

Le WIS.2, un instrument informatique performant pour une gestion efficace et ciblée des écosystèmes forestiers

CHRISTIAN ROSSET

Keywords: Decision support system; ecosystem management; multipurpose forestry; close-to-nature silviculture; sustainability. FDK 2 : 62 : UDK 519.68

1 Introduction

Les progrès conséquents de l'informatique durant ces dernières années ouvrent de nouvelles perspectives pour la gestion sylvicole et offrent, par là-même, l'occasion de repenser ce système de gestion dans son ensemble. En particulier, les capacités de mémoire et de calcul, conjuguées à la disponibilité de logiciels très performants pour le traitement de l'information, offrent la possibilité de considérer un écosystème forestier dans toute sa diversité et selon différentes échelles spatiales et temporelles. De plus, la possibilité d'adapter certains de ces logiciels relativement aisément par la programmation de fonctionnalités supplémentaires et par la création d'une interface utilisateur interactive et conviviale permet de développer des instruments de gestion des écosystèmes forestiers performants. Le WIS.2¹ a été développé dans cette perspective dans le cadre d'une thèse de doctorat (cf. ROSSET 2005)². L'objectif de cet article est de faire connaître cet instrument, de mettre en évidence son utilité et sa facilité d'utilisation (chapitre 5), ainsi que de présenter ses fondements et la méthodologie utilisée pour son développement (chapitres 2–4).

1.1 Gestion multiscalair des écosystèmes forestiers

La gestion des écosystèmes forestiers nécessite de considérer différentes échelles spatiales de manière à pouvoir exploiter et façonner un écosystème forestier dans son ensemble, au travers des peuplements qui représentent l'unité de base de la perception et de la gestion forestières. A cette dimension spatiale s'ajoute la dimension temporelle. La lente croissance des arbres et leur grande longévité font que la volonté de diriger l'évolution de ces systèmes nécessite de tenir compte simultanément des horizons à court, moyen et à long terme. L'approche libérale et pragmatique de la sylviculture qui prévaut en Suisse (cf. principes de la libre conduite des coupes, voir aussi SCHÜTZ 1999b, 2003c) implique de déterminer aussi peu de contraintes que possible dans le cadre de la planification, de manière à disposer d'une marge de manœuvre aussi grande que possible sur le terrain. Cette marge de manœuvre est aussi importante afin de concilier les contingences du court terme (évolution des marchés) avec les objectifs fixés à long terme. Cette condition et la volonté de procéder à une gestion multiscalair impliquent une approche procédant par effet de zoom, en partant d'un périmètre forestier dans son ensemble et d'une vision à très long terme (intérêts publics, stratégie d'entreprise) pour aboutir à la détermination et à la description des mesures sylvicoles devant être entreprises à court et à moyen terme au niveau des peuplements (intervenir au bon moment, au bon endroit, de manière efficace et efficiente). Cette manière de procéder permet de gérer la complexité par étapes successives en se concentrant à chaque fois sur l'essentiel tout en limitant et précisant la marge de manoeuvre décisionnelle pour les étapes suivantes. La gestion qui en découle se doit d'être dynamique afin de pouvoir réagir rapidement aux changements susceptibles de rendre caduques ou inadéquates certaines décisions, en les adaptant à la nouvelle situation. Ce dynamisme est grandement facilité par l'utilisation de l'informatique.

1.2 Aide à la décision pour la gestion des écosystèmes forestiers

La prise de décisions sylvicoles est loin d'être triviale. Dans cette perspective, le concept de système d'aide à la décision (SAD) peut se révéler très utile. Les SAD ont pour objet d'aider à la résolution de problèmes qui se situent plutôt au niveau stratégique. Ces problèmes sont peu ou pas structurés, ce qui augmente leur complexité et les incertitudes rencontrées tout au long du processus qui mène à leur résolution³. Par ailleurs, ce processus ne doit pas être trop contraignant au risque d'étouffer toute créativité et de manquer des solutions innovantes. L'utilisateur doit pouvoir tester différentes variantes et se rendre compte de leurs conséquences. Le but d'un tel système est d'offrir un support qui aide à trouver une solution satisfaisante en considération des aspirations du décideur et des conditions cadres. WIERZBICKI *et al.* (2000) définissent les SAD comme «a computerized system that supports its users in a rational organization and conduct of a decision process (or its selected phases) and, besides a data base, also contains a pertinent knowledge representation in the form of models of decision situations as well as appropriate algorithms for using these models». A noter que la notion de SAD est utilisée de manière hétérogène. SPRAGUE & CARLSON (1982) signalent d'ailleurs que ce concept a émergé dans les années 70, non pas de manière théorique, mais pratique, en constatant l'émergence d'un nouveau type de système informatique. ALTER (2003) insiste sur l'importance d'une approche pragmatique: «Decision support is not about tools per se, but rather, about making better decisions within work systems in organizations». LÜTHY (1998) donne une vue d'ensemble du travail de recherche qui a été effectué dans le domaine forestier sur les systèmes d'aide à la décision. Elle signale la prédominance des USA⁴ et du Canada, tout en mentionnant aussi l'importance de la Scandinavie. LEXER (2000) signale la quasi absence de SAD pour la gestion forestière en Europe centrale et insiste sur le fait qu'il est laborieux de développer de tels systèmes. Il propose lui-même un SAD pour les conversions de pessières équiennes en futaies mélangées et irrégulières («Waldumbau»). VACIK (2000) a développé un SAD pour la planification du rajeunissement des forêts de la ville de Vienne situées dans les zones de protection des eaux. A signaler aussi le travail de HANEWINKEL (2004) sur le thème des conversions qu'il traite de manière détaillée en intégrant aussi bien des considérations économiques que les risques liés aux coups de vent.

¹ En référence au premier WIS développé à la Chaire de sylviculture de l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ) au début des années nonante (cf. GOOD & PISTOR 1992) dont le WIS.2 reprend d'ailleurs les fondements.

² Cette thèse a été réalisée à la Chaire de sylviculture de l'EPFZ, dans le cadre du programme de gestion forestière de l'Institut fédéral de recherches sur la forêt, la neige et le paysage (WSL).

³ LÜTHY 1998, se basant sur les travaux de Gorry & Morton 1971, et Rhodes 1993.

⁴ Cf. RAUSCHER & POTTER 2001 pour une vue d'ensemble des solutions développées dans ce pays.

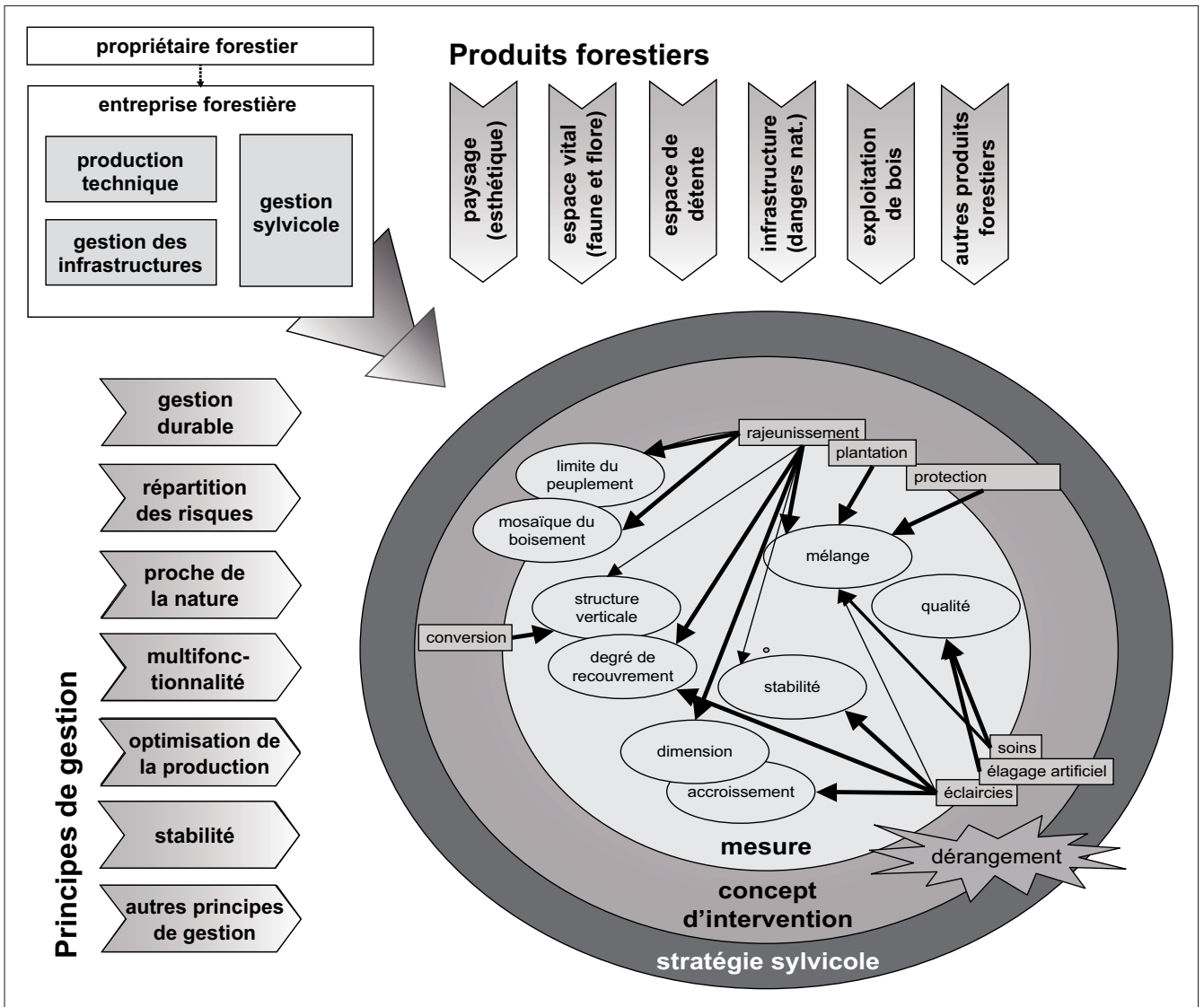


Figure 1: Planification sylvicole au niveau de l'entreprise forestière.

De la connaissance de l'auteur, aucune solution informatique n'existe qui concrétise l'effet de zoom recherché tout en tenant compte d'une sylviculture libérale et pragmatique. Le but du WIS.2 est l'élaboration d'un système qui concrétise cette approche. L'utilisateur prend lui-même ses décisions et doit être actif à tous les niveaux de la gestion. Le système doit être modulaire, afin de pouvoir l'adapter dans un environnement en constante évolution, et ses interfaces avec d'autres systèmes doivent être clairement définies.

2 Cadre du WIS.2

2.1 Système de gestion des écosystèmes forestiers

Les interventions sylvicoles ont pour but de modifier ou de maintenir certaines caractéristiques des peuplements. La figure 1 présente en son centre les différents types d'interventions, ainsi que les caractéristiques des peuplements susceptibles d'être influencées. Une intervention peut aussi avoir des conséquences au-delà du peuplement concerné, tout d'abord au niveau de son voisinage immédiat, mais aussi au niveau de la mosaïque du boisement formée de tous les peuplements d'un périmètre forestier. Compte tenu de la croissance des arbres, le façonnement des peuplements et de leur mosaïque ne peut se faire que lentement et par étapes successives.

La figure 1 présente la planification comme un encadrement des interventions à entreprendre et des caractéristiques

des peuplements à influencer. La stratégie, les concepts et les mesures sylvicoles constituent le résultat de la planification sylvicole dont le point de départ est l'analyse sylvicole. Cette dernière a pour but d'obtenir une description pertinente du périmètre forestier et de mettre en évidence les faits susceptibles de représenter un intérêt public ou stratégique. La gestion sylvicole est considérée avant tout au niveau de l'entreprise forestière, qui représente l'unité organisationnelle de la conduite des interventions dans les peuplements.

