

# **SPATIAL CHARACTERIZATION OF LAND USE IN THE VITICULTURAL MAIPO VALLEY (CHILE), USING ASTER IMAGE DIGITAL PROCESSING**

## **CARACTERISATION SPATIALE DE L'OCCUPATION DU SOL DE LA VALLEE VITICOLE DU MAIPO (CHILI) A L'AIDE DE TRAITEMENTS D'IMAGES SATELLITALES ASTER**

P. PARRA<sup>1</sup>, E. VAUDOUR<sup>1</sup>, M. C. GIRARD<sup>1</sup>, E. HOLZAPFEL<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Institut National Agronomique Paris-Grignon -UFR AGER/DMOS - Centre de Grignon BP01 - 78850 Thiverval-Grignon – France

mailto : [parra@grignon.inra.fr](mailto:parra@grignon.inra.fr) - <http://lacan.grignon.inra.fr>

<sup>2</sup>Entreprise Viticole Concha y Toro - Gerencia Agrícola - Tel : 56 2 8217400 - Avenida Nueva Tajamar 481, Torre Norte, oficina 306 – Santiago - Chile

**Mots-clés** : occupation du sol, sol, télédétection, vallée du Maipo, SIG, appellation d'origine

**Key words** : land use, soil, remote sensing, Maipo Valley, GIS, appellation of origin

### **RESUME**

L'entreprise viticole Concha y Toro S.A. gère environ 600 ha de vignes dans la Vallée du Maipo (A.O. Valle del Maipo). L'objectif est celui de caractériser spatialement ces vignobles et leur occupation du sol environnante. Le choix s'est porté vers la démarche de zonage viticole par l'analyse spatiale, utilisant des traitements d'images satellitaires afin d'avoir une vision synoptique de la zone à moindres coûts et délais. Un système d'informations géographiques (SIG) est construit à partir des données suivantes : cartes topographiques, géologique, fond cadastral numérique, images satellitaires. Un modèle numérique de terrain est par ailleurs construit à une résolution de 25 m à partir des cartes topographiques. Deux images Aster (résolution de 15 m) prises au mois d'octobre 2000 et janvier 2001 ont été choisies. Une cartographie de l'occupation du sol a été effectuée sur l'image satellitaire de janvier nous permettant par ailleurs d'actualiser les cartes topographiques datant de 1974, en raison notamment de l'expansion urbaine de la ville de Santiago en périphérie des vignes. Par ailleurs, l'étude diachronique mise en oeuvre conduit à analyser les comportements spectraux des vignes et des sols et leur évolution spectrale entre les deux dates retenues.

### **ABSTRACT**

Concha y Toro S.A. wine enterprise controls about 600 hectares of vineyards in the Maipo Valley (A.O. Valle del Maipo). Our purpose is to carry out a spatial characterization of vineyards and their surrounding land use, based on spatial analysis and using satellite image processing which enables to get a broad synoptic vision of the area at low cost. A geographic information system (GIS) is built with the following data: topographic maps, geological maps, digital cadastral database and satellite images. A digital elevation model (DEM) is made from the topographic maps at a 25 meters-resolution. Two high resolutions Aster images (15 meters) captured in October 2000 and January 2001 were chosen. Land use is spatially



characterized using the January image. It enables us to update the land use cover extracted from the topographic maps and dating 1974, especially because of the urban sprawl of the city of Santiago amongst vines. More, the image diachronic study leads to analyze the spectral behavior of vine and soil and its evolution from January to February 2001.

## INTRODUCTION

Depuis quelques années, des outils d'analyse spatiale tels que les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG) et les images de télédétection permettent aux agriculteurs de mieux gérer leurs ressources (GIRARD et GIRARD, 1999). Divers travaux récents utilisant ces outils et orientés vers l'étude de la végétation de la vigne (JOHNSON, 1996), la caractérisation des états de surface de sols viticoles à très haute résolution (WASSENAAR, 2001) ou encore le zonage des terroirs viticoles (DOLEDEC, 1995 ; VAUDOUR, 2001) ont été réalisés. En particulier, la télédétection spatiale s'avère un outil intéressant pour la gestion viticole permettant de caractériser le milieu viticole sur des surfaces de plusieurs milliers voire dizaines de milliers d'ha (SANTIBANEZ et al., 1999 ; VAUDOUR *et al.*, 2000).

