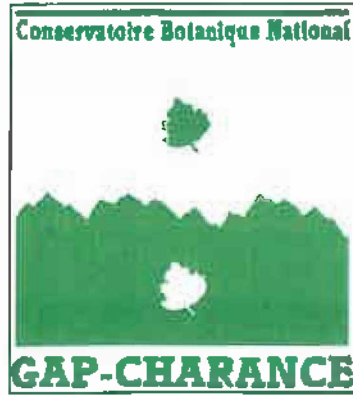


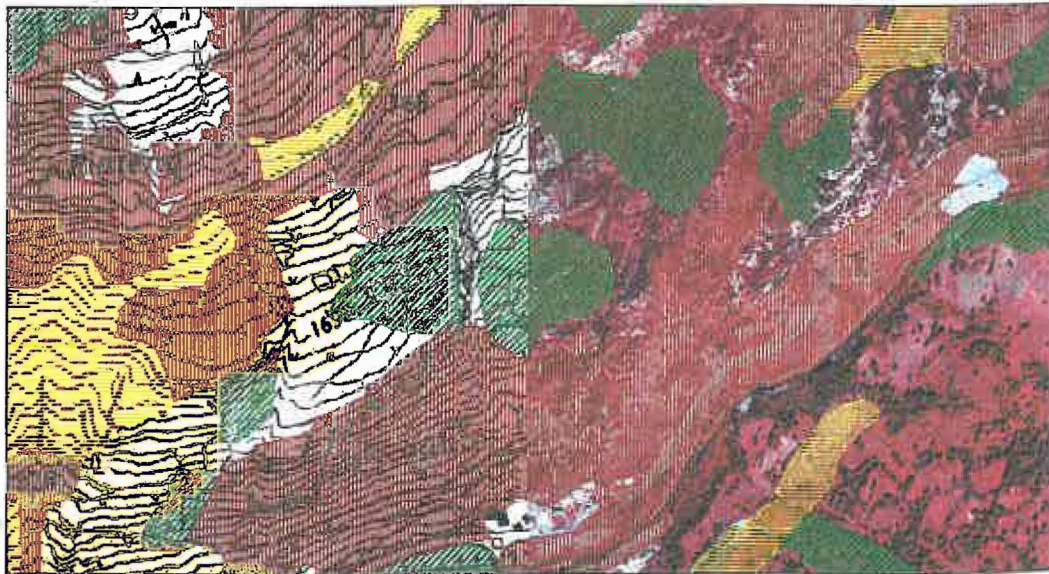
Airon PACA



# ESSAIS DE CARTOGRAPHIE VEGETALE

(PARC NATUREL REGIONAL DU QUEYRAS)

Apports du logiciel Géolmage



Jérémie Van Es, Emeric Drouot, Paul Ségura  
sous la direction scientifique de Jean Pierre Dalmas  
décembre 1998

Conservatoire Botanique National Alpin  
Gap-Charance

reproches  
N° OUVRAGE 13967

**SOMMAIRE**

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>2</b>
1.1. Vers une évolution des milieux et la nécessité de la cartographie	2
1.2. Les fonds cartographiques existants	2
1.3. Les éléments fondateurs d'une nouvelle méthode cartographique	3
1.4. Problématique	4
<b>2. MATERIEL ET METHODES</b>	<b>4</b>
2.1. Présentation des sites d'études	4
2.2. Matériel utilisé pour la photo-interprétation et la réalisation de carte	5
2.3. Méthodologie	5
2.3.1. Le travail de terrain	5
2.3.2. Réalisation de la carte de végétation assistée par ordinateur	9
<b>3. RESULTATS</b>	<b>10</b>
3.1. Les milieux identifiables	10
3.2. Les cartes de végétation	14
3.2.1. La carte de végétation issue de la photo-interprétation radiométrique (analyse des couleurs) et visuelle	14
3.2.2. La carte des habitats obtenue par agglomération et gommage de polygones	15
<b>4. DISCUSSION</b>	<b>16</b>
4.1. La méthode	16
4.2. L'étendue de la méthode	16
4.3. Les limites de la méthode	18
4.4. La valorisation des cartes réalisées	19
4.5. Evaluation du temps et des besoins de formation pour la réalisation des cartes de végétation	21
<b>5. BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>22</b>

## **1. INTRODUCTION**

### **1.1. Vers une évolution des milieux et la nécessité de la cartographie**

Le développement croissant des activités humaines entraîne des modifications des milieux naturels, voire leur disparition. Cette évolution rapide fait peser une menace sur le maintien de la diversité biologique (espèces, milieux et paysages).