Une mesure est une tâche opérationnelle à mettre en œuvre à un moment particulier dans un peuplement particulier dans le but de modifier ou de conserver certaines caractéristiques du peuplement (objectifs d'étape) selon certaines modalités. Ces modalités informent principalement sur le type d'intervention, l'intensité de l'action à entreprendre et les contraintes à considérer. Un concept sylvicole d'intervention consiste à définir d'un point de vue avant tout biologique, mais aussi technique (faisabilité) et économique (rentabilité), comment influencer la dynamique des peuplements dans le but de concrétiser de manière efficiente la stratégie sylvicole et les principes de gestion. Il est constitué d'un ensemble de guides de portée générale qui permettent de déterminer les moments opportuns pour intervenir dans l'existence des différents peuplements et les modalités de ces interventions. La stratégie sylvicole consiste à décrire l'état cible de l'écosystème forestier considéré dans son ensemble et de déterminer l'effort de renouvellement nécessaire pour maintenir cet état.

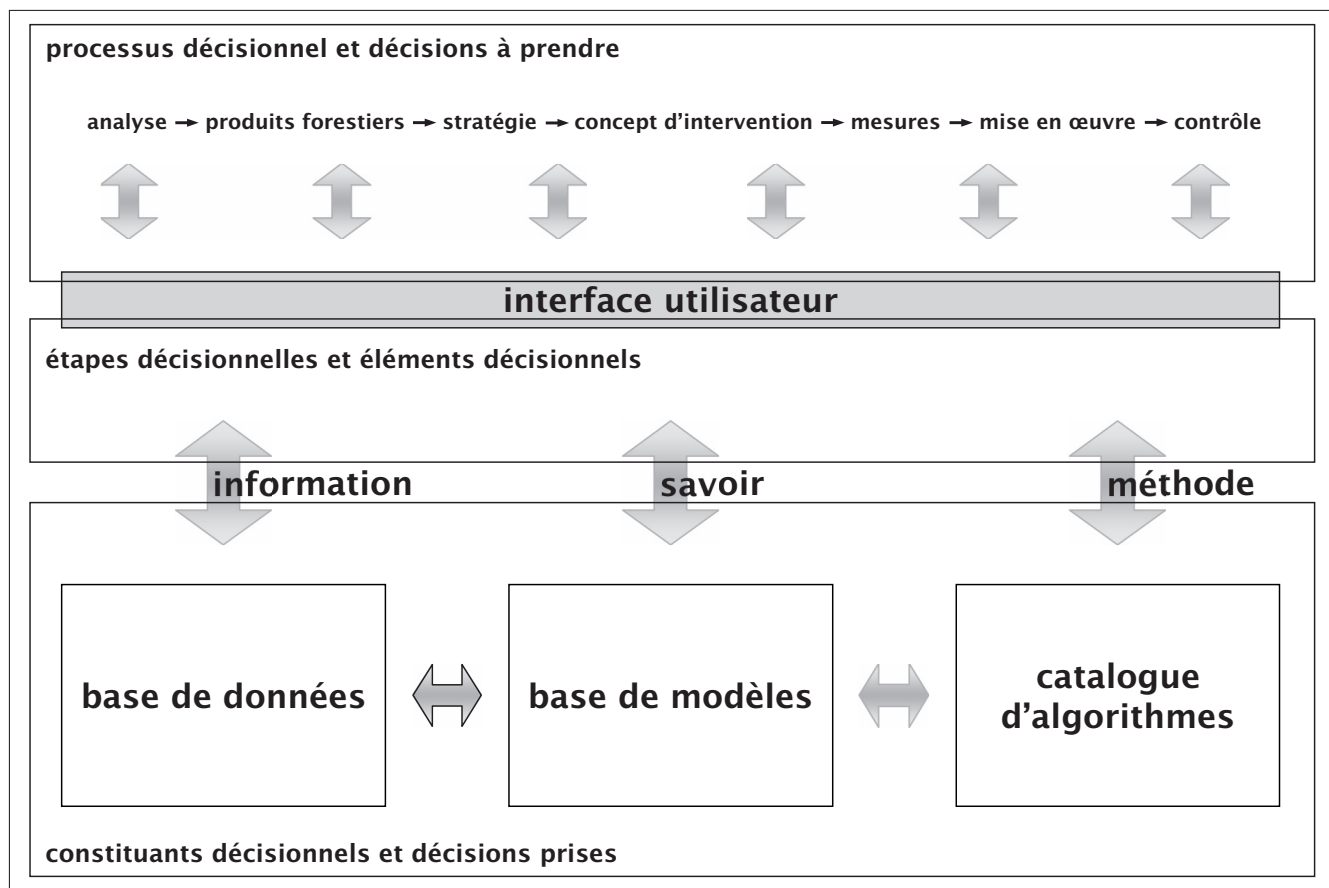


Figure 2: Composants d'un système d'aide à la décision.

La stratégie est constituée des objectifs sylvicoles pour l'ensemble du périmètre forestier à planifier et de guides de portée générale qui servent à la détermination des objectifs d'étape des peuplements. La stratégie sylvicole doit assurer la disponibilité des produits forestiers désirés en quantité et en qualité suffisantes, ainsi que la concrétisation des principes de gestion. Les guides stratégiques sont à mettre en relation avec les guides d'intervention. Les seconds servent à assurer la réalisation des objectifs d'étape des peuplements déterminés sur la base des premiers. Ces guides sont élaborés en fonction des caractéristiques des peuplements et de leur contexte (station, desserte)⁵.

Les produits forestiers désirés et les principes de gestion sont déterminés dans la stratégie d'entreprise qui devrait intégrer, dans la mesure du possible, les fonctions déclarées d'intérêt public dans la planification régionale⁶. La notion de fonction met l'accent sur la mise en évidence des ressources forestières dans un périmètre forestier. La notion de produit met l'accent sur l'aspect économique – vital pour toute entreprise – de la réalisation d'une fonction forestière.

Les principes en rapport avec la gestion sylvicole consistent à mettre en œuvre une gestion durable, proche de la nature et multifonctionnelle. Durable dans le sens de conserver la productivité des sols et d'atteindre un certain équilibre démographique d'une population d'arbres stable et diversifiée, tant par leurs caractéristiques propres que par les structures qu'ils forment par regroupement. Cette notion de diversité doit être mise en relation avec le principe de répartition des risques et d'adaptabilité. Proche de la nature dans le sens d'intervenir aussi peu que possible pour influencer la dynamique forestière de manière à atteindre les objectifs fixés. Multifonctionnelle dans le sens de pouvoir produire sur une même surface plusieurs biens et services forestiers (cf. notion de sylviculture situative et polyvalente, SCHÜTZ 1997, 1999a, 1999b,

2003c). Pour être durable, la gestion sylvicole doit être aussi économiquement viable. La détermination d'interfaces claires entre le système de gestion sylvicole et le système de production technique (exécution des interventions et vente des produits d'exploitation) est très importante de manière à contrôler cette viabilité déjà au niveau de l'élaboration du concept sylvicole d'intervention. A noter qu'une gestion proche de la nature représente en soi un moyen de diminuer les coûts des interventions pour atteindre les objectifs fixés, alors qu'une gestion multifonctionnelle a pour but d'augmenter les effets des interventions. Ces principes sont complétés par la volonté d'optimiser la production en utilisant au mieux, ou tout au moins de manière satisfaisante, les potentialités du boisement et des stations (cf. la notion de capacité et de potentiel de production, BACHMANN 1990, SCHÜTZ 2003b).

La gestion sylvicole peut être ainsi considérée comme une prestation de service qui a pour fonction de mettre en valeur un périmètre forestier clairement délimité, ainsi que de déterminer et de préparer les interventions qui contribuent de manière efficiente et durablement à concrétiser la stratégie d'entreprise tout en s'adaptant aux contingences du court terme (évolution des marchés) et à de possibles dérangements. La figure 1 situe le système de gestion sylvicole par rapport aux autres systèmes principaux qui, considérés de manière modulaire, constituent une entreprise forestière théorique. Ce modèle d'entreprise est repris et simplifié de RIECHSTEINER (2005),

⁵ La notion de guide est reprise et adaptée de DUBOURDIEU (1997), selon lequel un guide a pour objet «d'indiquer le cheminement sylvicole le plus économique et le plus efficace pour optimiser les objectifs fixés».

⁶ Cf. AMMANN (2003) pour la stratégie d'entreprise, ainsi que HORAT & BACHMANN (2004) pour la planification régionale en Suisse.

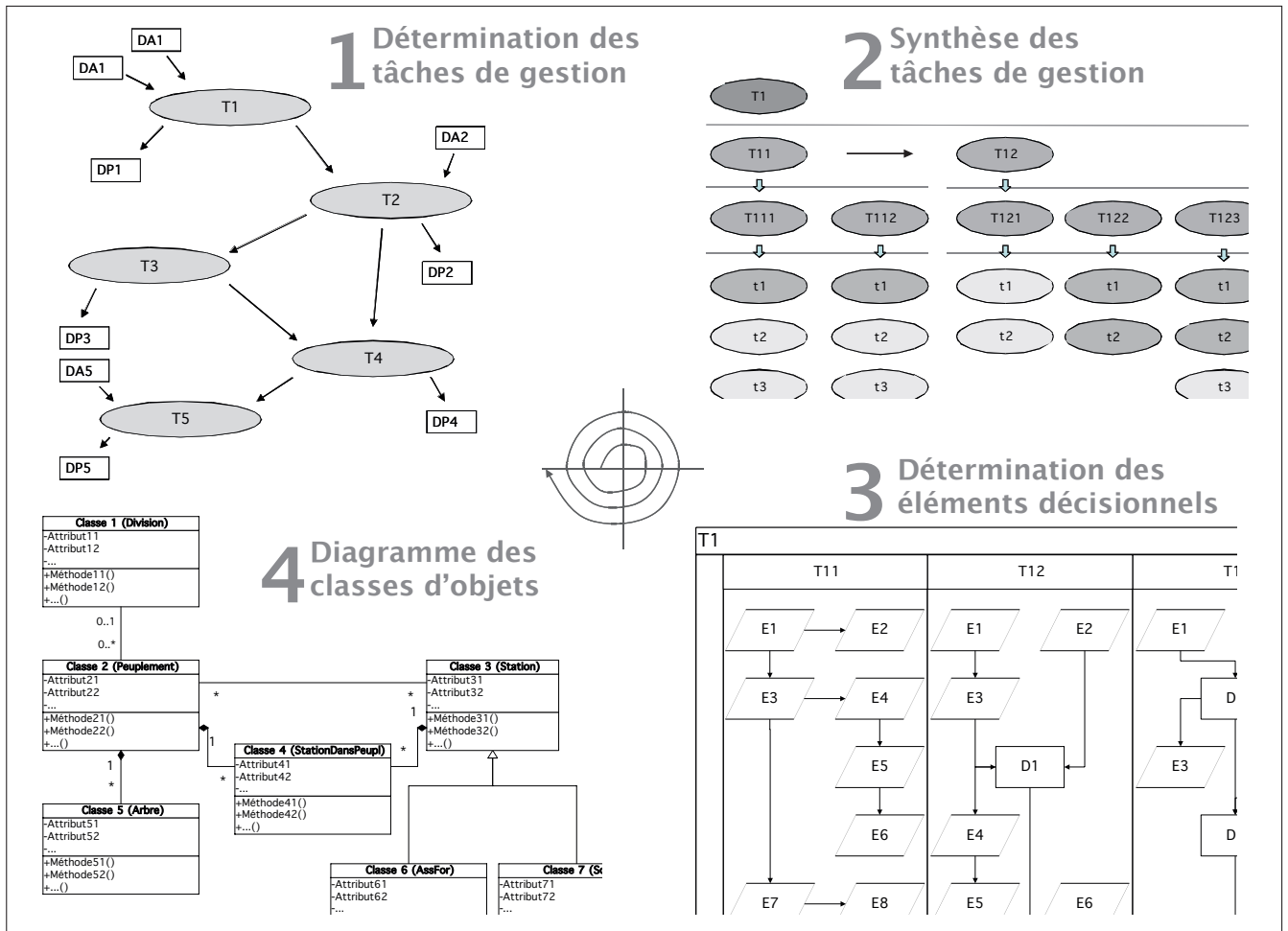


Figure 3: Méthodes de modélisation principales pour l'élaboration du WIS.2.