Cette étude est commanditée par l'entreprise viticole «Concha y Toro » qui gère environ 600 ha de vignes plantées principalement en cépage Cabernet Sauvignon dans les domaines viticoles de Pirque, Tocornal, Mariscal et Santa Isabel situés au sein de la Vallée du Maipo (A.O. Valle del Maipo). Les objectifs sont les suivants : d'une part, caractériser radiométriquement et spatialement l'occupation du sol de la Vallée du Maipo ; d'autre part, analyser les évolutions radiométriques des canopées des vignes plantées pour la période comprise entre les mois d'octobre 2000 et janvier 2001.

## MATERIEL ET METHODES

### 1.1 Zone d'étude : la Vallée du Maipo

La Vallée du Maipo, traversée tout au long par le fleuve qui lui donne son nom, comprend l'une des plus anciennes zones viticoles du Chili avec plus de 8 043 ha plantées en vignes (LE BLANC, 2000). Son relief s'organise selon un gradient est-ouest, variant d'environ 1000 mètres d'altitude au piémont de la cordillère des Andes à l'est, jusqu'à près de 400 mètres au piémont de la Cordillère de la Côte à l'ouest. L'objet de cette étude est un secteur de la vallée d'une superficie d'environ 30 000 ha, localisé dans la périphérie sud-est de la ville de Santiago (Fig. 1.).

La Vallée du Maipo est caractérisée par des dépôts holocènes et pléistocènes (fluviaux, fluvio-glaciaires et alluviaux), constituant différents niveaux de terrasses (THIELE, 1980). Les sols, des «Fluventic Haploxerolls » (Mollisols) qui appartiennent à la série dite «Maipo » (CIREN, 1996), sont profonds, de texture franche, bien structurés, et présentent superficiellement et en profondeur, des éléments grossiers tels que graviers, cailloux, pierres et blocs.

Le climat est de type méditerranéen (PSZCZOLKOWSKI, 2000) c'est-à-dire à saisons contrastées où les étés sont chauds et secs et les hivers pluvieux, les variations saisonnières étant sous l'influence de l'anticyclone du Pacifique dont le déplacement vers le sud pendant l'été induit une quasi-absence de nuages entre les mois d'octobre et mars (MORALES, 1997), offrant ainsi à la culture de la vigne plus de 2 400 heures d'insolation annuelle. La température moyenne annuelle est de 14°C et s'accompagne d'une pluviométrie moyenne faible de 350 mm/an. Les températures influencées par la cordillère des Andes d'où



proviennent des courants d'air froid, sont marquées par des amplitudes thermiques journalières atteignant parfois 20° C. Les températures maximales atteignent 30° C.

## **1.2. SIG et traitements numériques des images**

Afin d'intégrer les différentes données dont on dispose dans un SIG, le système de projection UTM (zone 19 South) muni du datum sud-américain de 1969 a été choisi comme référence. Il a fallu numériser et géoréférencer les données suivantes : deux feuilles topographiques de l'Institut Géographique Militaire du Chili (IGM) au 1/25 000<sup>e</sup>, comprenant les secteurs de Pirque et Puente Alto ; carte géologique de Santiago au 1/250 000 (THIELE, 1980) ; fond cadastral numérique des vignobles de Concha y Toro à l'échelle du 10 :000 comportant les informations suivantes pour chaque parcelle plantée : surface, cépage, rendement annuel (tonnes/ha), type d'irrigation appliqué, densité de plantation, année de plantation, distance entre rang et distance entre ceps, enherbement ; un modèle numérique d'altitude (MNA) au pas de 25 m, construit à partir de la digitalisation des courbes de niveau des cartes topographiques ; deux images satellitaires ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) à la résolution spatiale de 15 m, fournies par le Centre des données d'observation des ressources terrestres du Service Géologique des Etats-Unis (USGS-EOS DC, United States Geological Service-Earth Resources Observations Systems Data Center).

