. ALEXANDROFF

Enseignant : M. FRANCA. 50 heures.

Ex. U.P. n° 7 : comprenant, en outre : Productivité et organisation nouvelle de la production, Exigences et qualité.

Cycle D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Construction 2 : structure et enveloppe du bâtiment".

Enseignement intitulé : "Milieu physique" comprenant : Hygrothermique, données thermiques, hygiène et confort.

Enseignant : M. FRANCA. 42 heures. Obligatoire.

2ème année. Certificat : "Maîtrise du milieu physique"

Enseignement intitulé : "Initiation au contrôle de l'environnement :

Cycle D.P.L.G.

1ère année. Certificat : "Construction 3 : sciences et techniques de la construction"

Enseignement intitulé : "Maîtrise des ambiances et économies d'énergie" dont le contenu est indiqué comme suit :

- Besoins thermiques et sources d'énergie
- confort d'été. Ventilation
- Techniques de chauffage et de conditionnement
- Production d'eau chaude sanitaire et équipement
- Régulation et économie d'énergie
- Dossier APD des équipements techniques d'un projet personnel simple.

Enseignant : M. FRANCA. 56 heures.

(Certificat comprenant, en outre : Structures, acoustique, incendie ; Techniques et méthodes de production ; Conception technique et pratique professionnelle).

1ère année. Certificat : "Logement collectif en site urbain, logement social".

Enseignement intitulé : "Construction et confort - Arts plastiques"

traitant : Des partis constructifs et de leurs incidences, du confort thermique et acoustique.

Enseignants : MM. FRANCA, STEIN, DAVALAN. 40 heures.

(Certificat comprenant, en outre : Sociologie urbaine, typologies et doctrines, Activité de projet).

Option. Certificat : "Sciences du bâtiment et technologies

Enseignement intitulé : "Energie et conception des bâtiments" traitant les thèmes suivants :

- solaire passif et actif
- Isolation statique et dynamique
- Gestion des systèmes acoustique et thermique
- Aide à la conception

Enseignant : M. FRANCA. 50 heures.

(Certificat comprenant, en outre : Productivité et organisation nouvelle de la production, Exigences et qualité).

Ex. U.P. n° 8 :

Cycle D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Connaissance et maîtrise du milieu physique"

Enseignement intitulé : "Initiation au contrôle de l'environnement : le climat et l'ambiance", ayant le contenu suivant :

comprendant - Le contrôle de l'environnement dans l'histoire. VITRUVÉ, LAUGIER. Les hygiénistes, le mouvement moderne, les économies d'énergie.

- Le climat, la lumière, le chaud, le froid...le bruit : les sciences et leur application architecturale et urbaine.

- Les travaux pratiques avec les instruments de mesure du laboratoire de contrôle de l'environnement permettant une approche concrète des phénomènes et de leur intersection.

Enseignants : MM. DAVENNE, PHAM-KIM, BERNSTEIN.

Cycle D.P.L.G.

2ème année. Certificat : "Architecture 7"

Un enseignement intitulé : "Génie climatique", ayant le contenu suivant :

- Physiologie thermique (comportement de l'homme et d'équipements).
- les données climatiques
- installation du chauffage
 - . la réglementation actuelle
 - . différents systèmes utilisés

PREMIERE INTERPRETATION

- . différentes énergies utilisées
 - . contraintes architecturales sur le bâtiment (cheminées, ect...)
 - les installations de conditionnement d'air
 - . les différents systèmes utilisés
 - . les contraintes architecturales
 - installation sanitaire
 - . alimentation en eau froide
 - . alimentation en eau chaude
 - . évacuation
- Enseignant non désigné. Obligatoire.

Ex. U.P. n° 9 :Cycle D.E.F.A.

2ème année. Certificat : "Environnement et architecture"

comprenant un enseignement : "connaissances et maîtrise du milieu physique".

Ce certificat présente comme suit son contenu : *Il résulte d'une analyse des composantes de l'environnement avec les mêmes objectifs, mais d'un point de vue plus formel, qui intègre l'analyse des espaces extérieurs et resitue donc l'architecture dans son contexte*".

(Ce certificat présente, en outre, des enseignements sur : Environnement et aménagement, Initiation aux volumes et aux couleurs).

Cycle D.P.L.G.

2ème année. Certificat : "Espace et composition 2"

comprend en enseignement : "Maitrise des ambiances" présenté ainsi : suite de l'enseignement précédent (espace et composition 1), ce certificat traite davantage des matières relatives aux équipements (éclairage, thermique, acoustique) et aux aménagements, ainsi qu'à l'architecture et à l'environnement extérieur.

(Ce certificat comprend, en outre des enseignements de projet et d'équipements).

PREMIERE INTERPRETATION

Il est clair que le niveau inégal de formulation des programmes, tels qu'ils ont été communiqués à la Direction de l'Architecture en Octobre et tels que nous les avons exploités, nous interdit d'entreprendre une quelconque comparaison des contenus entre les différents établissements. Pour certains, nous ne possédons que le titre d'un enseignement et le nom de son (ou de ses) responsable(s). D'autres, au contraire, fournissent un intitulé détaillé du programme de chaque module. L'analyse peut, en revanche, porter sur l'insertion des enseignements à dominante scientifique et technique dans une problématique de projection, étant entendu qu'une telle association constituait un des objectifs annoncés de la réforme. Le découpage en certificats hétérogènes et le regroupement d'enseignements diversifiés au sein de ceux-ci est-il réellement proposé dans les programmes ? Trouve-t-on des certificats regroupant des enseignements de l'architecture et des enseignements scientifiques ? Au contraire, le jeu des "corporatismes" pédagogiques a-t-il maintenu les frontières existantes et permis la seule fédération d'enseignements à caractère homogène ?

Examinons d'abord la question pour les enseignements du cycle du D.E.F.A.. Huit écoles paraissent associer l'enseignement sur la "connaissance et la maîtrise du milieu physique" à une problématique globale de conception architecturale. Pour les quinze autres, il paraît, au vu des intitulés recueillis que l'enseignement correspondant est un élément d'un certificat fédérant des disciplines scientifiques ou constructives relativement homogènes dans leur intitulé et vraisemblablement dans leurs méthodes d'enseignement.

Pour le cycle du D.P.L.G., on peut effectuer la même lecture. Notons tout d'abord que le système des options et des filières rend plus difficile la classification des écoles dans deux catégories disjointes. Pour un certain nombre d'entre elles, on trouve simultanément dans le programme des certificats à contenu exclusivement scientifique et technique et des certificats intégrant ce type d'enseignement et des activités de projet. Sur la réalité de cette intégration, il y aurait encore lieu de s'interroger sur le type de collaboration qui s'institue : s'agit-il d'une juxtaposition formelle ou d'une pratique pédagogique réellement coopérative ? Il nous faut dire que la réponse à ce type d'interrogation ne se trouvait pas dans les programmes que nous avons exploités. Avec

les réserves qui viennent d'être exprimées, on trouve sept écoles qui proposent un enseignement de la maîtrise des ambiances intégré dans un certificat exclusivement scientifique et technique.

Ainsi, le rapport évalué pour le cycle du D.E.F.A. s'inverse et le cycle D.P.L.G. marque une tendance plus nette à l'intégration des enseignements.

Pour pouvoir aller plus avant dans cet essai d'interprétation, il faudrait pouvoir disposer d'information plus précises, à la fois sur les contenus et sur les modalités de mise en oeuvre des dispositifs pédagogiques dans chaque école. Si l'on voulait, en étant plus "inquisiteur", apprécier le niveau réel d'acquisition des connaissances, il serait alors nécessaire de recueillir des éléments sur les modalités de contrôle, sur les intitulés des examens, sur les critères de notation et d'évaluation. Qu'il soit permis de douter de la possibilité de rassembler actuellement de telles données pour l'ensemble des écoles.

A défaut, on peut se fixer l'objectif moins ambitieux de mise au jour, d'une part, des programmes des enseignements du contrôle des ambiances et de maîtrise du milieu physique, d'autre part, des modalités pédagogiques de transmissions des contenus correspondants.

La question de la part plus ou moins grande faite dans ce dernier domaine, à un travail intégré à la mise en forme du projet est, en effet, de la plus grande importance. En effet, si la transmission didactique correspondant à des cours, des travaux dirigés ou des travaux pratiques peut être envisagée sous des formes systématisées, voire informatisées, la mise en oeuvre de techniques de ce type pour la projection paraît bien hypothétique. Les procédures que l'on va maintenant examiner fonctionnent dans une logique d'acquisition des connaissances déjà formalisées ou d'acquisition de méthodes. Elles ne s'attachent pas à développer des aptitudes à la créativité, à la synthèse ou à la constitution d'un objet nouveau. Il est bon, cependant, d'en rappeler les caractéristiques essentielles et de situer les principales étapes de leur évolution.

LES CERTIFICATS D'ETUDES APPROFONDIES D'ARCHITECTURE

Les enseignements post-diplômes prévus par la réforme des études d'architecture permettent d'attribuer des "Certificats d'Etudes Approfondies d'Architecture" à des diplômés de l'enseignement de l'architecture ou d'autres formations supérieures. La procédure d'habilitation lancée par la Direction de l'Architecture a été l'occasion d'une mobilisation d'une part importante du corps enseignant des écoles. L'ensemble des dossiers soumis aux deux sessions de décembre 83 et juin 84 reflète, thème par thème, les différentes positions et l'état des réflexions dans les principaux secteurs de l'enseignement de l'architecture.

Pour ce qui concerne notre domaine d'étude (considéré là encore de manière large) sept projets ont été déposés. Il s'agit respectivement des certificats intitulés :

- Conception des bâtiments et énergie (Ecole de LYON)
- Maitrise architecturale des techniques (Ecole de MARSEILLE)
- Nouvelles pratiques constructives architecturales (Ecole de NANCY)
- Ecohabitat ; architecture, Habitat, environnement (U.P.A. n° 6)
- Architecture, Climat, Ambiance, Energie (Ecole de MARSEILLE)
- Architecture, Climat, Ambiance, Energie (Ecole de TOULOUSE)
- Energétique et architecture urbaine (Ecole de NANTES)

Relevons tout d'abord que les écoles de MARSEILLE et de TOULOUSE ont soumis le même projet. Celui-ci sur un programme unique, sera mis en oeuvre dans les deux villes par des équipes décidées à collaborer étroitement.

Ces deux projets ont été habilités ainsi que le projet de l'Ecole de NANTES : "Energétique et Architecture Urbaine".

Si l'on examine la totalité des documents soumis à la commission, on trouve un écho très significatif de la diversité des problématiques que l'on avait relevé dans les programmes d'enseignement des deux premiers cycles. Le nuancier des positions s'établit depuis des pro-

grammes à caractère très scientifique et technique, jusqu'à des solutions hybrides laissant une part importante à la mise en forme architecturale et urbaine.

Le programme le plus ancré sur la transmission de connaissances formalisées et bien répertoriées est celui soumis par l'Ecole d'Architecture de LYON et l'I.N.S.A. "Conception des bâtiments et énergie" sous la responsabilité de P. DEPECKER. Il propose 9 modules d'enseignement obligatoires comportant des cours et des travaux dirigés complétés par un stage en laboratoire. Pour mémoire, ces 9 modules se présentent comme suit :

- Module 1 : Energétique, notions générales (12 h)
- Module 2 : Energie et pratiques nouvelles de l'architecture (16 h)
- Module 3 : Bioclimatique et architecture (20 h)
- Module 4 : Problèmes énergétiques de l'habitat existant (12 h)
- Module 5 : Energie et pratique architecturale de l'éclairage (10 h)
- Module 6 : Matériaux et matériels (14 h)
- Module 7 : Aspects réglementaires de l'énergie (8 h)
- Module 8 : Outils d'aide à la conception et méthodes de calcul (10 h)
- Module 9 : CAO. thermique en architecture (8 h)

Le module 3 : Bioclimatique et architecture, dont nous donnons l'intitulé détaillé, ci-après, traduit bien les dominantes scientifiques et techniques du programme.

programme

1 - L'analyse climatique de site :

- . la relation du bâtiment à son environnement
- . composantes climatiques : soleil, vent, températures, humidité
- . comment le concepteur intègre-t-il les données climatiques du site dans un projet architectural ?
- . Qu'est-ce que l'approche bioclimatique du projet ?

2 - Les phénomènes physiques

- . le rayonnement
- . la captation du système solaire
 - système à gain direct
 - système passif : mur accumulateur (maçonnerie, eau, translucides)

- systèmes passifs : serres
- systèmes actifs : capteurs à air, capteurs à eau.
- . le stockage de l'énergie
 - stockages diurnes et intersaisonniers
 - systèmes de stockage (maçonnerie, eau, sols, sels, galets)
 - critères de choix
 - problèmes d'échangeurs thermiques
- . la diffusion de l'énergie
 - systèmes à basse température
 - systèmes relayés.
- 3 - Energie solaire et architecturale
 - . dualité Economie-confort
 - . l'étude sitologique
 - . l'analyse morphologique
 - . structures adaptées à une architecture héliothermique
 - . la question de l'intégration architecturale
- 4 - Méthodologie du projet :
 - . le parti architectural
 - . les grilles de données
 - . la réponse architecturale - Contexte d'une opération
- 5 - Architecture bioclimatique - écologie - courant nouveau

La seconde proposition affichant un parti pris très marqué privilégiant l'approche scientifique et technique émane de l'Ecole de MARSEILLE. Elle est intitulée "Maîtrise architecturale des techniques". La problématique de l'énergie n'en constitue pourtant pas l'armature. L'enseignement structuré à partir d'un tronc commun vise l'acquisition d'outils théoriques et méthodologiques de haut niveau. A l'issue de celui-ci, deux options sont proposés :

- conceptions techniques théoriques et générales
- matériaux et techniques

C'est dans cette dernière option que la question de l'énergie est abordée tant sous la forme théorique avec deux cours, l'un sur "les énergies douces et leurs technologies" et l'autre sur "Régulation thermique du chauffage des locaux", que sous la forme appliquée d'un projet servant de support à des travaux pratiques.

Dans la présentation générale de ce certificat, l'accent est mis sur la partie théorique et dialectique correspondant principalement à des cours au contenu très précis. La partie intéressant le projet et la manière dont il fédère les travaux pratiques est, en revanche, un peu laissée dans l'ombre.

L'énoncé des matières de ce tronc commun se présente comme suit :

- Sémiologie des formes (10 h)
- Théorie des structures forces et formes (25 h)
- Analyse matricielle des structures (25 h)
- Introduction à la théorie des éléments fins (20 h)
- Mathématiques appliquées à l'architecture et à l'urbanisme (15 h)
- Conception assistée par ordinateur (30 h)
- Introduction à la théorie des catastrophes (15 h)
- Théorie générale des systèmes (10 h)
- Systèmes constructifs (50 h)

Si les contenus des enseignements du tronc commun révèlent une volonté de transmettre des éléments théoriques et instrumentaux de haut niveau, le contenu des cours optionnels sur les "Energies douces" et le "Chauffage des locaux" paraît moins ambitieux. En dépit du vocable "énergies douces", d'autres sources d'énergie sont abordées, comme en témoigne le rappel du contenu du cours donné ci-après.

Notions générales sur l'énergie calorifique - Transferts d'énergie - Calcul des déperditions calorifiques selon les natures de parois et de matériaux - Méthodologie - Applications - Différents procédés de chauffage classés par type, par procédé - Etudes de chaufferies, chaudières, brûleurs, conduits de fumée - Technologie des différents matériels de diffusion : radiateurs, convecteurs, ventilo-convecteurs, inducteurs, éjecto-convecteurs - Technologies de la climatisation - machines frigorifiques, pompes à chaleur, unités de transfert - Distribution des fluides de climatisation - Technologie des matériels de diffusion : tour de refroidissement, air primaire, ventilo convecteurs, inducteurs - Notions d'économie d'énergie : bilans, études de consommation, investissement, exploitation, amortissement

Etude des récupérations d'énergie : économiseurs, pompes à chaleur

Energie héliothermique : rayonnement solaire, études théorique, notions physiques et quantiques des énergies - absorption : étude des absorbeurs et capteurs, effets de serres -

Technologie des systèmes actifs, passifs, mixtes - Couplage avec pompes à chaleur.

Technique du chauffage électrique "intégré" : chauffage "tout électrique", surisolation.

Notions géopolitiques sur les énergies à utiliser : énergies fossiles (gaz, pétrole et dérivés), énergie électrique, énergie nucléaire ; pompes à chaleur ; énergies diverses ; énergies nouvelles.

