

## STRATEGIE FORESTIERE ET INFORMATION GEOGRAPHIQUE

La mobilisation de la ressource forestière  
dans le massif des Pyrénées

V. CHERET<sup>(\*)</sup>, M. GAY<sup>(\*)</sup>, M. MOREL<sup>(\*)</sup>, P. de MEERLEER<sup>(\*\*)</sup>

(\*)Laboratoire de Télédétection et de Cartographie Numérique

Ecole Supérieure d'Agriculture de PURPAN

75 voie du TOEC 31076 TOULOUSE cedex

(\*\*) Office National des Forêts

Direction Régionale de Midi-Pyrénées

23b Boulevard de Bonrepos 31000 TOULOUSE

**Résumé :** Les études méthodologiques relatives à l'introduction de la technologie des SIG dans la gestion des forêts de montagne ont montré l'adéquation qui existe avec les méthodes de travail des forestiers. Nous présentons l'emploi qui peut être fait de ces outils dans des analyses à moyenne échelle, pour des prises de décisions stratégiques de création de voiries. A grande échelle, les SIG peuvent apporter des informations significatives dans l'établissement des schémas de desserte.

**Mots clés :** SIG, changement d'échelles, stratégie et gestion forestière, environnement, voirie forestière

La gestion forestière mise en oeuvre par l'ONF en zone de montagne est une gestion intégrée. Ce concept recouvre la recherche d'un compromis entre les fonctions parfois contradictoires de la forêt, qui correspondent chacune à l'attente d'une fraction de la société. L'approvisionnement des industries du bois, la prévention des risques naturels et la conservation de certains équilibres écologiques nécessitent la mobilisation de la ressource forestière qui ne peut se concevoir sans un niveau adéquat d'investissement dans la desserte. Cependant, réalisés sans précautions suffisantes, l'exploitation de la forêt et les moyens qui lui sont associés peuvent être la cause de graves préjudices environnementaux (atteintes à la flore, la faune ou le paysage).

Sur le territoire de la chaîne des Pyrénées (versant français des départements de l'Ariège, de la Hte Garonne et des Htes Pyrénées), la surface concernée par la forêt est d'environ 8 000 km<sup>2</sup>. Les choix en matière d'aménagement et d'exploitation forestière se font sur la base d'inventaires de la ressource, de mesures de potentialités stationnelles, d'études des fonctions de prévention des risques, de protection des milieux naturels et des paysages et d'accueil du public. Leur analyse conduit aux décisions stratégiques d'équipement des massifs et à la mobilisation des moyens financiers nécessaires pour leur réalisation.

En étroite collaboration avec l'Office National des Forêts, le Laboratoire de Télédétection et de Cartographie Numérique de l'E.S.A. PURPAN a conduit une série d'études devant permettre l'introduction des outils de cartographie numérique et de gestion de bases de données géoréférencées dans ces procédures de valorisation de la forêt. La double problématique d'analyse stratégique de la ressource et de gestion des aménagements d'un massif nécessite la maîtrise des changements d'échelle en analyse spatiale.

### I - APPROCHE STRATEGIQUE

La mobilisation de la ressource forestière dans les Pyrénées se heurte à des difficultés inhérentes à sa situation de massif de haute et moyenne montagne : dispersion de la ressource, accès difficile du fait du relief, coût élevé de création et d'entretien de la voirie forestière. Les choix en matière de desserte se basent principalement sur la connaissance de la ressource forestière disponible lorsque l'aménagement forestier retient comme objectif la production de bois concurrentement aux autres objectifs de la forêt. Ils nécessitent la réalisation de travaux d'inventaire au niveau de la parcelle.

## 1-1 Environnement technique

Les services techniques de l'ONF ont procédé à l'identification des parcelles de sapin qui doivent être mises en exploitation au cours des dix prochaines années. A chaque fois, ils ont effectué une série d'observations permettant de renseigner différentes rubriques : Propriétaire et Mode de gestion - Volume en sapin et autres essences - Année de passage et Surface à parcourir - Code de pente, de débardage. Les mêmes opérations sont en cours pour les parcelles de hêtres et autres essences.

