Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement

Première revue externe de l'unité de modélisation des plantes

Département de gestion, recherche, documentation et appui technique du CIRAD

Le CIRAD, Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement, est un organisme scientifique spécialisé en agriculture des régions tropicales et subtropicales. Sous la forme d'un établissement public, il est né en 1984 de la fusion d'instituts de recherche en sciences agronomiques, vétérinaires, forestières et agroalimentaires des régions chaudes.

Sa mission : contribuer au développement de ces régions par des recherches, des réalisations expérimentales, la formation, l'information scientifique et technique.

Il emploie 1 800 personnes, dont 900 cadres, qui interviennent dans une cinquantaine de pays. Son budget s'élève à 1 milliard de francs, dont plus de la moitié provient de fonds publics.

Le CIRAD comprend sept départements de recherche : cultures annuelles (CIRAD-CA) ; cultures pérennes (CIRAD-CP) ; productions fruitières et horticoles (CIRAD-FLHOR) ; élevage et médecine vétérinaire (CIRAD-EMVT) ; forêts (CIRAD-Forêt) ; systèmes agroalimentaires et ruraux (CIRAD-SAR) ; gestion, recherche, documentation et appui technique (CIRAD-GERDAT). Le CIRAD travaille dans ses propres centres de recherche, au sein de structures nationales de recherche agronomique des pays partenaires, ou en appui à des opérations de développement.

Première revue externe de l'unité de modélisation des plantes

Département de gestion, recherche, documentation et appui technique du CIRAD

CIRAD 1996
ISBN 2-87614-262-7

Sommaire

Rapport de la première revue externe de l'unité de modélisation des plantes département GERDAT du CIRAD
page 5

Commentaires de l'unité de modélisation des plantes sur les propositions de la commission de revue externe
page 29

Délibération du conseil scientifique du CIRAD
page 35

Présentation de l'unité de modélisation des plantes
page 41

Presentation of the plant modelling unit
page 45

English summary
page 49

Rapport de la première revue externe de l'unité de modélisation des plantes

Département GERDAT du CIRAD

Président : Alain Pavé

Membres : Francis Cailliez, Olivier Monga, Serge Soudoplatoff

CS-95-27-05

Direction scientifique

**Centre de coopération internationale
en recherche agronomique pour le développement**

Sommaire

Introduction 9

Les grands axes de recherche et de développement : analyse et premières recommandations 10

Le contexte institutionnel 13

L'originalité de l'approche, la structure scientifique et technique de l'unité 14

Structure et fonctionnement de l'unité, adéquation à ses missions 16

Politique de valorisation et de diffusion des logiciels 17

Adéquation avec les objectifs du CIRAD 18

Relations nationales et internationales 18

La stratégie de diversification 20

La valorisation et la notoriété des résultats 21

Conclusion 22

Annexes 23

Introduction

Ce rapport est destiné à exprimer une opinion externe sur l'orientation et l'activité de l'unité de modélisation des plantes du CIRAD et sur son produit Amap. Il ne vise évidement pas à l'exhaustivité et tente d'éviter le pointillisme. Il espère traduire une certaine objectivité, malgré une lecture à travers les verres nécessairement déformants modelés par nos formations et nos activités respectives. Cette objectivité est permise par la référence non seulement aux critères classiques d'évaluation de la recherche mais surtout par leur adaptation à chaque cas particulier que constitue un laboratoire de recherche et singulièrement celui-ci. On tente ainsi d'éviter le simplisme arithmétique et monofactoriel, qui caractérise trop souvent les évaluations, pour essayer d'apprécier l'originalité des approches, la pertinence des thèmes, tant du point de vue scientifique et méthodologique que des finalités, ainsi que la réelle notoriété des équipes.

Ce rapport va également tenter de transcrire, aussi brièvement que possible, les impressions, les remarques et les conclusions que laissent et suggèrent la lecture des documents fournis et les deux jours d'entretien et de visite de l'unité, mais aussi l'appréciation externe telle qu'elle émerge de la communauté scientifique à travers diverses discussions occasionnelles.

Il va sans dire qu'une évaluation n'a aucune raison d'être destructrice et se doit d'être utile et positive pour le laboratoire et l'institution qui le soutient. C'est dans cet esprit qu'il faut comprendre les quelques critiques et suggestions qui sont faites, d'autant plus que l'impression générale laissée à ce comité d'évaluation, on le verra dans la suite, est très positive et même très élogieuse.

Enfin, il faut remercier l'équipe et son directeur pour la qualité des documents fournis et pour l'excellent accueil réservé à notre groupe.

Les grands axes de recherche et de développement : analyse et premières recommandations

L'unité de modélisation des plantes et son atelier de modélisation de l'architecture des plantes (Amap) est l'un des rares laboratoires de recherche qui s'attachent à modéliser avec des modèles mathématiques et algorithmiques la forme et la morphogenèse des plantes (architecture et croissance architecturale).

Ces travaux correspondent à une tendance de la recherche en informatique, qui vise à proposer et à adapter des modèles pour rendre compte de phénomènes liés au vivant : vision par ordinateur, reconnaissance de la parole, intelligence artificielle, etc. Il est raisonnable de penser que ce type d'approche fera progresser certains secteurs des sciences du vivant ; de plus en plus de biologistes et d'écologues en sont convaincus. Par ailleurs, les possibilités d'application sont très importantes. Donc pour des raisons à la fois fondamentales et finalisées, l'enjeu scientifique est de taille.

Concrètement, l'unité de modélisation des plantes présente d'excellentes compétences dans les secteurs méthodologiques suivants : l'analyse d'images, la modélisation descriptive et fonctionnelle, la synthèse d'images.

Son domaine d'intervention est d'abord l'approche architecturale et morphogénétique des plantes au niveau individuel. C'est pourquoi dans le laboratoire sont présents de bons spécialistes de la botanique, notamment dans son approche architecturale.

Les angles d'attaque sont divers et très complémentaires :

– modèles très descriptifs, qu'on pourrait qualifier de « modèles numériques » de la plante par analogie avec les modèles numériques de terrain, fondés sur un ensemble important de mesures et d'algorithmes d'association et de combinaison des données ;

– modèles intermédiaires, fondés sur la notion de modèle architectural de l'école de Montpellier, qui se traduisent par des représentations informatiques (représentations internes des arbres et structuration de bases de données adaptée à la nature de l'information) et des modèles stochastiques (modèles binomiaux et markoviens), avec des extensions prévues en termes de grammaires hors contexte stochastique ;

– modèles fonctionnels, fondés sur les données physiologiques ;

– modèles physiques de mécanique des arbres et du bois.

Ensuite, on retiendra une série de développements réalisés sur la base de modèles architecturaux pour modéliser de petites populations d'arbres : paysages avec des applications évidentes pour l'aménagement, modélisation de processus physiques comme la rétrodiffusion lumineuse ou micrométrique (radar) permettant de simuler les signaux de télédétection... Là encore, des spécialistes ont été agrégés à l'équipe pour aborder ces problèmes.

Enfin, les développements biomédicaux valorisent les compétences, les savoirs et les savoir-faire dans un secteur apparemment éloigné des préoccupations initiales mais dont l'activité est ressentie, à juste titre, comme très importante sur le plan humain.

Au total, un ensemble qui couvre une vaste surface de compétences et qui a acquis une excellente notoriété internationale, peut-être plus que nationale, nous y reviendrons. Un ensemble édifié soigneusement de façon apparemment cohérente et très originale, ce qui se traduit par l'ensemble des logiciels Amap, lui aussi cohérent et original, apprécié par un groupe d'utilisateurs déjà important. L'unité a commencé à diversifier son activité vers d'autres problématiques que la modélisation d'architectures végétales, par exemple de type médical. Elle semble y réussir. Cependant, la diversification est une manœuvre plus subtile qu'il n'y paraît et il faut prêter attention à son accomplissement. Si la méthode utilisée pour les végétaux peut être transposée et adaptée, il faut veiller à ce que l'unité, en tant que laboratoire de recherche et de développement, borne son sujet et continue de s'intéresser à la modélisation de phénomènes biologiques ; qu'elle perpétue l'esprit qui a animé la création des logiciels actuels, à savoir le bon dosage entre la modélisation informatique et mathématique ; qu'elle sépare clairement ses activités de développement et de commercialisation de ses activités de recherche.