En regard de cette formation mettant l'accent sur la nécessité pour l'architecte de mieux prendre en compte l'innovation technique, le projet soumis par l'Ecole de NANCY sous le titre "Nouvelles pratiques constructives et architecturales" pose de manière plus nette la question des connaissances nécessaires pour aborder de nouvelles formes de pratique professionnelle.

Parmi celles-ci, les auteurs du projet relèvent celles qui sont liées à "la thermique et la maîtrise d'énergie". Les autres secteurs expérimentaux qu'ils repèrent correspondent :

- à l'industrialisation des produits et au développement de nouvelles formes du travail,
- à la participation des usagers,
- à l'utilisation des nouveaux matériaux tels la filière bois

La problématique générale de la proposition s'inscrit dans la ligne des travaux de B.HAMBURGER. Ainsi, le poids des attitudes théoriques et doctrinales des architectes dans la procédure d'élaboration des projets se trouve clairement reconnu. Cet à-priori conduit à infléchir les préoccupations strictement techniques et à distinguer, en particulier pour ce qui concerne les questions énergétiques, les moments du projet où "architecture et technique sont séparées ou liées". En complément d'un séminaire général, quatre séminaires d'approfondissement sont prévus. Ils traitent respectivement :

- de l'économie du projet
- des outils du projet
- des produits et de leur mise en oeuvre
- de la maîtrise de l'énergie.

En regard des canevas thématiques des certificats précédents, et du découpage des cours en rubriques calquées sur celles des enseignements scientifiques et techniques, le projet nancéen introduit des catégories qui appellent un traitement plus nettement architectural. Nous donnons ci-après, in-extenso, la présentation du séminaire "Maîtrise de l'énergie".

1 - Le site

Quatrième séminaire : Maîtrise de l'énergie

La crise de l'énergie a engendré une politique nationale d'économie d'énergie qui s'est imposée dans la construction.

La recherche de performances énergétiques, la nouvelle réglementation thermique impliquent de nouveaux critères et outils d'évaluation des projets, infléchissant la nature de la commande des maîtres d'ouvrage comme les pratiques et les rapports des concepteurs architectes, thermiciens, bureaux d'études.

Ces nouveaux objectifs obligent à reconsidérer certains détails de la construction traditionnelle (ponts thermiques par exemple) et ouvrent la voie à de nouveaux systèmes constructifs comme l'ossature bois.

De nouveaux marchés potentiels comme celui de l'isolation par exemple motivent l'élaboration de produits plus performants par les industriels qui assument aussi leurs prescriptions originales de mise en oeuvre.

Des systèmes énergétiques imaginés par les concepteurs (mur trombe, pariéto dynamique...) interpellent différents corps d'état et dressent un nouveau corpus pour la composition architecturale.

Toutes ces nouvelles façons de faire, ces innovations demandent aux entreprises des efforts d'adaptation qui requièrent leurs compétences et leurs savoir-faire.

Enfin les exigences du confort, les modes d'habiter participent aussi d'une dynamique sociale qui interroge les architectes sur leurs expressions formelles et symboliques.

De la sorte, une telle exigence constructive intéresse de multiples aspects du travail architectural, marquant ses pratiques et productions, constituant un de ses enjeux pour l'avenir. Ces incidences dans leurs disparités comme dans leurs rapports à la totalité du projet sont au coeur de notre problématique (la façon dont on peut les utiliser et les traduire en architecture).

1 - Le site

La problématique énergétique a redonné au site une dimension qu'il avait perdue. Toute une dynamique de la construction a tenté après guerre, en s'appuyant sur une image de l'industrie, de nier le sol et de manière plus large l'environnement climatique. Le site redevient un facteur compositionnel qui vient troubler des politiques techniques et commerciales comme celles des modèles et qui interroge à nouveau les acteurs du bâti.

2 - La transparence

Concept habituel de l'optique, il présente aussi une efficacité dans l'analyse des phénomènes thermiques des parois. On l'appliquera à la lecture des différents types d'enveloppe (murs pleins ou éléments vitrés).

3 - L'effet de masse

Le comportement thermique d'un édifice ne saurait se réduire à la valeur de son coefficient "G" ni même de son "B". La masse statistique et thermique produit des effets qui traversent la totalité du bâtiment et pèsent sur son architecture.

4 - L'isolant

Les premières démarches d'économie de l'énergie se sont développées comme une pratique du "plus" qui a engendré l'utilisation généralisée de produits isolants rapportés. S'est développée ensuite l'idée de l'isolation comme fonction "IN" qui a motivé une génération de produits (les bétons cellulaires par exemple) et de structures (la maison à ossature bois...) à isolation intégrée. Le passage du premier au second processus traduisent bien la force nouvelle acquise par la maîtrise de l'énergie et ses effets de la conception à la réalisation.

5 - Les systèmes

Nombre de systèmes énergétiques sont nés d'une collaboration entre ingénieurs et architectes (J. Michel pour le mur trombe, G. Olive pour les parois pariéto...) traduisant ainsi, à un certain niveau, l'osmose impérative de l'architecture et de la technique. On analysera le rendement des différents systèmes à la lumière de cette osmose.

6 - Les codes

Des outils de contrôle liés à une politique de l'énergie (le coefficient B traduit bien la dernière réorientation politique) aux modes de calcul de comportement thermique d'un objet ou d'un volume se sont multipliés des modélisations énergétiques du bâtiment qui sont aussi des modélisations particulières de l'architecture. On comparera les différents codes entre eux et avec la réalité mesurant leurs effets sur la conception.

7 - La conduite

Système actif ou système passif, commande manuelle ou automatisation, ces choix interpellent à la fois l'entreprise, le concepteur et l'utilisateur. Un bilan s'impose du rapport entre l'efficacité technique, la manière d'habiter et l'architecture produite.

8 - La serre

De simple dispositif capteur, la serre a fini par devenir un véritable équipement architectural qui incarne aujourd'hui nombre de rêves (de la symbolique solaire aux nouveaux m²).

Le certificat présenté à la fois par les Ecoles d'Architecture de MARSEILLE et de TOULOUSE sous le titre "Architecture, Climat, Ambiance, Energie" pose d'entrée la question des "implications spécifiquement architecturales", des problèmes de contrôle d'ambiance et d'énergie. Parmi ces implications, les contenus du projet évoquent en particulier :

- l'implantation sur le site,
- la tenue des bâtiments,
- l'orientation des façades,
- le choix des structures et des matériaux,
- l'aménagement des espaces extérieurs,

comme autant d'attributs d'une maîtrise d'oeuvre globale, caractérisant l'intervention de l'architecte en regard de celles des ingénieurs et techniciens.

Le programme d'enseignement insiste sur la transmission des connaissances qui sont regroupées selon quatre rubriques :

- le rappel des données (définition des concepts - typologie des outils et méthodes utilisés - réglementation, normes, aspects juridiques - phénoménologie de base) ;
- la maîtrise des ambiances (espaces extérieurs - espaces intérieurs)
- la maîtrise de l'énergie (échelle du site et l'urbain - échelle du bâtiment) ;
- les problématiques de base (applications dans différents champs : habitat individuel et collectif, urbanisme, tertiaire, industrie, agriculture, Tiers-Monde).

Ces enseignements doivent être complétés par des travaux pratiques sur des cas concrets devant servir à l'application des connaissances et des outils transmis dans les modules didactiques. Ce sont néanmoins, ces derniers qui prévalent en mettant l'accent sur les dimensions instrumentales de la conception.

Le projet, soumis par l'Unité Pédagogique n° 6 sous le titre "Ecohabitat : Architecture, Habitat, Environnement", prend appui sur une réflexion à caractère fondamental sur les problèmes du milieu de vie. Le concept d'"Ecohabitat", qui est mis en avant, a pour but de promouvoir une meilleure prise en compte des données caractéristiques de l'environnement dans la conception architecturale et urbaine. Dans une formulation, qui doit sans doute beaucoup au responsable de la proposition G. ALEXANDROFF, il est précisé : "...le concept d'écohabitat) ne se limite pas aux aspects déjà bien connus de l'habitat bioclimatique et du confort thermique; de même que l'approche écologique ne saurait se réduire à la gestion des parcs naturels ni se laisser enfermer dans quelque anti-technicisme archaïsant. Il s'agit d'une conception globale systématique indispensable pour retrouver la capacité d'insérer les habitats des sociétés modernes dans leur environnement, de répondre aux besoins de leurs habitants, et de retrouver le niveau de qualité générale que de nombreux habitats ont manifesté dans l'histoire".

Ce cadre théorique et doctrinal fixé, le dispositif pédagogique prévoit

d'associer des enseignements théoriques, des cours d'application avec études de cas, et des projets. L'accent est mis tout spécialement sur l'importance que revêt, aux yeux des animateurs de la formation, cette activité d'élaboration du projet. Les exercices et travaux pratiques, liés à des études de cas de début de cycle de formation, prennent le caractère d'éléments préparatoires à la réalisation par l'étudiant d'un projet. C'est ce projet (le programme est arrêté en trois mois), qui est jugé en fin de formation. Le jury comprend les enseignants et des personnalités extérieures qui ont pu intervenir ponctuellement dans la formation.

Le contenu des activités préparatoires et des cours est donné ci-après :

1er et 2ème mois :

A : Cours d'initiation aux notions-clefs et concepts peu familiers aux participants : qu'est-ce que l'écohabitat par rapport aux conceptions familières aux architectes, urbanistes, ingénieurs, etc... L'habitat comme écosystème, notions d'écosystème en général ; les "systèmes" et les méthodes adaptées à leur approche. Les systèmes naturels et les concepts de base de l'écologie. Le système de l'habitat des sociétés humaines et les interrelations habitants/habitats/environnement. Le "milieu naturel" et notion d'environnement ; les "équilibres" écologiques. Etudes des différentes catégories de relations-clefs : relations "horizontales", relations "verticales", processus évolutifs.

B : Cours d'application, TP, exposés et études de cas.

Les concepts parfois abstraits développés dans les cours A sont éclairés par des études de cas portant sur des systèmes d'habitat archaïques, évolués et actuels. Les étudiants se substituent à eux ; toutefois, à tout moment, un conférencier venu de l'extérieur peut enrichir la problématique par un exposé supplémentaire.

C : Durant cette période d'introduction, les participants divisés en groupes restreints pratiquent le croquis à des échelles diverses en s'attachant particulièrement à la représentation correcte du paysage et de l'architecture intégrée dans son milieu urbain ou naturel.

3ème mois, 4ème mois :

A : suite des cours théoriques et, parallèlement début des cours "techniques". Cours théoriques développant les relations de l'urbanisme et des masses aux sites, terrains, reliefs, la relation du bâti au végétal, les habitats en sites particuliers (forêt, désert, marais, littoral). Cours "techniques" de morphologie-topologie.

B : Exercices de représentation, esquisse, préfiguration morphologique relative aux "terrains" choisis et options envisagées. Perfectionnement de la représentation perspective (croquis perspectifs).

C : Suite des études de cas et début de l'élaboration des programmes et enquêtes relatives aux projets. Début de la formulation des propositions (organigrammes, investigation à divers ordres de grandeur).

5ème et 6ème mois :

A : Cours techniques : architecture et climat (procédés traditionnels et procédés modernes d'adaptation aux différents climats. La problématique des matériaux : options de chantier, critères de choix ; techniques traditionnelles, techniques modernes, techniques prospectives ;

B : TP, exposés et corrections des programmes et avancement des projets aux différents ordres de grandeur à considérer.

C : Maquettes, études des volumes, travail sur les "façades climatiques".

7ème mois :

A : Cours complémentaire, assainissement, boucles assainissement/élevage-agriculture ; horticulture urbaine, etc... A cette période prendront place des visites de lagunages ou autres exemples prospectifs d'interrelation habitat/agriculture et dispositifs anti-pollution. Cours et conférences sur les pollutions relevant de l'habitat, de l'urbanisation, et sur les pollutions industrielles et leur impact sur l'habitat

D'une part, les apparitions de nouvelles énergies et les mutations énergétiques ont eu, et ont encore, des implications fondamentales sur les modes de développement et d'organisation de nos sociétés. Elles correspondent à des transformations économiques et sociales profondes qui s'inscrivent dans l'espace et dans l'architecture. La ville est la mémoire de ces situations énergétiques changeantes. Dans ses évolutions récentes, elle témoigne de certaines inerties, voire de certaines résistances à l'adaptation aux modalités de celles-ci.

D'autre part, introduire la dimension énergétique dans les décisions d'architecture et d'organisation urbaine ou péri-urbaine amène à prendre en compte, de manière élargie, des rubriques telles que la climatologie urbaine, l'acoustique, les réseaux et à s'interroger sur les synergies qui peuvent apparaître avec d'autres aspects sociaux, économiques, urbanistiques, caractérisant les pratiques de l'espace.

De la même manière que le vocable "énergétique" se devait d'être expliqué, la notion d'"architecture urbaine" a été retenue dans une acception extensive, ne limitant pas le champ de l'enseignement prévu aux seuls secteurs strictement urbains. Il est en effet acquis que la dimension urbaine dans cette appellation ne recouvre pas une stricte limitation territoriale. Elle correspond plutôt à une visée architecturale théorique, marquée par le souci de continuité, de cohérence, de connaissances des caractéristiques significatives des contextes d'implantation. De telles exigences concernent aussi bien d'autres échelons spatiaux qui renvoient à la banlieue, voire aux agglomérations rurales.

Nous donnons ci-après l'intitulé des enseignements constituant la trame général du certificat ainsi que le contenu du module "Thermique et énergétique".

STRUCTURE DU C.E.A.

TRONC COMMUN

- Thermique et énergétique..... (48 heures)
- Modélisation et procédures informatiques. (48 heures)

- *Approches scientifiques et théories architecturales..... (48 heures)*
- *Aérodynamique, climatologie et formes urbaines..... (48 heures)*

ENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

OPTION I : CONCEPTION DES ESPACES EXTERIEURS ET DES RESEAUX

- *Conception des espaces extérieurs et contrôle des ambiances urbaines..... (48 heures)*
- *conception et insertion des réseaux..... (48 heures)*

OPTION II : L'ARCHITECTURE URBAINE EN PROJET

- *Méthodes d'analyse urbaine..... (48 heures)*
- *Théories du projet et maîtrise d'oeuvre urbaine..... (48 heures)*

STAGE D'APPLICATION : 1 mois

MEMOIRE/STAGE : 400 heures (rattaché à un laboratoire)

THERMIQUE ET ENERGETIQUE

- 1 - *Modes de transfert de la chaleur dans le cadre bâti :*
 - . *Conduction de la chaleur dans les matériaux solides en régime permanent ; parois multicouches, composites ; ponts thermiques.*
 - . *Rayonnement thermique :*
 - *échange entre solides, rayonnement infra-rouge*
 - *rayonnement solaire*
 - . *Convection thermique : coefficient de transfert convectif, convection forcée ; convection naturelle.*
 - . *renouvellement d'air - infiltrations*

- 2 - *Conduction en régime variable*
 - . *régime périodique : apport et déperdition déphasés.*

- 3 - *Techniques de chauffage dans l'optique de l'utilisation rationnelle de l'énergie : radiateurs basse température, chaudières à condensation, pompes à chaleur...*
- 4 - *Bilan thermique : régulation, optimisation économique*
- 5 - *Bilan énergétique de la ville : contexte énergétique et formes urbaines.*
- 6 - *L'énergie solaire : caractéristiques d'utilisation, perspective de développement, difficultés.*
- 7 - *Stockages intersaisonniers.*
- 8 - *Traductions architecturales et urbaines des techniques de chauffage. Quelques plans historiques, aspects contemporains : les représentations de l'énergétique dans le projet architectural et urbain.*
- 9 - *Gestion, mode de production et usage des différents types d'énergie.*

LES ACTIVITES DE RECHERCHE

A des fins de coordination, les équipes de recherche des Ecoles d'Architecture traitant de manière affinée les problèmes d'énergétique, d'ajustement bio-climatique ou de contrôle des ambiances sont regroupées en un réseau. Celui-ci n'a commencé à fonctionner qu'en 1984 et les chercheurs n'ont pu se réunir jusqu'ici que deux fois. Cette phase de lancement a permis cependant d'effectuer un premier recensement des instruments de simulation et des outils informatiques mis au point et développés par chaque équipe. La production de ces aides à la conception du projet n'est pourtant pas le témoin exclusif d'une activité de recherche dans le domaine. Ainsi l'Ecole de TOULOUSE autour de Messieurs CORDIER, GERBER, SOUM et CHATELET effectue des travaux méthodologiques sur la conception du projet et sur le vécu des habitants qui ne font pas appel à un appareillage spécialisé.

D'autres groupes ont participé à des recherches du même type et se trouvent actuellement plus engagés sur le terrain de la pédagogie ou de l'application pratique. C'est le cas de l'équipe travaillant autour de G. ALEXANDROFF à l'UP6 ou de celle de l'UPL animée par M. CHAULIAGUET.