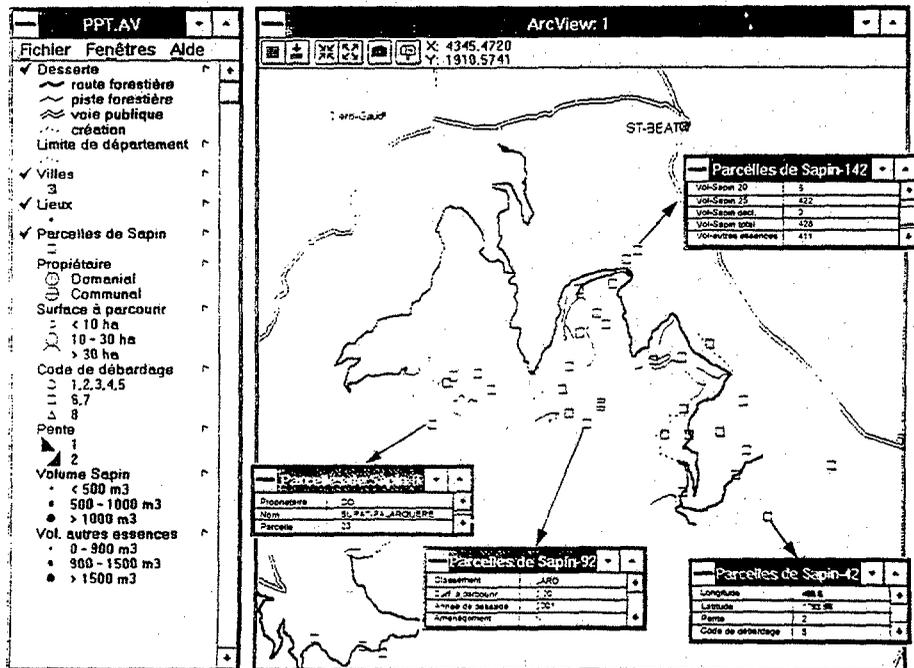
Chaque parcelle a été localisée dans l'espace (identification des coordonnées Lambert III du centre de la parcelle). Toutes ces données sont introduites dans différentes tables d'une base de données relationnelles (Access). Une base de points est constituée avec les coordonnées Lambert des parcelles pour constituer une couverture Arc-Info.

## 1-2 Le produit

Le couple des coordonnées de chaque parcelle sert (i) à la positionner dans un référentiel géographique, et (ii) à rattacher chacun de ces points à l'ensemble des informations contenues dans la base de données. Nous avons complété l'organisation du SIG en introduisant les couvertures suivantes : les limites administratives, les principales agglomérations, la desserte forestière existante. Cette dernière provient de la numérisation des informations des cartes IGN (1:25 000), mises à jour des dernières créations par les techniciens de l'ONF. Cet ensemble de routes et pistes est rattaché au réseau public.

La figure 1 est un exemple des différentes informations auxquelles on peut accéder de manière interactive (Logiciel Arc-View). On retrouve l'ensemble des thèmes qui peuvent figurer sur l'écran ainsi que les différentes rubriques de la base de données attachée à chaque parcelle.

Figure 1 : Visualisation sous ARC-VIEW



### I-3 Exploitation de la base de données

Cette base de données géoréférencées met à la disposition des responsables politiques et administratifs régionaux, un outil d'aide à la décision pour la création de voirie forestière. Une telle présentation qui combine, aux données d'inventaire de la ressource, le réseau de desserte existant permet de développer un raisonnement axé, non plus sur la parcelle, mais sur une notion de massif (ensemble de parcelles bénéficiant d'une desserte commune). On peut alors envisager de mettre en face des kilomètres de routes et de pistes à créer, des volumes de bois qui peuvent être sortis d'un massif.

La possibilité de simulation est la seconde caractéristique de ce produit. Elle est essentiellement liée à la capacité des SIG de prendre en compte la dimension spatiale des objets comme variable explicative. La notion de massif peut se raisonner dans un contexte topologique. La recherche des groupes de parcelles en cohérence avec la mise en place d'un schéma de desserte ne dépend plus seulement d'une notion de topographie. Elle peut considérer des critères comme les volumes de bois, les propriétaires, les années d'exploitation, etc. ...

Enfin, cette approche systémique peut parfaitement prendre en compte d'autres éléments d'aménagement dépendant du réseau de desserte. C'est le cas de la protection de certains biotopes (Parcs Nationaux), du développement du tourisme (randonnées, stations de ski), ou encore de la valorisation des ressources énergétiques. Les contraintes propres à ces éléments peuvent être ajoutées à celles de la récolte de bois pour constituer un outil d'aménagement forestier intégré.