Les tâches de gestion sont représentées par des ellipses. Au point 1, les décisions prises préalablement qui ont une influence sur l'accomplissement d'une tâche sont visualisées par des rectangles (DA pour décision antérieure), tout comme le sont les décisions qui résultent de la tâche (DP pour décisions prises). Le niveau hiérarchique des tâches et l'ordre de leur accomplissement est défini au point 2 non seulement par leur positionnement dans la figure mais aussi par leur désignation (la lettre t, qui est en majuscule pour les tâches principales, ainsi que le nombre qui suit). Cette désignation est reprise au point 3. Les parallélogrammes correspondent aux éléments décisionnels (E) nécessaires à l'accomplissement de la tâche en question, les rectangles représentent la prise d'une décision (D) par l'utilisateur. Les rectangles au point 4 représentent à chaque fois une classe d'objets. Le nom de la classe se situe dans la première partie du rectangle, les attributs dans la seconde et les méthodes dans la troisième.

qui l'a développé en collaboration avec l'auteur. Cette collaboration a permis de clarifier et de formaliser autant que possible les interfaces entre les différents systèmes afin d'assurer une gestion d'entreprise intégrée d'un point de vue biologique, technique et économique, ainsi que du point de vue des contingences du court terme et du long terme.

2.2 Système d'aide à la décision

La figure 2 présente les formes d'aide à la décision du WIS.2 et les composants du système nécessaires à leur concrétisation. Elle se base sur la définition proposée par WIERZBICKI et al. (2000).

Le processus décisionnel représente la première forme d'aide à la décision. Il correspond à l'ensemble des décisions à prendre et à l'ordre dans lequel procéder. Il sert de base à l'organisation et à l'articulation principale de l'interface utilisateur. Au moyen d'un système de navigation adéquat, l'utilisateur doit pouvoir se déplacer librement au travers de ce processus tout en gardant la vue d'ensemble. Le processus de la prise d'une décision particulière correspond à une étape du processus décisionnel. Chacune de ces étapes est constituée d'éléments décisionnels: information, savoir⁷, méthode. L'utilisateur se sert de ces éléments pour évaluer la marge de manœuvre à disposition, déterminer les options en présence et l'intérêt

qu'elles représentent à la résolution du problème posé. A partir de cette appréciation, l'utilisateur détermine plusieurs variantes dont il évalue les conséquences, si nécessaire au moyen de la simulation. Pour finir, il fait un choix dont il contrôle la pertinence. L'ordre dans lequel ces éléments sont mis à la disposition de l'utilisateur représente l'articulation fine de l'interface utilisateur. Les constituants décisionnels représentent les données, les modèles et les algorithmes qui sont nécessaires à la constitution des éléments décisionnels, ainsi qu'à la mise à disposition de leurs méta-informations. Les décisions qui sont à prendre doivent aussi pouvoir être enregistrées par le système tout comme le contexte dans lequel elles ont été prises.

⁷ FEGHNI (1998) signale la confusion qui existe dans l'utilisation des termes « données », « information » et « savoir ». Les données correspondent à des faits, des caractéristiques d'un objet, d'un concept, d'un système ou, formulé de façon plus générale, d'une entité. L'information est le résultat de la structuration et de l'organisation de ces données qu'il devient possible d'analyser et de synthétiser. D'un point de vue pratique, une information représente une réponse utile à une question concrète (ZEHNDER 1998). Le savoir correspond à une conviction justifiée et véridique. En ce sens, il implique un jugement de valeur. L'information entre dans le domaine du savoir à partir du moment où la personne qui en prend connaissance est convaincue de manière justifiée de sa véracité.

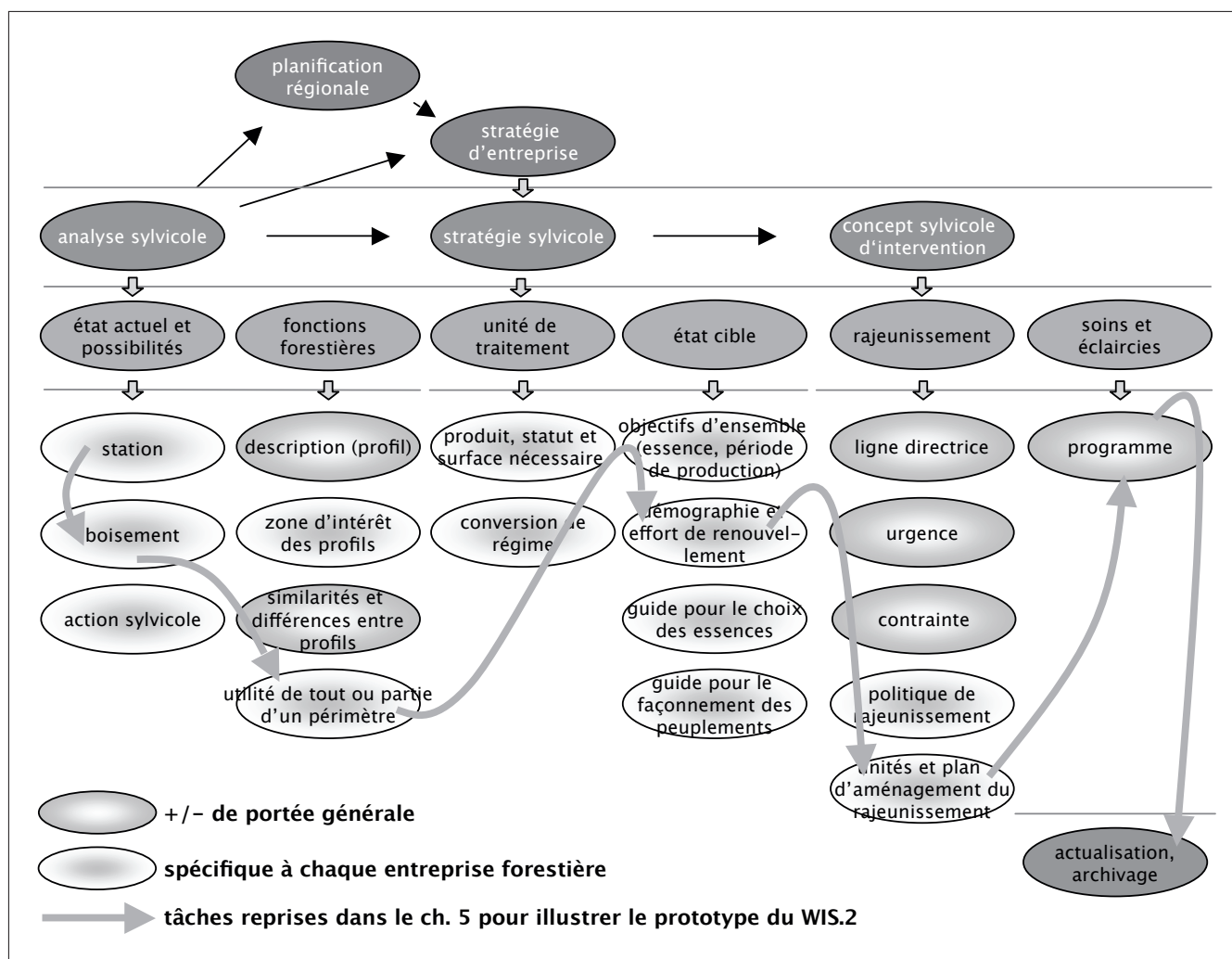


Figure 4: Vue d'ensemble des tâches de gestion sylvicole.

Un archivage de ces éléments doit pouvoir se faire de manière à permettre la reproduction de l'évolution du système.

architecte pour la construction d'un bâtiment stable et conforme à l'usage assigné.

3 Méthodologie du WIS.2

Afin de structurer la complexité de la gestion sylvicole, la notion de tâche de gestion est très utile. Elle se rapporte à un problème clairement délimité de la gestion, pour la résolution duquel une décision est à prendre. Elle définit les compétences et les ressources nécessaires pour ce faire (information, savoir, méthode). La gestion sylvicole est considérée comme une tâche pour laquelle des sous-tâches sont définies de manière récursive selon l'effet de zoom recherché (cf. chapitre 1.1.). La figure 3 présente les méthodes de modélisation principales utilisées pour le développement du WIS.2. La première étape de ce développement est la détermination des tâches de gestion, ainsi que de leurs interactions (point 1 de la figure 3), puis leur organisation en un ensemble hiérarchique et cohérent (point 2). La deuxième étape consiste à déterminer les éléments décisionnels nécessaires à l'accomplissement de chacune de ces tâches, ainsi que leur ordre de prise en considération (point 3). La troisième étape a pour but de déterminer les classes d'objets nécessaires pour la réalisation de chacun des éléments décisionnels, ainsi que pour la sauvegarde des décisions prises (point 4)⁸. Cette méthodologie se base sur celle de SPECKER (2001) et SCHÖNSLEBEN (2001).

Le résultat de l'application de cette méthodologie est le concept du WIS.2 présenté en partie dans le chapitre suivant. Ce concept sert de base à l'élaboration du prototype du WIS.2. Il peut être comparé, dans sa fonctionnalité, aux plans d'un

4 Concept du WIS.2: vue d'ensemble des tâches de gestion sylvicole

La présentation du concept du WIS.2 se limite à la synthèse des tâches de gestion (point 2 de la figure 3) pour la vue d'ensemble qu'elle offre sur le système de gestion sylvicole. Cette synthèse est visualisée dans la figure 4. La planification régionale et la stratégie d'entreprise sont aussi présentées afin de situer la gestion sylvicole dans son contexte. Les tâches sont expliquées brièvement dans ce qui suit. Les flèches signalent les aspects de la gestion sylvicole qui servent d'exemples pour illustrer le prototype présenté au chapitre 5. Dans cet article, une période de gestion, respectivement de planification, représente 10 années, tout comme une classe d'âges.

⁸ Tous les objets issus d'une même classe ont les mêmes attributs et les mêmes méthodes. Les attributs permettent de caractériser les objets et les méthodes de modifier la valeur des attributs. Par exemple, la classe «peuplement» est définie par des attributs tels que le diamètre dominant, le degré de recouvrement et la composition en essences, ainsi que par des méthodes telles que l'accroissement du diamètre dominant sur une période définie. Les classes d'objets sont mises en relation, ce qui permet de synthétiser les données et les modèles disponibles sur un système sous la forme d'informations pertinentes (pour plus de détails, voir SCHÖNSLEBEN 2001 ou BOOCH *et al.* 1999 pour un traitement compréhensif du sujet).

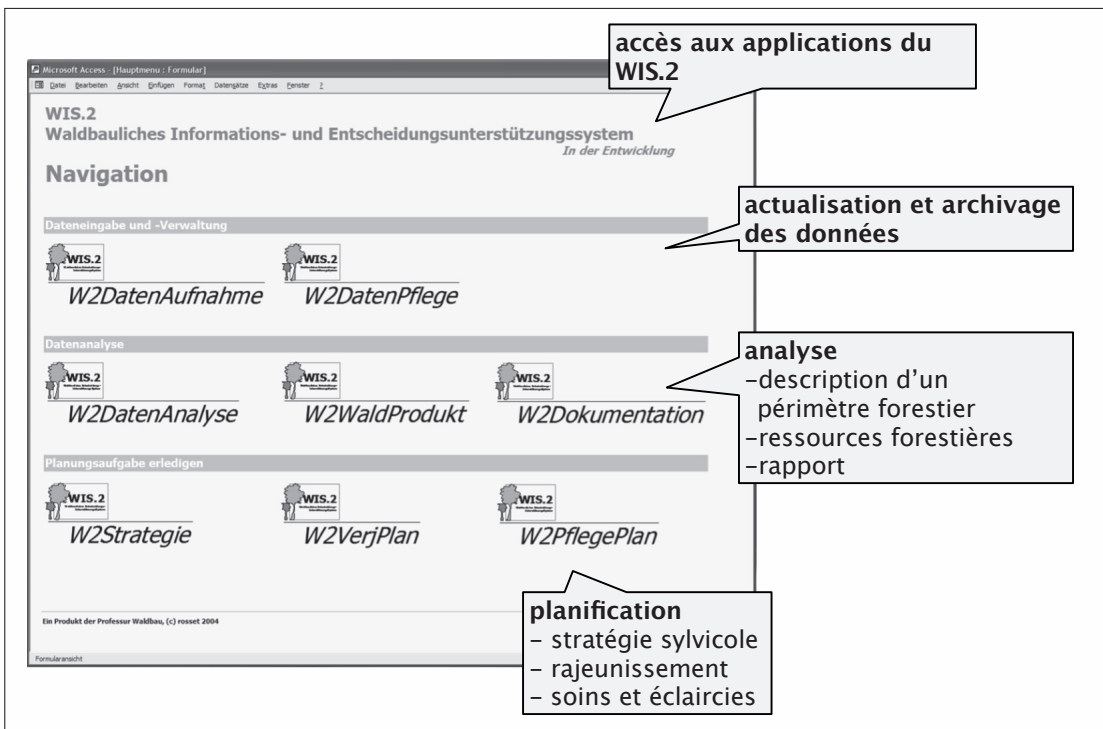


Figure 5: Interface d'accueil de l'utilisateur et d'accès aux applications.