Actuellement, des équipes des Ecoles de MARSEILLE, de NANTES, de GRENOBLE, de Lyon et de STRASBOURG disposent d'instruments qu'elles ont, la plupart du temps, elles-mêmes élaborés. Les fiches correspondant à ceux-ci sont données ci-après.

NOM DU PROGRAMME	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL, VISUALISATION, TRAITEMENT DE DONNEES)	DONNEES D'ENTREE ET MODE D'INTRODUCTION	ALGORITHMES UTILISES	RESULTATS DU CALCUL (SORTIES)	LANGAGE UTILISE	MATERIEL INFORMATIQUE NECESSAIRE	ACCESSIBILITE (PUBLIC, OPERATIONNEL, RECHERCHE)
THB 82	Elèves UPAL	Manuel - sur interrogation des programmes	ThB 82	Imprimante écran	Banc	Apple II	Non
5000	"	"	"	"	"	"	"
Casamo	"	"	"	"	"	"	"

EQUIPE : Laboratoire énergétique
 Laboratoire informatique
 de l'UPA GRENOBLE

FICHE DES OUTILS INFORMATIQUES

NOM DU PROGRAMME	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL, VISUALISATION, TRAITEMENT DE DONNEES)	DONNEES D'ENTREE ET MODE D'INTRODUCTION	ALGORITHMES UTILISES	RESULTATS DU CALCUL (SORTIES)	LANGAGE UTILISE	MATERIEL INFORMATIQUE NECESSAIRE	ACCESSIBILITE (PUBLIC, OPERATIONNEL, RECHERCHE)
PROG SERRE	CALCUL Modules de simulation de simulation Par serre ou base vitr en fonction des quantités d'effluents contenues par captage d'air avec stockage par captage eau avec stockage	<ul style="list-style-type: none"> - paramètres géométriques, physiques, climatiques de la serre - entrée clavier (fichier météo et énergie incidente en mémoire) 	Bilans thermiques	<ul style="list-style-type: none"> - serre passive <ul style="list-style-type: none"> . Temp. maximum . Temp. moyenne . apports solaires avec et sans débit de ventilation - serre active <ul style="list-style-type: none"> . idem + temp. de régularisation 	Basic	APPLE II E	Public averti Opérationnel Recherche

NOM de L'OUTIL	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL SIMPLIFIE, VISUALISATION, PEDAGOGIE)	FORME (ABAQUES, GRAPHES...)	ORIGINE DES INFORMATIONS CONTENUES (CALCUL, COMPILATION, EXPERIMENT,)	ENTREES : INFORMATIONS NECESSAIRES DE DEPART	RESULTATS OBTENUS (SORTIES)	MATERIEL NECESSAIRE A L'UTILISATION	DIFFUSION, ACCES RECHERCHE)
Modules de simulation	simulation - pour pédagogie de chauffage . Par serre ou baie vitrée en fonction des quantités d'effusivité contenues . par captage d'air avec stockage . par captage eau avec stockage	Cellules d'essais		différentes quantités d'effusivité et ensoleillement	suivi de températures " "	enregistreurs de températures " "	Objectif opérationnel : professionnels Postes fixes seulement utilisables pour les étudiants de l'UPAG
MASQUES	calcul de la transmission de masques architecturaux	géométrie des masques orientatifs (entrée classer numérique / graphique	masque du soleil Intersection de polygones par clipping calcul des surfaces vus pondération par l'énergie incident	facteur de transmission du R. direct journalier et pour chaque heure écran imprimé	PASCAL	Goupil 3 APPLE II	Recherche (pour mise au point d'abaques) Opérationnel

NOM DU PROGRAMME	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL, VISUALISATION, TRAITEMENT DE DONNEES)	DONNEES D'ENTREE ET MODE D'INTRODUCTION	ALGORITHMES UTILISES	RESULTATS DU CALCUL (SORTIES)	LANGAGE UTILISE	MATERIEL INFORMATIQUE NECESSAIRE	ACCESSIBILITE (PUBLIC, OPERATIONNEL, RECHERCHE)
TRIVEG	sélection de végétaux mis en fiche dans une optique de maîtrise des ambiances aide à la conception	à partir d'une fiche "type" choix de 1 à x critères pour opérer une sélection ou plusieurs	système conversationnel/utilisateur structure treillis arbre	liste de végétaux et lecture des détails de fiche	PASCAL	Goupil 3 256 K pour option fichier important	Phase expérimentation Objectif opérationnel : professionnels grand public
SAISIVEG	Alimentation de fichiers sur le végétal Saisie des données Banque de données sur végétation méditerranéenne	création } modification } recherche } extension } destruction } fiches	couplage avec TRIVEG	constitution de bibliothèque	PASCAL	Goupil 3 256 Ko pour option	Phase identique à TRIVEG
	Banque de données sur végétation tropicale						Phase ouverture de fichiers
MASQUES	calcul de la transmission de masques architecturaux Architectes BET	. géométrie des masques . orientation . Latitude (entrée clavier numérique / création graphique	. Axonométrie du masque vu du soleil . Intersection de polygones par clipping . calcul des aires vues . pondération par l'énergie incidente	facteur de transmission du R. direct journalier et pour chaque heure (tableaux imprimés).	PASCAL	Goupil 3 APPLE II	Recherche (pour mise au point d'abaques) Opérationnel

NOM de L'OUTIL	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL SIMPLIFIE, VISUALISATION, PEDAGOGIE)	FORME (ABAQUES, GRAPHES...)	ORIGINE DES INFORMATIONS CONTENUES (CALCUL, COMPILATION, EXPERIMENT,)	ENTREES : INFORMATIONS NECESSAIRES DE DEPART	RESULTATS OBTENUS (SORTIES)	MATERIEL NECESSAIRE A L'UTILISATION	DIFFUSION, ACCES RECHERCHE)
Soufflerie 85	Simulation des effets du vent dans l'environnement bâti. Aide à la conception diagnostic	maquette		Données - météo - site envir. - projet	Visualisation des écoulements du sol-fumigène mesure de vitesse, fil chaud	équipement photographique complémentaire	Institut de mécanique des fluides St Charles Marseilles
Héliodon	- pédagogie - simulation des courses apparentes du soleil, multilatitudes aide à la conception	maquette sur plateau 60		Données - latitude - période - site - projet	Bilan état ombre/lumière sur : site, projet, façade, intérieur des locaux	En option équipement photographique complémentaire	U.P.A.M. Luminy
Abaque de l'ombre du mât	idem héliodon	abaque adapté sur plateau de maquette éch. de 1/10 au 1/2000	CSTB	idem héliodon	idem héliodon	idem héliodon	U.P.A.M. C.S.T.B.
S.A.V. simulateur d'ambiances visuelles	visualisation de l'espace (réel ou imaginaire) dans son intégralité architectes pédagogie	écran hémisphérique projecteur avec objectif fishe eye 7,5 mm	JAULMES	Prise de vues - site - maquette - images pré-dessinées en proj. sphérique	restitution par projection de l'image sphérique sur écran sphérique	- salle obscure - écran sphérique concave - projecteur fishe eye - interfaces vidéo - interfaces informatiques - matériel photo	U.P.A.M. Luminy

NOM DU PROGRAMME	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL, VISUALISATION, TRAITEMENT DE DONNEES)	DONNEES D'ENTREE ET MODE D'INTRODUCTION	ALGORITHMES UTILISES	RESULTATS DU CALCUL (SORTIES)	LANGAGE UTILISE	MATERIEL INFORMATIQUE NECESSAIRE	ACCESSIBILITE (PUBLIC, OPERATIONNEL, RECHERCHE)
CSARS SOLAIR	Visualisation interaction soleil /surface plane/ énergie incidente /masques proches	. Latitude . orientation . Type de ciel . inclinaison plan . description du masque par voie conversationnelle	Superposition Diagrammes de transmission des masques/indicateur irradiation du plan/courses du soleil (version sphérique équidistante)	Dessin automatique de ces diagrammes superposés Ecran et table traçante	PASCAL U.C.S.D.	GOUPIL 3 + moniteur couleur + "Digi-Plot" Watanabe WX 4675	UPAM destiné à être publié tout public (en cours d'achèvement)
B-SOL PROSOL	Calcul du coefficient B (n'intègre pas les masques pour l'instant)	Coefficient G volume, surfaces captantes et K jour /K nuit, type de système passif (catalogue) Données climatiques en fichier	Méthode SLR (L.A.S.L. Douglas Balcomb)	Valeur de B + Fractions d'économie solaire mensuelles + indice architectural + G de référence sur imprimante	PASCAL U.C.S.D.	GOUPIL 3 + Imprimante	UPAM Etudiants
GISSOL	Calcul des énergies incidentes sur des plans verticaux situés	. Climat synoptique . Type de ciel . Fractions d'insolation . Valeur d'insolation (pour orientations mensuelles) conversationnel	Formules de PERRIN de BRICHAMBAUT (M.N.)	Valeurs du global réel + ratio diffus/global sur imprimante	BASIC	GOUPIL 3 + Imprimante	UPAM

NOM DU PROGRAMME	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL, VISUALISATION, TRAITEMENT DE DONNEES)	DONNEES D'ENTREE ET MODE D'INTRODUCTION	ALGORITHMES UTILISES	RESULTATS DU CALCUL (SORTIES)	LANGAGE UTILISE	MATERIEL INFORMATIQUE NECESSAIRE	ACCESSIBILITE (PUBLIC, OPERATIONNEL, RECHERCHE)
SOLAIR	<u>CALCUL</u> calcul des flux solaires incidents sur un plan quelconque	Latitude Date, heure Inclinaison Orientation du plan	Calcul basé sur la méthode AFEDES	Direct - Diffus et global incident heure/heure	FORTRAN	Transposable	RECHERCHE FORMATION
PROSIM	<u>CALCUL ET VISUALISATION</u> Analyse thermique de parois composites	Composition de la paroi (λ, c, ρ des matériaux hi, he)	Résolution analytique (méthode de Crank Nicholson) de la conduction dans une paroi composite	Répartition des températures à l'intérieur de la paroi en fonction (du temps) en réponse à un signal unitaire et calcul du flux transmis intérieur (sortie sur écran graphique et/ou traceur)	FORTRAN	PDP 11/34 TEKTRO 4114	

NOM DU PROGRAMME	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL, VISUALISATION, TRAITEMENT DE DONNEES)	DONNEES D'ENTREE ET MODE D'INTRODUCTION	ALGORITHMES UTILISES	RESULTATS DU CALCUL (SORTIES)	LANGAGE UTILISE	MATERIEL INFORMATIQUE NECESSAIRE	ACCESSIBILITE (PUBLIC, OPERATIONNEL, RECHERCHE)
SIMULA	<u>CALCUL</u> Simulation thermique de bâtiments en régime variable ; le logiciel est composé de plusieurs modules : - SIMULA : simulation - TERREP : coefficient de réponse des parois - SIGNAL : définitions des sollicitations	Entrée interactive des données du bâtiment - locaux : t°, ren. air, puissance intérieure, climatisation... - parois : caractéristiques thermophysiques des parois... - sollicitations : t° et flux appliqués sur les parois	Méthode de calcul des flux transmis par les parois à partir de leurs coefficients de réponse (amortissement déphasage)	Echanges heure/heure pour le local ou pour tout élément du local : - sur imprimante - sur écran graphique	FORTRAN	PDP 11/34 + VT 100 + TEKTRONIX 4114	RECHERCHE FORMATION
PROSOL	<u>VISUALISATION</u> Détermination graphique des conditions d'ensoleillement au niveau annuel et diurne pour un point de l'espace Programme interactif	1) Définition sur digitaliseur des coordonnées X,Y,Z des objets et des circuits de points 2) Jeu de données Latitude point d'observation 1 point d'observation 2	Mise en perspective superposée des objets de l'environnement et des trajectoires solaires	sortie graphique faisant apparaître le MASQUE ANNUEL pour le point considéré superposé aux trajectoires solaires et aux courbes horaires (sur ECRAN ou sur TRACEUR en différé)	FORTRAN	Idem	
PROHEL	<u>VISUALISATION</u> simulation Héliodon d'un projet programme interactif	1) Définition spatiale des objets 2) Jeu de données LATITUDE DATE HEURE	Axonométrie des objets vus par le soleil	sortie graphique des objets projetés en axono sur un plan perpendiculaire aux rayons solaires à l'instant considéré	FORTRAN	Idem	

NOM de L'OUTIL	OBJECTIFS ET DESTINATAIRES (CALCUL SIMPLIFIE, VISUALISATION, PEDAGOGIE)	FORME (ABAQUES, GRAPHES...)	ORIGINE DES INFORMATIONS CONTENUES (CALCUL, COMPILATION, EXPERIMENT,)	ENTREES : INFORMATIONS NECESSAIRES DE DEPART	RESULTATS OBTENUS (SORTIES)	MATERIEL NECESSAIRE A L'UTILISATION	DIFFUSION, ACCES
HELIODON	<u>VISUALISATION</u> Simulateur d'ensoleillement sur maquette	Dispositif physique asservi par microprocesseur		Maquette de l'objet à étudier	Ombres propres et portées des objets en fonction des saisons et des heures		U.P.A. NANTES
SOUFFLERIE	<u>CALCUL ET VISUALISATION</u> simulation aérodynamique des projets			Maquette 1/500 .environnement proche .données météo vent .rugosité lieu	- Mesure anémométrique ponctuelle survitesse et turbulence relative à un point de référence visualisation des écoulements au sol		U.P.A. NANTES
GIRASOL	Abaque solaire pour la détermination des positions du soleil en fonction de la latitude, de la date et de l'heure	Abaque		Latitude date Heure			C.E.R.M.A.
DIAGRAM	Diagrammes "type CSIB" sur des plans quelconques	Diagramme	Les diagrammes sont tracés automatiquement sur traceur	Latitude dates de l'année + orientation et inclinaison du plan de projection	Calcul et tracé des ombres portées		C.E.R.M.A.
OMBROS-COPE	<u>Visualisation</u> in situ des masques	Dispositif optique sur diagramme solaire		Latitude Orientation au sud de l'appareil	Masque projeté sur diagramme solaire		C.E.R.M.A.

EN AMONT DE L'E.A.O. : "L'ENSEIGNEMENT PROGRAMME"

Certains voient en Socrate, Galien, ou Descartes, de lointains ancêtres de l'enseignement programmé, mais c'est au psychologue américain B.F. SKINNER que revient sa mise au point (1954).

S'agit-il d'éducation, d'instruction ou d'enseignement ?

GAGNE (Université de BERKELEY) le définit comme la création de modèles didactiques où sont pris en compte les comportements initiaux et terminaux de l'élève ; la progression y est planifiée et détaillée et intègre l'évaluation en cours d'exécution.

Le terme "programme" lui-même revêt plusieurs significations plus ou moins familières :

- une action prévue qui tend à donner une information (théâtre, concert, radio ou télévision),
- un plan détaillé du déroulement d'un certain nombre d'actions coordonnées avec distribution de rôles et de responsabilités pour atteindre un objectif,
- organiser l'exécution d'actions en fonction des effets de celles qui précèdent (programme de fabrication ou de vente),
- trouver la combinaison unique de milliers d'instructions (électronique).

Deux tendances se dégagent ainsi : suivre un ordre prévu sans se soucier des résultats (programme de spectacle) ou bien tenir compte des effets qui peuvent modifier l'ordre (programme électronique).

Pour Claude et Moles, un programme est "un plan possible pour une action coordonnée, soit l'ensemble d'opérations prévues à l'avance dans le déroulement d'un processus".

Dès 1926, S.L. Pressey (US) propose une machine destinée à passer des tests qu'il présente comme un "dispositif simple de testage, de contrôle et d'enseignement".

Prévisions, plans de déroulement, contrôle, corrections tenant compte des résultats apparaissent les éléments majeurs à retenir pour le sens de "programme".

L'enseignement peut-il être réalisé par un automate sans que l'automatisation soit "déséchantée" ? La complexité du problème réside à la fois dans la quantité des élèves et dans la qualité de l'enseignement. Le maître est toujours indispensable, même et surtout avec l'automate ; la machine peut prendre en charge plusieurs fonctions pédagogiques telles que la transmission des connaissances, la correction immédiate des erreurs ou encore la répétition, mais elle ne peut pas les assumer toutes. L'enseignement programmé comporte des techniques permettant de réaliser un programme et de confier celui-ci à un certain type de support qui joue le rôle de "machine à enseigner".