## **II GESTION DE MASSIFS**

Dès lors que le volume de bois d'un nombre suffisant de parcelles justifie leur mise en exploitation, se pose la question du mode de mobilisation du bois sur le massif. A cette fin l'ONF a mis au point une méthode d'établissement d'un schéma intégré de mobilisation du bois dans les massifs de forêt en zone de montagne. Cette méthode intègre un ensemble d'informations à caractère géographique. Elle repose sur une estimation quantitative des contraintes du milieu naturel d'une part, et de données économiques liées à l'exploitation du bois selon le mode de desserte retenu d'autre part.

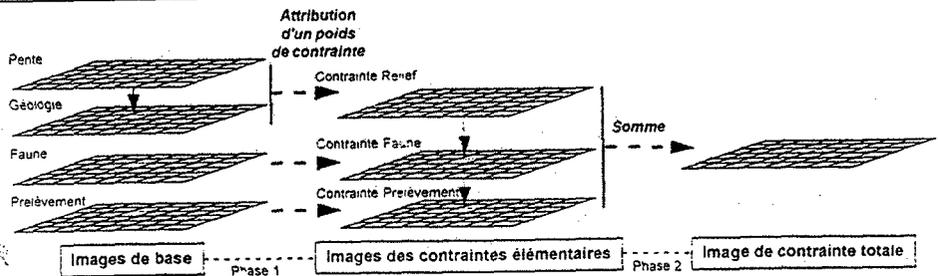
C'est en considérant le caractère géographique de l'information utilisée et le principe de combinaison des données cartographiques que le modèle est apparu généralisable à un SIG.

### II-1 Environnement technique

Le SIG a été développé autour de quatre points : l'acquisition des données spatialisées à grande échelle (1:10 000), la modélisation et l'extraction des données statistiques et enfin la représentation cartographique des données de base et des éléments de synthèse. La première phase consiste en un découpage du massif en zones d'analyse homogènes vis à vis de l'ensemble des critères retenus et en une quantification des contraintes élémentaires. Leur combinaison aboutit à une proposition de contrainte totale au niveau du secteur d'analyse puis au niveau du massif. La nature des données et les outils à notre disposition nous ont conduit à traiter cette phase essentiellement en combinant des couvertures au format raster. Le schéma 1 indique l'organisation de cette phase.

Le massif forestier concerné est découpé en secteurs d'analyse ou ensemble d'unités de gestion élémentaires à l'intérieur desquelles un mode de desserte peut être envisagé de manière indépendante. La modélisation des choix en matière de mode de mobilisation se base sur une notion de poids de contraintes élémentaires et totales pour chacun de ces secteurs d'analyse, et sur un niveau moyen de contraintes pour l'ensemble du massif. Nous avons utilisé la combinaison d'un traitement en mode raster et vecteur pour satisfaire à cette nécessité.

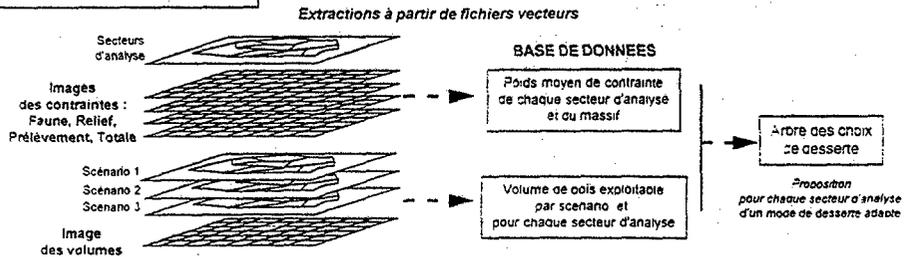
**Schéma 1 : Traitement des images (raster)**



## II-2 Etablissement de schéma intégré de mobilisation du bois

L'étape finale de l'étude est de proposer, pour chaque secteur d'analyse, le mode mobilisation du bois le mieux adapté, compte-tenu des contraintes en présence et des volumes de bois potentiellement exploitables. Sur chaque secteur d'analyse, l'incidence des contraintes va peser sur le mode de mobilisation qui pourra être envisagé (construction de routes et/ou de pistes forestières, utilisation de système de collecte par câble de longueurs variables, combinaison des routes et du câble, etc. ...). Chacun d'eux n'a en effet pas le même niveau d'adaptation aux contraintes en présence : un système par câble est mieux adapté en présence d'un forte contrainte faunistique, un système par route ou piste ne pourra pas être proposé sur des sols friables ou avec des pentes trop forte, etc. ... Le schéma 2 visualise cette démarche.