4.1 Analyse sylvicole

L'analyse sylvicole sert de base à l'élaboration de la planification régionale et à la formulation de la stratégie d'entreprise. Elle consiste en particulier à mettre en évidence les faits susceptibles de représenter un intérêt public du point de vue de la région considérée ou stratégique du point de vue de l'entreprise forestière concernée. Dans les deux cas, il s'agit de fournir une description pertinente d'un écosystème forestier clairement délimité dans l'espace, à savoir ses caractéristiques générales et ses particularités, les possibilités d'action sylvicole et ses limites, ainsi que de possibles problèmes. Il s'agit aussi de mettre en évidence les ressources forestières susceptibles de représenter un certain intérêt dans le périmètre et de signaler les possibilités et les impossibilités de leur mise à disposition de manière combinée (multifonctionnalité). Cela présuppose pour chaque ressource forestière de connaître et de formaliser l'ensemble des caractéristiques des stations et du boisement nécessaires à leur réalisation. Cette formalisation se fait sous la forme d'un profil sylvicole, sur la base duquel l'utilité des peuplements comme ressource forestière peut être évaluée. Les zones d'intérêt complètent éventuellement certains profils sylvicoles en intégrant les éléments qui ne relèvent pas de la station, ni du boisement, mais qui ont une certaine importance pour le produit forestier qui leur est rattaché (par exemple une place de pique-nique). La comparaison des profils sylvicoles permet de relever les similarités entre ressources forestières. Les profils sylvicoles sont repris dans la stratégie sylvicole pour la détermination de l'état cible d'un écosystème forestier clairement délimité.

4.2 Stratégie sylvicole

Avant de déterminer l'état cible d'un périmètre forestier, les priorités de réalisation des produits mentionnés dans la stratégie d'entreprise peuvent être précisées au moyen d'un statut (nécessaire, souhaitable, possible) et la surface nécessaire à leur mise à disposition peut être définie⁹. Afin d'assurer durablement la disponibilité des produits stratégiques, il est nécessaire que l'état cible représente un certain équilibre démographique. Cet équilibre est défini par une structure démogra-

phique des arbres et un effort de renouvellement qui permet de maintenir cette structure. La définition de cet équilibre diffère selon les régimes sylvicoles, puisqu'ils impliquent à chaque fois un mode de rajeunissement spécifique. En conséquence, la zone d'application de chaque régime doit être tout d'abord délimitée. Cette zone est désignée ci-après comme une unité de traitement. Le traitement, à savoir la manière d'influencer la dynamique forestière, est dans les principes le même pour l'ensemble des peuplements d'une unité, non seulement en considération du régime sylvicole à appliquer, mais aussi du concept d'intervention. Un état cible spécifique est à définir pour chaque unité. La formation des unités de traitement implique le regroupement des produits forestiers selon les régimes sylvicoles qui contribuent à leur réalisation. Selon la situation actuelle du périmètre, la conversion de certains peuplements peut se révéler nécessaire. Seul le système de la coupe progressive est considéré dans ce qui suit.

La détermination du but de composition en essences et des dimensions cibles des arbres, respectivement de leur période de production, représente la description minimale d'un état cible. Ces décisions servent de base pour la détermination d'une structure des classes d'âges à l'équilibre (modèle de forêt normale adapté au système de la coupe progressive, cf. BACHMANN 1993), ainsi que de la surface de rajeunissement durable (SRD). Cette surface correspond à celle de la première classe d'âges. Sa mise en œuvre conséquente pendant chaque période de gestion permet de façonner la structure des classes d'âges afin de tendre vers un certain équilibre. La SRD représente ainsi un ordre de grandeur important et fait office de régulateur démographique. A noter qu'elle est relativement peu sensible aux modifications du but de composition en es-

⁹ Cette surface correspond à la surface totale mobilisée pour la réalisation d'un produit, soit la surface sur laquelle l'effet escompté doit être obtenu et, pour les produits qui nécessitent une phase de développement des peuplements particulière pour leur réalisation, les surfaces qui précèdent cette phase. Par exemple, la volonté d'assurer durablement la présence d'une phase de vieux bois de 140 à 200 ans sur 10% de la surface d'un périmètre forestier implique de mobiliser au total un tiers de ce périmètre (= 10% · 200/(200-140)).

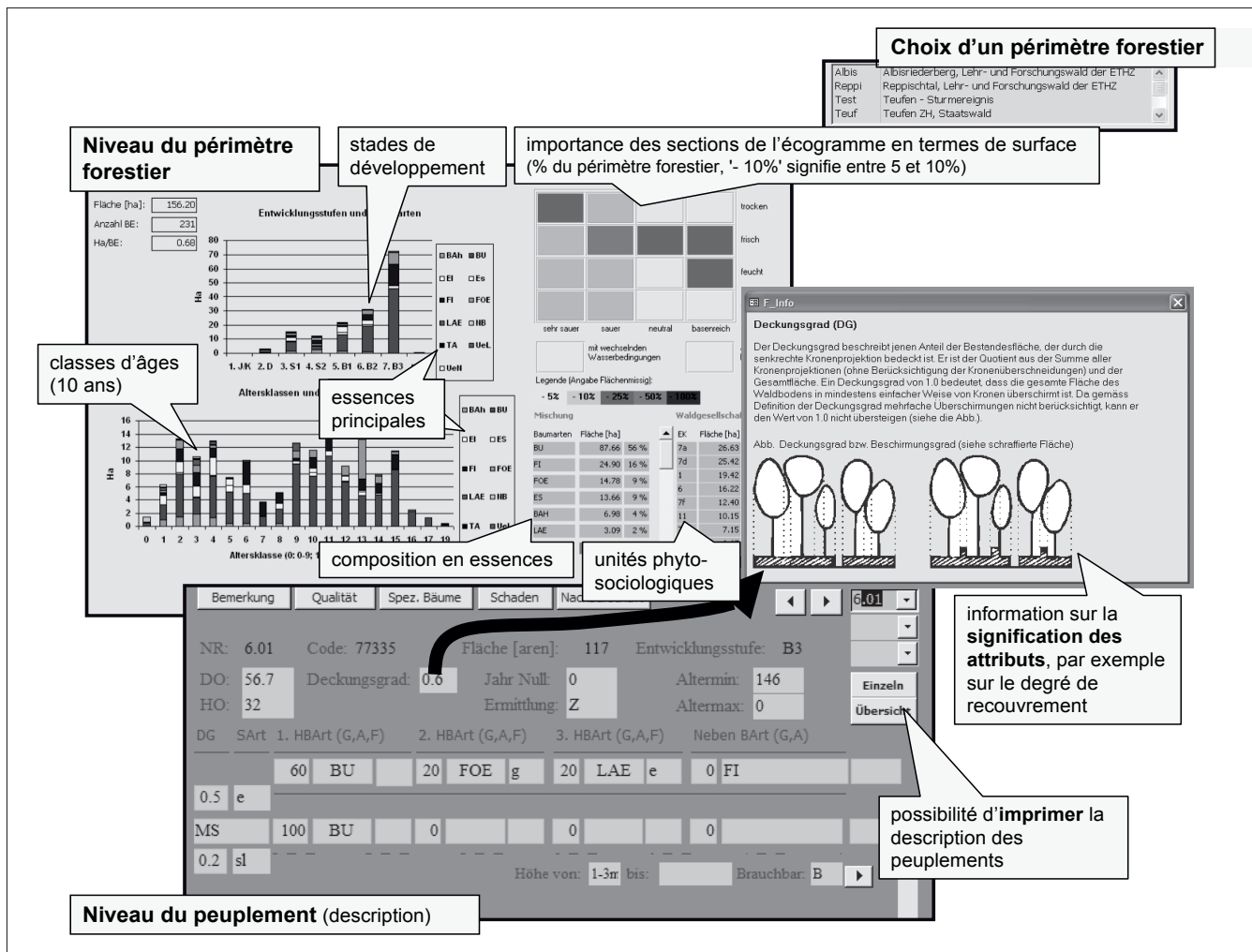


Figure 6: Extraits des interfaces sur l'analyse sylvicole.

La présentation de la signification du degré de recouvrement est reprise de SCHÜTZ (2003a).

sences et des périodes de production, à condition que de telles modifications soient réalistes et pas trop radicales (cf. ROSSET 2005, pour plus de détails, y compris la prise en compte des chablis). Ces décisions ne suffisent cependant pas à assurer une gestion proche de la nature et qui mette au mieux en valeur les potentialités des stations et du boisement. Pour ce faire, la promotion des essences doit être définie selon les stations en présence. Il en résulte un guide pour le choix des essences selon les stations forestières. Cette description est à compléter pour assurer la disponibilité de tous les produits forestiers. Jusqu'à présent, seuls les arbres comme éléments de base du boisement ont été considérés. Pour certains produits forestiers, il est nécessaire de prendre en compte leur organisation spatio-temporelle au niveau du peuplement et, éventuellement, de la mosaïque formée de ces mêmes peuplements (par exemple afin de mettre en œuvre la notion de mise en réseau). Sur la base des profils sylvicoles, des règles d'organisation spatio-temporelles peuvent être déterminées en conséquence. Leur application a pour effet le façonnement ciblé de certains peuplements selon leur contexte, leur positionnement dans la mosaïque du boisement et leur stade de développement. Ces règles sont organisées en un guide pour le façonnement de peuplements particuliers.

4.3 Concept sylvicole d'intervention

Le concept sylvicole d'intervention est subdivisé en deux concepts. Le premier concerne le rajeunissement, le second les soins et les éclaircies. Le concept de rajeunissement définit

tout d'abord les lignes directrices, en particulier les périodes de rajeunissement particulières, dont la durée détermine le rythme avec lequel évoluent les conditions de croissance sous couvert pour le rajeunissement. Ces lignes directrices représentent des indications à prendre en considération sur le terrain de manière à obtenir les essences désirées dans le rajeunissement. L'urgence de rajeunissement des peuplements correspond au laps de temps entre le moment présent et le moment opportun de rajeunir. Le degré d'urgence se rapporte à la période de planification dans laquelle le moment opportun se situe. Il est déterminé pour les trois premières périodes de planification. La visualisation de l'urgence de rajeunissement des peuplements sur une carte permet de fixer les priorités d'interventions. Les problèmes liés aux fronts de coupe (par exemple les risques de chablis et la formation de branches gourmandes) sont des exemples de contraintes spatiales à prendre en compte afin de coordonner la conduite des coupes. La somme des surfaces à rajeunir par degré d'urgence informe sur la surface de rajeunissement souhaitée par période de planification. Des différences marquées avec la surface de rajeunissement durable impliquent de procéder à un compromis entre la volonté de tendre vers un certain équilibre démographique sur le long terme et celle d'exploiter les peuplements lorsqu'ils arrivent à maturité. Ce compromis se laisse formaliser au moyen de la politique de rajeunissement, qui s'exprime en pourcent de la surface de rajeunissement durable pour chacune des trois premières périodes de planification. La politique de rajeunissement délimite ainsi l'ampleur de la surface à rajeunir par décennie.