Le recours à un support même élaboré, appauvrit l'acte d'enseignement en disséquant ses fonctions et lui fait perdre la richesse de son caractère global. C'est un esprit de communication qui exclut totalement les ellipses, sous-entendus ou autres digressions. Si la machine inculque le goût de la rigueur en l'imposant, elle exige dans le même temps une connaissance la plus précise possible des comportements des élèves (ce qu'ils sont et ce qu'ils peuvent par rapport à ce qu'ils doivent apprendre).

Destiné avant tout aux enfants et adolescents, l'enseignement programmé s'adresse aussi de plus en plus aux adultes sous forme d'éducation permanente, de recyclage ou de formation continue. On peut distinguer deux domaines : d'une part, l'extension de la demande d'enseignement qui s'adresse surtout aux pays en voie de développement et d'autre part, la demande accrue d'une formation de plus haut niveau et spécialisée (pays développés).

L'"école behavioriste" dont Skinner apparaît comme le chef de file emprunte beaucoup aux recherches de P. Fraisse, William James (ne plus s'intéresser à ce qui se passe dans la conscience, mais étudier les faits de conscience à travers la fonction qu'ils remplissent - évolution de la conscience parce qu'elle est utile), Dewey (fonctionnalisme, coordination entre stimulus et réponse) ou encore Stanley Hall et Cattell (test mental). Pour leurs études sur l'intelligence animale, mentionnons Pavlov (reflexe conditionné, "tour du silence" où seuls jouent les facteurs à étudier) et Thorndike pour qui les liaisons entre le stimulus et la réponse échappent à l'observation ("boîte noire"). L'animal procède par "essais et erreurs", l'échec entraîne l'évitement de l'échec, la réussite la reproduction de la réussite.

Pressey propose une liste de questions auxquelles le sujet répond en choisissant parmi plusieurs réponses possibles, avec passage à la question suivante que si la réponse est exacte (un ou plusieurs essais) ; un appareil comptabilise les erreurs ; il constate alors que le contrôle a pour effet de corriger (capable d'enseigner ?) et énonce deux lois :

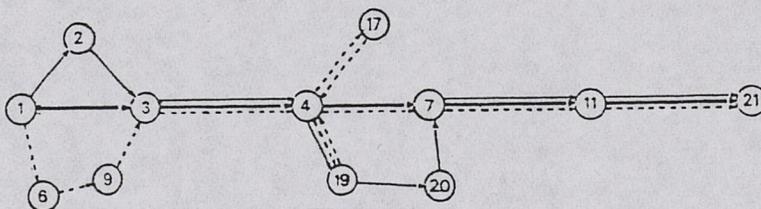
- loi d'exercice : répéter la bonne réponse,
- loi de l'effet : la répétition de la bonne réponse accélère l'apprentissage.

Application de la psychologie skinnérienne

Skinner ne crée pas de situations artificielles pour sélectionner les éléments à étudier et considère uniquement le succès (expérience sur un pigeon, distinction de raies horizontales et verticales). Il constate que la récompense renforce l'acte attendu ("renforcement") et qu'une réponse correcte lorsqu'elle est récompensée entraîne sa répétition ("conditionnement opérant") ; la réponse (réaction) est fixée par la récompense (stimulus) donnée.

Skinner étend ces lois de l'apprentissage à l'enseignement humain :

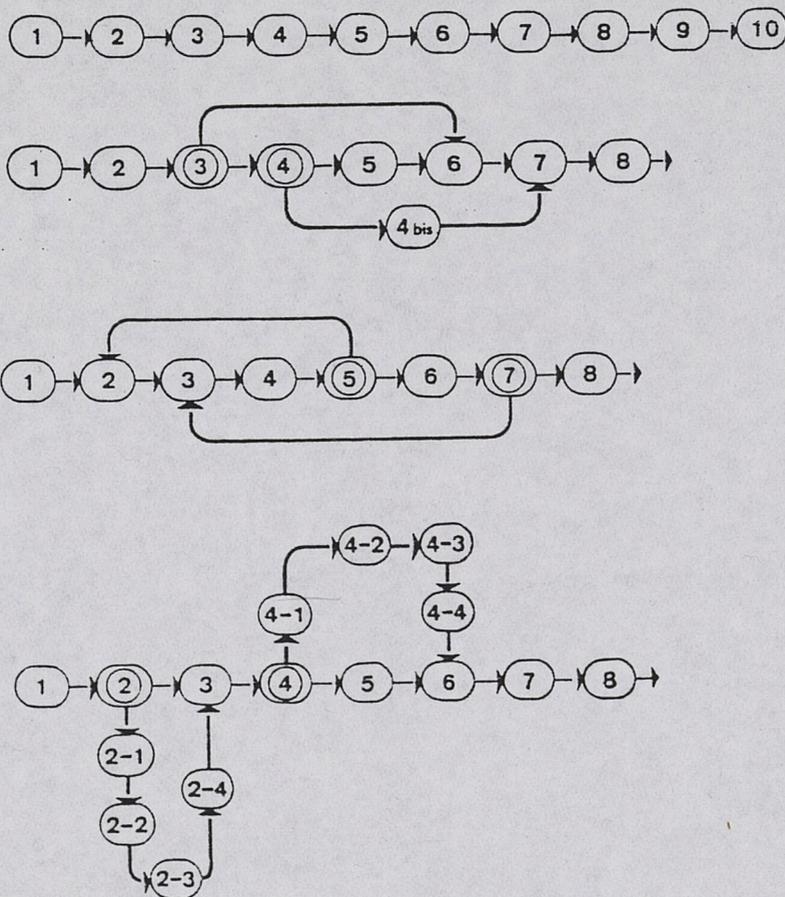
- le principe des petits pas : morcellement de l'information, découpage, progression finement graduée, nombre maximal de renforcement ;
- l'activité : agir sur chaque unité d'information ;
- la réussite : l'activité que nécessite l'assimilation doit aboutir à la réussite ;
- la vérification immédiate : le sujet doit savoir que sa réponse est correcte avant d'aborder le pas suivant ;
- la progression de l'apprentissage : progression logique et graduée (du simple au complexe) ;
- le principe du rythme individuel : pas de contrainte de temps, ni de délai, individualisme de l'enseignement.



LE PROGRAMME DE SKINNER

Le cours programmé comprend un ensemble de séquences dans une même discipline ; l'unité dans la séquence, appelée item, correspond à un quantum de difficulté ; l'objectif est un comportement terminal, résumé de tout l'apprentissage : un test d'entrée permet de vérifier que l'élève possède les connaissances requises pour entreprendre l'étude de la séquence ; le test de sortie indique si le comportement final est acquis et si l'élève a le niveau requis pour affronter la séquence suivante.

Le refus de l'erreur inspire la composition de la séquence et conduit à simplifier l'information à assimiler (item, petit pas) ; l'élève n'apprend une opération que s'il l'exécute et ne la comprend que s'il la produit dans les conditions où elle est nécessaire (réponse construite, participation active). Que l'élève réussisse ne signifie pas qu'on lui propose des exercices qu'il sait faire, mais qu'il apprend avec succès. La vérification immédiate est l'élément essentiel du renforcement, elle sanctionne et multiplie les effets de la réussite (effet rétroactif, feedback). L'élève dispose du temps qui lui convient (fin de l'échec dû au manque de temps).



LE PROGRAMME DE CROWDER

ELABORATION D'UN COURS PROGRAMME

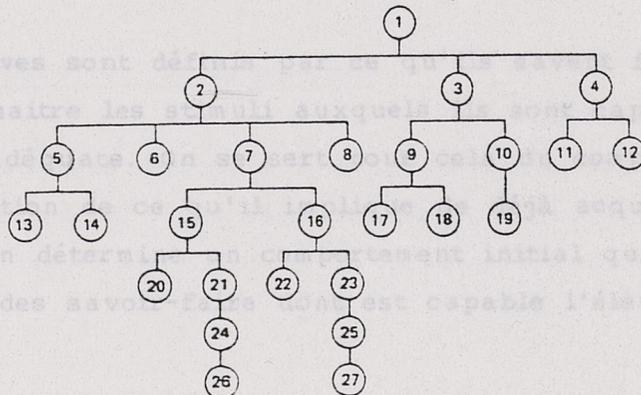
Le sujet est orienté vers tel ou tel autre point selon la réponse qu'il a choisie ; plusieurs cheminements sont possibles, ils dépendent des choix effectués à chaque étape ; c'est un programme polyséquentiel différent de celui de Skinner qui offre, lui, une voie identique pour tous (uniséquentiel).

Les items sont composés d'une information et d'une position ; l'item suivant reprend la formulation de la réponse selon celle qui a été choisie. Dans l'item à choix multiples, l'élève prend parmi plusieurs, la réponse qu'il juge exacte ; ce choix le renvoie à un item qui, en cas d'erreur, renvoie à un autre item qui, lui, explique et de surcroît réprimande. La question posée constitue le moyen de tester l'hypothèse.

L'élève ne passe à l'étape suivante qu'après avoir vérifié la valeur de la réponse donnée (principe de la vérification immédiate de Skinner) ; par contre, il ne s'agit plus de vérifier que l'élève a toujours réussi (différent de Skinner).

Le statut accordé à l'erreur fait que l'élève est séparé des autres et traité à part ; il s'agit de corriger, rectifier, apporter des compléments d'informations, faire des rappels, recycler avant de revenir au sujet par un cheminement particulier propre à chacun.

Le programme crowdérien est à branchement ou ramifié alors que celui de skinner est linéaire. L'individualisation de l'apprentissage est réalisé par le rythme, mais la progression est adaptée à la manière dont l'élève appréhende le contenu enseigné ; la séquence modèle, la progression en fonction de l'attitude de l'élève, simulant un dialogue.



ELABORATION D'UN COURS PROGRAMME

Les techniques "classiques" s'inscrivent dans la tradition skinérienne (psychologie comportementale) ; en rupture avec ce courant se développent des techniques "nouvelles" où la préoccupation est de savoir ce qui se passe dans la "boîte noire".

LES TECHNIQUES CLASSIQUES

Skinner distingue cinq étapes pour la fabrication d'une séquence :

- la définition des objectifs (contenu, population)
- les tests d'entrée et de sortie
- la structuration de la matière
- la rédaction d'un programme
- l'expérimentation et la validation

La définition des objectifs

Les deux objectifs à atteindre sont, d'une part, la définition de la matière et du contenu à enseigner et d'autre part, la définition de la population, soit les élèves auxquels on destine cet enseignement.

Il s'agit de formuler les définitions en termes de comportement, c'est-à-dire de les exprimer en termes de "savoir-faire" et non pas de simple "savoir" ou de "connaissances". Un savoir-faire est une activité qui se manifeste (déroulement-résultat), elle est soumise au contrôle et donne lieu à un renforcement. La séquence est l'ensemble d'activités déterminées que sauront réaliser les élèves à la fin de leur étude. Connaître le comportement final permet de proche en proche et de façon récursive de concevoir le déroulement de l'apprentissage.

Les élèves sont définis par ce qu'ils savent faire, ce qui implique de connaître les stimuli auxquels ils sont capables de répondre de façon adéquate. On se sert pour cela du comportement terminal et, en fonction de ce qu'il implique de déjà acquis pour pouvoir être appris, on détermine un comportement initial qui ne représente, lui, qu'une partie des savoir-faire dont est capable l'élève. On sait alors sur

quels comportements déjà acquis on peut compter pour faire opérer sur eux les renforcements qui permettront de construire le comportement terminal.

Les tests d'entrée et de sortie

Le test de sortie : il sert à vérifier que l'élève a atteint les objectifs de la séquence après l'avoir étudiée. Si les résultats ne sont pas satisfaisants, c'est que l'élève a mal étudié ou que la séquence n'est pas adaptée pour lui. Le test doit être :

- bref : ce n'est pas la reproduction de la totalité de l'apprentissage à contrôler ; il faut obtenir un échantillon de comportement qui témoigne de l'acquisition de l'ensemble et informe des causes des échecs s'ils existent pour préparer les corrections,
- représentatif : l'échantillon de contrôle suffit à donner une idée complète des acquisitions réelles,
- facile à exploiter : il permet de savoir comment redresser les erreurs et de remettre chacun sur la bonne voie.

Le test de sortie n'est pas sélectif ; il permet aussi parfois de découvrir que ce qu'on pensait réserver pour la séquence d'après est déjà acquis.

Le test d'entrée : il sert à contrôler que la population visée possède l'ensemble des connaissances requises pour l'étude des séquences ; les résultats indiquent où placer le point de départ, qui ne se trouvera peut-être pas où on pouvait le penser.

Le test d'entrée est sélectif et permet de trancher entre les diverses hypothèses ; il vérifie que les élèves ne connaissent pas déjà les leçons qu'on veut leur apprendre.

La structuration de la matière

C'est l'analyse du contenu à enseigner et son explicitation en terme de comportement ; les éléments mis au jour sont rangés et ordonnés ; l'ordre obtenu est celui de la progression de l'apprentissage.

Méthode de la matrice de DAVIES (ou "RULEG")

Elle procède par règles ("RU") et exemples ("EG"). Une règle est une idée, une notion générale qui, en termes opérationnels, consiste en comportements précisément circonscrits. Une exemple est l'illustration d'une règle, un de ses cas particuliers, une application, ou une image. La matrice est un tableau synoptique carré des relations ou liaisons qui existent entre les règles (association-discrimination), l'ordonnement des règles donne l'ordre d'apprentissage.

L'Expérimentation

L'analyse comportementale

F. Mechner, psychologue américain, a étudié la mémorisation, l'oubli et la rétention ; l'oubli est la déperdition du savoir, phénomène inévitable entraîné par le mixage des connaissances anciennes et nouvelles et dont les unes sont plus fréquemment manipulées que les autres ; revoir ce qui a été acquis n'est pas seulement une précaution, c'est l'un des moments de l'apprentissage.

La juxtaposition et le contraste joue en faveur de l'acquisition du nouveau sans confusion avec l'ancien (et sans oubli). La représentation synoptique des données prend la forme d'un arbre dont la lecture donne l'ordre d'apprentissage.

LE PERT

C'est le planning optimal des activités de production ; il s'agit d'obtenir un produit fini avec le minimum de perte de temps ; à partir du point d'arrivée défini, on remonte d'étape en étape, de tâche en tâche, en évitant de provoquer des trous ou des engorgements ; on réalise ainsi l'ordonnement et on optimise le déroulement des actions.

La rédaction de la séquence

Comment véhiculer les éléments d'information ou de connaissance dont on a défini le contenu ? Il s'agit d'être vigilant sur le langage de

de présentation, la forme des questions posées, la nature des aides fournies pour faciliter les bonnes réponses ou guider le raisonnement qui y conduit. Entre le langage formalisé et purement symbolique de la logique et le langage employé pour enseigner celle-ci, des équivoques peuvent se créer jusqu'à l'incompréhension. Le langage est aussi un comportement dont l'apprentissage doit être soumis aux mêmes types de conditionnement.

L'Expérimentation

C'est la mise à l'épreuve de la séquence sur un échantillon réduit de la population, à laquelle est destiné l'enseignement avant de l'utiliser massivement dans les conditions définies.

On procède à deux types d'essais : l'évaluation et la validation.

L'évaluation est une suite d'épreuves limitées et de mises au point pratiquées sur un nombre restreint d'élèves. Les réponses sont étudiées et confrontées à celles qu'on attendait ; il faut savoir si, quand la réponse est inexacte, ce n'est pas la formulation qui est en cause ; la confrontation s'inspire de l'idée que l'élève a raison quand il manifeste son incompréhension ou ses désirs. La séquence est alors modifiée (fractionner des items trop denses, remplacer des exemples, refaire des schémas, etc...) pour aboutir à une nouvelle version et un autre essai selon les mêmes procédures (suite d'approximations - "essais et erreurs" selon Thronidike). L'évaluation vise ainsi à obtenir la réponse que veut le programmeur.

La dernière épreuve avant la diffusion massive est la validation avec un échantillon plus important et représentatif de la population visée. Elle a pour but de savoir si la séquence convient aux nombreux élèves auxquels on la destine. Elle permet de localiser les erreurs et leur fréquence relative, puis de déduire les corrections à effectuer.

L'ambition n'est plus seulement d'obtenir des résultats corrects, mais de former les opérations qui les produisent (enseigner les méthodes plutôt que les solutions).

LES TECHNIQUES NOUVELLES

En rupture avec SKINNER, SUPPES (USA) et LANDA (URSS) développent une autre méthode d'enseignement programmé.

Leur point de départ est que l'activité intellectuelle est irréductible à des éléments de comportement décrits en termes de stimulus, réponses ou renforcement (pénétrer dans la "boîte noire") ; l'extrapolation à l'homme des phénomènes étudiés dans le règne animal est illégitime.