Sur le plan scientifique, on peut également conseiller :

– de développer encore les partenariats avec les disciplines, et donc probablement d'impliquer d'autres équipes d'autres institutions aptes à faire progresser la modélisation du fonctionnement des plantes, de poursuivre

et d'étendre en particulier les investigations sur les systèmes racinaires, partie essentielle à considérer dans la conception des moteurs de croissance ;

– de tenter de synthétiser les modèles individuels d'architecture et de croissance des plantes déjà décrites et de répondre à des questions du type : Peut-on regrouper ces modèles en classes sur la base d'analogies ou de proximités entre leurs paramètres ? Dans quelle mesure pourrait-on retrouver les 21 modèles architecturaux de Hallé ? Peut-on construire de la sorte une famille restreinte d'arbres virtuels qui soit suffisante pour aborder de façon réaliste la modélisation des peuplements hétérogènes ? Les arbres de Guyane, où la plupart des organismes français travaillent et où le département des forêts du CIRAD est bien implanté, ne pourraient-ils pas contribuer à illustrer encore, et à faible coût, la pertinence des méthodes développées par l'unité de modélisation des plantes comme complément de plus en plus incontournable aux nombreuses connaissances botaniques acquises de façon classique... ;

– d'essayer de mieux intégrer les propriétés des milieux (ou environnements) dans lesquels croissent et se développent les arbres ;

– de donner une forte priorité à la question des niveaux d'organisation et à celle des échelles spatiales et temporelles : passage des modèles d'arbres aux modèles de peuplements, voire à l'écosystème. En effet, et notamment pour le forestier, l'objet d'étude est souvent plus le peuplement que l'arbre individuel. Pour l'écologue, l'intégration systémique est un objectif sinon une nécessité.

Le contexte institutionnel

L'unité est un laboratoire du CIRAD, qui entretient également des liens privilégiés avec l'INRA (Institut national de la recherche agronomique). A ce titre, elle s'insère dans un contexte de recherches agronomiques finalisées et, pour une part importante, dirigées vers les pays en voie de développement. Le caractère d'EPIC (établissement public à caractère industriel et commercial) du CIRAD conduit l'unité à rechercher des ressources externes importantes, en particulier hors des sources classiques du budget civil de la recherche et du développement (BCRD). Enfin, l'insertion dans le complexe montpelliérain d'Agropolis est en conformité avec ces missions premières.

Par ailleurs, la modélisation est une méthode qui diffuse largement et rapidement hors des secteurs traditionnels (par exemple, la physique ou l'ingénierie industrielle) et montre de plus en plus sa pertinence dans les sciences et l'ingénierie du vivant et dans celles de l'environnement.

Le CIRAD, de par son intérêt pour le développement agricole et son orientation vers la gestion de l'environnement rural et naturel, est donc un consommateur potentiel de méthodes et de techniques de modélisation. Dans cette optique, la force de l'unité de modélisation des plantes est d'avoir depuis longtemps anticipé le mouvement actuel.

L'originalité de l'approche, la structure scientifique et technique de l'unité

Pour bien comprendre la place du travail scientifique et technique de cette unité, il est utile de se placer dans le contexte historique des approches scientifiques de la morphologie et de la morphogenèse.

Très généralement et depuis longtemps, à la fois pour décrire, classer et reconnaître, puis pour comprendre la forme et le développement des organismes vivants, leur déterminisme et leur physiologie, on s'est intéressé à la croissance de ces organismes, à leur description symbolique et à l'émergence des formes — morphologie et morphogenèse. Les approches ont été et sont toujours diverses, et notamment génétiques. La construction et l'utilisation de modèles ont fait partie très tôt de l'arsenal de ceux qui s'intéressaient à ces questions. Pour ce dernier point, celui qui nous intéresse le plus ici, on peut très schématiquement présenter les différentes approches, dans un ordre historique.

Les approches quantitatives de la morphologie et de la morphogenèse ont été développées dès la première moitié du siècle. Il s'agit des modèles de croissance (logistique, Gompertz, etc.) décrivant l'évolution quantitative d'un caractère morphologique au cours de la croissance (taille, masse pondérale, etc.). L'étude quantitative des liens entre caractères — par exemple entre les tailles de deux organes d'un même organisme, entre la masse pondérale et la taille — a permis d'énoncer les fameuses relations allométriques (travaux d'Huxley, de d'Arcy Thompson, de Teissier et, plus récemment, de Jolicœur). Aujourd'hui on dispose d'une gamme de modèles et de méthodes efficaces pour utiliser ces outils et ces concepts afin d'analyser de nombreux problèmes aussi bien dans le monde végétal qu'animal.

Les approches morphogénétiques proprement dites sont plus récentes. En effet, elles supposent qu'on sache bien décrire et représenter de façon symbolique les formes et leur évolution au cours du temps. La géométrie classique, euclidienne, dont ce fut longtemps l'objet était trop simpliste, trop réductrice. En fait, il a fallu attendre la fin des années 60 et le début les années 70 pour voir émerger les premières tentatives convaincantes. On retiendra principalement :

– le développement d'une approche morphogénétique théorique fondée sur les automates par la suite décrits en terme de grammaires génératives de Lindenmayer (L-systèmes). En effet, on connaît depuis Turing, Kleene puis Chomsky les relations entre grammaires et automates, par exemple entre les automates à piles et les grammaires hors contexte. Suivant le problème, il est plus facile d'écrire les choses en termes d'automates ou en termes de grammaires. Cette approche a comme avantages d'être descriptive et de pouvoir se soumettre à des tentatives d'interprétation biologique des processus simulés ;

– les modèles de la géométrie fractale donnent des résultats très spectaculaires mais restent très descriptifs. On pourrait attendre diverses retombées, comme c'est le cas dans la description des sols, entre propriétés fractales et propriétés fonctionnelles ;

– l'approche architecturale de Hallé et Oldeman, et plus généralement de l'école de Montpellier, n'a pas été formulée dans ses énoncés fondamentaux en termes très formels. Elle correspondait plus à une typologie des « modèles » de croissance architecturale qu'à des modèles au sens commun du terme. Néanmoins le passage à une écriture formelle est possible et c'est là l'une des qualités de cette démarche ;

– enfin, l'approche descriptive, fondée sur les données, de Philippe de Reffye et ses développements opératoires sous forme de logiciels s'est révélée très ouverte et permet en fait d'intégrer les autres tentatives. Penser en termes d'outils, de logiciels, de plates-formes de développement, d'environnement de résolution de problèmes, etc., permet d'agréger différentes tentatives et d'en proposer de nouvelles. On voit là l'efficacité de combiner des approches scientifiques et des démarches relevant des méthodes de l'ingénieur.

Sur le plan méthodologique, les compétences relèvent d'une informatique « professionnelle » d'un excellent niveau (conception et maintenance de « progiciels », synthèse et analyse d'images, bases de données dédiées, etc.), ce qui explique les qualités et les performances de la plate-forme de développement Amap.

Les méthodes d'informatique graphique mises en œuvre correspondent aux tout derniers développements dans ce domaine. La publication d'un article à la conférence américaine Siggraph en est une illustration : un article scientifique français y est accepté en moyenne tous les cinq ans.