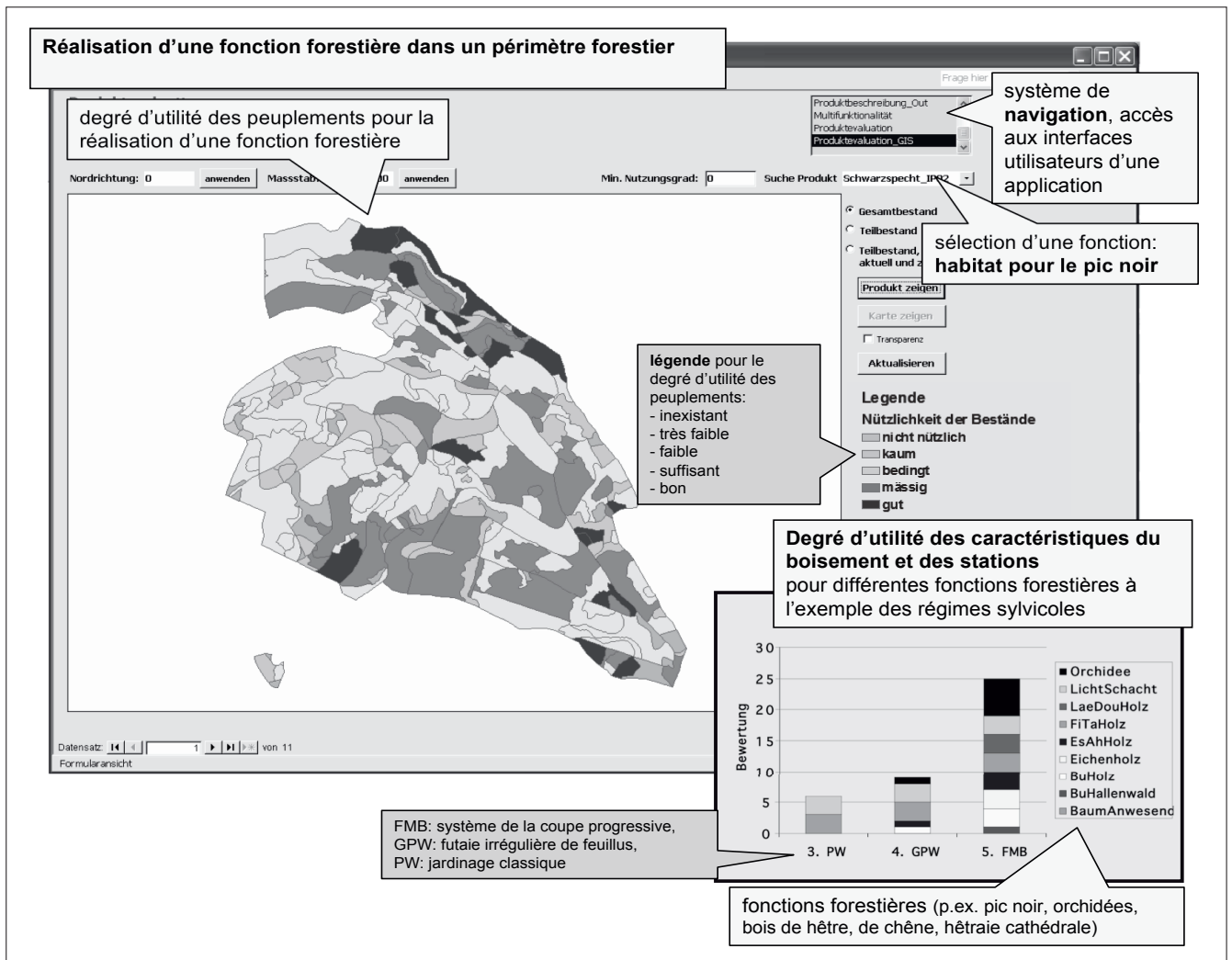


Figure 7: Extraits des interfaces utilisateurs sur les fonctions forestières.

Le concept de soins et d'éclaircies a pour but de déterminer et de coordonner l'ensemble des interventions dans la vie d'un peuplement jusqu'à l'engagement du rajeunissement afin d'atteindre de manière efficiente les objectifs fixés (dimensions cibles en un laps de temps correspondant à leur période de production associée, qualité des tiges, structure verticale particulière). Le programme de soins et d'éclaircies d'une essence correspond à l'ensemble des interventions à entreprendre jusqu'au rajeunissement. Il est possible de le différencier selon les stations et d'en créer de supplémentaires pour le façonnement de peuplements de type particulier.

4.4 Actualisation et archivage

L'actualisation et l'archivage du système représentent une tâche particulière par rapport aux autres tâches de gestion, puisqu'il ne s'agit pas de prendre des décisions de manière à influencer l'action sylvicole, mais de faire en sorte que l'actualité des éléments décisionnels soit suffisante, que la qualité de ces éléments soit connue (documentation de l'actualisation au moyen de méta-informations) et qu'il soit possible de retracer le développement de l'écosystème forestier considéré et du système de gestion sylvicole (archivage).

5 Prototype du WIS.2

Le prototype du WIS.2 est un système informatique composé de plusieurs applications. Chaque application correspond à une tâche principale de la gestion sylvicole. Elles sont accessi-

bles au travers de l'interface présentée dans la figure 5. Elles sont regroupées en trois parties: l'actualisation et l'archivage des données, l'analyse d'un périmètre forestier, que ce soit celui d'une entreprise forestière ou celui d'une région, et la planification sylvicole au niveau de l'entreprise. Il suffit à l'utilisateur de cliquer sur l'icône de l'application désirée pour accéder à sa page d'accueil.

Chaque application est composée d'une série d'interfaces graphiques et interactives dont l'articulation principale correspond à celle du processus décisionnel de la tâche principale concernée. L'utilisateur peut se déplacer librement au travers de ces interfaces tout en gardant la vue d'ensemble. Il y trouve les éléments décisionnels dont il a besoin pour la prise de décision. Les applications ont été développées sur Access 2002, la banque de données relationnelle de Microsoft, et ArcGIS View 8.3, le système d'information géographique d'ESRI. L'interface est cependant conçue de manière que l'utilisateur n'ait pas besoin de connaître ces logiciels. Il peut ainsi se concentrer pleinement sur la résolution de ses problèmes de gestion. Le WIS.2 est présenté dans ce qui suit au travers d'une sélection d'interfaces utilisateurs (cf. figure 4). Le prototype a été conçu dans le cadre de l'enseignement de la planification sylvicole à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ). Compte tenu du public cible, les interfaces sont en allemand.

5.1 Analyse sylvicole

La figure 6 présente l'interface qui permet à l'utilisateur de choisir un périmètre forestier, ainsi que trois interfaces qui servent

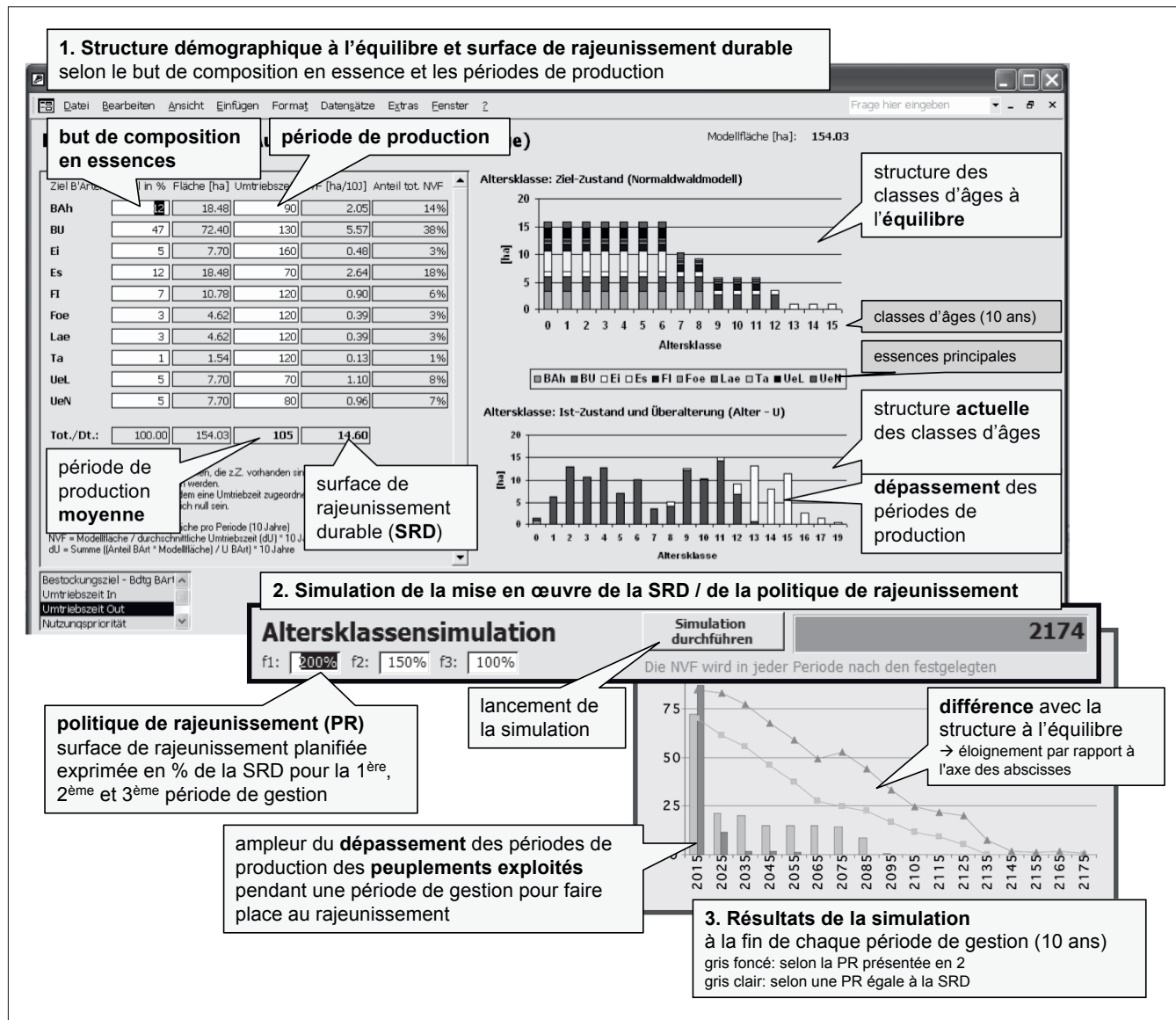


Figure 8: Extraits des interfaces utilisateurs sur la stratégie sylvicole.

à la description du périmètre sélectionné. L'utilisateur peut en tout temps changer de périmètre et ainsi procéder à des comparaisons.

La première interface concerne les caractéristiques principales du périmètre, soit les conditions stationnelles présentées de manière synthétique dans un écogramme et de manière plus détaillée dans une table regroupant toutes les unités phytosociologiques en présence, ainsi que les informations sur le boisement telles que la composition en essences, les stades de développement et les classes d'âges. Ces informations sont aussi disponibles au niveau des divisions du périmètre au travers d'une interface similaire. Ce changement d'échelle est rendu possible grâce à la disponibilité des données aux niveaux des unités de base de la perception et de la gestion des forêts que sont les peuplements. L'utilisateur peut ainsi se familiariser avec un périmètre et reconnaître ses particularités en procédant de l'ensemble aux détails. La deuxième interface présente la description des peuplements: diamètre et hauteur dominants, âge, degré de recouvrement général, description de chaque strate ou étage selon sa composition en essences et son degré de recouvrement spécifique (cf. SCHÜTZ 1990). Des informations complémentaires peuvent être sauvegardées, telle que la qualité des tiges. Cette description s'effectue au moyen de données estimées, semi-quantitatives, et relativement rapidement par une personne expérimentée. Elle a

l'avantage de livrer non seulement des informations intéressantes pour la production de bois (toutes les essences en présence), mais aussi sur la structure des peuplements susceptibles de représenter un espace vital pour la flore et la faune ou encore un espace de délasserment. La troisième interface informe l'utilisateur sur la signification des attributs de la description.

5.2 Ressources forestières

Sur la base des profils sylvicoles préalablement introduits par l'utilisateur, chaque peuplement d'un périmètre forestier est évalué quant à son utilité à la réalisation de différentes fonctions forestières. Les résultats obtenus sont présentés, entre autres, sous la forme d'une carte interactive. L'utilisateur peut choisir les fonctions forestières qui l'intéressent afin de visualiser leur disponibilité. La figure 7 montre le cas de la fonction d'habitat pour le pic noir.