**Schéma 2 : Extractions statistiques**



Mais chaque mode de desserte peut être caractérisé par une surface de terrain qui pourra ou non être exploitée. La combinaison entre la localisation de ces surfaces, les essences en présence et les volumes mobilisables permet d'obtenir le volume de bois exploitable par mode de mobilisation. Lorsque plusieurs modes de mobilisation sont possibles, le choix final se base sur celui qui autorise le retour économique le plus fort, compte tenu des poids respectifs attribués à chaque contrainte.

## II-3 Avantages spécifiques

Le changement d'échelle qui a été opéré pour cette analyse se traduit non seulement par une amélioration de la finesse de l'analyse spatiale, mais aussi par une analyse thématique

plus complexe. Comme dans le cas précédent le traitement numérique de l'information spatiale conduit à des avantages significatifs par rapport aux approches traditionnelles. On peut citer en premier lieu la **capacité de simulation**, en particulier sur les poids affectés aux différentes contraintes ou à leur ordre de prise en compte. Dans deux cas sur trois (ressource en bois et milieu physique) ces valeurs de contraintes peuvent être mises en rapport quasi direct avec une évaluation économique. La conséquence de faire passer une limite de pente de 45 à 50 % peut être évaluée tant au niveau du surcoût de construction des routes, qu'au niveau du volume de bois supplémentaire qui peut être récolté.

Il n'en va pas de même de la contrainte liée à l'environnement. Dès lors, c'est peut-être un biais de cette méthode que de considérer ce critère comme une variable quantitative. L'introduction d'une dimension d'analyse conditionnelle devrait être envisagée.

### III DISCUSSION

#### SIG et démarche forestière

Nous avons repris la démarche que les forestiers développent lors de l'aménagement d'un massif de forêts en zone de montagne. Tout d'abord une **identification de la ressource exploitable** par un **travail d'inventaire** pour savoir s'il y a un intérêt à réaliser la mise en exploitation. C'est une collecte de données qui porte essentiellement sur des données dendrométriques. L'information géographique est de nature essentiellement qualitative, renseignant l'environnement des parcelles : existe-t-il des moyens de communication ? A quelle distance ? De quelle nature ? Etc. ... Grâce à la localisation de chaque parcelle, nous avons développé un ensemble de relations qui permettent une analyse d'opportunité par massif.

Dans le cas de cette analyse à moyenne échelle, les éléments de la prise de décision sont constitués par les données relatives à la ressource en bois. Les éléments spatiaux liés à la desserte ne constituent qu'un des éléments de la prise de décision. Ce sont des éléments essentiellement qualitatifs. Dès lors, le nombre de couvertures mises en jeu est réduit.

La seconde analyse procède d'un changement d'échelle qui se traduit par une **approche analytique** devant déboucher sur des **propositions concrètes d'aménagement** : le choix des modalités de mise en oeuvre de la mobilisation du bois. L'information géographique joue ici un beaucoup plus grand rôle. L'élargissement du champ de contraintes, l'augmentation de la précision de l'analyse conduisent à définir des objets spatiaux et les éléments géographiques qui interviennent sur eux. Nous avons choisi les zones d'analyse comme objets spatiaux puisqu'elles constituent l'élément de base de la gestion des massifs par les forestiers.

Puis, l'utilisation d'un modèle de fonctionnement permet de réaliser des simulations d'exploitabilité de la forêt selon les scénarios de mobilisation envisagés. Chacun de ces scénarios doit permettre de respecter ou de s'adapter au mieux aux contraintes en présence. La mise en oeuvre d'un système d'information géographique conduit à un produit d'inventaire et de gestion permettant de développer un aménagement intégré d'un massif pour en mobiliser sa ressource forestière.

#### Apport spécifique de l'information géographique

Lorsque l'on analyse les procédures de mise en valeur des massifs forestiers, il est intéressant de considérer que la gestion de la forêt est plus particulièrement **sensible à l'influence de l'espace**. Le facteur temps est moins important que pour d'autres productions agricoles. Cette gestion de l'espace nécessite une approche systémique dans laquelle la définition du fonctionnement des objets spatiaux de gestion du territoire résulte d'une combinaison d'un nombre important de facteurs élémentaires. Dès lors, les SIG constituent des outils capables de gérer des objets spatiaux dans le contexte d'un modèle de fonctionnement.