Une réflexion méthodologique sur les éléments de l'image (ligniels vus comme un concept dual de celui de pixel) permet un point de vue nouveau — il est intéressant de constater qu'apparemment ce concept a été

énoncé par le groupe travaillant sur les applications biomédicales. De même, ce qui relève des mathématiques appliquées est de bonne qualité aussi bien pour la modélisation des aspects mécaniques et leur mise en œuvre numérique (éléments finis) que pour les aspects stochastiques (études des distributions et modèles markoviens). Pour ce dernier point, la tentative d'« automatisation » de l'élaboration du modèle est à suivre avec beaucoup d'attention. Enfin, la puissance de calcul nécessaire risque d'être de plus en plus importante ; il serait bon de songer à implanter certaines parties des logiciels sur des machines vectorielles ou parallèles.

Donc, et c'est une première conclusion, les travaux menés par l'unité de modélisation des plantes participent à un courant novateur en matière de modélisation. Ces travaux, particulièrement originaux, ont permis de concevoir le cadre logiciel d'un système fédérateur, Amap, où d'autres types d'approches peuvent être mis en œuvre, L-systèmes et modèles fonctionnels notamment. Amap peut être perçu à la fois comme un système clé en main pour des utilisateurs finaux et comme une plate-forme de développement.

Structure et fonctionnement de l'unité, adéquation à ses missions

L'unité est constituée de différents groupes — ailleurs on parlerait d'équipes —, chacun d'entre eux ayant un rôle bien identifié : développement et infographie, analyse d'image et télédétection, Corpus 2000, modélisation des végétaux, gestion et administration. On remarquera, et ce n'est pas la moindre des qualités, la diversité des disciplines représentées, de la botanique et de l'agronomie à l'informatique et aux mathématiques. La présence bien identifiée d'un groupe d'administration et de gestion est rendue nécessaire par les activités de diffusion et de commercialisation d'Amap.

Dans ce contexte assez cohérent on peut s'interroger sur les aspects biomédicaux, qui paraissent un peu exotiques (Corpus 2000). Outre l'intérêt « alimentaire » évident, on retiendra que l'équipe a acquis, là encore, une bonne réputation dans un contexte de concurrence importante, voire féroce. Ces développements, limités et qui devraient le rester dans le cadre actuel, d'une approche morphologique de l'homme ne pourraient-ils pas servir de prémices à une étude architecturale et morphogénétique du développement animal sur lequel on a encore peu de contributions originales du point de vue de la modélisation ?

Ce n'est sans doute pas à l'unité de modélisation des plantes de se lancer dans cette nouvelle aventure, mais il serait intéressant de sensibiliser des équipes de biologistes, notamment de la biologie du développement. Néanmoins, il est intéressant qu'une activité marginale de ce type puisse exister, c'est souvent aux marges que des idées nouvelles peuvent émerger. Les aspects biomédicaux ont bénéficié du savoir-faire acquis à l'occasion de la modélisation des plantes, inversement il est possible que la modéli-

sation des plantes puisse profiter des développements liés aux réalisations à finalité biomédicale.

Les interactions entre les différents groupes semblent bonnes vues de l'extérieur, probablement plus que vues de l'intérieur, malgré une dispersion géographique. Cette dispersion, si elle devait se pérenniser, serait cependant nuisible à l'activité de l'unité de modélisation des plantes.

En conclusion, la structure et le fonctionnement de l'unité se révèlent efficaces dans la réalisation des objectifs scientifiques et techniques et dans la diffusion des produits logiciels. Pour ce dernier point, il serait souhaitable d'amplifier l'aide technique à l'unité pour tout ce qui concerne les mises à jour et les opérations de diffusion (cf. ci-après). Enfin, il est intéressant que des problèmes « marginaux » puissent être abordés, par exemple dans le secteur biomédical. C'est non seulement une source de revenus mais aussi un facteur d'ouverture scientifique et méthodologique. Il faut cependant veiller à leur développement « raisonnable ».

Politique de valorisation et de diffusion des logiciels

L'unité de modélisation des plantes a connu les difficultés classiques de tout laboratoire de recherche qui souhaite diffuser ses réalisations, que ce soit pour conclure des alliances avec les sociétés de services informatiques ou pour maintenir un ensemble logiciel multi-plate-forme. Cependant, l'analyse de son chiffre d'affaires montre qu'Amap se situe plutôt du côté des réussites. En effet, il n'est pas fréquent qu'une unité de recherche réalise plus de 25 % de son chiffre d'affaires en recettes extérieures, principalement hors BCRD.

Néanmoins, l'unité risque de se trouver confrontée à des difficultés liées à une croissance probable de la demande de ses logiciels et à une pression pour la diversification. Face à ces contraintes, on notera que le nombre des « clients » équipés, localisés dans de nombreux pays, n'a pas atteint une masse critique suffisante pour justifier le passage à l'échelle industrielle. Il faut donc faire un effort de marketing pour accroître le nombre de clients. Cela doit se traduire :

– sur le plan technique, par une politique technique et commerciale de diffusion des logiciels plus agressive. Ce volet devrait comporter, entre autres, la préparation d'un « business-plan », l'utilisation poussée des outils modernes de diffusion sur Internet, la définition de politiques de licences, etc. ;

– sur le plan structurel, par une séparation plus nette des activités industrielles de celles de recherche-développement, par la création d'une entité autonome, dans laquelle le CIRAD serait le partenaire majoritaire au début ;

– enfin, par une plus grande clarté dans la définition des rôles et des devoirs respectifs des deux entités : l'entité de recherche-développement et l'entité industrielle.

Adéquation avec les objectifs du CIRAD

L'unité de modélisation des plantes répond potentiellement à des préoccupations du CIRAD. Les problèmes proviennent de questions d'agronomie tropicale bien identifiées. Les développements actuels vont évidemment, et c'est heureux, bien au-delà. L'institution peut y trouver son compte à deux niveaux :

– en recherchant et en suscitant des coopérations internes, à l'image de ce qui se passe avec le département des cultures annuelles. Les relations avec le département des forêts mériteraient d'être développées. Le rapprochement géographique en cours entre ce département et l'unité devrait être l'occasion d'un examen approfondi des collaborations souhaitables, dans les domaines de la sylviculture, de la mécanique et de la technologie des bois, par exemple ;

– en facilitant, en tant qu'EPIC, la valorisation et la diffusion des produits logiciels et intellectuels vers une grande diversité de partenaires, en particulier ceux des pays en développement.

Relations nationales et internationales

Les relations nationales et internationales sont assez diversifiées. On remarque, cependant, la faiblesse des relations avec les pays en développement. Leur renforcement ne dépend pas uniquement de l'unité de modélisation des plantes, mais aussi de la politique globale du CIRAD, voire même au-delà, et pose le problème du transfert de technologies en matière de systèmes d'information et de modélisation vers les pays en développement. L'ORSTOM (Institut français de recherche scientifique pour le développement en coopération) s'est posé ce problème et l'a résolu de façon « locale », pour ses propres besoins et ceux de ses partenaires, en installant RIO (Réseau informatique de l'ORSTOM). Les collaborations européennes mériteraient, elles aussi, d'être étendues, en utilisant des outils communautaires adaptés (actions concertées, actions de coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique...).

Sur le plan national, à l'image de la plupart des laboratoires, les relations ont été établies sur des bases conjoncturelles et d'opportunité scientifique. Il serait probablement intéressant de renforcer ces coopérations, qui peuvent représenter un enjeu stratégique. En effet, au plan national, nous disposons, d'un côté, avec Amap, d'une approche très originale, opérationnelle et évolutive et, de l'autre, d'une petite communauté de bons modélisateurs du monde végétal, en particulier forestier. Il y a là matière à réflexion sur l'organisation de notre dispositif de recherche.

L'unité de modélisation des plantes et son produit Amap ne pourraient-ils pas constituer la base d'un système fédérateur en matière de modélisation des systèmes végétaux et de différentes questions liées à ces systèmes ?