Deux images ASTER ont été retenues, celles du 9 octobre 2000 et 13 janvier 2001, le choix des dates de prises de vue s'appuyant principalement sur l'expertise des viticulteurs de la cave et le taux de couverture nuageuse. En effet, ce choix vise à caractériser le comportement spectral de la vigne, à travers une étude diachronique entre les stades du débourrement et de la véraison. Les traitements d'images se focalisent sur les bandes spectrales du visible, respectivement b1 (0.52-0.60 µm), b2 (0.63-0.69 µm) et b3 (0.76-0.86 µm).

### **1. 2.1. Démarche de caractérisation de l'occupation du sol**

La ville de Santiago s'urbanise de façon croissante depuis une vingtaine d'années, au point que les domaines viticoles de Mariscal et Tocornal se retrouvent aujourd'hui en pleine zone urbaine. Un masque géographique a donc tout d'abord été réalisé sur la banlieue sud-est de la ville de Santiago pour les images traitées en s'appuyant sur les données du cadastre numérique, sur la carte topographique ainsi que sur l'interprétation visuelle de l'image. Une classification ISODATA (GONZALES et WOODS, 1995, CHUVIECO, 1990) en 25 classes a été réalisée sur la portion non masquée de l'image IRC du 13 janvier 2001. Des regroupements radiométriques successifs nous ont permis de retenir finalement 8 classes d'occupation du sol.

### **1. 2.3. Etude diachronique de l'évolution radiométrique des sols viticoles**

Une étude diachronique de l'évolution radiométrique des sols viticoles est réalisée à partir de 2 images (9 octobre 2000 et 13 janvier 2001) proches des dates indiquées par les techniciens viticoles pour les stades repères de la végétation. Selon les renseignements communiqués par les techniciens viticoles, 20-30% au plus de la superficie des parcelles viticoles est couverte de végétation chlorophyllienne au mois d'octobre, du fait du démarrage de la végétation de la vigne : le comportement spectral d'une parcelle de vigne est donc très proche de celui du sol nu qui la caractérise (GIRARD, 1995). D'autre part, les pratiques de rognage sur l'ensemble des domaines viticoles «Concha y Toro », conduisent à retenir une image, prise à une date



susceptible de présenter une couverture végétale maximale, c'est-à-dire à une date avancée du cycle végétatif, telle que celle du 13 janvier 2001.

L'étude diachronique nécessite la superposition des 2 images dans le référentiel géographique : un géoréférencement minutieux doit permettre de limiter les erreurs géométriques associées à une telle superposition, et conduisant au risque d'interpréter à tort des changements temporels. Afin de focaliser l'étude diachronique sur les seuls domaines viticoles de Mariscal, Tocornal, Pirque et Santa Isabel (58, 160, 122 et 136 ha respectivement), un masque géographique déduit du fond cadastral vectoriel des vignes a été appliqué aux deux images (soit 23 892 ha). Des classifications par maximum de vraisemblance et des regroupements basés sur les comportements spectraux et les statistiques des classes nous ont conduit à retenir 12 classes pour chacune des 2 dates.

## RESULTATS

### 2.1. L'occupation des sols de la Vallée du Maipo

La cartographie de l'occupation des sols nous permet de décrire le contexte spatial des domaines viticoles étudiés. L'image satellitaire traitée permet tout d'abord de reconnaître deux grandes zones divisées par le fleuve Maipo. La première, celle de la rive nord du fleuve, présente principalement des surfaces urbaines (4 221 ha, soit 13,2 % de la surface totale) et des zones de transition urbain-rural, avec un comportement spectral caractéristique d'un mélange sol-végétation qui est présent de façon généralisée sur toute l'image classée (10 281 ha). Les domaines de Mariscal et Tocornal sont situés dans ce contexte à la limite sud-est de la ville de Santiago. Quelques zones seulement présentant un comportement spectral caractéristique de cultures chlorophylliennes se trouvent en bordure du fleuve au sein de cette 1<sup>ère</sup> zone. La seconde zone, localisée dans la rive sud du fleuve et comportant les domaines de Pirque et Santa Isabel, se caractérise par la présence de vergers (3 490 ha) principalement vers le piémont de la cordillère des Andes, de cultures chlorophylliennes (2 836 ha) telles que surtout maïs et luzerne, de forêts (2 580 ha) sur les versants de la cordillère des Andes, ainsi que de sol nus (8 563 ha, principalement des sols clairs et moyens.