L'utilisateur peut effectuer la synthèse d'une sélection de profils sylvicoles afin de mettre en évidence l'importance des différentes caractéristiques des stations et des peuplements pour les fonctions forestières concernées. Elle sert ainsi de base à la concrétisation de la multifonctionnalité. Le graphique de la figure 7 présente, par exemple, l'importance de trois régimes sylvicoles pour l'ensemble des profils sélectionnés. Le système

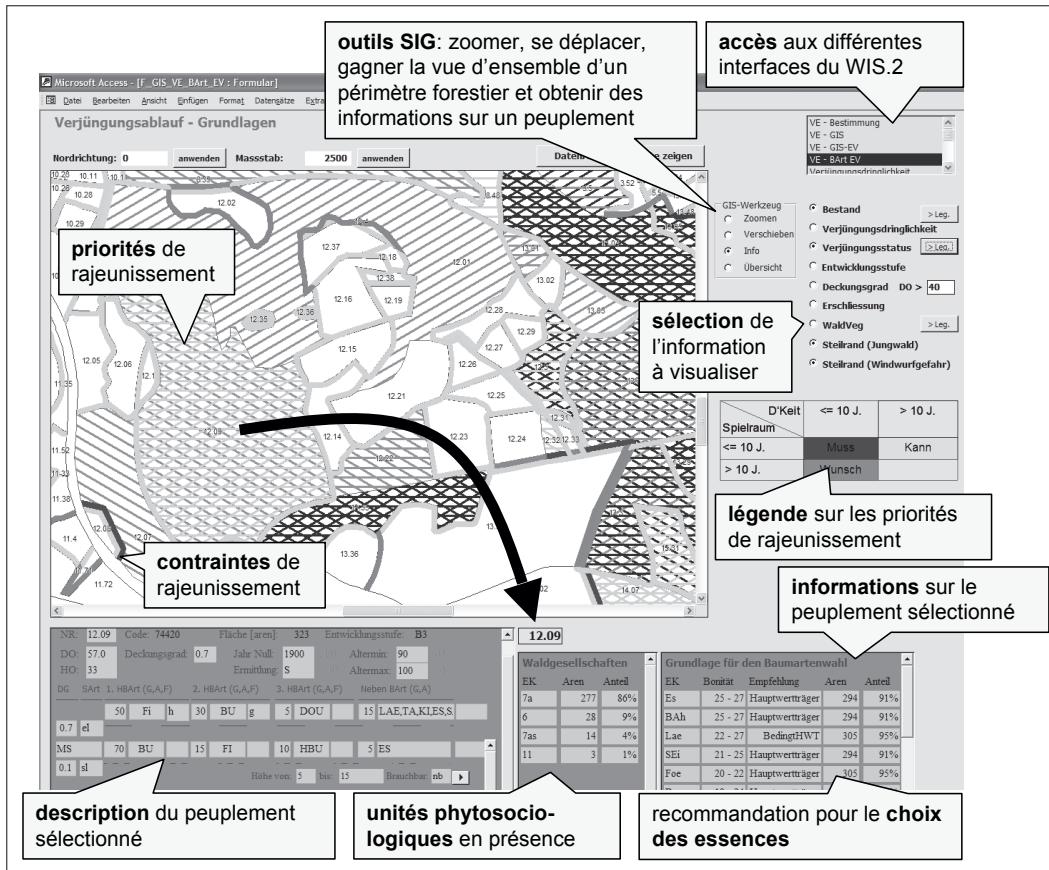


Figure 9: Exemple d'une interface utilisateur de la planification du rajeunissement.

Les traits à l'intérieur des peuplements visualisent les priorités de rajeunissement pour les dix prochaines années (de gris foncé pour «nécessaire» à gris clair pour «possible» en passant par «souhaitable»). Ces traits sont horizontaux pour la première essence principale et inclinés pour les deux autres. Les contraintes spatiales sont visualisées au moyen de la limite des peuplements. Deux types de contrainte sont visualisées dans la figure: le danger de chablis à cause d'un front de coupe exposé au vent et le phototropisme du rajeunissement à cause de l'ombrage des peuplements voisins. A chaque type de contrainte correspond une couleur. Les limites sont d'autant plus foncées que le problème visualisé est susceptible d'être important.

de la coupe progressive (FMB) contribue dans ce cas à la réalisation du plus grand nombre de ces profils.

Le système de navigation du WIS.2 est visible dans la figure. Il offre la possibilité d'accéder librement à toutes les interfaces utilisateurs d'une application. L'ordre dans lequel les interfaces sont proposées correspond à celui du processus décisionnel.

5.3 Stratégie sylvicole

La structure des classes d'âges à l'équilibre et la surface de rajeunissement durable qui en découle sont automatiquement calculées selon le but de composition en essences et les périodes de production. Ces décisions sont déterminées préalablement par l'utilisateur sur la base d'informations mises à sa disposition pour ce faire (voir aussi ROSSET & SCHÜTZ 2003). La première interface de la figure 8 présente ces résultats, ainsi que la structure actuelle des classes d'âges pour comparaison. Les surfaces sur lesquelles les périodes de production sont déjà dépassées sont visualisées afin de mettre en évidence l'ampleur d'un possible vieillissement.

L'utilisateur a la possibilité de simuler les conséquences d'une mise en œuvre systématique de la surface de rajeunissement durable sur plusieurs périodes de gestion, puis de définir une politique de rajeunissement et de procéder à nouveau à une simulation. Une partie des résultats disponibles est présentée dans le graphique du bas de la figure 8. L'utilisateur peut constater avec quelle rapidité la structure à l'équilibre est plus ou moins atteinte, ainsi que l'ampleur du dépassement absolu des périodes de production par l'ensemble des peuplements exploités à chaque période pour faire place au rajeunissement. Le dépassement peut être positif ou négatif. Il implique dans les deux cas un manque à gagner conséquent à une utilisation suboptimale du potentiel de production des peuplements concernés. Le gris clair représente les résultats de la simulation de la SRD, le gris foncé ceux de la politique de rajeu-

nissement présentée dans l'interface (respectivement 200%, 150% et 100% de la SRD pour les trois premières périodes de planification). Dans ce cas, l'état à l'équilibre est atteint moins rapidement au moyen de cette politique de rajeunissement. Par contre, les peuplements sont exploités plus rapidement sans dépassement de leur période de production. La simulation se fait très rapidement (quelques secondes), si bien que différentes variantes peuvent être facilement testées et comparées.

5.4 Planification du rajeunissement

La politique de rajeunissement décidée, il convient de la mettre en œuvre localement. L'interface utilisateur présentée dans la figure 9 livre les informations nécessaires pour ce faire, soit l'urgence et les priorités de rajeunissement des peuplements (où et quand intervenir), ainsi que les contraintes spatiales (coordination des interventions). Sur cette base, le gestionnaire peut déterminer, dans ses grandes lignes, la conduite des coupes à entreprendre.

Deux exemples de contraintes spatiales liées à des problèmes de fronts de coupe sont mises en évidence sur la carte au moyen d'une coloration des limites des peuplements dont l'intensité est en relation avec l'importance du problème, à savoir bleu pour le danger de chablis et rouge pour l'effet de l'ombrage d'un peuplement sur une surface de rajeunissement (phototropisme). L'utilisateur peut aussi visualiser la desserte afin d'éviter de sortir les bois au travers d'un rajeunissement. Les priorités de rajeunissement sont déterminées selon le degré d'urgence et sa marge de manœuvre. Un rajeunissement est nécessaire si l'urgence se situe dans les 10 prochaines années et que la marge de manœuvre ne dépasse pas cette période, souhaitable si cette marge dépasse cette période et possible dans le cas d'une urgence qui se situe au delà de ces dix prochaines années, mais dont la marge de manœuvre inclut la première période. Les priorités sont déterminées au niveau de chaque essence principale des peuplements. Le degré d'ur-

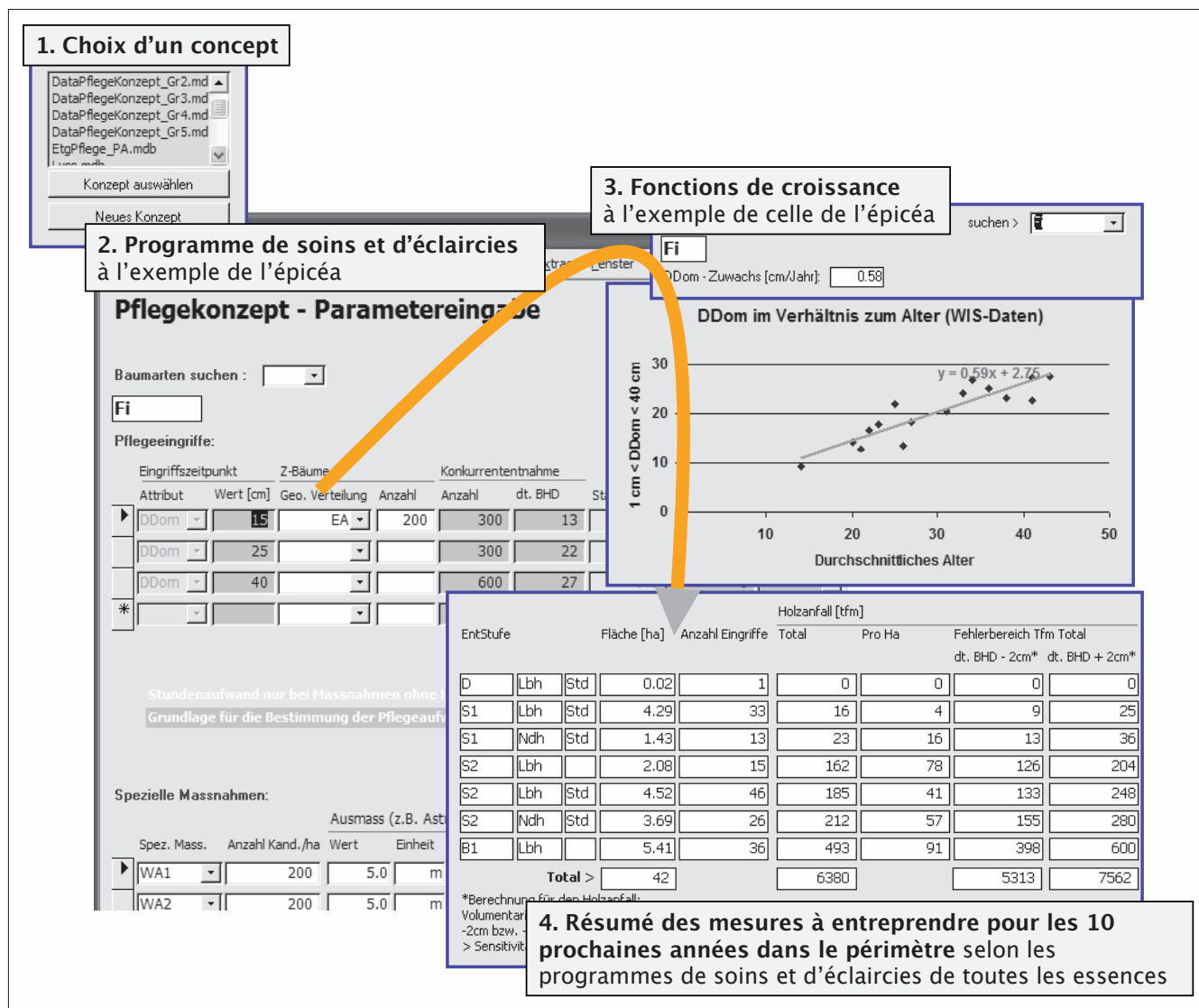


Figure 10: Extraits des interfaces utilisateur sur la planification des soins et des éclaircies.