Les conceptions de base de l'apprentissage

Quand on donne à l'élève un problème à résoudre, il peut fournir le bon résultat (comportement terminal correct), mais il a pu parvenir à ce résultat :

- par hasard,
- en tâtonnant,
- grâce à une analogie heureuse,
- par méthode (il peut y en avoir plusieurs...)

Il est donc inopportun de donner pour objectifs d'un enseignement des comportements finaux déterminés dont le seul examen se révèle insuffisant. Ce sont plutôt les démarches et opérations qui aboutissent à ceux-ci qu'on doit tenter de programmer. Il s'agit de former des mécanismes internes de l'activité psychique, suffisamment généralisés et efficaces, susceptibles de produire et d'assurer tel comportement.

Pour décrire et former ces mécanismes, on les exprime sous forme d'algorithmes, c'est-à-dire de modèles descriptifs et opératoires, de la résolution de problèmes déterminés,

- descriptifs, car ils explicitent les démarches, les choix, les critères à prendre en considération pour obtenir la solution du problème,
- opératoires car, une fois explicités, ils deviennent les instruments de la découverte de la solution.

L'ambition n'est plus seulement d'obtenir des résultats corrects, mais de former les opérations qui les produisent (enseigner les méthodes plutôt que les solutions).

Les étapes de la programmation

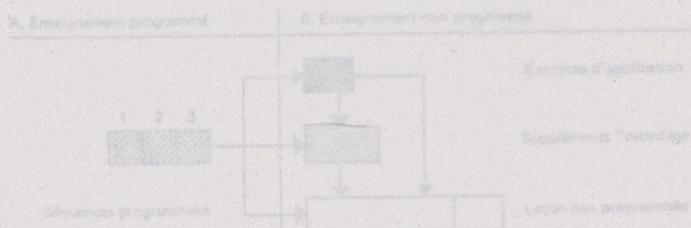
Il s'agit de découvrir les structures internes des mécanismes de la pensée et de décrire celles-ci sous forme d'algorithmes. Leur représentation sous forme de modèles sert de fil directeur à l'enseignement.

L'algorithme se développe comme un arbre dont les branches sont toujours par deux : chaque question fait jouer un critère (choix entre deux possibilités d'une alternative) qui entraîne selon la réponse choisie, la recherche de tel ou tel critère. Il faut donc mettre au jour et ordonner les caractéristiques des objets qui guideront les actions. La préoccupation de l'économie de moyen est à souligner ; seront donc placées en premier les informations qui éliminent la plus grande part d'inconnues ; ainsi la quantité d'information qu'apporte un critère dépend de sa position dans l'ensemble des autres.

La deuxième étape de la programmation est l'enquête sur les fautes commises par les élèves pendant l'apprentissage du thème. Un questionnaire est distribué pour savoir quels critères l'élève a utilisé pour formuler sa réponse. La fonction de la programmation n'est plus seulement l'apprentissage, mais aussi le diagnostic et la correction des erreurs.

La leçon doit à la fois présenter des informations et préciser pour chaque élève les mécanismes intellectuels qui le dirigent au cours de l'apprentissage ; elle a donc un double rôle :

- susciter une activité à propos de l'information apportée,
- contrôler la nature de l'activité, c'est-à-dire les critères qui le guident.

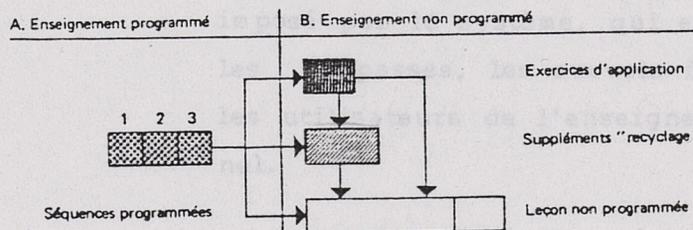
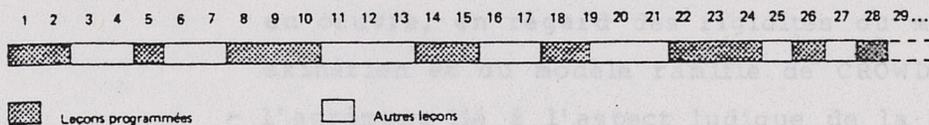


L'ENSEIGNEMENT PROGRAMME A L'ECOLE

L'ENSEIGNEMENT ASSISTE PAR ORDINATEUR

L'enseignement programmé ne peut être employé dans les écoles sans que s'en trouvent affectés l'organisation des études, les emplois du temps et les méthodes. L'utilisation du seul cours programmé dans l'enseignement d'une discipline est un non-sens ; que l'on songe par exemple à la part importante d'art qui échappe à tout effort d'explication (comment programmer la sensibilité à un sonnet de Ronsard ?). Les thèmes à programmer doivent être des thèmes maîtrisés, structurés et qui requièrent une activité mécanique ou répétitive ; cela montre le soin attentif qu'exige l'examen des contenus avant d'être en mesure de définir ceux qui seront programmés.

L'organisation de l'enseignement dépend des résultats obtenus par les élèves ; les données du contrôle en sont les guides. La multiplicité des possibilités offertes à chaque élève à pour corrélat une organisation très structurée pour les maîtres ; tout se passe comme s'ils perdaient d'autant plus de liberté qu'ils en donnent à leurs élèves.



Cette esquisse de bilan comparatif nous invite à examiner de manière plus détaillée les principes de mise en œuvre et les caractères spécifiques de l'E.A.O.

Puisqu'il s'agit d'enseignement, la question de la pédagogie est centrale. On admet généralement qu'en regard de situations pédagogiques conventionnelles, l'E.A.O. représente une "situation pédagogique médiatisé". Dans la relation classique entre "formateur" et "apprenant", le formateur met en forme la matière enseignée, la distribue, et contrôle en retour l'efficacité de cette transmission. La situation pédagogique médiatisée met en scène, en complément du doublet : "formateur - apprenant", des outils pédagogiques qui modifient le rôle et le statut des partenaires. Ainsi le "formateur" n'a plus le monopole de la mise en forme de la matière qu'il enseigne, ni de sa distribution. La formalisation est définie par un outil pédagogique et est liée à la nature de celui-ci. La distribution est effectuée en totalité ou en partie par un dispositif automatisé. Dans ces conditions, "l'apprenant" est à la fois récepteur du discours de l'outil et récepteur du discours de l'enseignant. Ce dernier contrôle le processus et l'intègre dans une stratégie pédagogique qu'il a lui-même défini.

On peut, en regard de ces définitions de rôles, envisager une double évolution. Elle verrait d'abord le formateur perdre le monopole de la diffusion du savoir et devenir animateur facilitant la mise en oeuvre d'une procédure d'E.A.O. Elle se traduirait également par une modification de la relation de l'apprenant, cessant d'être récepteur et commençant à devenir acteur dans une démarche aboutissant à l'auto-formation. Pour atteindre cet objectif, l'enseignant est un guide. Il aide à utiliser le dispositif d'E.A.O. et en contrôle la mise en oeuvre. La transmission de connaissances, sa fonction, doit progressivement évoluer vers des tâches éducatives visant l'autonomisation de l'étudiant.

En terme d'économie, d'efficacité, de rigueur pédagogique, le développement des techniques d'E.A.O. paraît s'imposer. Pourtant, jusqu'ici, certains obstacles liés à la faiblesse de l'équipement informatique, et à l'insuffisance du nombre des didacticiens disponibles, ont limité -tout au moins en FRANCE- cette expression. Pour inverser cette tendance, peut-on envisager une généralisation de l'E.A.O. à la totalité des matières à enseigner et à toutes les situations pédagogiques ? Cette question d'ordre général dépasse le cadre du présent travail. Rappelons, cependant, que les matières techniques se prêtent mieux à la formalisation et à la décomposition

en séquences. Pour ce qui nous concerne, cette bonne adéquation entre la matière à enseigner et les outils pédagogiques de type E.A.O. semble facile à obtenir pour le domaine de la thermique. En revanche, dans une perspective plus ambitieuse de formation à la conception bio-climatique -ou, en d'autres termes, de contrôle architectural des ambiances- le développement des didacticiels d'E.A.O. ne manquerait pas de soulever des difficultés. De tels didacticiels n'existant pas, il est sans doute prématuré d'en évaluer la portée et les limites. On peut tout de même inférer que dans un secteur comme celui de la conception architecturale, où la formalisation est diffuse et la codification complexe, leur réalisation serait à la fois longue, délicate, et coûteuse. Il paraîtrait, à priori, plus sage d'envisager des séquences d'E.A.O. en complément d'autres dispositifs pédagogiques plus conventionnels : Travail de groupe, relation interpersonnelle d'enseignant à étudiant, travail documentaire, ou tout autre forme d'outil déjà utilisé dans l'enseignement de l'architecture.

Pour dépasser ces considérations générales, préciser la teneur des techniques d'E.A.O., et préparer à l'étude de l'adaptation du logiciel SIMULA à un didacticiel d'initiation à la conception thermique d'un bâtiment, il apparaît utile d'examiner la manière dont se construit un didacticiel.

CANEVAS DE REALISATION D'UN DIDACTICIEL

Nous emprunterons l'essentiel de cet exposé aux ouvrages qui sont cités dans la bibliographie et en particulier au livre de J.M. LEFEVRE intitulé "Guide pratique de l'enseignement assisté par ordinateur". Cet auteur plaide pour une extension de l'E.A.O. qui reposerait sur la transformation du plus grand nombre possible d'enseignants en "réalisateurs" de didacticiels. Cette fonction de réalisateur correspond à la conception d'ensemble et la coordination d'une équipe qui doit rassembler des qualifications multiples. Il ne s'agit pas, en conséquence, de faire fabriquer un didacticiel par un spécialiste d'une matière. L'informaticien seul, pas plus que l'enseignant seul, ne peuvent dominer la complexité du problème. Dans la mesure où l'équipe réunit des compétences en informatique, sur la matière à enseigner, sur la "mise en scène"

du processus d'enseignement, des solutions partielles satisfaisantes et une dynamique générale peuvent être trouvées.

Ce principe de la collaboration entre spécialistes posé, examinons le processus de réalisation proprement dit. J.M. LEFEVRE et d'autres auteurs distinguent trois étapes qui doivent être chacune parcourue dans son ensemble. Il s'agit respectivement :

- de la conception du didacticiel,
- de la fabrication,
- de la validation pédagogique.

LA CONCEPTION

Cette phase initiale, à partir de la décision de créer un didacticiel, suppose que l'on arrête certains choix qui vont fixer la nature exacte de l'opération et constituer un "cahier des charges" pour la réalisation. Ces éléments de référence correspondent :

- aux objectifs du didacticiel en terme de population visée et de résultats à atteindre ;
- au contenu précis fixant ce qu'il faut apprendre et les relations existant entre les concepts unis autour ;
- à la stratégie pédagogique dans l'utilisation des moyens informatiques.

Le cadre de la réalisation est défini à partir des données qui précèdent. Celles-ci acquises, la réalisation proprement dite du didacticiel va passer par des phases successives :

- de structuration,
- de définitions des items.

La structuration du didacticiel impose un certain nombre de choix qui définissent la stratégie générale que l'on s'est fixée. Sans trop entrer dans le détail, on peut signaler l'alternative entre un système d'E.A.O. privilégiant l'apprentissage et le transfert d'un contenu précis, et un système mettant l'accent sur l'amélioration du raisonnement et la structuration de la démarche intellectuelle de l'étudiant. De la même manière, on peut, soit retenir un didacticiel de type "tutoriel", où l'étudiant est guidé par le système, soit proposer un modèle "heuristique" où la matière se laisse découvrir progressivement.

Dans les didacticiels de type "tutoriel", des chemins possibles ont été définis pour guider l'acquisition des connaissances. La matière du didacticiel se trouve ainsi organisée sous forme d'un graphe. On retrouve, dans ce cas, soit la structure linéaire du "modèle skienérien", soit la structure ramifiée définie par CROWDER. Deux autres modèles complètent les deux structures de base de l'enseignement programmé : le modèle multi-niveaux et le modèle en dent de scie.

Le modèle multi-niveaux permet de différencier plusieurs niveaux de difficultés. Le niveau de difficulté maximum correspond au chemin le plus court. Le niveau de difficulté minimum représente le chemin le plus long. Entre ces deux extrêmes, on définit des niveaux intermédiaires permettant des adaptations aux divers utilisateurs.

Le modèle en dent de scie mélange des éléments de l'enseignement proprement dit et des éléments de questionnement et d'approfondissement. Il peut s'organiser suivant un parcours linéaire ou ramifié. Tantôt, c'est le didacticiel qui interroge l'étudiant, tantôt ce dernier prend l'initiative de questionner à son tour le programme.

La conception nécessite d'effectuer des choix entre ces diverses structurations. L'analyse pédagogique du problème facilite la décision, mais il est clair que, suivant la nature de la matière à enseigner et le contexte de l'application, des méthodes sont possibles entre les modèles et les modes tutoriels ou heuristique qui ont été décrits. Le didacticiel peut, en effet, être construit par phase en empruntant des modes et modèles différents pour chacune.

L'architecture générale ayant été arrêtée, la conception nécessite ensuite la définition des items. J.M. LEFEVRE intitule cette opération : "l'atomisation de la matière". Le contenu défini dans le cahier des charges est découpé en unités minimales qui vont définir les teneurs de chacun des items. Le niveau de cette décomposition est laissé au libre choix du concepteur en connaissance du contexte d'application du didacticiel et de la nature des matières à enseigner.

Chaque item se voit doter d'un numéro d'ordre correspondant à une suite logique ou chronologique dans le programme. Il faut enfin

préciser les liaisons entre les items qui sont autant de chemins possibles pour l'étudiant en cours d'utilisation. On distingue :

- les liaisons d'items à items,
- les liaisons d'un item à deux autres traduisant une alternative,
- les liaisons d'un items à n autres items correspondant à une suite conditionnelle.

On a ainsi créé une série d'items, l'enchaînement de ces items représentent le dialogue qui va s'établir entre l'étudiant et le didacticiel. Chaque item du graphe représente une phase du dialogue.

Cette phase se déroule en cinq temps :

- envoi d'informations vers l'étudiant,
- sollicitation de l'étudiant pour qu'il réagisse à l'information,
- traitement de cette réaction, à partir d'opérations de comparaison entre la réponse et celle attendue par le didacticiel,
- réaction du système par branchement sur d'autres items présentant à leur tour ce cycle en cinq temps.

La mise en oeuvre de ce dialogue implique des moyens techniques que nous ne pouvons aborder de manière détaillée. Ils intéressent tout particulièrement les problèmes d'analyse de réponse en regard des différents types de question qui peuvent être posées. Pour rester dans le cadre que nous nous sommes fixés, d'une présentation générale de l'E.A.O., il faut aborder maintenant le stade de la fabrication qui succède à la conception du didacticiel.

LA FABRICATION

Cette phase du travail peut être envisagée de deux manières suivant que l'on possède ou non une qualification de programmeur expérimenté. Dans l'affirmative, le réalisateur du didacticiel peut utiliser des langages informatiques standards ou des langages spécialement conçus pour l'enseignement assisté. S'il n'a aucune connaissance de la programmation ou s'il en a seulement une connaissance

réduite, il utilisera ce qu'il est convenu d'appeler un "système-auteur".

Les "logiciels informatiques" correspondant aux systèmes-auteurs ont été spécialement conçu pour permettre la réalisation et la mise en oeuvre de didacticiel sans avoir à les programmer directement.

Ce système-auteur est un générateur de didacticiels. Ceux-ci sont créés à partir :

- d'une saisie des paramètres,
- d'une vérification,
- d'une codification,
- d'une mise en fichier.

Le "système-auteur" inter vient avec deux modules :

- un module de création du didacticiel (saisie et mise en fichier) à l'initiative de l'auteur,
- un module d'exécution destiné à l'élève (exécution des opérations).

Ces deux modules peuvent être complétés par un module de mise à jour permettant d'effectuer des modifications. Le "système-auteur" comprend, en outre, les commandes pour sérier les périphériques audio-visuels nécessaires à la mise en oeuvre du didacticiel (projecteurs, magnétophones, lecteurs divers...).

Parmi les "utilitaires" disponibles, le "système-auteur" propose généralement :

- un éditeur d'écran,
- des procédures de mise en oeuvre de disquettes, de copies de réorganisation de fichiers,
- une édition automatique du contenu du didacticiel sur imprimante,
- des procédures de programmation des périphériques audio-visuels,
- des procédures de vérification du graphe,
- des procédures de modifications.