### 2.2. Etude diachronique des sols viticoles

L'ensemble des domaines viticoles étudiés couvre 476 ha. Sur l'image du 9 octobre, on distingue parmi les 12 classes retenues, 10 classes de sol nu (386 ha) allant des sols très clairs (14 ha) aux sols clairs (151 ha) et sols moyens (235 ha). Les 2 autres classes, couvrant 48 ha, présentent un comportement spectral caractéristique d'un mélange sol-végétation (Tableau 2). Les parcelles présentant ce comportement spectral au mois d'octobre sont interprétées comme étant celles enherbées un rang sur deux, ce qui est le cas dans quelques parcelles des domaines viticoles de Pirque, Tocornal et Santa Isabel.

Sur l'image du 13 janvier 2001, on distingue tout d'abord 3 classes de sols nus sur 73 ha environ, correspondant à des sols clairs. En particulier, les classes «sol clair-1, 2 et 3 » (73 ha) sont situées dans le vignoble de Mariscal : ce vignoble qui correspond à une jeune plantation de cabernet sauvignon datant de 2000 présente bien un recouvrement foliaire minimal. Par ailleurs, un 2<sup>e</sup> groupe réunissant 5 classes présentant un comportement spectral d'un mélange sol-végétation couvre 252 ha environ. Quatorze ha de ce groupe présentant un comportement spectral chlorophyllien correspondent à des parcelles d'essais de portes greffes suivies par la cave. Rappelons qu'au mois de janvier, les vignes sont au stade de la véraison : plantées à une hauteur de 1 m et taillées en guyot double, elles ont subi des interventions



limitées à la partie inférieure de leur canopée et donc vraisemblablement sans effet vis à vis de l'observation faite par le capteur satellitaire.

Les techniciens viticoles de «Concha y Toro» estiment que l'expression foliaire de la vigne est au maximum dans leur vignoble. Parce que 80 % des vignes étudiées sont plantées à une distance de  $2,5 \text{ m} \times 1 \text{ m}$  et 100% à une distance minimale de  $1,8 \times 1 \text{ m}$ , avec une épaisseur moyenne de 50 cm, le taux de recouvrement par la végétation de la vigne demeure assez faible pour une résolution spatiale de 15 m et ne dépasse pas 27 % de la surface d'un pixel Aster au sol.

## VALIDATION-DISCUSSION

Le tableau de séparabilité des classes exprime la séparabilité «a priori» des pixels utilisés pour définir les noyaux d'apprentissage pour chaque classe établie (Girard et Girard, 1999). Les noyaux choisis pour la caractérisation des vignes sur l'image du 9 octobre l'ont été correctement sauf ceux qui représentent les classes 9 (parmi les 168 pixels choisis, 106 se retrouvent également classés dans la classe 5), 15 (parmi les 228 pixels choisis, 79 se retrouvent également classés dans la classe 10), et 17 (parmi les 130 pixels choisis, 97 se retrouvent également classés dans la classe 12), qui présentent une double appartenance. Néanmoins, s'agissant de classes avec des comportements spectraux différents, mais avec des valeurs voisines dans le proche infrarouge, ces classes ont été retenues (tableau 2).

D'autre part, les noyaux choisis pour l'image du 13 janvier le sont aussi correctement. En effet, seule la classe 9 («sol moyenvg3») présente un nombre important de pixels classés dans une autre classe (parmi les 117 pixels choisis, 56 se retrouvent également classés dans la classe 18). Il s'agit aussi de deux classes présentant des comportements spectraux différents mais avec des valeurs similaires dans la bande du proche infrarouge, donc les classes ont été gardées (tableau 3).