Le programme des éclaircies pour l'épicéa ne prévoit que trois interventions jusqu'au rajeunissement, soit à un diamètre dominant de 15, 25 et 40 cm, le but étant de promouvoir 200 arbres à l'ha à l'espacement final. L'élagage des arbres est prévu en deux temps correspondant aux deux premières éclaircies. Le volume total à exploiter dans le périmètre forestier concerné se situe à environ 6400 sv pour les dix prochaines années, avec une marge d'erreur de +/-20%.

gence est déterminé principalement sur la base des dimensions cibles à atteindre (diamètre dominant), de la situation actuelle des peuplements et de fonctions de croissance. La marge de manœuvre dépend de facteurs tels que le risque d'apparition de pourritures ou de cœur coloré non désiré, mais aussi d'une utilisation éventuellement insatisfaisante de la capacité de production. Ces informations sont importantes pour le système de production technique qui peut ainsi prévoir, sur une base annuelle, les coupes à effectuer en considération de la situation des marchés. La marge de manœuvre pour ce système est double: d'une part en considération de l'unité de temps qui est de 10 années et d'autre part en considération des priorités. Des informations complémentaires sont aussi disponibles, telles que les unités phytosociologiques, les stades de développement et l'année des dernières interventions. L'utilisateur peut interagir avec la carte au moyen de fonctionnalités propres aux systèmes d'information géographique (zoom, déplacement, vue d'ensemble de tout le périmètre). Il peut aussi cliquer sur un peuplement pour obtenir les informations le concernant, à savoir sa description et les unités phytosociologiques en présence, ainsi que les recommandations pour le choix des essences.

5.5 Planification des soins et des éclaircies

L'interface principale présentée dans la figure 10 sert à l'introduction du programme de soins et d'éclaircies pour chaque essence. L'utilisateur sélectionne la catégorie d'essence désirée et décrit les interventions à effectuer, à savoir le moment d'une intervention définie dans ce cas par le diamètre dominant (Ddom), la répartition géométrique des arbres d'élite, leur nombre par ha, le nombre de leurs concurrents à éliminer par ha, le diamètre à hauteur de poitrine (dhp) moyen de ces concurrents¹⁰ et éventuellement le nombre d'heures par ha nécessaire à l'exécution de l'intervention si le bois n'est pas sorti du peuplement. Le volume par ha exploité par intervention peut être estimé à partir du nombre de concurrents, de leur dhp moyen et d'un tarif. L'utilisateur peut aussi planifier des mesures d'élagage artificiel. Le Ddom et la composition en essences des peuplements étant connus, il est possible, au moyen d'une fonction de croissance, de déterminer quels sont les peuplements qui devront faire l'objet d'une intervention

¹⁰ Plus précisément du dhp correspondant à la tige moyenne des concurrents à exploiter.

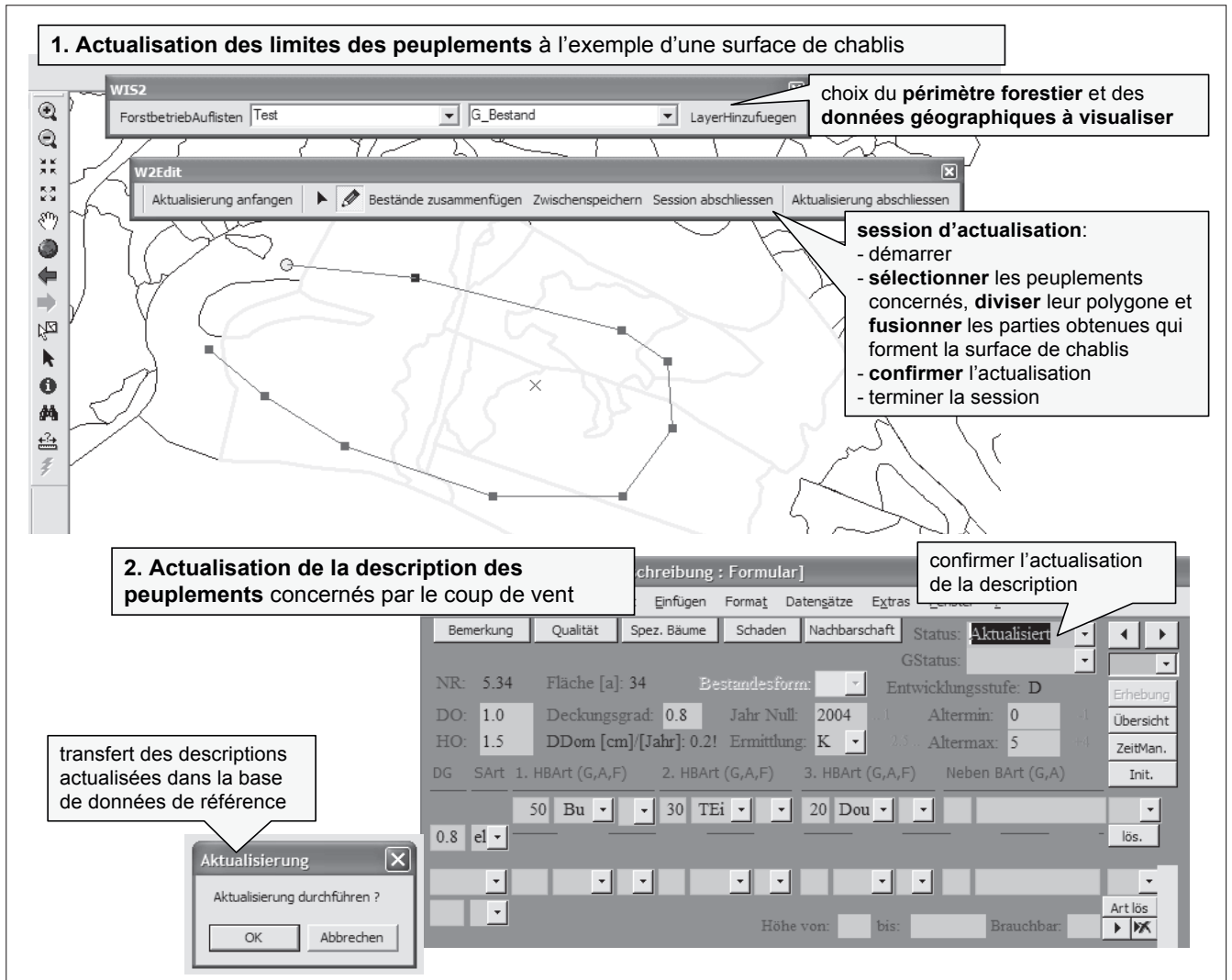


Figure 11: Actualisation et archivage des données à l'exemple d'une surface de chablis.

dans les dix prochaines années. Un peuplement est considéré en autant de parties que d'essences en présence. L'utilisateur peut s'informer des fonctions de croissance utilisées. Dans ce cas, il s'agit de fonctions linéaires développées par GOOD (1993). Il peut aussi les confronter aux données disponibles sur le périmètre. Le graphique de la figure 10 met en rapport l'âge moyen et le Ddom des peuplements pour lesquels l'épicéa représente une essence principale. Le tableau présente la surface totale à traiter et le volume à exploiter pour l'ensemble des essences et les dix prochaines années. Ces résultats sont aussi détaillés par stades de développement et par catégorie de feuillus et de résineux. Une marge d'erreur est indiquée concernant le volume à exploiter. Elle est calculée en partant du principe que le dhp moyen des concurrents à exploiter est respectivement surestimé ou sous-estimé de 2 cm de manière systématique. Une analyse plus fine des résultats est possible au moyen de nombreux graphiques disponibles à cet effet. Pour comparaison, l'utilisateur peut choisir un autre concept.

5.6 Actualisation et archivage

L'actualisation de la carte des peuplements et de leur description se fait relativement facilement. Elle est présentée dans ses grandes lignes au moyen de la figure 11 à l'exemple d'une surface de chablis.

L'utilisateur démarre tout d'abord une session d'actualisation des données géographiques. Un périmètre forestier est subdivisé en autant de polygones qui représentent la surface

des peuplements qui le constituent. Un changement des limites de ces surfaces revient à subdiviser les polygones des peuplements concernés, puis à les fusionner de manière à obtenir les polygones qui représentent les nouveaux peuplements. Dans l'exemple, les peuplements sont subdivisés selon la délimitation de la surface de chablis. Les polygones qui se situent à l'intérieur de cette délimitation sont fusionnés pour constituer le polygone de cette surface. Pour ce faire, trois outils d'édition sont nécessaires: un outil pour sélectionner les peuplements à actualiser, un autre pour les diviser et le troisième pour effectuer les fusions. Après avoir contrôlé que tout soit en ordre, l'utilisateur peut terminer la session d'actualisation. A ce moment, le nouvel état remplace son prédécesseur dans les banques de données de référence et une copie est sauvegardée dans les archives. Le recouplement des nouvelles données avec, par exemple, celles des unités phytosociologiques, se fait automatiquement. De cette manière, les recommandations pour le choix des essences présentées dans la figure 11 sont automatiquement actualisées. La description des peuplements, dont la délimitation a subi une modification, doit être contrôlée et adaptée en conséquence. Après avoir confirmé les modifications effectuées, les nouvelles données thématiques, tout comme les données géographiques, sont transférées dans les banques de données de référence. Dès lors, toutes les applications du WIS.2 disposent automatiquement des données actualisées. Concrètement, toutes les informations présentées dans les figures de ce chapitre sont automatiquement actualisées.

6 Discussion

Le WIS.2 a déjà fait ses preuves dans le cadre de l'enseignement de la planification sylvicole à l'Ecole polytechnique fédérale de Zurich (EPFZ). Les étudiants ont en particulier la possibilité d'appréhender le long terme au moyen de la simulation démographique et de se concentrer avant tout au niveau des concepts pour en déduire ensuite les contraintes et les priorités d'intervention au niveau des peuplements. L'élaboration d'un concept leur offre l'occasion de synthétiser leurs connaissances dans un domaine particulier de la sylviculture, par exemple les soins et les éclaircies (cf. *figure 10*). De manière générale, les concepts représentent un moyen de transfert des résultats de la recherche vers la pratique (par exemple les nouveaux concepts de soins et d'éclaircies basés sur la rationalisation biologique, cf. SCHÜTZ 2003a et AMMANN 2004). De part leur portée plus ou moins générale, ils peuvent être mis à la disposition des gestionnaires sylvicoles sous forme de catalogues (cf. point 1 de la *figure 10*). Il en va de même pour les profils sylvicoles. A noter qu'un catalogue de profils sylvicoles fourni permet d'autant mieux de visualiser la diversité de l'utilité que représente un périmètre forestier.

Une particularité du WIS.2 est de travailler avec des données estimées, semi-quantitatives, pour la description des peuplements. Le grand avantage de ce type de données est le peu de temps nécessaire pour leur détermination en regard de leur degré d'information. De plus, certaines caractéristiques sont difficilement mesurables, par exemple la qualité des bois. La problématique de la reproductibilité et de la comparabilité de ce genre de données est très importante. Une étude approfondie à ce sujet sur la description des peuplements reste à faire (par exemple en se basant sur le travail déjà effectué dans le cadre de l'inventaire suisse des forêts, cf. BRASSEL & LISCHKE 2001). A noter que la gestion sylvicole requiert relativement peu d'attributs en considération de sa complexité: avant tout le diamètre dominant (Ddom) et la composition en essences comme description minimale (le stade de développement suffit pour l'analyse sylvicole), puis le degré de recouvrement de la strate principale des peuplements, l'âge, la structure verticale et la qualité des bois. Le degré de recouvrement informe sur la densité des peuplements et les conditions de croissance en sous-bois. L'âge est utile pour la simulation démographique et pour l'estimation de l'utilisation de la capacité de production. La structure verticale informe sur les prestations de service disponibles (habitat, délassement, infrastructure contre les dangers naturels). La qualité est à prendre en compte afin de mettre en valeur les produits d'exploitation. La hauteur dominante n'est pas forcément nécessaire. Elle peut être utilisée comme l'expression des conditions de croissance pour les peuplements. Il serait intéressant de compléter le Ddom d'attributs supplémentaires afin d'estimer la distribution des tiges par catégories de diamètres (cf. thèse de doctorat en cours de Daniel Bierer, voir BIERER & LANZ 2004). Cette information permettrait de pouvoir se représenter l'hétérogénéité d'un peuplement, de mieux évaluer la marge de manœuvre pour le rajeunissement et de déterminer avec plus de précision l'urgence des éclaircies (dominance des arbres de place). Pour l'instant, le WIS.2 ne dispose que de fonctions de croissance linéaires pour les essences principales. L'intégration de fonctions plus détaillées contribuerait aussi à améliorer la précision de l'urgence des interventions et de la marge de manœuvre à disposition, des informations importantes pour le système de production technique selon lesquelles les mesu-

res à exécuter sont déterminées sur une base annuelle en fonction de la situation des marchés.