Il faut noter que le choix d'un "système-auteur" ne modifie en rien les principes pédagogiques du concepteur du didacticiel. Il reste

LES LOGICIELS EXISTANTS

tout-à-fait maître du contenu, de la structure, de la nature des éléments traités, de la forme du dialogue. Le "système-auteur" permet de faire l'économie de la "mise en informatique" du didacticiel. Reste à examiner la manière dont le prototype ainsi constitué peut être expérimenté avant une exploitation en situation pédagogique normale.

LA VALIDATION PEDAGOGIQUE

S'étant assuré du déroulement convenable de l'ensemble, il est généralement admis que l'on effectue des essais préalables sur un groupe témoin d'étudiants. Si les acquis pédagogiques sont conformes aux objectifs initiaux, le didacticiel se trouvera du même coup validé et pourra être mis en service. Dans la négative, c'est sans doute le contenu et la démarche pédagogique qui devront être revus. A priori, cette remise en question peut porter sur une redéfinition :

- du niveau des connaissances pré-requises,
- de la structuration du processus retenue,
- des principes pédagogiques utilisés.

La possibilité de conserver des traces des travaux des étudiants de la population témoin, permet d'avoir un matériel très complet pour effectuer ce réexamen.

L'accumulation des mauvaises réponses en début de parcours traduira une évaluation erronée du niveau des connaissances prérequis.

L'étude des cheminements au sein du graphe informera sur la nature des parcours préconisés et sur la fréquence d'utilisation de certains par rapport à d'autres. L'apparition d'un nombre anormal de réponses fausses ou divergentes à une question sera un bon indicateur de l'inadaptation de celle-ci qui peut être considérée comme mal posée.

A l'issue de cet examen critique, on peut envisager l'adaptation ou la refonte plus ou moins complète du didacticiel permettant de procéder à de nouveaux essais de validation pédagogique.

LES LOGICIELS EXISTANTS

La question des logiciels informatiques existants doit d'abord être posée en regard de l'évolution de la réglementation. Depuis une dizaine d'année et suite à la crise pétrolière, réduire la consommation énergétique nationale a été un des objectifs prioritaires des gouvernements. Afin de mettre en place une politique d'économie des différentes énergies, pour les favoriser et sensibiliser à ce problème, l'Agence pour les Economies d'Energie, rebaptisée par la suite Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie a été créée. Son rôle est de sensibiliser, de former, d'aider les recherches, mais aussi de donner les moyens aux différents partenaires du bâtiment, d'intégrer à toutes les phases du projet le problème des économies d'énergie.

Il fallait également fixer les normes de consommations à respecter dans le cas de la construction neuve ou de la réhabilitation ainsi que les règles et principes de calcul à suivre pour évaluer les consommations des bâtiments. Ces règles ont été publiées dans les D.T.U. (Documents Techniques Unifiés). En 1974, le coefficient G (coefficient de déperdition volumique) a été défini comme élément caractéristique des besoins énergétiques d'un bâtiment. Ce coefficient ne tient compte que des pertes par les parois extérieures ou donnant sur des locaux non chauffés et des pertes par renouvellement d'air. A partir de la différence de température moyenne entre l'intérieur et l'extérieur durant la période de chauffage et du volume habitable, il est alors possible d'estimer la consommation annuelle d'un bâtiment. L'intégration de systèmes solaires passifs et la nécessité de prendre en compte les apports dits gratuits (soleil, occupant, ...) et les préoccupations liées au confort, ont conduit en 1982 à définir un nouveau coefficient, le coefficient B.

Le coefficient G est relativement simple à calculer et il est possible de le déterminer manuellement, mais le calcul n'est pas un but en soi et l'objectif est plus d'évaluer les économies réalisées par rapport au surcoût dû à l'isolation. Le choix de tel ou tel type d'isolation dépend alors du temps de retour qui est fonction de l'investissement et des économies de chauffage réalisées. Le calcul du coefficient B lui, est plus complexe du fait de l'évaluation des apports dus à l'ensoleillement. Plusieurs méthodes sont proposées actuellement mais, pour ainsi dire, dans tous les cas, le calcul manuel s'est avéré fastidieux.

Le coefficient B ne fait plus simplement intervenir les matériaux du bâtiment, mais également des éléments qui vont faire partie intégrante des formes architecturales du bâtiment, taille et orientation des ouvertures, locaux tampons, serres, pour lesquels il est nécessaire de disposer de moyens de calcul pouvant estimer les économies réalisées grâce à ces dispositifs, ainsi que leur comportement thermique et les surchauffes éventuelles par exemple. Les résultats obtenus peuvent alors avoir une incidence directe sur l'architecture du bâtiment.

Parallèlement à la mise en place de la réglementation et du besoin d'économiser l'énergie, on a assisté au développement dans tous les domaines de l'informatique. Depuis 1970, l'évolution des matériels informatiques a été dans le sens d'une diminution de la taille des ordinateurs et d'une augmentation des capacités, ce qui a conduit, entre autres, à l'apparition des micro-ordinateurs. Ces moyens de calcul sont alors devenus accessibles et se sont intégrés largement dans les bureaux d'étude, organisme de recherche, etc... Les calculs thermiques se prêtant tout à fait au traitement informatique, on a pu voir apparaître des logiciels basés sur les règles THK et THG. Ces logiciels permettent une étude rapide du coefficient G pour différentes solutions d'isolation et leurs implications économiques.

Les méthodes prenant en compte les apports dits gratuits peuvent être séparés en deux groupes. Les méthodes "simplifiées" et les méthodes "lourdes". Neuf d'entre elles ont été pré-agrées par le Ministère de l'Urbanisme et du Logement.

Les méthodes simplifiées réalisent un calcul en régime permanent, c'est à-dire en utilisant les valeurs moyennes correspondant au pas de temps calcul, annuel ou mensuel. Elles sont basées sur des corrélations statistiques établies à partir de méthodes "lourdes" ou d'expérimentation. Notamment pour le taux de récupération des apports internes, le nombre d'heures et les surchauffes possibles, le calcul de dispositifs passifs comme le mur trombe... Ces méthodes sont donc simples et permettent une évaluation rapide du coefficient B. Elles présentent néanmoins les inconvénients inhérents à toute méthode basée sur des corrélations, leur précision est aléatoire dès que l'on s'écarte des conditions qui ont servi à leur élaboration. Il est donc nécessaire, pour une bonne utilisation, de bien connaître leur limite et leur domaine d'application.

Les méthodes "lourdes" sont basées sur les équations mathématiques régissant les phénomènes thermiques. Leurs objectifs dépassent largement l'aspect réglementation calcul de coefficient G ou B, certains d'ailleurs ne possèdent pas les modules nécessaires à leur évaluation, bien qu'ils en aient les capacités.

Le développement de l'informatique a permis leur mise en oeuvre et une recherche considérable au niveau des méthodes numériques de résolution de ces types d'équation. Au départ, ces méthodes se sont développées principalement pour des problèmes liés à l'industrie (four,...). Différentes méthodes ont été mises au point permettant la résolution des équations de la chaleur en régime variable. Elles utilisent :

- soit une méthode nodale, c'est-à-dire un maillage de tout l'espace à étudier (air, paroi) et pour lequel on définira un pas de temps de calcul. Elles peuvent être explicites, la température en un noeud au temps $t + dt$ est alors définie en fonction des noeuds voisins au temps t ou implicite, on obtient alors un système d'équations linéaires reliant les températures entre les noeuds voisins. Ce schéma nécessite la résolution d'un système linéaire à chaque pas de temps de calcul, mais présente l'avantage d'être stable quelle que soit la discrétisation choisie. Chacun de ses systèmes a ses contraintes particulières au niveau du pas de temps de calcul, pas d'espace, erreurs induites, et des moyens de calcul nécessaires à leur résolution.
- soit des méthodes par lesquelles la conduction à travers les parois est traitée par une méthode type "facteur de réponse". Le principe est de calculer le flux traversant un mur à un signal unitaire, à partir duquel il sera possible d'exprimer une sollicitation quelconque. Ce signal unitaire peut être de type échelon (méthode des fonctions intégrales d'influence - BA T, BEGO), de type triangle de hauteur unité (LUCIOL - INSA de Lyon), soit de type sinusoïdal dans le cas où la résolution s'appuie sur le régime périodique et la décomposition des sollicitations en série de Fourier (SIMULA-CERMA).

Généralement, ces méthodes sont dites "lourdes" du fait qu'elles nécessitent des mini-ordinateurs pour avoir des temps de réponse acceptable. La différence entre ces méthodes réside surtout sur le temps de calcul nécessaire, la possibilité d'avoir des banques de données, et sur leur aptitude à prendre en compte tel ou tel phénomène.

Ces méthodes vont donc conditionner l'utilisation que l'on pourra en faire par le traitement ultérieur du comportement thermique d'un bâtiment, mais ce n'est pas ce seul critère qui va déterminer la performance d'un programme. En fonction du domaine d'utilisation d'un programme et des qualités recherchées, certaines approximations pourront être faites ou des phénomènes liés à des dispositifs particuliers non pris en compte.

- échanges convectifs et radiatifs globalisés
- transmission des flux solaires par les parois opaques négligés
- (effet de serre) avec ou sans circulation d'air
- répartition des flux solaires intérieurs globalisés sur le sol ou affecté sur les parois effectivement ensoleillées à chaque pas de temps

CARACTERISTIQUES DES MODELES EXISTANTS (liste non exhaustive)

Méthode ThB :

- . Calcul du coefficient B pour des bâtiments d'habitation
- . Pas de temps de calcul = période de chauffage (8 mois)
- . méthode de calcul en régime permanent utilisant des corrélations annuelles
- . méthode existant sous forme de logiciel, mais son objectif premier était de calculer le coefficient B manuellement. Ce qui induit un grand souci de simplification.

Méthode 5000 :

- . calcul mensuel
- . calcul des déperditions coefficient G
- . calcul des apports solaires et du coefficient B
- . apports solaires par les parois opaques sont négligés et compensent les pertes par rayonnement vers la voûte céleste
- . énergies gratuites calculées à partir d'un taux de récupération η qui dépend de :
 - la quantité totale des apports gratuits
 - du coefficient G
 - de la température extérieure moyenne
 - de l'inertie du logement (déf. de 3 classes d'inertie) η est défini par des fonctions de corrélation mensuelle

Méthode CASAMO :

- . calcul mensuel, calcul du coefficient G et B
- . présenté comme un outil d'évaluation rapide du comportement thermique d'un bâtiment
- . principes à peu près identiques à la méthode 5000
- . taux de récupération η dépend essentiellement du rapport entre le coefficient G et des apports gratuits.

Méthode CALECO :

- . issue du code américain DOE 2.1
- . méthode lourde
- . évaluation heure /heure du comportement thermique des bâtiments et d'un certain nombre de système de chauffage.

- . utilise les facteurs de réponse (réponse au flux d'une paroi à une sollicitation unité) et les facteurs de pondération (réponse en charge thermique)
- . méthode effectuant des calculs précis des besoins mais pas adaptée spécifiquement au calcul du coefficient B
- . limitée au calcul des gains directs
- . méthode la plus validée
- . calcul rapide de par les facteurs de réponse

HELIO B :

- . simulation heure/heure (méthode lourde)
- . peut effectuer un calcul horaire sur une année complète ou évaluer les besoins annuels à partir de deux jours moyens/mois
- . utilise la méthode des différences finies explicites. Pas de temps de 20 mn pour assurer la convergence
- . échanges radiatifs et convectifs pris en compte globalement
- . pas de couplage des parois par rayonnement de grande longueur d'onde

HABITAT :

- . méthode lourde (outil de recherche)
- . différences finies implicites
- . simulation thermique aussi fine et précise que possible
- . pas de temps variable de 10 s à 1 h
- . échanges radiatifs et convectifs séparés
- . programme lourd ayant le moins d'hypothèses simplificatrices
- . calcul bidimensionnel effectif du mur trombe

HABECO : Méthode simplifiée tirée de HABITAT

SIMULA :

- . Calcul du comportement thermique du bâtiment en régime variable
- . décomposition des signaux en série de Fourier
- . parois identifiées par les coefficients de réponse à une sinusoïde unitaire
- . utilisé principalement pour étudier le comportement thermique d'un bâtiment

- en réponse à des journées-types ou à des séquences de journées types
- . prise en compte du couplage entre locaux par renouvellement d'air et par les parois
 - . possibilité de calculer les températures intérieures, les besoins de chauffage (temp. imposée ou temp. de consigne)
 - . sorties numériques ou graphique par poste et par type de sollicitation (temp, flux)
 - . accessoirement calcul du coefficient G et du coefficient B en étudiant une journée par mois en conditions moyennes.

Utilisation des différentes méthodes dans l'enseignement

Les logiciels de calcul thermique et l'informatique en général s'intègre de plus en plus dans la pratique professionnelle. L'enseignement doit intégrer ce phénomène au même titre que toutes les évolutions techniques.

Les logiciels existants à l'heure actuelle ont été réalisés pour des concepteurs ou des thermiciens dans un but d'évaluation et d'étude du comportement thermique du bâtiment. Ils n'ont donc pas été conçus dans une optique d'acquisition de connaissances dans le cadre d'un enseignement de thermique. Ils ne peuvent alors représentés qu'un support à un enseignement classique, soit dans une phase de sensibilisation à la thermique, soit dans une phase d'application des connaissances déjà acquises pour faciliter les études de cas, et permettre une gamme plus large de simulation. Suivant les capacités du logiciel, un certain nombre de phénomènes pourront rapidement être mis en évidence (inertie thermique, récupération des apports solaires,...)

L'enseignement ne doit pas se résoudre à un apprentissage lié à l'utilisation d'un logiciel mais au contraire, il doit fournir les connaissances qui permettront ensuite la compréhension des hypothèses et des simplifications réalisées dans les différents programmes.

La qualité d'un logiciel par rapport à un enseignement est associé aussi bien à ses capacités à mettre en évidence des phénomènes qu'aux procédures d'utilisation interactive, aux techniques de représentation et de visualisation des résultats.

D'une façon générale, les logiciels lourds semblent le mieux adaptés à l'acquisition de connaissances thermiques du point de vue physique. En effet, ce sont ceux qui font le moins d'hypothèses simplificatrices, chaque type d'échange et en tous points est traité précisément. Il est donc possible d'étudier des journées-types, des séquences de journées-types et de mettre en évidence l'influence des divers paramètres, ou d'étudier le comportement d'un élément précis en réaction à tel ou tel type de sollicitation.

Les logiciels simplifiés ont principalement été conçus pour aider les concepteurs ou les thermiciens. Leur application à l'enseignement est a priori plus limitée. Il reste néanmoins que ce sont les outils les plus utilisés dans la pratique professionnelle. Leur intégration est donc souhaitable au niveau du projet. Leur utilisation à un stade d'initiation peut être plus délicate en raison des connaissances nécessaires à une bonne compréhension des limites d'utilisation, de la significations des corrélations et des différentes approximations réalisées.

D'autre part, ils sont principalement orientés vers un calcul global représenté par le coefficient B, il est donc plus difficile de bien mettre en évidence les phénomènes séparément. Néanmoins, certains logiciels comme CASAMO ou la méthode 5000 possèdent des modules de visualisations d'ensevelissement, d'autres, des possibilités de simulations Héliodions qui peuvent être utile à la visualisation de ces phénomènes.

L'intégration de ces logiciels, quels qu'ils soient, doit donc se faire à différents niveaux et en fonction du contenu de l'enseignement. L'aspect théorique de compréhension des phénomènes physiques peut être privilégié par rapport à l'aspect réglementaire ou l'inverse.

Il serait hasardeux, à l'heure actuelle de donner trop de place aux logiciels existants dans un enseignement de thermique, mais leur intégration en tant que support ou aide à l'enseignement s'avère absolument nécessaire.

HYPOTHESES POUR L'ADAPTATION DES MODULES DU LOGICIELSIMULA A L'ENSEIGNEMENT DE LA THERMIQUE

A l'issue de ces réflexions sur les méthodes d'enseignement programmés et d'enseignement assisté par ordinateur, se pose le problème de l'opportunité et de la faisabilité d'un système d'E.A.O. en thermique dans les écoles d'Architecture. La mise en place d'un E.A.O. suppose la définition précise des différents composants qui constituent l'enseignement, à savoir le contenu à enseigner (la matière), les modes d'enseigner en relation avec les objectifs pédagogiques et la population à former. Elle exige, par ailleurs, une structuration de la connaissance à transmettre qui favorise l'auto-formation de l'élève en le guidant dans l'acquisition de ses connaissances (parcours, guide), soit en s'ajustant à sa progression et à sa formation. La souplesse et le bon fonctionnement d'un système d'E.A.O. est donc soumis à une analyse rigoureuse de la discipline à enseigner et des objectifs de formation.