Les experts de la cave viticole distinguent actuellement deux groupes de «sols» dans leur domaine. Les données disponibles dans cette étude permettent de faire l'hypothèse de l'existence de davantage d'unités de sols viticoles (que l'on dénombre entre 7 et 10), présentant des conditions d'encépagement et de modes de conduites identiques. Ainsi, sur les 386 ha identifiés comme 10 classes de sol nu au mois d'octobre, 252 ha manifestaient des variations de comportement spectral de la vigne au moment de la véraison sur l'image de janvier à travers 5 classes décrivant un mélange «sol-végétation». Par ailleurs, le Modèle Numérique d'Altitude construit et ses dérivées apportent des informations pertinentes pour renseigner les esquisses cartographiques de l'occupation du sol, mais il s'avère grossier pour l'étude détaillée de chaque domaine viticole. La zone d'étude étant localisée dans une plaine, mais présentant des différents niveaux de terrasses (particulièrement dans le domaine de Pirque), un modèle numérique d'altitude construit à partir d'un couple stéréoscopique des photographies aériennes et une étude pédologique détaillée des vignobles permettraient d'isoler des unités potentielles de terroir et sont envisagés pour la suite de cette étude.

## CONCLUSION

Les traitements d'images satellitaires Aster réalisés dans cette étude nous ont permis de mieux comprendre l'insertion spatiale des domaines viticoles de la cave Concha y Toro dans la Vallée du Maipo. A travers la cartographie de l'occupation du sol, on distingue la rive nord du fleuve Maipo très urbanisée avec notamment les domaines de Mariscal et Tocornal insérés au milieu de la ville, de la rive sud du fleuve correspondant principalement à des sols clairs, aux vergers, cultures chlorophylliennes ainsi qu'à une zone de transition sol – végétation.



L'étude diachronique des sols viticoles conduit par ailleurs à formuler l'hypothèse de l'existence d'unités de sols plus nombreuses que celles déjà reconnues par les vignerons, du fait de la présence de 10 classes différentes de sol nus au mois d'octobre, de leur localisation spatiale dans la vallée et des différences spectrales perçues pour les différentes parcelles de vignes au moment de la véraison.

Ce travail nous a permis d'acquérir des précieuses données sur la vallée du Maipo et les vignobles de Concha y Toro. Par la suite, des observations de terrain, la construction d'un modèle numérique d'altitude à partir d'un couple stéréoscopique des photographies aériennes et une étude pédologique détaillée des vignobles sont envisagés dans le but d'isoler des unités potentielles de terroir.

## REMERCIEMENTS

Ce travail a bénéficié des données satellitaires ASTER fournies par le Service Géologique National des Etats Unis, USGS EDC (Earth Resources Observations Systems Data Center). Les auteurs tiennent à remercier le Dr. Michael Abrams de l'équipe ASTER-Japon pour l'image du 9 octobre 2001 ainsi que M. Eduardo Holzapfel, de la cave Concha y Toro, pour ses précieuses informations sur le vignoble.

## BIBLIOGRAPHIE

CIREN (1996). Estudio Agrologico region metropolitana Santiago. *Publicacion CIREN*, n° 115. 422 p.

CHUVIECO, E. (1990). Fundamentos de Teledeteccion Spacial. *Rialp Ed. Madrid*, 568 p.

DOLEDEC, A.F. (1995). Recherche des composantes principales des terroirs viticoles afin d'élaborer un outil d'aide à la gestion au moyen d'observatoires et de traitements statistiques de données spatialisées. Application au vignoble champenois. *Thèse Doctorat, INA-PG*, 218 p.

GIRARD, M.C. (1995). Apport de l'interprétation des images satellitaires pour l'analyse spatiale des sols. Un exemple dans la région de Lodève. *Etude et Gestion des sols*, 2, n°1, 7 - 24.

GIRARD M.C., GIRARD C.M. (1999). Traitements des données de télédétection. *Dunod Ed. Paris*, 529 p. + C.D-Room.

GONZALES, C., WOODS, R., 1996. Tratamiento digital de Imágenes. *Edit. Addison-Wesley-Diaz de Santos. Madrid*. 773 p.

JOHNSON, L., D. BOSCH, D. WILLIAMS, AND B. LOBITZ (2001). Remote sensing of vineyard management zones: implications for wine quality, *Applied Engineering in Agriculture* 17:557-560.