Après une mise en cohérence au niveau français, un élargissement à l'échelle européenne ne serait-il pas souhaitable ?

Du point de vue méthodologique, l'unité aurait intérêt à développer ou à renforcer ses relations avec :

– des laboratoires menant des recherches sur la modélisation informatique et mathématique de phénomènes propres aux systèmes vivants : modèles de processus physiologiques, modèles de dynamique des populations (par exemple sur la base de processus de ramification), vision par ordinateur, reconnaissance de la parole, etc. Quelques-uns des meilleurs laboratoires de recherche d'envergure internationale se trouvent à l'INRA, à l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique) et au CNRS (Centre national de la recherche scientifique) ;

– des laboratoires de mathématiques appliquées et d'algorithmique travaillant sur des formalismes utilisés dans Amap : processus stochastiques, théorie des langages, etc. Des équipes de recherche au plus haut niveau travaillent dans les universités françaises (Grenoble, Toulouse, Paris VI, Paris XI) et au CNRS.

Enfin, l'unité pourrait chercher à établir des relations avec l'enseignement supérieur et, plus généralement, avec le secteur de la formation. Amap recèle assurément matière à redynamiser certains aspects de la botanique (même si tous les botanistes n'en sont pas encore convaincus).

La stratégie de diversification

La diversification d'Amap et des activités de l'unité de modélisation des plantes se décline actuellement selon trois axes :

– l'extension, à des domaines biologiques nouveaux, de l'esprit et des méthodes qui ont animé le développement d'Amap, c'est-à-dire la combinaison d'une compréhension rigoureuse des phénomènes observés avec une utilisation d'outils mathématiques et algorithmiques de haut niveau. Dans cet esprit, Amap pourrait progressivement devenir Amab (Atelier de modélisation d'architectures biologiques). Une collaboration avec d'autres organismes, comme l'INSERM (Institut national de la santé et de la recherche médicale) et le CNRS, est à rechercher ;

– plus spécifiquement, l'extension au secteur médical clinique des techniques de synthèse tridimensionnelle d'images — méthodes et outils mis au point dans le cadre de Corpus 2000, et déjà utilisés dans les hôpitaux. Nous séparons volontairement cet aspect du point précédent du fait de son caractère actuellement très finalisé et impliquant des médecins cliniciens. Nous préconisons la poursuite de ces activités en utilisant la logique de transfert définie ci-dessus : séparation des domaines industriel et de recherche-développement, gestion efficace du transfert ;

– le développement de techniques originales de synthèse et de traitement d'images de télédétection. L'unité doit renforcer cette approche originale, notamment en s'impliquant davantage dans l'effort collectif de valorisation de la télédétection — par exemple, dans le programme national de télédétection spatiale. Par ce biais, l'unité de modélisation des plantes s'affirme encore plus dans le secteur de la gestion de l'environnement.

L'une des questions essentielles est de savoir si cette diversification doit se poursuivre au sein de l'unité de modélisation des plantes ou au contraire se développer dans d'autres lieux et d'autres contextes. Cette question pourrait être résolue par la création d'un réseau autour de l'unité de modélisation des plantes.

La valorisation et la notoriété des résultats

L'unité de modélisation des plantes et son produit Amap ont acquis une excellente notoriété nationale et internationale. Il est intéressant de souligner que cette notoriété n'est pas fondée sur une pléthore de publications dans des revues — critère trop souvent prédominant, voire unique, dans l'évaluation académique des laboratoires et des individus. Elle s'est établie grâce à une politique ciblée de publication et à l'affirmation d'une réelle compétence, d'une grande originalité et d'une excellente efficacité. L'unité est, avec Amap, en avance de quelques années sur la plupart des autres laboratoires dans le monde qui s'intéressent à la modélisation « automatique » de la morphologie et de la morphogenèse des plantes et, plus généralement, des êtres vivants. Il y a là une excellente opportunité pour l'unité et le CIRAD, mais aussi pour la communauté scientifique française.

Pour ce qui est de la valorisation, la courbe de progression des ventes est un bon, sinon le meilleur, indicateur de la qualité et de l'impact des produits développés par l'unité de modélisation des plantes. Ainsi la vente des divers modules d'Amap passe-t-elle de 1 million de francs en 1991 à 1,2 million de francs en 1992, pour atteindre 1,5 million de francs en 1993 et 1,8 million de francs en 1994, ce qui représente 20 % de croissance par an.

A présent, il est temps pour l'unité de modélisation des plantes de passer à une vitesse supérieure. Le laboratoire doit adapter sa structure et essaimer pour faire face à la demande croissante de ses techniques. Pour ce qui est des aspects industriels, cet essaimage pourrait prendre comme modèles les sociétés, ou filiales, informatiques issues de l'INRIA, et se concrétiser par la création d'une entité juridique autonome, à laquelle participerait le CIRAD, et par un transfert des savoir-faire qui s'appuierait sur des éléments de l'unité de modélisation des plantes.

Conclusion

On peut retenir l'intelligence qui a présidé au développement de l'unité tant sur le plan scientifique que technique et l'excellente ambiance qui règne dans le laboratoire. Sur ces deux points, la personnalité et la compétence du directeur ont sans doute joué un grand rôle.

La politique scientifique menée a permis de couvrir un large éventail de problèmes sans tomber, pour aucun d'entre eux, dans le superficiel ou le spectaculaire médiocre. Même dans le domaine biomédical, pour lequel la concurrence est sévère, le travail est sérieux et en grande partie original et opérationnel.

La communauté scientifique française devrait acquérir et utiliser davantage la démarche de modélisation développée par l'unité. Mais cette dernière devrait aussi diversifier et étendre son réseau de collaboration à la fois sur le plan méthodologique — avec l'INRIA ou certains laboratoires du CNRS, par exemple — et sur celui des finalités biologiques — à l'intérieur du CIRAD et avec l'INRA et le secteur universitaire, notamment.

Dans l'ensemble, une appréciation très positive, et même très enthousiaste, du comité d'évaluation : l'unité de modélisation des plantes joue et devrait continuer à jouer un rôle de premier plan. On ne peut que conseiller au CIRAD de faire le maximum pour faciliter le travail et les relations de cette unité avec ses partenaires, notamment en matière de postes. En effet, l'unité de modélisation des plantes pourrait être le point focal d'un réseau d'organismes de modélisation, travaillant non seulement sur les architectures biologiques, mais aussi sur des aspects physiologiques et écologiques intégrant formes et morphogenèses. L'ouverture vers l'INRA semble être un succès, et on ne peut que soutenir toute initiative allant vers d'autres institutions et, inversement, inciter d'autres organismes à s'intéresser aux travaux de l'unité de modélisation des plantes.

Annexes

Annexe 1

Composition de la commission

Président

Alain Pavé
Directeur du programme environnement, vie et société,
Centre national de la recherche scientifique (CNRS)

Membres

Francis Cailliez
Directeur adjoint du département des recherches forestières,
Institut national de la recherche agronomique (INRA)

Olivier Monga
Chargé de recherche,
Institut national de recherche en informatique et en automatique (INRIA)

Serge Soudoplatoff
Secrétaire général,
Cercle pour les projets innovants en informatique (CP2I)

Annexe 2

Termes de référence de la première revue externe de l'unité de modélisation des plantes

Objectifs

Le conseil scientifique du CIRAD a chargé la direction scientifique d'organiser la première revue externe de l'unité de recherche de modélisation des plantes.

Cette revue a pour objectifs : l'analyse, par rapport aux missions assignées à l'unité, de la pertinence des actions menées, de l'efficacité dans la conduite de ces actions, de la qualité des résultats obtenus et de leur impact sur le développement, soit direct soit indirect au travers des activités du CIRAD utilisatrices des produits de l'unité ; la formulation de propositions en vue de la meilleure adéquation possible de la stratégie, des activités et de l'organisation interne de l'unité aux objectifs et priorités du CIRAD tels qu'ils sont définis dans son projet d'entreprise.