Mais la maîtrise de l'espace nécessite aussi celle des changements d'échelles. Au-delà des problèmes techniques liés au positionnement des objets spatiaux lors du changement d'échelle, il convient d'insister sur les conséquences du changement d'échelles sur les thèmes utilisés ou prioritaires. Dans le cas de l'identification des massifs (échelle intermédiaire), les données spatiales sont peu nombreuses et d'un accès facile. Elles n'entrent, dans la prise de décision, que sous leur aspect qualitatif. Les données statistiques collectées lors des inventaires de terrain constituent les éléments de base. L'approche géographique permet surtout leur visualisation et la restitution du résultat des requêtes.

Dans le cas de l'analyse à grande échelle, la situation est totalement différente. Ce sont les données spatiales qui constituent les éléments de base du fonctionnement du modèle d'analyse. Elles alimentent le modèle d'analyse du territoire. Les données statistiques sont la résultante de ces traitements. On retrouvera, pour cette échelle, toutes les difficultés liées à la collecte, l'organisation et le traitement des données spatiales.

## CONCLUSION

Cette étude méthodologique sur l'utilisation des SIG pour la gestion forestière a été effectuée lors des travaux de réflexion sur l'établissement de la stratégie forestière du Conseil Régional de Midi-Pyrénées. Cette méthode est aujourd'hui utilisée dans le cadre de la mise en oeuvre de cette stratégie. Au niveau de la chaîne des Pyrénées, la base de données est élargie à d'autres essences et d'autres modes de propriétés. Des schémas intégrés de mobilisation des bois seront étudiés dès cette année sur deux ou trois nouveaux massifs.

Nous envisageons de chercher maintenant l'ouverture de la base de données géographiques vers une gestion du transport des coupes vers les sites d'utilisation. Il sera alors nécessaire de mettre en place une analyse de type réseau reliant les sites de coupes de bois au lieu d'utilisation en prenant en compte les contraintes propres à cette connexion.

Quoi qu'il en soit le SIG est bien adapté à l'un ou l'autre des traitements, mais le rôle de l'expert reste prépondérant au niveau de la définition des couvertures qui doivent entrer dans le modèle, des modalités de leurs combinaisons et des seuils des différentes classes envisagées.

ARCHAMBAULT(L),BEDARD (Y),-Géomatique et SIRS en foresterie -*Formation continue*, cours N°17 - Ordre des ingénieurs forestiers du Québec-Canada, 1990 -10p

CHERET (V), GAY (M),- Stratégie forestière et information géographique. Mise en place d'un outil d'aide à la décision pour l'établissement d'une stratégie forestière régionale - *Rapport d'étude* - 1994 - 18p et annexe

CHERET(V), GAY (M),- Utilisation d'un SIG pour l'élaboration d'un schéma de desserte - *soumise à la Revue Forestière Française* -1995

DE MEERLEER (P), MAGRUM (M),- Etude expérimentale de la mobilisation des bois dans un massif de montagne. Massif de Melles.- *Rapport interne ONF*, 1992 - 34 p

JOLLY (A), GUYON (D),- Possibilités de suivi par un SIG de la gestion de la forêt traitée en futaie régulière.- *Revue Forestière Française*, XLV 1993 pp108-121

SERA (E), THUM (P), VENTURA (S), NIEMANN (B),- Evaluating the relationship between agricultural forest management and environmental quality using a multipurpose LIS - *American Congress on Surveying and mapping ALSM*,1990 - 3 pp261-269

Evolution curves of NDVI for any parcel are defined by the interpolation of NDVI values coming from the 4 SPOT-HRV images.

Table 2 : Results with equation (3)

3/09	ground	MST	MST
	MST	equation (2)	equation (3)
Parcel 1	22.23 t/ha	20.01 t/ha	24.84 t/ha
Parcel 2	15.41 t/ha	16.94 t/ha	10.23 t/ha
Parcel 3	19.86 t/ha	19.27 t/ha	23.76 t/ha
Parcel 4	16.86 t/ha	17.79 t/ha	24.15 t/ha

Values coming from the equation (3) are similar to the values from the equation (2) but deviations are significant and variable depending on parcels. For parcels 1, 3 and 4, the model (3) overestimates MST: NDVI evolution curves which are greater than mean NDVI curves (observed NDVI) defined from ground surveys of classifications (Fig.1). For parcel 2, the underestimation can result from the minimum NDVI (0.52 in 1<sup>st</sup> May) too high to be a bare soil value (minimum mean NDVI = 0.29 on the 1<sup>st</sup> May on the site). Moreover, NDVI values during the integration period are inferior to the mean values (Fig.1). 2 images at disposal during the vegetative period (10/07 and 3/09) is very low in order to work correctly on the crop growing evolution. This study done only on 4 parcels demonstrates that NDVI evolution curves have to be as precise as possible. The definition of such curves from 4 images is inadequate in order to estimate MST.