LE BLANC, M. (2000). El vino Chileno, una Geografía óptima. *Ocho libros Ed. Santiago, Chile*, 269 p.

MORALES, L., 1997. Evaluacion y zonificacion de riesgo de heladas mediante modelizacion topoclimatica. *Thèse de doctorat. Université de Concepcion*. 118 p.

PSZCZOLKOWSKI, Ph. (2000). El medio natural de Chile como factor de adaptacion de la vid. In : 3° Simp. Int. « Zonificación vitivinícola », 6-13 de Mayo, Tenerife (España). *GESCO-OIV, Sotés Ed., Madrid, CD-Rom*.



SANTIBAÑEZ, F., MORALES, L., DE LA FUENTE, J., CELLIER, P., HUETE, A., (1997). Topoclimatic modeling for minimum temperature prediction at a regional scale in the Central Valley of Chile, *Agronomie*, 17, 307-314.

THIELE, R., (1980). Carta Geologica de Chile, hoja de Santiago. *Instituto de Investigaciones Geologicas*. N°39, 53 p.

VAUDOUR E. (2001). *Les terroirs viticoles. Analyse spatiale et relation avec la qualité du raisin. Application au vignoble AOC des Côtes-du-Rhône méridionales*. Thèse de Doctorat INA PG, 343 p.

VAUDOUR, E. GIRARD M.C. et FABRE F. (2000). Apports de la télédétection satellitale au zonage des terroirs : exemple dans le vignoble des Côtes-du-Rhône méridionales. *In : XXVe Congrès. Mondial de la Vigne et du Vin, "Quels vins pour le 3<sup>e</sup> millénaire ? ", 19-23 juin 2000, Paris (France). Section I Viticulture, OIV Ed., pp. 117-123.*

WASSENAAR, T. (2001). Reconnaissance des états de surface du sol en milieu viticole méditerranéen par télédétection à très haute résolution spatiale. *Thèse de Doctorat ENSA-M* 239 p.



## FIGURES



Figure 1 - Localisation de la zone d'étude dans la Vallée du Maipo (réalisation P. Parra 2001, d'après source : microsoft )