La gestion des modèles intégrés au WIS.2 et leur mise à disposition des usagers gagneraient en efficacité en y incorporant une banque de modèles. Selon Hinterberger¹¹, la littérature sur ce thème montre cependant que de telles solutions informatiques sont difficiles à développer. En considération de l'importance des modèles pour la gestion des écosystèmes forestiers et de l'absence de solution informatique générique, il serait intéressant et très utile de promouvoir des projets de recherche dans ce sens (cf. notion de «ecoinformatic»). He-ProMo (ERNI *et al.* 2003), un logiciel pour le calcul des coûts d'exploitation, va dans ce sens. Tous les modèles qui le constituent sont disponibles sous forme de composantes qui peuvent être intégrées dans d'autres applications (voir aussi LEMM *et al.* 2002).

Le WIS.2 est un prototype développé pour le Plateau suisse et le système de la coupe progressive. Grâce à sa modularité, il est possible d'étendre son domaine d'application à d'autres régions et à d'autres régimes sylvicoles.

Le WIS.2 suscite déjà un certain intérêt auprès de la pratique. Un cours de deux jours a déjà eu lieu en 2005 dans le cadre de la formation continue forêt et paysage pour les ingénieurs forestiers. Le système va être installé dans au moins une entreprise forestière test (Rheinfelden). Un bureau d'ingénieurs privé (Philipona & Brügger¹²) prévoit de développer une solution commerciale du prototype.

Résumé

Le WIS.2 est un système informatique performant pour une gestion des écosystèmes forestiers ciblée et efficiente, durable, proche de la nature et multifonctionnelle. Ce système d'aide à la décision est constitué de plusieurs applications qui représentent chacune un domaine particulier de la gestion sylvicole d'un périmètre forestier. Il est possible de procéder à l'analyse des caractéristiques principales d'un périmètre, de ses particularités, des possibilités de l'action sylvicole et de ses limites, mais aussi des ressources forestières susceptibles d'y représenter un certain intérêt. Le WIS.2 permet aussi de mettre en œuvre une stratégie d'entreprise en définissant tout d'abord un état cible de l'écosystème en mesure d'assurer durablement la mise à disposition des produits forestiers désirés, puis les concepts d'intervention à partir desquels les mesures à court et à moyen terme sont déduites au niveau des peuplements. Le WIS.2 est conçu de manière telle qu'une adaptation de la gestion sylvicole aux changements puisse se faire relativement facilement et rapidement.

Zusammenfassung

WIS.2: Unterstützung für eine effiziente und zielgerichtete Bewirtschaftung der Waldökosysteme

Das WIS.2 ist ein leistungsfähiges Entscheidungsunterstützungssystem, welches eine zielgerichtete und effiziente, nachhaltige, naturnahe und multifunktionale Waldökosystembewirtschaftung fördert. Es erlaubt die Analyse einer Waldfläche durchzuführen, insbesondere ihre Hauptmerkmale und ihre Besonderheiten zu erkennen, die Möglichkeiten und Grenzen des waldbaulichen Handels zu erfassen, sowie interessante vorhandene oder zu entwickelnde Waldprodukte und -leistungen darzustellen. Weiter unterstützt das WIS.2 die Umsetzung der betrieblichen Strategie: ausgehend von einem definierten Ziel-

¹¹ Communication personnelle, 12 mars 2005.

¹² www.geoforest.ch (19 novembre 2005).

zustand des Waldökosystems werden Eingriffskonzepte erarbeitet und daraus kurz- bis mittelfristige Massnahmen auf Bestandesebene abgeleitet. Das WIS.2 wurde so entwickelt, dass allenfalls notwendige Anpassungen des Waldökosystemmanagements rasch und benutzerfreundlich vorgenommen werden können.

Übersetzung: DENIS RIECHSTEINER

Summary

WIS.2: a powerful software instrument for the efficient management of forest ecosystems

WIS.2 is a powerful software instrument for the management of forest ecosystems, which is targeted, efficient, sustainable, close to nature and multifunctional. This decision support system comprises numerous applications, each of which represents a particular domain of silvicultural management. It is possible to set up an analysis of the principal characteristics of a given domain, its particularities, the possibilities of silvicultural intervention and its limits, but also forest resources that are likely to be of specific interest. WIS.2 also makes it possible to put into place a managerial strategy by starting with a defined targeted state of the ecosystem in order to ensure the sustainable supply of forestry products in accordance with demand, then, concepts of intervention that are determined for the long and medium term according to the conditions of the stands. WIS.2 is conceived in such a way that it can quickly be adapted to accommodate changes in silvicultural management with relative ease.

Translation: ANGELA RAST-MARGERISON

Bibliographie

- ALTER, S. 2003: A work system view of DSS in its fourth decade. *Decision Support Systems*, 38: 319–327.
- AMMANN, P.-L. 2004: Untersuchung der natürlichen Entwicklungsdynamik in Jungwaldbeständen – Biologische Rationalisierung der waldbaulichen Produktion bei Fichte, Esche, Bergahorn und Buche. Diss. Nr. 15761, ETH Zürich, Zürich.
- AMMANN, S. 2003: Strategisches Management im Forstbetrieb. Diss. Nr. 15126, ETH Zürich, Zürich.
- BACHMANN, P. 1990: Produktionssteigerung im Wald durch vermehrte Berücksichtigung des Wertzuwachses. *Berichte der Eidgenössischen Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft* 327: 73.
- BACHMANN, P. 1993: Vorlesung Waldwachstum. Professur Forsteinrichtung und Waldwachstum, ETH Zürich, Zürich.
- BIERER, D.; LANZ, A. 2004: Bestandesinventuren als Grundlage für ein forstbetriebliches Informationssystem. *Safe-Infoblatt*, Nr. 16, 15. Mai: 6–7.
- BOOCH, G.; RUMBAUGH, J.; JACOBSON, I. 1999: *Das UML-Benutzerhandbuch*. Addison Wesley Verlag, München.
- BRASSEL, P.; LISCHKE, H. (Eds.) 2001: *Swiss National Forest Inventory: Methods and Models of the Second Assessment*. Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf.
- DUBOURDIEU, J. 1997: *Manuel d'aménagement forestier*. Lavoisier, Paris.
- ERNI, V.; LEMM, R.; FRUTIG, F.; BREITENSTEIN, M.; RIECHSTEINER, D.; OSWALD, K.; THEES, O. 2003: *HeProMo – Produktivitätsmodelle für Holzernarbeiten*. Windows-Software. Version 1.xx. Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- FEIGHI, J. 1998: Informations- und Metainformationsbedarf für die forstliche Planung im Hinblick auf ein Wald-Informationssystem. *Beih. Schweiz. Z. Forstwes.* 85, Zürich.
- GOOD, E. 1993: Beispiel eines waldbaulichen Betriebsinformationssysteme. *Datenbankentwurf für die Forstbetriebsplanung im Mittelland*. *Schweiz. Z. Forstwes.* 145, 3: 241–250.
- GOOD, E.; PISTOR, T. 1992: *Waldbauliches Informationssystem WIS*, Handbuch. Professur für Waldbau, ETH Zürich, Zürich.
- HANEWINKEL, M. 2004: *Entscheidungen bei Waldumbau und Risiko*. Verlag-Kessel, Remagen-Oberwinter.
- HORAT, S.; BACHMANN, P. 2004: Stand der überbetrieblichen forstlichen Planung in den Kantonen Ende 2003. *Schweiz. Z. Forstwes.* 155, 5: 119–124.
- LEMM, R.; ERNI, V.; THEES, O. 2002: *Komponentenbasierte Softwareentwicklung – neue Perspektiven für forstliche Modellierung und Informationsverarbeitung*. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153, 1: 3–9.
- LEXER, M.J. 2000: Ein multi-attributives Nutzenmodell zur Unterstützung der waldbaulichen Entscheidungsfindung dargestellt am Beispiel sekundärer Fichtenwälder. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 119: 377–394.
- LÜTHY, D. 1998: *Entwicklung eines «Spatial Decision Support» – Systems (SDSS) für die Holzernplanung in steilen Geländeverhältnissen*. Departement Forstwissenschaften, ETH Zürich, Zürich.
- RAUSCHER, H.M.; POTTER, W.D. 2001: *Decision support for ecosystem management and ecological assessments*. In: Jensen, M.E.; Bourgeois, P.S. (Eds.): *A guidebook for integrated ecological assessments*. Springer-Verlag, New York: 162–183.
- RIECHSTEINER, D. 2005: *Konzeption einer integrierten IT-gestützten Planung zur Unterstützung des Managements moderner Forstbetriebe*. Zwischenbericht. Dissertation im Rahmen des WSL-Programmes «Management einer zukunftsfähigen Waldnutzung». Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf.
- ROSSET, C. 2005: *Système de gestion sylvicole intégrée et d'aide à la décision. Le WIS.2, un instrument informatique pour une gestion sylvicole efficiente et ciblée, durable, multifonctionnelle et proche de la nature*. Diss. Nr. 16005, EPF Zurich, Zurich.
- ROSSET, C.; SCHÜTZ, J.-P. 2003: *A DSS as a tool for implementation and monitoring of multiple-purpose, near to nature silviculture*. *Decision support for multiple purpose forestry. A transdisciplinary conference on the development and application of decision support tools for forest management*, Vienna, Austria, University of Natural Resources and Applied Life Sciences.
- SCHÖNSLEBEN, P. 2001: *Integrales Informationsmanagement*. Berlin Heidelberg, Springer-Verlag.
- SCHÜTZ, J.-P. 1990: *Sylviculture 1. Principes d'éducation des forêts*. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne.
- SCHÜTZ, J.-P. 1997: *La sylviculture proche de la nature face au conflit économie-écologie: panacée ou illusion?* *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 1, 4: 239–247.
- SCHÜTZ, J.-P. 1999a: *Close-to-nature silviculture: is this concept compatible with species diversity?* *Forestry* 72, 4: 359–366.
- SCHÜTZ, J.-P. 1999b: *Naturnaher Waldbau: gestern, heute, morgen*. *Schweiz. Z. Forstwes.* 150, 12: 478–483.
- SCHÜTZ, J.-P. 2003a: *Die Prinzipien der Waldnutzung und der Waldbehandlung – Skript zur Vorlesung Waldbau I*. Professur Waldbau, ETH Zürich, Zürich.
- SCHÜTZ, J.-P. 2003b: *Die Technik der Waldverjüngung von Wäldern mit Ablösung der Generation – Skript zur Vorlesung Waldbau II*. Professur Waldbau, ETH Zürich, Zürich.
- SCHÜTZ, J.-P. 2003c: *Polyvalenter Waldbau – Skript zur Vorlesung Waldbau II*. Professur Waldbau, ETH Zürich, Zürich.
- SPRAGUE, R.H.; CARLSON, E.D. 1982: *Building effective decision support systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- SPECKER, A. 2001: *Modellierung von Informationssystemen*. Vdf Hochschulverlag, Zürich.
- VACIK, H. 2000: *Ein entscheidungsunterstützendes System für die Verjüngungsplanung in den Quellenschutzwäldern der Stadt Wien*. *Forstarchiv* 71: 223–233
- WIERZBICKI, A.P.; MAKOWSKI, M.; WESSELS, J. 2000: *Model-based decision support methodology with environmental applications*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- ZEHNDER, C.A. 1998: *Informationssysteme und Datenbanken*. Vdf Hochschulverlag, Zürich.

Auteur

CHRISTIAN ROSSET, Dr. sc. EPFZ, ing. for. EPFZ, Section Gestion de l'utilisation des forêts, WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf. Ingenieurbüro Philipona & Brügger, Müli 1, 1716 Plaffeien. E-Mail: christian.rosset@geoforest.ch, christian.rosset@wsl.ch.