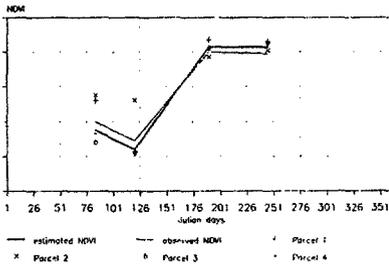


Figure 1 : Evolution of NDVI concerning maize (1994)

At scale of the parcel, this study displays limits of data such as NDVI at a few dates in an estimation model of dry matter. It is necessary to obtain temporal evolutions from high temporal resolution data. At middle scale, it is essential to work with a temporal evolution of the radiometric behaviour of a particular crop in order to use the production model for this crop. Therefore, it is interesting to combine a model like the unmixing model of low spatial resolution signal (equation 1) with productivity model (equation 3).

- In order to measure extrapolation degree of the model (equation 3), MST has been estimated by the introduction in equation (3) of mean NDVI coming on one hand from radiometric values of ground surveys (observed NDVI) and on the other hand, from the unmixing model (estimated NDVI). For the site, 2 estimated mean MST values for the 3/09 (integration period: from 158<sup>th</sup> to 246<sup>th</sup> day) have been found. With observed NDVI, MST value is equal to 19.77 t/ha and with estimated NDVI, it is equal to 23.01 t/ha. These results are encouraging because they are similar for the 4 parcels. It is noted that an even low overestimation of estimated NDVI compared to observed NDVI (Fig.1) during vegetative cycle, can involve consistent MST overestimation. At this scale, the experiment conditions (only 4 parcels for assessment, not many images for the definition of evolution curves) and practice

conditions on conversion efficiency need to be improved if these models have to be used in operational context.

#### 4. CONCLUSION

This study confirms the advantages of the unmixing model of low spatial resolution signal (agronomic hardness, extrapolation in time and space) when the studied theme takes up more than 5% of landuse surface.

Remote sensing data coming from the previous step are interesting for their integration in production models of dry matter. But new experiments with more measures (more reference parcels and more satellite data during vegetative cycle) will be necessary in order to assess the model.

#### ACKNOWLEDGMENTS

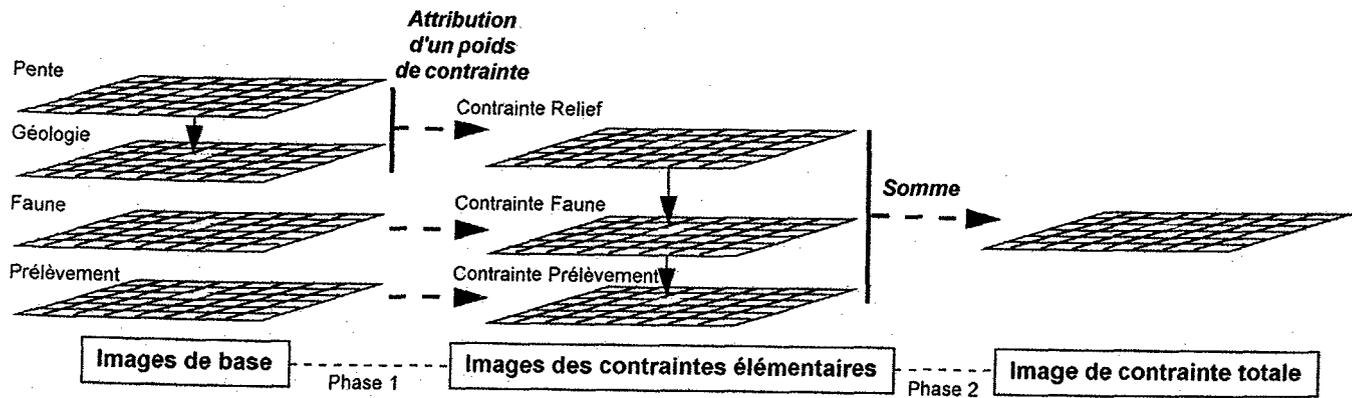
This research has been supported by the Centre National d'Etudes Spatiales (CNES).