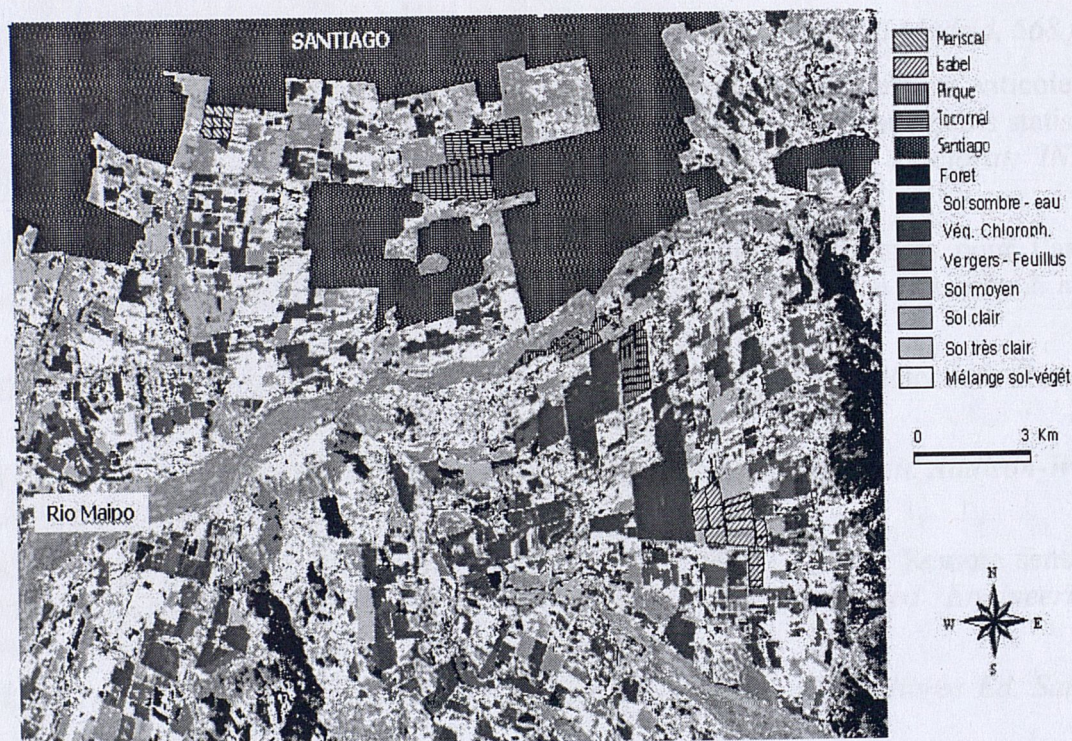
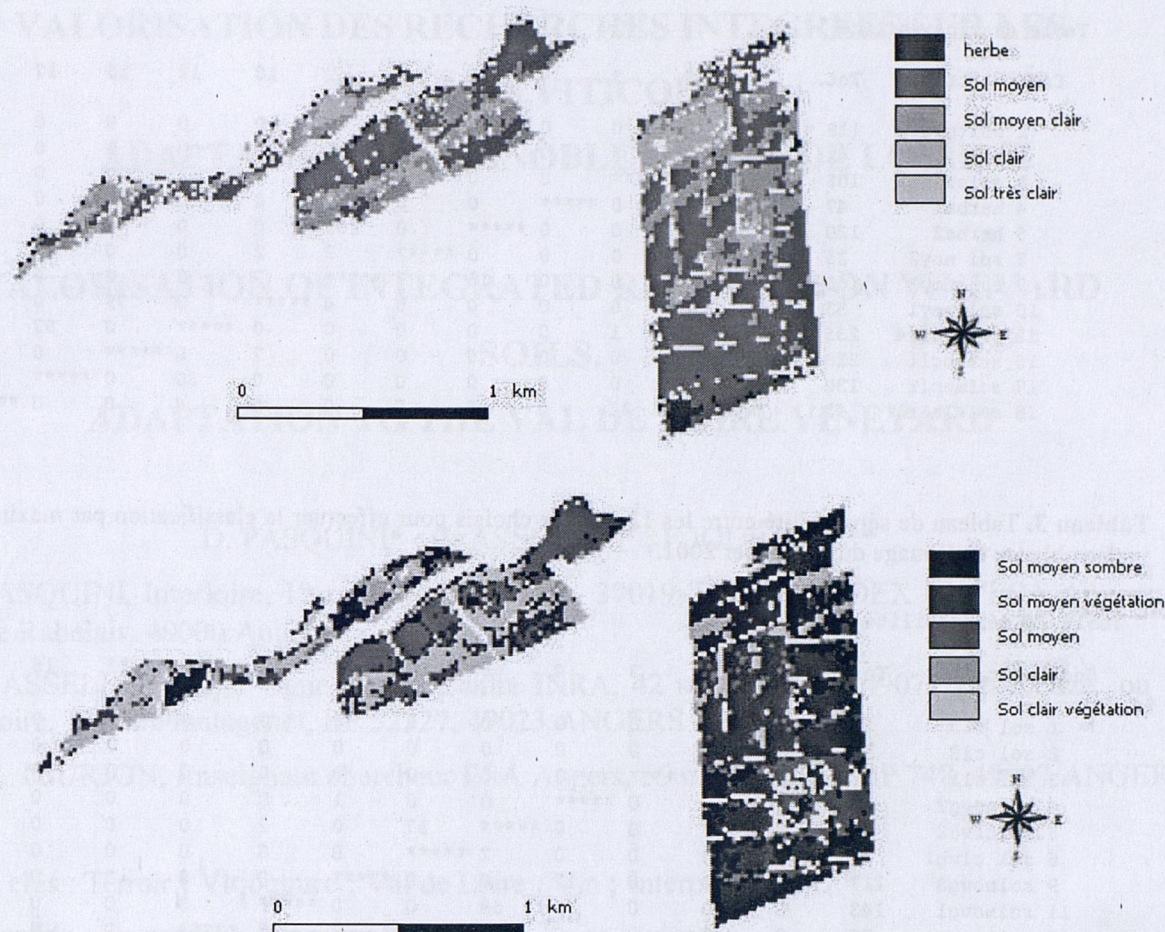


Figure 2. Cartographie de l'occupation des sols vallée du Maipo issue d'une classification ISODATA de l'image du 13 janvier 2001





**Figure 3.** Classification par maximum de vraisemblance issue des images du 9 octobre et 13 janvier respectivement pour le domaine de Pirque.