La situation actuelle dans les écoles d'Architecture montre la diversité des approches et des préoccupations vis-à-vis de la thermique et de la bioclimatique ainsi que des moyens mis en oeuvre pour assurer cet enseignement. La restructuration de l'enseignement prévu dès 1985, si elle apporte quelques précisions sur la nécessité des connaissances scientifiques dans la formation des étudiants, s'intéresse plus aux thèmes et aux disciplines à prendre en charge qu'au contenu ou aux connaissances précises à enseigner. Son application ne conduit pas à une formulation claire des enseignements visés, moins encore des formes ou des stratégies d'enseignement. N'est pas réglé non plus le problème de l'articulation d'un savoir spécifique, de nature scientifique, avec l'enseignement plus général des autres disciplines ou approches visant la mise en forme et la conception du projet. Significatif est, à cet égard, l'absence de manuels ou d'ouvrages conçus spécifiquement pour les étudiants architectes. L'enseignement se réalise alors sans programme et sans contenu stricts.

La solution est à rechercher entre les extrêmes correspondant à, d'une part, l'émiettement des savoirs, constituant autant de morceaux à combiner et pouvant

conduire à des spécialisations qui réduisent la conception architecturale et, d'autre part, une formation de type globalisante, générale, mais nécessairement simplifiée.

Pour reprendre certaines réflexions émises en introduction, la réalisation d'un E.A.O. spécifique de thermique risquerait de conduire au premier des extrêmes : à savoir, l'isolement de cette discipline et sa non-intégration aux procédures de conception du projet. Cette situation résulterait des contraintes imposées par les techniques d'enseignement assisté (maîtrise des thèmes à enseigner, découpage en petites unités d'enseignement, enseignement d'une seule discipline à la fois) ne permettant pas une mise en situation de la thermique dans une approche plus générale et son application au bâtiment. Si l'on se réfère au cours de thermique consigné dans les ouvrages spécialisés à destination des ingénieurs, on mesure, par ailleurs, la difficulté à structurer ces connaissances dans un enseignement de type programmé ou assisté à destination des étudiants architectes. Ainsi, comment envisager simplement et de façon didactique la formulation théorique des échanges par conduction ?

A l'opposé, dans des systèmes plus généraux de C.A.O., l'intégration à la dimension thermique du projet permettrait tout au plus une évaluation des performances ou du fonctionnement thermique du projet, mais ne participerait pas ou peu, excepté pour des praticiens expérimentés et au fait des problèmes de thermique, à l'acquisition d'un savoir théorique ou même d'un savoir-faire en thermique.

Dans ce contexte, on peut envisager une approche intermédiaire dans laquelle les enseignants seraient responsables du programme d'enseignement de la thermique, mais pourraient s'appuyer sur des modules de logiciel pour illustrer, démontrer ou mettre en application les connaissances théoriques transmises en cours. Chacun des modules serait développé dans une optique particulière en relation avec des notions théoriques de base et des applications significatives pour le futur concepteur. Ils permettraient ainsi l'articulation entre la discipline enseignée et la pratique du projet.

Ces modules pourraient prendre différentes formes et satisfaire différentes fonctions suivant les étapes de la formation : modules de démonstrations ou de formation, outils d'apprentissage, outils de simulation. A ces types d'outils, on peut faire correspondre trois étapes de formation :

- acquisition des connaissances de base en thermique et bioclimatique ;
- approche climatique et thermique appliquée à l'architecture ;
- application opérationnelle : aide à la conception, évaluation.

1 - Acquisition des connaissances de base

Le principal souci dans cette étape de formation est la mise en perspective des notions théoriques enseignées dans leur contexte d'application, le bâtiment ou le projet urbain. Cette contrainte, si elle ne dispense pas d'une formulation théorique des phénomènes thermiques, doit cependant permettre d'en réduire la difficulté et d'imposer certaines limites (soit au niveau des valeurs, soit du poids des différents paramètres). Il s'avère, en effet, que le bâtiment est une machine thermique complexe où prennent place différents phénomènes en interdépendance les uns avec les autres. De nombreux paramètres entrent en jeu, liés autant à la situation climatique qu'aux caractéristiques géométriques et physiques du bâtiment. Dès lors, de nombreuses connaissances sont nécessaires pour appréhender finement le comportement thermique d'un bâtiment, évaluer ses consommations énergétiques ou prévoir les situations de confort résultantes pour les habitants.

Une certaine simplification peut être opérée dès lors qu'on resitue chacun des phénomènes ou des paramètres dans leur champ d'application et qu'on transforme les principes théoriques étudiés en concepts directement opératoires. Les outils informatiques développés à ce niveau devraient s'inscrire dans cette perspective et permettre le passage vers une connaissance appliquée et applicable.

On peut établir une liste non exhaustive des principales notions de base à enseigner ; à chacune d'elles doit correspondre sa matérialisation, ou concrétisation, au niveau du bâtiment, en termes opérationnels.

- Le contexte climatique et les paramètres prépondérants d'un climat : température, irradiation, vent, hygrométrie, pluie... Leur incidence au niveau du projet et des espaces construits ; contrôle des paramètres vent et soleil ; évaluation de l'énergie solaire...

- le confort thermique, en intérieur et en extérieur ; les paramètres du confort, diagramme de confort, évaluation.
- les différents modes de transfert de chaleur : conduction, convection, rayonnement, changement de phase ; pour chaque mode : identification des différents paramètres intervenants, évaluation de leur incidence dans les échanges.
- notions sur les types de régime thermique : permanent, périodique, transitoire, variable.
- les matériaux, les éléments de construction, les techniques de climatisation...

Certains des logiciels de simulation développés par le C.E.R.M.A. trouveraient, au prix d'une refonte partielle ou d'une certaine restructuration, une application immédiate dans le cadre de cette formation théorique. Ainsi les modules de calcul suivants seraient directement utilisables :

- la détermination des conditions du confort (module CONFOR) ;
- l'évaluation du rayonnement solaire incident (module SOLAIR) ;
- la mise en évidence des masques et des conditions d'ensoleillement (logiciel PROHEL, PROSOL) ;
- la construction de diagrammes solaires (module DIAGRAM) ;
- la visualisation et l'évaluation des transferts thermiques dans un mur ; mise en évidence des différents types de régime thermique (module PROSIM).

D'autres modules de logiciel pourraient être rapidement mis en oeuvre, à condition d'être centrés sur des préoccupations précises et de satisfaire des objectifs établis. Conçus de manière indépendante, leur nombre peut être important, mais n'impose pas qu'ils soient utilisés tous, ni dans une séquence particulière. Pour certains d'entre eux, dont le mode d'utilisation est général, on envisagera la constitution de jeux de données type, correspondant à des cas d'écoles ou à des configurations existantes significatives, organisés de manière à permettre la mise en évidence de phénomènes particuliers, de réponses types, des relations entre le projet et sa réponse thermique. Grâce à ces outils, l'étudiant serait mis en situation pour découvrir les interférences qui se font jour entre les phénomènes thermiques et les bâtiments qu'il aura à concevoir et la nécessité de les maîtriser.

Le mode de fonctionnement n'impose alors aucune rigidité dans la structure d'enseignement. Il n'est pas tributaire d'une formulation exacte et figée des connaissances à transmettre, mais laisse, au contraire, toute liberté d'initiative à l'enseignant qui peut à loisir mettre en forme ou solliciter les outils d'accompagnement souhaitables pour assurer son enseignement. Le recours à l'informatique prend dans ce contexte une importance particulière, en raison de ses capacités en moyens de calcul (des démonstrations simples peuvent demander la mise en oeuvre d'algorithmes de résolution complexe), ses modes de restitution (graphique, numérique) et ses possibilités d'interaction. Il permet ainsi l'analyse rapide des phénomènes à partir de scénarios multiples sur des exemples réalistes, qui peuvent être complexes, mais dont la saisie aura pu être effectuée au préalable, évitant ainsi toutes manipulations liées aux travaux pratiques de type laboratoire, d'un montage généralement délicat.

Dans cette perspective, la constitution d'une banque de modules de logiciels aisément transposables d'une unité d'enseignement à une autre, peu dépendante des capacités de matériel informatique (pour lesquels divers jeux de données peuvent être construits) pourrait constituer le point de départ et jeter les bases d'un enseignement ou d'un programme d'enseignement de la thermique spécifiquement conçu pour les étudiants architectes.

2 - Approche climatique et thermique du projet d'architecture

Cette deuxième étape de la formation permettrait d'aborder de manière plus globale les problèmes thermiques et climatiques liés au bâtiment. Elle correspond à une phase d'apprentissage à la pratique de la thermique et à son intégration dans la procédure de conception du projet. L'objectif est alors l'acquisition d'une expérience, d'un savoir-faire construit ou établi à partir

d'une mise en forme des connaissances acquises, théoriques mais déjà opératoires.

L'apprentissage s'organise alors autour d'objets réels, existants, représentatifs de situations diverses recouvrant des courants d'architecture, des projets d'architecte, l'architecture traditionnelle... mais aussi des situations climatiques différentes, des techniques de constructions ou encore des dispositifs spécifiques thermiques (serres, stockage...). Dans cette hypothèse, l'analyse ou l'étude thermique s'inscrit dans un cadre général où peuvent être également connues toutes les autres dimensions du projet ou du bâtiment analysé. Le recours à ces exemples situés, référencés permet alors une relativisation des paramètres physiques du projet, leur pondération vis-à-vis des autres contraintes du projet. Il rend compte également des démarches ou des préoccupations qui se font jour quant à l'intégration ou à la prise en charge des caractéristiques de site, de climat, d'énergie ou de confort, donnant ainsi un éclairage nouveau de l'architecture par le biais d'analyses climatiques et énergétiques.

Il ne s'agit pas de donner ici un contenu précis à ce que pourrait être cette étape de formation, mais plutôt d'esquisser un cadre pédagogique qui réponde à cette préoccupation d'interaction entre les éléments scientifiques et techniques et les contraintes plus spécifiquement spatiales et morphologiques des concepteurs. On s'éloigne alors des formulations précises, d'une certaine manière rigide, propres à l'Enseignement Assisté par Ordinateur ou même de l'enseignement programmé. La question devient : Quelles techniques utiliser pour assurer ce type de formation ?

Pour traiter les problèmes relevant de la thermique, seuls des dispositifs de simulation informatique permettent de modéliser l'ensemble des paramètres du bâtiment et de l'environnement et de rendre compte du comportement thermique du bâtiment ou de ses consommations. L'outil est alors orienté vers le traitement et l'analyse thermique du bâtiment, mais l'objet simulé est global, en ce sens qu'il intègre toutes les dimensions du projet réalisé ou projeté. Outre donc tous les enseignements techniques qu'on peut tirer des simulations répétées (compréhension des phénomènes, incidence des différents paramètres, valeurs indicatives...), ce type d'approche permet une appréhension globale du projet par référence aux autres caractéristiques qui y sont

présentés et la mise en évidence des conflits, des contradictions, de dysfonctionnement ou d'enrichissement produits suivant les modalités d'intégration des facteurs physiques au projet.

Le logiciel de simulation thermique SIMULA et les modules de contrôle d'ensoleillement (SOL, HEL) peuvent s'inscrire dans cette deuxième phase de formation. Le problème réside alors dans la constitution de jeux de données (objets architecturaux et conditions climatiques), supports des différentes simulations et significatifs face aux phénomènes physiques à étudier, mais aussi vis-à-vis des types d'architecture, des courants, des modes de construction ou des usages. On peut ainsi envisager l'étude des brises soleil chez Le Corbusier, des conditions de confort dans les espaces publics des réalisations de Bofill, l'analyse des projets de lotissements dans les cités conçus par les tenants du courant hygiéniste ou plus simplement procéder à l'évaluation des caractéristiques de l'habitat rural ancien, du pavillon traditionnel actuel avec serres, ou de la maison type bioclimatique ou solaire... Les exemples ne manquent pas, mais leur prise en charge demande préalablement un travail théorique d'analyse pour mettre en relief les caractéristiques significatives des projets, fixer les modalités d'investigation par les moyens de simulation informatique et procéder à la modélisation et saisie des projets à évaluer. Bien entendu, ceux-ci ne sont pas systématiquement saisis dans leur ensemble, seuls les sous-ensembles, objets de la démonstration seront alors modélisés.

Par rapport à la phase précédente d'acquisition des connaissances en thermiques appliquées au bâtiment, cette étape devrait permettre d'une part d'aborder les problèmes thermiques dans leur ensemble (interaction des paramètres, effets des dispositifs spécifiques de récupération d'énergie...), d'autre part, de contribuer à la constitution d'un "savoir architectural" de la discipline scientifique enseignée.

Un certain nombre d'exigences sont à satisfaire, qu'elles soient de type réglementaires (calcul de coefficient G, B...) ou qu'elles soient données comme contraintes du programme (performance énergétique, confort des usagers, conditions micro-climatiques des ambiances, économie...)

A ce stade, on quitte la phase de formation encadrée proprement dite pour mettre en place des outils d'aide à la conception ou des moyens d'évaluation et de contrôle des projets permettant à l'utilisateur de gérer lui-même son produit :

La mise en place d'une telle stratégie repose sur deux préalables :

- le décloisonnement de l'approche strictement scientifique ; trouver une articulation de la discipline thermique et climatique avec les autres formations (théorie et architecture, processus de conception, méthodologie de constitution du projet, intégration des projets d'étudiants...) ; le recours à l'apprentissage de la thermique par le biais d'exemples référencés à l'architecture constitue une réponse à cette préoccupation.
- la mise à disposition de logiciels de simulation thermique permet une certaine souplesse d'utilisation et répond aux objectifs d'analyse et de compréhension de phénomènes thermiques. Nous avons fait référence au logiciel SIMULA développé au C.E.R.M.A. qui est exposé plus en détail dans la suite de la présentation. S'agissant d'un programme plus complexe que les modules de démonstrations évoqués précédemment, il est alors nécessaire d'envisager son adaptation et sa diffusion sur les équipements informatiques des écoles. On se trouve ainsi placé dans la situation inverse à celle présentée dans l'étape d'acquisition des connaissances ; les jeux de données utilisés sont multiples, échangeables et constitués suivant les besoins mais fonctionnent sur un ou des logiciels spécifiques. Le choix du logiciel, avec ses modes de mise en oeuvre et d'application, ses capacités à permettre l'apprentissage, est alors primordial.

3 - Aide à la conception - Evaluation thermique du projet

On se situe ici à un niveau plus directement opérationnel où les connaissances acquises sont mises en application sur des projets d'étudiants ou des projets réels. L'étudiant ou le concepteur est alors en situation de conception de projet et cherche à élaborer un produit intégrant les dimensions bioclimatiques et thermiques. Un certain nombre d'exigences sont à satisfaire, qu'elles soient de type réglementaires (calcul de coefficient G, B...) ou qu'elles soient données comme contraintes du programme (performance énergétique, confort des usagers, conditions micro-climatiques des ambiances, économie...)

A ce stade, on quitte la phase de formation encadrée proprement dite pour mettre en place des outils d'aide à la conception ou des moyens d'évaluation et de contrôle des projets permettant à l'utilisateur de gérer lui-même son produit :

- vérification et validation des dispositions prises vis-à-vis des questions énergétiques et du confort,
- quantification des échanges thermiques, évaluation des conditions de confort ;
- analyse du comportement thermique en réponse à des situations climatiques types extrêmes et à des conditions d'utilisation ;
- évaluation des consommations, performances énergétiques, poids des apports gratuits ;
- une formulation de nouvelles propositions, d'aménagements particuliers ou de corrections et mesure de leurs incidences...

Dans cette perspective, un certain nombre de logiciels ont été mis en place pour réaliser ce type de traitement en utilisant des méthodes numériques de calcul et de simulation. Suivant les modèles proposés, les fonctions et les modalités d'application sont différentes. Il nous apparaît cependant nécessaire de faire appel à des dispositifs de simulation rendant compte de manière globale et suffisamment précise des phénomènes réels ; notamment permettant de traiter des sollicitations climatiques variables dans le temps (température, flux solaire), des conditions intérieures diverses (type de climatisation), des géométries suffisamment complexes (plusieurs pièces, différentes ambiances)

Les caractéristiques requises pourraient être celles d'un logiciel d'apprentissage, mais avec des modes de restitution des résultats différents, globalisés ou non, de manière à ne pas se restreindre à la seule évaluation. Le modèle doit fournir des résultats suffisamment significatifs pour mettre à jour les phénomènes en jeu, évaluer l'incidence de tel ou tel paramètre, modifier un élément... pour favoriser l'évaluation et constituer ainsi une aide à la décision, éclairer les différents choix.