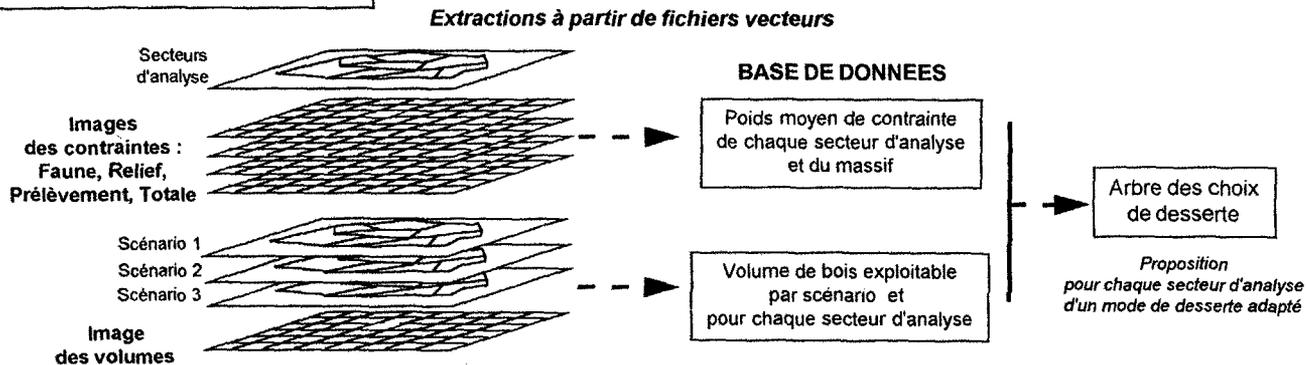
The used images for this study are coming from the Action IV in the MARS project. They have been gracefully provided by SOTEMA with the authorization of P. VOSSSEN from CCR.

#### BIBLIOGRAPHY

- [1] S. Cherbali and G. Flouzat, Relationships between reflectances at coarse and fine resolutions on heterogeneous landscapes, in Proc. IGARSS '93, vol 2, pp 408-411, Tokyo, August 1993.
- [2] P. Puyou-Lascassies, Surveillance des comportements radiométriques en paysage agricole hétérogène avec des données satellitaires à haute et basse résolution spatiale. Thèse de Doctorat, U.P.S., Toulouse, 1994.
- [3] S. Cherbali, Contribution à la résolution du problème du pixel mixte en vue de l'amélioration de l'estimation de la productivité primaire nette en zone sahélienne (couplage haute et basse résolution spatiale), Thèse de Doctorat, U.P.S., Toulouse, 1995.
- [4] M. Guérif, Utilisation des indices de végétation issus de données SPOT pour estimer la biomasse et le rendement de cultures de blé dur, Bul. S.F.P.T. n°114, 1989, pp 49-52.
- [5] C. Varlet-Grancher, R. Bonhomme, M. Chartier and P. Artis, Efficience de la conversion de l'énergie solaire par un couvert végétal, *Acta Oecologica, Oecol. Plant.*, vol. 3, n° 7, 1982, pp 3-26.
- [6] C. Vignolles, P. Puyou-Lascassies and M. Gay, setting of a method of coarse resolution signal deconvolution in order to establish profiles of vegetation index evolution - Measurement of time effect, in Proc. of the 6th AVHRR data users' meeting, pp 285-292, Belgirate (Italy), 29th June-2th July 1993.
- [7] G. Gosse et al, Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal, *Agronomie*, vol. 6, 1986, pp 47-56.
- [8] F. Ruget, R. Bonhomme, and C. Varlet-Grancher, Analyse de la fonction de photosynthèse dans CERES-maize in Colloquium of maize physiology, pp 427-435, Pau (France), 13-15 Nov 1990.
- [9] M. Guérif, S. de Brisis, and B. Seguin, Combined use of earth observation satellites and meteorological for crop yield assessment in semi-arid environments, 42nd IAAC, Montreal, 7-11 October 1991.
- [10] M. Guérif et al, Estimation de la biomasse et du rendement de cultures de blé dur à partir d'indices de végétation SPOT, 4th Inter. Coll. on Spect. Sign. in Rem. Sens., pp 137-141, Aussois (France), 18-22 January 1988.
- [11] F. Ruget, M. André, and J. Massimino, Evolution de la respiration et croissance au cours d'un cycle de végétation de maïs cultivé en chambre de mesure, *Physiol. Veg.*, 19.2, 1981, pp 277-299.
- [12] J.L. Hatfield, G. Asrar and E.T. Kanemasu, Intercepted photosynthetically active radiation estimated by spectral reflectance, *Remote Sensing of Environment*, n°14, 1984, pp 65-75.