Ces propositions devront être établies en tenant compte des autres départements du CIRAD, des partenaires scientifiques et du contexte des activités de services en général (contraintes et perspectives).

Principaux points à analyser

Pour chacun des points suivants, il est demandé à la commission de porter des appréciations à partir de l'expérience propre de ses membres, des informations recueillies au cours des entretiens et des documents fournis par l'unité de modélisation des plantes et par le CIRAD.

La modélisation des plantes

❑ Etat des connaissances scientifiques et des perspectives de développement de la modélisation en complément (ou en remplacement) de méthodes d'expérimentation plus classiques utilisées en agronomie. Analyse de l'utilité de cette méthodologie et de ses possibilités d'application.

❑ Etat des connaissances sur l'utilisation de l'informatique graphique en recherche agronomique et sur les perspectives de développement de cet outil au sein de la communauté scientifique et plus particulièrement du CIRAD.

❑ Estimation des besoins en recherche dans les deux domaines précités. Définition d'axes prioritaires de recherche et de développement informatique, compte tenu de la place de l'unité de modélisation des plantes au sein du CIRAD et de ses avantages comparatifs.

La stratégie de l'unité de modélisation des plantes

❑ Appréciation de la pertinence et de la cohérence des actions engagées par l'unité vis-à-vis des objectifs et priorités du CIRAD, des relations entre l'unité et les départements du CIRAD et, à travers eux, de la contribution de la modélisation en architecture des plantes à la recherche finalisée pour le développement.

❑ Analyse des relations entre l'unité et l'environnement scientifique extérieur du CIRAD au plan national et international permettant de bâtir une stratégie de partenariat scientifique élargie.

❑ Contribution de l'unité à la formation et aux relations avec l'enseignement supérieur.

❑ Analyse de la politique de valorisation de l'unité et de diffusion des logiciels d'application développés. Quelle politique d'alliance avec les sociétés informatiques privées pour mieux remplir cet objectif ?

❑ Analyse de l'intérêt et de la pertinence d'une stratégie de diversification par l'utilisation de la modélisation et de l'infographie sur l'architecture des plantes dans d'autres domaines d'application. Quels partenariats mettre en œuvre ?

Les activités de recherche, de valorisation et de formation

❑ Estimation de la valeur et de la notoriété des résultats scientifiques et de leur applicabilité dans les différentes disciplines pratiquées à l'unité : agronomie, foresterie, horticulture, mathématiques appliquées, informatique graphique.

❑ Evaluation de la qualité des logiciels Amap et de leur diffusion dans les secteurs scientifiques de la recherche et de l'enseignement et dans les milieux professionnels concernés.

❑ Evaluation des activités de formation (accueil de stagiaires ou de doctorants) ; conférences et cours dispensés.

L'organisation

❑ Stratégie d'alliance avec l'INRA et constitution d'une unité mixte.

❑ Appréciation de la gestion des compétences scientifiques et des ressources humaines au sein de l'unité. Création d'équipes originales par leur

pluridisciplinarité. Politique de recrutement et gisement de chercheurs (Institut de botanique de Montpellier, université de Strasbourg...).

❑ Evaluation des choix en matière de politique de valorisation ; répartition des effectifs entre recherche et valorisation.

❑ Analyse de l'équilibre financier de l'unité; importance des ressources propres et perspectives d'évolution.

L'avenir

❑ Evolution du partenariat avec les départements du CIRAD et modalités de coopération à mettre en œuvre.

❑ Avis et recommandations sur les alliances nationales et internationales souhaitables.

Rapport

La commission aura toute liberté de prendre les contacts qu'elle jugera utiles, tant à l'intérieur du CIRAD qu'à l'extérieur. Elle devra notamment s'attacher à rencontrer les principaux partenaires et clients de l'unité, qui peuvent être des utilisateurs des outils développés par elle, ainsi que ses agents.

Le rapport qu'elle élaborera selon les objectifs précités sera présenté sous la responsabilité du président de la commission devant les instances compétentes du CIRAD, accompagné de la réponse de l'unité et des recommandations du conseil scientifique.

Echéances

Le rapport sera présenté à la Commission de programmation et de coordination scientifique (CPCS) le 23 ou le 24 novembre 1995 et au conseil scientifique du CIRAD le 12 ou le 13 décembre 1995.

Annexe 3

Liste des documents fournis

Informations sur le CIRAD

- *Le CIRAD en 1994*
- *Images de la recherche*
- *Le projet d'entreprise du CIRAD*
- *Les journées du projet d'entreprise*
- Rapport d'une revue externe d'unité de recherche : Biotrop

Documents de l'unité de modélisation des plantes

- Document préparatoire à la revue externe de l'unité (août 1995)

Commentaires de l'unité de modélisation des plantes sur les propositions de la commission de revue externe

Les revues externes sont des occasions privilégiées pour les laboratoires de recherche de faire le point sur leurs activités scientifiques et leurs orientations. Un regard extérieur apporte un éclairage nouveau sur le fonctionnement d'une unité et permet de prendre en compte des aspects insoupçonnés ou de relativiser la valeur de résultats tenus pour acquis. C'est dans cet état d'esprit que l'unité de modélisation des plantes attendait son évaluation externe.

Les deux journées de visite des membres de la commission de revue externe au sein de l'unité leur ont permis de prendre en considération l'ensemble des activités qui y sont menées et leur rapport respecte bien l'équilibre existant. L'accent a été davantage mis sur les modèles mathématiques et informatiques que sur les connaissances utilisées dans le domaine de la biologie végétale : botanique, physiologie et agronomie. Ces dernières sont partagées avec les collègues des autres institutions scientifiques impliquées dans le même domaine de recherche et constituent un fonds commun. C'était donc l'occasion de faire le point sur la méthodologie développée par l'unité de modélisation des plantes.

Les enjeux de la modélisation

Le rapport de revue externe souligne, en introduction, l'enjeu de la modélisation dans le domaine de la biologie. Un enjeu « de taille », selon lui, à la fois d'un point de vue fondamental et d'un point de vue finalisé. Ceci conforte notre propre sentiment que les nouvelles méthodes de l'agronomie commencent à rejoindre celles de la physique à base de modélisation et de simulation. Les modèles de rendements à base physiologique, comme Tomgro ou Gossym, se développent de plus en plus et ne cessent de se perfectionner. Mais ces modèles trouvent leurs limites, selon leurs concepteurs, parce qu'« ils ne prennent pas assez en compte la morphologie ». En clair, ils donnent la quantité mais pas la qualité de la récolte.

Les nouveaux modèles à base de morphologie sont plus complexes et mieux structurés que leurs aînés d'un point de vue informatique. C'est pourquoi il est plus naturel d'introduire des règles de fonctionnement physiologiques dans leur architecture, que d'intégrer de la morphologie fine dans des modèles physiologiques à base de compartiments.

Il est maintenant possible de calculer des interceptions de lumière par des maquettes informatiques ou de calculer des débits de sève dans des architectures végétales. L'architecture devient le support du fonctionnement.

Il est prévisible que ce type de modèle ne cessera de se répandre et de s'améliorer. Américains, Allemands, Australiens et Japonais sont engagés dans cette voie.

L'enjeu est en effet de taille car la modélisation et la simulation de la croissance des plantes couvrent l'ensemble de l'utilisation du végétal par l'homme, de l'optimisation des rendements en agronomie jusqu'à l'aménagement du territoire.