## TABLEAUX

**Tableau 1.** Distribution du nombre de pixels, surface occupée et % de surface occupée pour chaque classe d'occupation du sol.

| CLASSE                      | N° PIXELS | % total | SURFACE (ha) |
|-----------------------------|-----------|---------|--------------|
| Masque urbain               | 278 049   | 26.2    | 6 256        |
| Sol sombre - eau            | 1 372     | 0.1     | 309          |
| Sol moyen sombre            | 126 864   | 8.2     | 2 854        |
| Sol clair                   | 199 903   | 12.9    | 4 498        |
| Sol très clair              | 53 819    | 3.5     | 1 211        |
| Végétation chlorophyllienne | 126 084   | 8.2     | 2 837        |
| Vergers - feuillus          | 155 152   | 10.0    | 3 491        |
| Mélange sol- végétation     | 479 197   | 30.9    | 10 782       |
| Total                       | 1420440   | 100,0   | 32 238       |

**Tableau 2.** Tableau de séparabilité entre les 12 noyaux choisis pour effectuer la classification par maximum de vraisemblance de l'image du 9 octobre 2000.



Table de séparabilité

| Code | Attrib.   | Tot. | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 7     | 9     | 10    | 12    | 15    | 17    | 18    |
|------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | solclair  | 118  | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2    | solclair2 | 41   | 0     | ***** | 3     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 3    | solclair3 | 105  | 0     | 1     | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | 0     | 0     | 2     |
| 4    | herbel    | 47   | 0     | 0     | 0     | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 5    | herbe2    | 120  | 0     | 0     | 0     | 0     | ***** | 0     | 106   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 7    | sol moy2  | 25   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | ***** | 2     | 2     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 9    | sol moy3  | 168  | 0     | 0     | 0     | 0     | 15    | 7     | ***** | 7     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 10   | sol moy1  | 53   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 8     | 4     | ***** | 0     | 79    | 0     | 0     |
| 12   | solclair4 | 235  | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | ***** | 0     | 97    | 4     |
| 15   | solmoc11  | 228  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 7     | 0     | ***** | 0     | 0     |
| 17   | solmoc12  | 130  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 50    | 0     | ***** | 0     |
| 18   | solclair1 | 61   | 0     | 0     | 32    | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 4     | 0     | 0     | ***** |

**Tableau 3.** Tableau de séparabilité entre les 12 noyaux choisis pour effectuer la classification par maximum de vraisemblance de l'image du 13 janvier 2001.

Table de séparabilité

| Code | Attrib.   | Tot. | 1     | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 9     | 11    | 13    | 15    | 16    | 18    |
|------|-----------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1    | sol cl3   | 51   | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 2    | sol cl2   | 86   | 0     | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 3    | sol cl1   | 37   | 0     | 0     | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 4    | solmovg2  | 51   | 0     | 0     | 0     | ***** | 0     | 0     | 1     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 5    | solclvg2  | 73   | 0     | 0     | 0     | 0     | ***** | 17    | 0     | 7     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 6    | sol clvgl | 72   | 0     | 0     | 0     | 0     | 2     | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     |
| 9    | solmovg3  | 117  | 0     | 0     | 0     | 17    | 0     | 0     | ***** | 0     | 0     | 0     | 0     | 3     |
| 11   | solmovgl  | 143  | 0     | 0     | 0     | 0     | 59    | 0     | 0     | ***** | 5     | 0     | 0     | 0     |
| 13   | sol moyen | 23   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 12    | ***** | 0     | 0     | 1     |
| 15   | vg chloro | 67   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | ***** | 0     | 0     |
| 16   | vg chloro | 85   | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | ***** | 0     |
| 18   | solmosomb | 115  | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 0     | 56    | 0     | 5     | 0     | 0     | ***** |