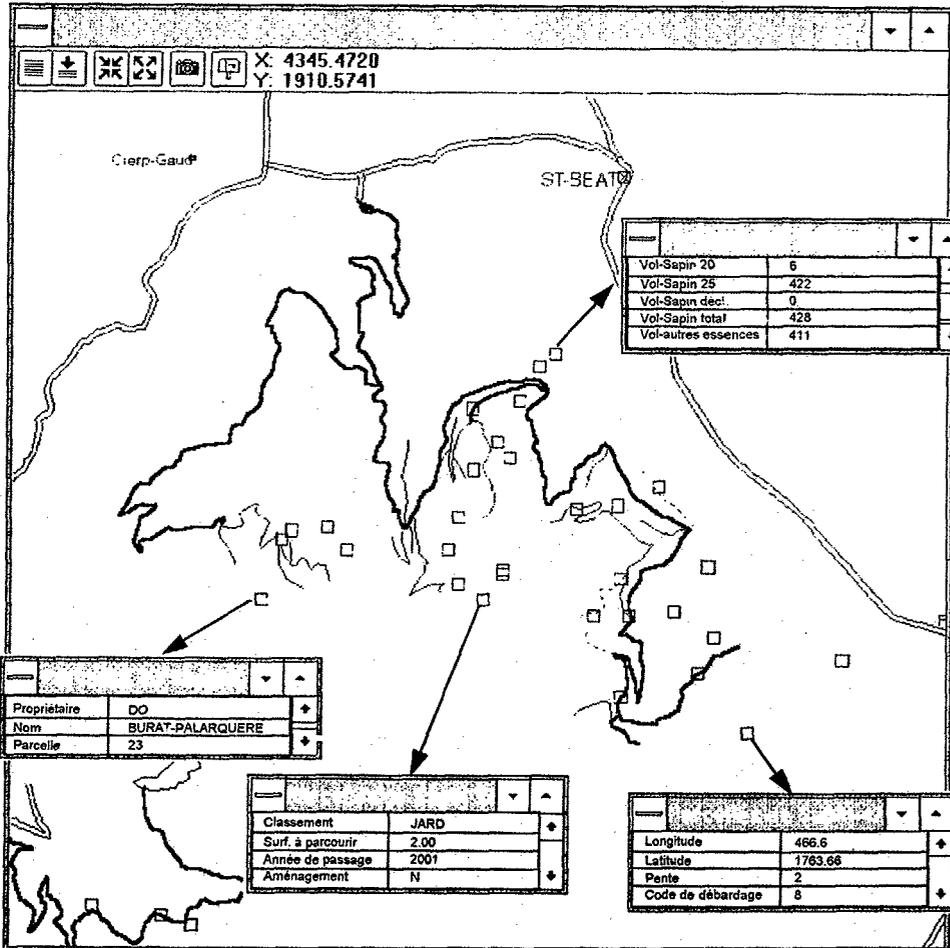
### Schéma 1 : Traitement des images (raster)



**Schéma 2 : Extractions statistiques**

Fichier Fenêtres Aide

- ✓ Desserte
  - ~ route forestière
  - ~ piste forestière
  - ~ voie publique
  - ~ création
- Limite de département
- ✓ Villes
  - ⊠
- ✓ Lieux
  -
- ✓ Parcelles de Sapin
  -
- Propriétaire
  - ⊕ Domaniale
  - ⊕ Communal
- Surface à parcourir
  - < 10 ha
  - 10 - 30 ha
  - > 30 ha
- Code de débardage
  - 1,2,3,4,5
  - 6,7
  - △ 8
- Pente
  - ▲ 1
  - ▲ 2
- Volume Sapin
  - < 500 m3
  - 500 - 1000 m3
  - > 1000 m3
- Vol. autres essences
  - 0 - 900 m3
  - 900 - 1500 m3
  - > 1500 m3



Vol-Sapin 20	6
Vol-Sapin 25	422
Vol-Sapin decl.	0
Vol-Sapin total	428
Vol-autres essences	411

Propriétaire	DO
Nom	BURAT-PALARQUERE
Parcelle	23

Classement	JARD
Surf. à parcourir	2.00
Année de passage	2001
Aménagement	N

Longitude	466.6
Latitude	1783.66
Pente	2
Code de débardage	8