La pluridisciplinarité

Pour que l'unité de modélisation des plantes devienne opérationnelle, il a fallu intégrer progressivement des chercheurs provenant des différentes disciplines scientifiques nécessaires à la modélisation des plantes : agronomes, botanistes, physiologistes, informaticiens. La croissance de l'unité s'est effectuée bien évidemment grâce à l'appui du directeur du département. Son évolution a été dépendante des demandes émanant des nouveaux partenaires ; ses axes de recherche et ses coopérations se sont donc développés d'une façon ciblée et se sont consolidés au fur et à mesure. Il existait de plus une taille critique minimale à atteindre, au-dessous de laquelle la pluridisciplinarité ne pouvait s'exercer. L'autonomie de gestion de l'unité de modélisation des plantes a permis de mettre en place une politique de valorisation et de commercialisation des logiciels et d'engendrer les ressources propres nécessaires à son développement. C'est donc grâce au soutien constant de la direction du CIRAD et à une suite de décisions opportunes que l'effectif du laboratoire de modélisation est passé de une à trente personnes en moins de dix ans.

Le rapport de revue externe souligne « la bonne qualité » de la représentation des diverses disciplines dans l'unité. Ceci constitue une reconnaissance des travaux, à laquelle les chercheurs sont sensibles, et un bon encouragement pour la suite.

La valorisation

Le rapport met également en évidence un aspect spécifique de l'unité de modélisation des plantes : la réalisation de logiciels d'application dont la vocation est d'être diffusés. Il apparaît clairement que le domaine fondamental exploré ne peut avoir d'application qu'avec la réalisation de logiciels de traitement des données sur mesure, qui mettent en œuvre les modèles théoriques développés dans Amap.

Le monde de la recherche biologique n'a pas, pour l'instant, une politique de réalisation et de diffusion de logiciels. Les programmes informatiques développés dans le cadre de thèses en modélisation ont une durée de vie égale à celles-ci, alors qu'en recherche informatique, les algorithmes issus des publications sont largement utilisés et intégrés dans les logiciels industriels. Il nous est apparu que le professionnalisme du développement de l'informatique devait être notre souci constant afin de pérenniser les résultats de nos recherches. Le rapport souligne que cela constitue à la fois le

point fort et le point faible de l'unité. Le point fort est qu'il existe une plate-forme — un logiciel fédérateur —, modulaire et ouverte à d'autres approches, qui propose une standardisation de la méthode architecturale. Cela permet, d'une part, de définir des interfaces avec d'autres logiciels en les intégrant professionnellement (on peut ainsi sauver des thèses !) et, d'autre part, de remplacer des modules spécifiques par des modules équivalents, comparant ainsi l'efficacité de différentes méthodes. Le moteur de croissance peut, par exemple, être à base d'automates ou de grammaires. Le point faible est que les métiers de développement et de diffusion des logiciels sont insuffisamment séparés, ce qui nuit à l'efficacité du système. A l'USDA (United States Department of Agriculture), la modélisation et l'industrialisation des logiciels sont deux choses bien distinctes.

Dans les conclusions d'une de ses séances, le groupe de travail informatique du CIRAD notait que le service central informatique pouvait servir de relais aux unités sur des points bien ciblés de l'industrialisation des logiciels. L'unité, comme il est dit dans le rapport, pourrait, de son côté, aider d'autres utilisateurs avec lesquels elle coopère, et chez lesquels la structuration du développement informatique fait défaut.

Les partenariats

Sur les relations avec les autres institutions, le rapport souhaite un élargissement des coopérations scientifiques. Sur ce point, il faut souligner la difficulté inhérente à la diffusion de l'innovation. L'arrivée de la modélisation de l'architecture des plantes ne correspond pas à une démarche spécifique de l'agronomie, qui utilise et perfectionne ses propres méthodes. Il s'agit d'un élément nouveau apparu en divers endroits plus ou moins spontanément, grâce en particulier au perfectionnement des ordinateurs, et dont on peut se demander, à juste titre, à quoi il sert. C'est précisément parce que le développement d'Amap correspond à une recherche finalisée qu'il est intégrable dans les méthodes agronomiques. Encore faut-il arriver à en convaincre les partenaires.

Les relations avec les départements du CIRAD s'établissent maintenant officiellement — avec le département des cultures annuelles et, bientôt peut-être, avec celui des cultures pérennes. Il apparaît que les départements ont un important rôle de relais à jouer et qu'il y a là, pour eux-mêmes, une matière à valorisation non négligeable, tant sur le plan scientifique qu'industriel par la diffusion de logiciels. Sur ce point, l'unité n'a jamais manqué de faire des propositions aux départements.

Sur le plan des relations avec les autres institutions de recherche, il est nécessaire de trouver un juste équilibre entre la dispersion et l'accroissement en efficacité dans les applications. Dans cette perspective, l'accord conclu avec l'INRA apparaît comme un modèle qu'il serait souhaitable de reproduire.

Parmi les divers axes de recherche suivis par l'unité, le rapport de revue externe relève le caractère atypique du projet Corpus 2000. Ce projet, là encore, correspond à une demande externe, formulée par la faculté de

médecine de Montpellier — son doyen, le professeur Solasol, s'est d'ailleurs entretenu à ce sujet avec le directeur du département. Ce projet nous a semblé intéressant à plus d'un titre. D'une part, il nous fait coopérer avec la Région, ce qui est une des recommandations de la direction du CIRAD, d'autre part, il engendre potentiellement de nombreuses applications utiles et offre des possibilités de valorisation importantes, y compris dans le domaine végétal. Enfin, c'est notre projet informatique le plus pointu. Il nous relie aux laboratoires informatiques de pointe : INRIA, CNRS, université de Grenoble, Laboratoire d'informatique, de rhéologie et de microélectronique de Montpellier... Grâce à ces contacts, l'unité accueille des étudiants qualifiés et bénéficie d'une information scientifique et technique à jour. L'unité ne regrette pas son investissement et commence à en recueillir les premiers fruits — trois hôpitaux sont déjà équipés de logiciels développés par l'unité. Le rapport a bien évidemment recommandé de contingenter cette activité.

La diffusion des logiciels

Sur l'aspect purement industriel d'Amap dans le monde de l'image de synthèse, le rapport relève une demi-réussite. Huit cents utilisateurs c'est bien, mais insuffisant. Il s'agit donc de passer à la vitesse supérieure. On peut augmenter largement les ressources propres de l'unité, mais, plus généralement, sa capacité à développer et à diffuser ses logiciels dans les divers domaines scientifiques où elle est impliquée. Cette pression mise sur l'unité par la commission de revue externe est à la mesure de l'enjeu. Il nous faut remettre en cause notre façon de fonctionner pour aller plus loin. Il nous faut non seulement établir de nouvelles alliances, mais encore mieux définir les modes d'action des responsables de l'unité, et, à terme, prévoir des mobilités ou des renouvellements, voire des recrutements, indispensables pour mener à bien la stratégie préconisée.

Conclusion

Dans l'ensemble, un rapport de revue externe qui met une pression sur les chercheurs de l'unité, en soulignant l'enjeu de la modélisation en biologie et les difficultés qui les attendent, mais qui les encourage également, en reconnaissant leurs compétences et la qualité de leurs résultats scientifiques.

C'est donc un rapport roboratif pour l'unité de modélisation des plantes, qui espère être dans l'avenir à la hauteur de la stratégie qui lui est conseillée.

Délibération du conseil scientifique du CIRAD

12 et 13 décembre 1995

Conseil scientifique
Président : André Berkaloff
Membres : Lawrence Busch, Alain Coleno, Antoine Cornet, Louise Fresco, Philippe Lacombe, John Perfect, Michel Sedogo, François Bertin, René Billaz, Vincent Dollé, Stéphane Guilbert, Bernard Mallet, Hervé Saint Macary, Marcel Tissot

Alain Pavé, président de la commission, après avoir remercié l'équipe et le responsable de l'unité de modélisation des plantes pour la qualité des documents fournis et pour l'accueil réservé à la commission, présente les principales conclusions de la première revue externe de l'unité.