L'utilisation d'un tel logiciel, disponible également dans les Ecoles d'Architectures, devrait permettre à l'étudiant en formation de constituer sa propre expérience dans le cadre de travaux dirigés sur les projets qu'il étudie ou au praticien d'analyser ou de contrôler le fonctionnement thermique de ses réalisations.

On peut remarquer que notre étude, à défaut de définir un contenu très élaboré d'enseignement de la thermique, propose une stratégie d'intégration de celui-ci à la formation d'ensemble de l'étudiant et repose sur une instrumen-

tation, à dominante scientifique, mais non dissociée dans ses applications, des préoccupations générales des concepteurs. Un grand nombre d'outils informatiques ou non, existent ; la question de leur utilisation dans un contexte bien précis est posé. Y répondre devrait permettre, à terme, d'élaborer un enseignement plus structuré et orienté, de la thermique et de la bioclimatique dans les Ecoles d'Architectures.

Structure du logiciel SIMULA. Mise en oeuvre dans une perspective d'enseignement et d'apprentissage.

Le logiciel SIMULA a été réalisé dans le cadre d'un programme de recherche établi avec le Secrétariat de la Recherche en Architecture. Constitué d'un programme de simulation thermique en régime variable et de modules annexes (contrôle solaire, évaluation de taches solaires, calcul de flux), ces différents outils ont été élaborés dans la perspective d'utilisation dans des situations d'enseignement et de pratique opérationnelle afin de favoriser la prise en compte des paramètres physiques, thermiques et climatiques dans le projet.

Un certain nombre de problèmes théoriques et pratiques ont été abordés, au préalable, et on conduit à la mise au point de versions expérimentales de ces logiciels. Ils correspondent :

- d'une part, à la modélisation des phénomènes physiques et à leur simulation, en fonction des paramètres à traiter, des phénomènes à mettre en évidence et des techniques numériques à mettre en oeuvre ;
- d'autre part, aux modes d'utilisation et aux applications pratiques envisagés, en relation avec les moyens informatiques disponibles et les procédures interactives de saisie et de restitution des résultats.

S'agissant, dans un premier temps, de l'élaboration des différents logiciels, nous avons utilisé les ressources informatiques disponibles au C.E.R.M.A. (mini-ordinateur PDP 11-34 avec écran graphique TEKTRONIX). Nous évoquerons ci-après les problèmes posés par une adaptation des logiciels sur des matériels informatiques différents. En premier lieu, il paraît utile de rappeler les caractéristiques principales du logiciel SIMULA :

- modélisation simple des données concernant le bâtiment (décomposition en locaux et parois) ;

- définition du contexte climatique extérieur incluant les fluctuations des différents paramètres (flux, températures) ;
- capacité d'interaction : en entrée, possibilité de modification rapide des divers paramètres ; en sortie, résultats imprimés ou graphiques, permettant une analyse fine ou globale du comportement thermique du bâtiment étudié ; temps de réponse rapide grâce aux algorithmes de calcul utilisés pour la simulation ;
- traitement en régime variable, et sans procédure différenciée en régime permanent ;
- diversité des types d'application : analyse du bâtiment dans son ensemble, d'une pièce ou d'une paroi ; étude de phénomènes particuliers (incidence des apports solaires, rôle de l'inertie, place de l'isolant, rôle des espaces tampons...)

Le niveau de précision obtenue et la sensibilité du système paraissent suffisants par rapport aux objectifs fixés d'analyse et de compréhension des phénomènes thermiques. Le logiciel permet, en effet, de prendre en compte de nombreux paramètres et de traiter des configurations diverses, réalistes vis-à-vis des situations réelles rencontrées telles que :

- simulation thermique conjointe de plusieurs locaux mitoyens aux caractéristiques différentes, en intégrant les interactions thermiques entre les locaux ;
- imposition des conditions de climatisation des locaux : application de puissance de climatisation pour maintenir une température d'air intérieure imposée variable ; simulation, sans puissance de climatisation (température flottante) ; ou maintien d'une température de consigne (chauffage seul, par exemple). Les types de climatisation peuvent être différents selon les pièces ou ambiances constituant le bâtiment ;
- le traitement de l'inertie intérieure ; possibilité de prise en compte de manière précise des flux solaires intérieurs et extérieurs.

Le type de résolution choisi réalise la simulation du comportement thermique d'un bâtiment en régime variable, avec un temps de calcul réduit, facilitant ainsi les procédures d'utilisation interactives et répétitives sous diverses conditions. La méthode de calcul repose sur une décomposition des différentes sollicitations variables en série de Fourier ; le niveau de la décomposition conditionne alors la précision des résultats. Les différents tests effectués ont montré qu'une décomposition jusqu'à la cinquième harmonique donnait des résul-

tats corrects pour une période fondamentale égale à la journée (24 heures).

Cette méthode, qui s'apparente à une méthode type facteur de réponse, permet de résoudre le problème de conduction à travers les parois, une seule fois, en réponse à un sinusoïde d'amplitude unité pour chaque niveau de la décomposition. Pour chaque paroi, on enregistre alors, avant le calcul de la simulation proprement dit, les coefficients d'amortissement et les déphasages correspondant aux différents types de sollicitations. La résolution globale au niveau du bâtiment est obtenue analytiquement à chaque niveau de la décomposition (période fondamentale et harmonique). Les résultats sont calculés à partir d'une recombinaison des différents termes évalués aux divers niveaux.

La résolution analytique globale s'obtient en écrivant le bilan de puissance pour chaque local du bâtiment ; les inconnues sont alors, soit la température intérieure, soit la puissance de climatisation pour maintenir une température d'air souhaitée. On établit ainsi un système d'équations linéaires dont la résolution s'effectue par niveau ; le nombre d'équations correspond au nombre de locaux traités.

L'intérêt de la méthode réside alors :

- dans sa rapidité d'exécution permettant des temps de réponse rapide ;
- dans la faible capacité de stockage nécessaire en mémoire : les coefficients de réponse des parois (2 termes pour chaque niveau) et les termes de la décomposition des sollicitations (2 termes également par niveau) ;
- dans le choix du nombre de niveaux de la décomposition en fonction des phénomènes étudiés (la réduction à un seul terme correspond au régime permanent) : journée type, signaux de journées, étude de phases transitoires...
- dans la possibilité à gérer des bâtiments composés d'ambiances et de climatisation différentes (le couplage thermique des locaux est implicitement traité) ;
- dans ses possibilités d'interaction : au niveau de l'examen des résultats et au niveau de la modification des paramètres.

Ce dernier point revêt une grande importance dans les procédures d'apprentissage et de formation. En effet, le modèle de simulation doit permettre à l'utilisateur d'analyser et de comprendre les résultats afin d'interférer sur ces décisions et de proposer éventuellement des corrections. La technique de si-

mulation adoptée dans le logiciel SIMULA s'accorde bien à ces préoccupations puisqu'elle aborde la résolution au niveau de chaque élément de la simulation, le local, la paroi, les différentes sollicitations, explicitant ainsi les échanges de façon analytique. Il est alors aisé, dans ces conditions, d'explorer les résultats suivant son propre canevas d'interrogation et de mettre en évidence les différents termes des échanges. On peut ainsi envisager :

- l'étude de dispositions particulières,
- la récupération des apports solaires, leur rôle dans le bilan thermique,
- l'incidence, sur la diminution des pertes thermiques, d'un local adjacent non chauffé,
- l'influence de la position de l'isolant,
- le poids du renouvellement d'air,
- le comportement d'une serre ou le préchauffage de l'air neuf dans les espaces vitrés,
- le rôle de l'inertie, des apports des occupants,
- les consommations de chauffage, mais les aussi les périodes de surchauffe,
- l'évaluation thermique du bâtiment pour des conditions climatiques diverses (périodes extrêmes, conditions moyennes...)

Le logiciel SIMULA présente donc des caractéristiques intéressantes dans les phases d'enseignement présentés ci-dessus de formation, d'apprentissage et d'aide à la conception. Son utilisation, dans ce contexte, est soumise à son implantation sur des équipements informatiques différents de celui utilisé actuellement (de type micro-ordinateur) et à certains aménagements concernant le fonctionnement du programme et ses modalités d'utilisation.

La question d'une adaptation du logiciel à des matériels informatiques de moindre taille ne pose pas de difficultés majeures. La rapidité de calcul liée à la méthode de résolution choisie constitue un atout important ; le temps de réponse ne devrait pas être considérablement modifié, compte tenu des performances de calcul des micro-ordinateurs actuellement sur le marché. Les capacités de stockage de ceux-ci sont comparables ou supérieures (mémoire centrale) à celle du mini-ordinateur utilisé (256 K octets) ; seuls les échanges et les transferts d'informations disque vers mémoire ou mémoire vers disque peuvent constituer pour le moment un léger handicap. Hormis les données concernant le bâtiment qui peuvent demander, suivant les cas, une certaine quan-

tité d'informations, les informations liées au mode de calcul proprement dit sont, en revanche, limitées. Compte tenu de la variété et de la quantité des résultats fournis, les temps de réponse devraient restés tout à fait acceptables.

L'éventualité d'une diffusion des modules de logiciel SIMULA passe cependant par une réécriture totale du programme existant. Elle doit se réaliser à la suite d'un examen des matériels de développement envisagés, des périphériques disponibles et des systèmes d'exploitation retenus. Le choix du langage devrait être secondaire, un certain nombre de machines supportant actuellement divers compilateurs.

D'ores et déjà, certains développements du programme SIMULA sont à l'étude ; ils concernent la réduction des calculs préalables ou leur optimisation et l'adjonction de nouveaux modules. On peut citer principalement :

- L'utilisation d'une notation matricielle complexe pour le calcul des coefficients de réponse (amortissement et déphasage) d'une paroi composite ; la solution du problème devient alors analytique et n'est plus soumise aux contraintes de convergence liées à la méthode numérique actuellement utilisées (discrétisation en temps et en espace). Ce module de calcul peut ainsi être intégré au logiciel SIMULA et donner les réponses de façon instantanée. Utilisé indépendamment du programme, il peut constituer un outil intéressant de démonstration pour exprimer le comportement thermique d'un mur à des sollicitations variables ou permanentes (distribution à l'intérieur des murs des températures, étude de la propagation des flux) ;
- la détermination automatique des flux solaires sur les différentes parois du bâtiment ; elle tient compte des masques proches ou lointains et permet de calculer la répartition des tâches solaires lumineuses transmises par les vitrages sur les parois. Cette opération est délicate dans les problèmes de simulation thermique et nécessite des analyses préalables d'ensoleillement rigoureuses (contrôle des masques, calcul de flux solaires en fonction du temps). Cette résolution automatique des flux solaires implique cependant la définition géométrique, par faces, des différentes parois composant les pièces du bâtiment à simuler ; la modélisation géométrique nécessaire pourrait cependant être utilisée à d'autres fins (visualisation graphique d'objet

- trois dimensions avec parties cachées, autre type de simulation numérique) ;
- l'extraction des paramètres physiques permettant l'évaluation des conditions de confort dans les ambiances analysées (température d'air, température des parois) ;
 - la simulation sur des périodes différentes de la journée (2 ou 3 jours) permettant d'étudier la réponse du bâtiment lors de changements de conditions climatiques (phase transitoire) ou de modification de type de temps. On pourrait ainsi mettre en évidence les notions de stockage d'énergie et d'inertie sur le comportement thermique du bâtiment ;
 - la gestion des entrées-sorties et l'interaction avec l'utilisateur ; elles sont dépendantes des conditions d'utilisation et des objectifs fixés lors des différentes étapes de la formation. Le problème est alors celui de la mise en relation entre les données de la simulation et les résultats obtenus (poids des paramètres, rôle des différents éléments passifs).

Dans une optique d'utilisation en démonstration, le choix des exemples significatifs est prépondérant. A cet égard, un certain nombre de modules peuvent être extraits du logiciel et mis en forme isolément pour illustrer tel ou tel phénomène sur des données type. Dans les phases d'apprentissage et d'évaluation, on peut faire jouer au logiciel un certain rôle dans le processus d'analyse. Sans pour autant donner au logiciel l'intelligence de l'expert, il peut contribuer à orienter l'analyse par la mise en évidence de certains résultats globaux ou partiels (bilan du local, d'une paroi, valeur maximale de température, poids d'un élément sur les échanges, rapport entre les sollicitations en flux solaire, la récupération effective d'énergie gratuite...), la comparaison des valeurs obtenues par rapport à des valeurs seuils (température limite, par exemple)... Ces quelques éléments mis en avant par la machine seraient de nature à susciter l'intérêt et à engager la réflexion et l'analyse à partir des résultats de la simulation.

Au cours de session de formation et d'utilisation du logiciel SIMULA (journées de formation, utilisation opérationnelle), les phases d'interprétation des résultats ou d'explication des phénomènes se sont, en effet, avérées être des opérations délicates, malgré les possibilités offertes par le logiciel (accès aux résultats par poste, suivant le type de sollicitation, par élément ou au niveau de chaque local). Ces difficultés ressortissant, d'une part, de l'état

BIBLIOGRAPHIE

des connaissances en thermique de l'utilisateur, d'autre part, de leur manque d'accoutumance aux procédures de simulation. Cette constatation nous ramène alors au problème de la formation initiale des étudiants aux disciplines de la thermique et de la bio-climatique, pour laquelle divers types ou divers niveaux de logiciels pourraient être mis en place, selon les scénarios d'enseignements tels que ceux évoqués dans ce rapport.

- LEFÈVRE J. Michel - "L'enseignement de la thermique par ordinateur" - Coll. NATHAN - Paris 1983
- SERPINA Marie de - "L'enseignement de la thermique par l'ordinateur" - CNRS - Paris 1983
- LUCAS Michel - "L'enseignement de la thermique par l'ordinateur, notions élémentaires" - Université de Valenciennes et de Lille - Facultés de Sciences et d'Informations
- "Informatique et enseignement" - Revue de l'Association Nationale - Actes du colloque tenu à Paris le 20-21-22 Mars 1983 - Documentation Française
- "Dix ans d'enseignement de la physique au secondaire" - Recherches pédagogiques - CNRS
- FRAGNAUD P., GAZDAR P., GAZDAR P. - "Elaboration de logiciels d'apprentissage de la simulation numérique et procédure graphique. L'enseignement de la thermique bio-climatique" - Rapport C.R.E.N.S. - Juillet 1983
- FRAGNAUD P., GAZDAR P., GAZDAR P. - "Un logiciel de simulation thermique : SIMUL" - Rapport C.R.E.N.S. - Février 1984

REVUES

- Education et Informatique - Revue de l'Association Nationale - n° 1522
- Technologie de l'Éducation - Revue de l'Association Nationale
- EAC - Mensuel de l'Association Nationale
- Lettre "Intelligence artificielle et éducation" - CESTA - CNRS

DOCUMENTS

- Programmes 1984/1985 de la Faculté de Valenciennes
- Projets d'enseignement de la thermique par l'ordinateur à la Commission d'habilitation de la Faculté de Valenciennes

BIBLIOGRAPHIEOUVRAGES ET RAPPORTS

- Annuaire 1984 des logiciels d'enseignement - didacthèque du CESTA Paris - 1984
- POCZTAR Jerry - "Théorie et pratique de l'enseignement programmé" UNESCO - 1971
- LEFEVRE J. Michel - "Guide pratique de l'enseignement assisté par ordinateur" - Cedic NATHAN - Paris - 1984
- DZEFINA Marie et PEYROT Jacqueline - "Une informatique pour l'enseignement" - CNDP - Paris - 1982
- LUCAS Michel - "Algorithmique et représentation des données, notions élémentaires" - Université de Nantes - Institut de Mathématiques et d'Informatique
- "Informatique et enseignement" - Ministère de l'Éducation nationale - Actes du colloque National - Paris - 1983 - La Documentation Française
- "Dix ans d'informatique de l'enseignement secondaire" - Recherches pédagogiques - CNDP
- FRAGNAUD F., GROLEAU D., MARENNE C., - "Elaboration de logiciels d'apprentissage permettant, par simulation numérique et procédure graphique, l'entraînement à la conception bio-climatique" - Rapport C.E.R.M.A. - Juillet 1983
- FRAGNAUD F., GROLEAU D., MARENNE C. - "Un logiciel de simulation thermique : SIMULA" - Rapport C.E.R.M.A. - Février 1984

REVUES

- Education et Informatique - Editions Fernand NATHAN - n° 1522
- Technologie de l'éducation - Bulletins analytiques
- EAO - Mensuel de l'actualité de l'enseignement
- Lettre "Intelligence artificielle et formation" - CESTA - CNDP

DOCUMENTS

- Programmes 1984/1985 des 23 écoles d'architecture
- Projets d'enseignement post-diplôme d'Architecture soumis à la Commission d'Habilitation en mai 1984