Les travaux menés par l'unité de modélisation des plantes participent à un courant novateur en matière de modélisation. Ces travaux, particulièrement originaux, ont permis de concevoir le cadre logiciel d'un système fédérateur, Amap (Atelier de modélisation de l'architecture des plantes), où d'autres types d'approche peuvent être mis en œuvre, L-systèmes et modèles fonctionnels notamment. Amap peut être perçu à la fois comme un système clé en main pour des utilisateurs finaux et comme une plateforme de développement de nouveaux produits.

La structure et le fonctionnement de l'unité se révèlent efficaces dans la réalisation des objectifs scientifiques et techniques et dans la diffusion des produits logiciels. Pour ce dernier point, il serait souhaitable d'amplifier l'aide technique à l'unité pour tout ce qui concerne les mises à jour et les opérations de diffusion. Enfin, il est intéressant que des problèmes « marginaux » puissent être abordés, par exemple dans le secteur biomédical. C'est non seulement une source de revenus mais aussi un facteur d'ouverture scientifique et méthodologique. Il faut cependant veiller à leur développement « raisonnable ».

L'unité de modélisation des plantes et son produit Amap ne pourraient-ils pas constituer la base d'un système fédérateur en matière de modélisation des systèmes végétaux et de différentes questions liées à ces systèmes ? Après une mise en cohérence au niveau français, un élargissement à l'échelle européenne ne serait-il pas souhaitable ?

En conclusion générale, on peut retenir l'intelligence qui a présidé au développement de l'unité tant sur le plan scientifique que technique. La politique scientifique menée a permis de couvrir un large éventail de problèmes sans tomber, pour aucun d'entre eux, dans le superficiel ou le spectaculaire médiocre. Même dans le domaine biomédical, pour lequel la concurrence est sévère, le travail est sérieux et en grande partie original et opérationnel.

La communauté scientifique française devrait acquérir et utiliser davantage la démarche de modélisation développée par l'unité. Mais cette dernière devrait aussi diversifier et étendre son réseau de collaboration à la fois sur le plan méthodologique — avec l'INRIA (Institut national de recherche en informatique et en automatique) ou certains laboratoires du

CNRS (Centre national de la recherche scientifique), par exemple — et sur celui des finalités biologiques — à l'intérieur du CIRAD et avec l'INRA (Institut national de la recherche agronomique) et le secteur universitaire, notamment.

Dans l'ensemble, une appréciation très positive, et même très enthousiaste, du comité d'évaluation : l'unité de modélisation des plantes joue et devrait continuer à jouer un rôle de premier plan. On ne peut que conseiller au CIRAD de faire le maximum pour faciliter le travail et les relations de cette unité avec ses partenaires, notamment en matière de postes. En effet, l'unité de modélisation des plantes pourrait être le point focal d'un réseau d'organismes de modélisation, travaillant non seulement sur les architectures biologiques, mais aussi sur des aspects physiologiques et écologiques intégrant formes et morphogenèses. L'ouverture vers l'INRA semble être un succès, et on ne peut que soutenir toute initiative allant vers d'autres institutions et, inversement, inciter d'autres organismes à s'intéresser aux travaux de l'unité de modélisation des plantes.

Le conseil scientifique s'associe aux félicitations des membres de la revue externe de l'unité de modélisation des plantes pour la très grande qualité de ses travaux. Il se félicite de la notoriété que cette unité de recherche apporte au CIRAD dans un domaine extrêmement compétitif sur le plan mondial.

L'appropriation des ses travaux par les autres départements du CIRAD est maintenant un enjeu stratégique pour l'avenir, et relève largement de la propre responsabilité de ceux-ci. Des associations fondées sur l'identification de personnes capables de jouer le rôle d'interface scientifique sur des projets intéressant chacun d'entre eux semblent être la voie à explorer. Elles concernent en priorité les départements des cultures annuelles, des cultures pérennes et des forêts. La diffusion ultérieure de la démarche vers les pays en développement en dépend.

Le conseil scientifique recommande vivement aux départements de s'engager activement dans cette voie. La direction scientifique devra s'employer à les y inciter, en s'appuyant sur les missions scientifiques pour valoriser l'outil et la démarche.

Parmi les développements possibles, le conseil propose de poursuivre les travaux sur la modélisation de la morphologie et du fonctionnement du système racinaire des plantes — travaux complémentaires de ceux déjà réalisés sur l'architecture aérienne — afin d'aboutir à un modèle descriptif du fonctionnement de la plante entière. Cette approche a, en effet, une importance considérable dans les études du comportement des plantes en peuplement et contribue au renouvellement des démarches développées par la recherche agronomique.

Le conseil scientifique recommande d'explorer la possibilité, suggérée par la commission de revue externe, de développer une école française de modélisation de l'architecture et du fonctionnement des plantes en peuplement autour de la plate-forme Amap, en regroupant les organismes de recherche intéressés. L'élargissement éventuel aux thématiques relevant de

la biologie pourrait être envisagé dans le cadre d'un groupement d'intérêt scientifique (GIS), qui permettrait d'associer en réseau les institutions intéressées.

Etant donné l'excellence de ses travaux et la multiplicité des sollicitations dont elle fait l'objet, l'unité doit préparer un schéma de programmation qui permette d'arbitrer entre les différentes priorités en tenant compte des ressources humaines disponibles. C'est dans ce cadre que la question de la diversification dans le secteur biomédical devra être abordée pour savoir si l'unité dispose des moyens de poursuivre une activité scientifique significative dans ce domaine.

Présentation de l'unité de modélisation des plantes

L'unité de modélisation des plantes a été créée en 1986 au sein du département GERDAT, sur la base de travaux menés en Côte d'Ivoire sur la modélisation de l'architecture des plantes et plus particulièrement du caféier. Son objectif est d'approfondir les connaissances sur l'architecture des plantes, avec le souci de les rendre applicables à l'agronomie et de les valoriser dans d'autres domaines, comme celui de l'image de synthèse. Sa démarche pluridisciplinaire repose sur une équipe de botanistes, d'agronomes, d'informaticiens et de mathématiciens. En 1995, l'unité comptait vingt-huit personnes. Elle accueille, en permanence, cinq à six stagiaires.

Les partenariats

L'unité a été, dès le départ, étroitement associée à l'Institut de botanique de Montpellier, à l'université Louis Pasteur de Strasbourg et au laboratoire de recherches informatiques de l'université Paris XI. En 1990, elle a engagé une collaboration avec l'INRA et est devenue en 1995 un de ses laboratoires associés. En 1992, elle a diversifié ses domaines d'activité en démarrant, à la demande le la faculté de médecine de Montpellier, des travaux sur l'imagerie médicale. L'unité a également mis en place des collaborations avec les départements du CIRAD, mais aussi avec des partenaires français et étrangers dans le cadre de conventions de recherches en commun sur des thèmes essentiellement agronomiques.

La recherche

Les recherches sur l'architecture et la morphologie des végétaux sont à la base de toutes les activités de l'unité. Elles visent à identifier la nature des processus endogènes de développement et à comprendre l'influence des facteurs externes sur l'architecture des plantes. Elles ont abouti à définir un cadre méthodologique et conceptuel permettant de décrire, de modéliser et de simuler la structure et les caractéristiques de toutes les entités d'un végétal ainsi que la manière dont elles s'agencent entre elles selon des processus endogènes ou sous l'influence des facteurs exogènes, naturels ou culturaux.

La valorisation

Parallèlement à ces activités de recherche, l'unité de modélisation a décidé, à la fin des années 80, de valoriser les connaissances acquises en créant des logiciels d'images de synthèse et en les commercialisant sous le nom d'Amap.

Une véritable gamme d'outils logiciels mis au point en partenariat avec les utilisateurs professionnels est commercialisée depuis 1991 et continue d'évoluer pour répondre au mieux aux besoins d'un marché très mouvant.

La formation

L'unité de modélisation des plantes mène également une activité de formation dans tous les domaines où elle a développé des compétences. Outre l'accueil de stagiaires et l'encadrement de thèses, elle participe aux enseignements dispensés par différentes universités et écoles en France, tant dans le domaine de la modélisation que dans celui de l'infographie ou de l'utilisation de l'informatique dans les métiers du paysage. Elle intervient également dans de nombreux pays, où ses logiciels ont été installés à des fins pédagogiques.

Presentation of the Plant Modelling Unit

The Plant Modelling Unit was set up within GERDAT department in 1986, on the basis of plant architecture modelling carried out in Côte d'Ivoire, focusing particularly on coffee. The Unit's overall objective is to achieve an in-depth understanding of plant architecture, with agronomic applications and development in other areas such as computer imaging. The Unit's multidisciplinary approach involves a team of botanists, agronomists, computer scientists and mathematicians. In 1995, there were 25 people on staff. In addition, there are always 5-6 trainees working in the Unit.

Partners

Since the outset, the Unit has had close links with the Institut de botanique (Montpellier), Université Louis Pasteur (Strasbourg) and the computer research laboratory of Université Paris XI. In 1990, it began collaborating with INRA (Institut national de la recherche agronomique), which developed into a partnership in 1995. The Unit began diversifying its activities through a medical imagery project that began in 1992 at the request of the Medical School (Montpellier). It also began collaborating with other CIRAD departments, and French and foreign partners within the framework of joint research agreements, mainly on agricultural topics.

Research

All of the Unit's activities are based on the analysis of plant morphology and architecture. This research aims at determining the nature of endogeneous development processes and the impact of external factors on plant architecture. A methodological and conceptual framework has thus been defined to describe, model and simulate the structure and characteristics of all plant entities, and to determine the way they interact when different endogeneous processes are involved, or when they are under the influence of exogeneous, natural or cultural factors.

Development

In addition to these research activities, the Modelling Unit decided to enhance its information resources during the 1980s through the development of computer imaging software, marketed as Amap packages.

A wide range of software tools developed jointly with professional users have been marketed since 1991. These are continually improved to address the needs of a rapidly changing market.

Training

The Plant Modelling Unit also offers specialized training. The Unit, in addition to receiving trainees and supervising theses, is involved in teaching, in the fields of modelling, computer graphics and computer applications in landscaping, at various French universities and schools. It is also active in a number of countries where its programs are used for teaching purposes.

English Summary

Conclusions of the External Review Commission's Report

The Plant Modelling Unit conducts innovative modelling research which has led to development of Amap (Atelier de modélisation de l'architecture des plantes—plant architecture modelling workshop), a unifying software system, within which other approaches can be incorporated. Amap is both a turnkey system for end users and a software platform for the development of new products.

The Unit was found to be structurally and functionally efficient in fulfilling its technical and research objectives and in distributing software packages. On this latter point, the Unit should be provided with additional technical assistance for program upgrades and distribution operations. In addition, it is interesting that the unit is able to deal with "marginal" problems, e.g. in the biomedical sector. This represents a source of income, while broadening the scientific and methodological scope. However, development in these areas should be "reasonable".

The scientific and technical development of the Unit has been overseen with intelligence. Based on its research policies, the Unit has been able to cover a wide range of problems, never superficially or with spectacular second-rate panache. The work is generally original and operational, even in highly competitive biomedical areas.

The modelling system developed by the Unit should be distributed and more extensively used within the French scientific community. However, the Unit is advised to diversify its methodology and biological objectives and extend its collaborative work.

The External Review Commission's conclusions were very positive overall: the Plant Modelling Unit has, and should continue to have, a major role. It is recommended that CIRAD do everything possible to promote the Unit's work and facilitate relationships with its partners, especially with respect to staff positions. Indeed, the Plant Modelling Unit could become the hub for a network of modelling organizations, focusing research on biological architecture, as well as on physiological and ecological aspects of structure and morphogenesis. The joint project with INRA seems successful, and further collaborations with other institutions are supported, and other organizations should be encouraged to take an interest in the Plant Modelling Unit's work.

Plant Modelling Unit's Comments on the External Review Commission's Report

The External Review Commission took all of the Plant Modelling Unit's activities into consideration, but placed more emphasis on mathematical and computer models than on the Unit's proficiency in dealing with different aspects of plant biology. This provided an opportunity to review the methodology developed by the Unit.

The introduction of the External Review Report highlights basic and specific modelling challenges with respect to the modelling of biological questions. This confirms our own feeling, based on modelling and simulation, that new agronomic techniques are starting to resemble physics techniques.

The External Review Report stresses the "high quality" representation of all disciplines within the Unit. This is an acknowledgement of the Unit's work, a reflection of the researchers' efforts, thus a good encouragement for the follow-up.

The report also highlights one specific aspect of the Plant Modelling Unit: the development of application software. We believe that professionalism is essential in the development of Amap software in order to take full advantage of our research results. The report points out that this constitutes the Unit's main asset and liability due to the fact that the software development and distribution jobs are not sufficiently separated. CIRAD's computer task force noted that the central computer service could serve as a relay for all units at the Centre in dealing with software manufacturing. The Unit could help other users with which it collaborates.

The report recommends increasing collaborations with other scientific institutions. Difficulties inherent to the distribution of software innovations should be noted. Official links with other CIRAD departments are now established, which is important for interchanges. With other research institutions, it is essential to find the right balance between the range of activities covered and the level of efficiency. A model agreement has thus been signed with INRA and further agreements of this type should be drafted. The Review Report highlights, out of all of the Unit's research programmes, the atypical nature of the Corpus 2000 project. We consider that this project is of interest for a number of reasons. First, it enables us to collaborate with regional government bodies; secondly, there will be many useful applications; and finally, this is our most advanced software project, and it links us with leading-edge computer laboratories. The Unit does not regret this investment and Corpus 2000 is now yielding its first profits.

The report revealed that from an industrial standpoint Amap is relatively successful in the field of computer-generated imaging. The pressure that the External Review Commission has placed on the Unit is in line with the challenge. We have to question our way of functioning in order to pro-

gress. New partnerships have to be made, but it is also critical to fully define the responsibilities of the Unit's head staff. Finally, staff functions, renewals and recruitments are necessary to be able to successfully carry out the recommended strategy.

Final Recommendations of CIRAD's Scientific Advisory Committee

The Scientific Advisory Committee is proud of the recognition that this research unit has brought CIRAD in a field that is highly competitive worldwide.

Appropriation of the Unit's research by other CIRAD departments is now a strategic goal for the future, and it is generally up to the departments to meet this challenge. The most interesting strategy could be to establish links through agents to potentially serve as a scientific interface between interesting projects. Such associations concern, in order of priority, CIRAD's Annual Crops, Tree Crops and Forestry departments, and future distribution to other developing countries will be dependent on the success of this operation.

The Scientific Advisory Committee highly recommends active involvement of the departments in this operation. This should be encouraged by the Research Administration, promoting the tool and system through research missions.

From among all of the development possibilities, the Committee proposes continuing the work under way on the morphology and function of plant root systems—complementing work already conducted on aerial plant architecture—so as to develop a descriptive model of whole-plant function. Indeed, this approach is crucial for studies on the behaviour of plants in stands, and enhances the approach developed through agricultural research.

The Scientific Advisory Committee recommends investigating, as suggested by the External Review Commission, the possibility of developing a French school on modelling plant architecture and function in stands on the basis of the Amap software platform, and involving all interested research organizations. This could be extended to cover other biological topics within the framework of a scientific interest group (SIG), thus linking interested institutions within a network.

Considering the excellent quality of its work and the many requests, the Unit should draw up a programme schedule so that different priorities could be arbitrated on the basis of staff availability. The question of diversification in the biomedical sector should thus be considered to determine whether the Unit will be able to conduct significant research in this area.

Couverture, mise en page et impression
CIRAD/Ucist

Centre
de coopération
internationale
en recherche
agronomique
pour le
développement