A l'inverse de certaines régions enclines à une intensification de l'agriculture, les régions montagneuses sont marquées par l'abandon des terres.

Les milieux prairiaux et les pelouses maintenus en l'état durant des centaines d'années par des modes de gestion traditionnels sont menacés d'évoluer vers des formations boisées. La diversité des milieux naturels tend alors à s'homogénéiser vers la forêt.

Face à cette évolution rapide des activités humaines, une attitude de conservation et de gestion doit être adoptée et doit s'appuyer sur un état des lieux préalable de ce patrimoine naturel.

La cartographie des milieux est un outil particulièrement approprié à la réalisation de cet état des lieux. En effet, une carte permet d'avoir une vision synthétique d'un territoire. En cela, elle devient un outil indispensable en tant qu'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire.

Dans ce cadre, le Conservatoire Botanique National de Gap s'applique à réaliser une base de données cartographiques des habitats, en s'appuyant sur la typologie CORINE Biotope.

Cette base de données est alimentée par :

- la réalisation de cartes issues de prospections de terrain par le Conservatoire Botanique National de Gap ;
- d'anciennes cartes de végétation à actualiser ;
- la récupération des travaux cartographiques des différents laboratoires universitaires de phytosociologie lors de leur fermeture.

### **1.2. Les fonds cartographiques existants**

Il existe de nombreuses cartes de végétation dans la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, dont la plupart a été dressée par les universités de Grenoble et de Marseille. L'Université de Grenoble en a réalisée une synthèse en 1995.

L'échelle des cartes existantes est très variable selon les secteurs étudiés :

- les cartes réalisées à petite échelle (du 1 : 50000 au 1 : 200000) couvrant de larges surfaces. Leur intérêt est d'inventorier dans une région les principaux groupements de végétaux existants. Ce type de cartographie générale est très approximatif et n'exprime pas la réalité du terrain.

- les cartes réalisées à grande échelle (du 1 : 5000 au 1 : 25000) couvrant alors de petites surfaces ; celles-ci collent davantage aux réalités du terrain. Cependant, les moyens mis en oeuvre pour leur réalisation n'ont permis qu'un travail lent et la couverture de faibles surfaces.

### 1.3. Les éléments fondateurs d'une nouvelle méthode cartographique

#### • Les photographies infrarouges.

Deux principaux points les rendent intéressantes pour la cartographie des milieux :

⇒ Elles répondent à l'humidité contenue dans les éléments du paysage ; pour une surface végétalisée, la biomasse et l'humidité des sols influencent cette réponse. Selon les valeurs de ces deux paramètres, les teintes de la photographie infrarouge varient du blanc, marquant le substrat minéral (absence de végétation), au noir, caractérisant les milieux humides (substrat saturé en eau).

La biomasse de la végétation et l'humidité du sol, relativement homogènes au sein des différentes communautés végétales, varient en fonction de certaines conditions écologiques : altitude, type de substrat, degré et exposition de la pente...

En effet, à certains paramètres écologiques correspondent un type de communauté végétale, caractérisé par une certaine biomasse et une certaine humidité du sol. Ces paramètres se traduisent à leur tour par une couleur particulière sur la photographie infrarouge.

Pour illustrer la relation "facteurs écologiques-communautés végétales", la définition des différents modes de répartition de la végétation aux étages subalpin et alpin décrits par Aubert et al. (1965) puis Dalmas (1972) semblent particulièrement intéressante. Ces auteurs ont mis en évidence une répartition des communautés végétales, selon trois modes liés à l'altitude, au degré et à l'exposition de la pente :

- le mode thermique sur les fortes pentes : la végétation est conditionnée par un enneigement, balayé par les vents, de faible durée, et par de fortes amplitudes thermiques ;
- le mode nival dans les dépressions : la végétation est conditionnée par un enneigement de longue durée ;
- le mode intermédiaire sur les pentes douces : la végétation est conditionnée par des durées d'enneigement intermédiaires.

Compte tenu de cette relation, la connaissance des facteurs écologiques régnant dans une station donnée doit permettre à une personne familiarisée à l'écologie végétale, de subodorer la nature de la végétation qui s'y développe. Ces paramètres écologiques (de nature topographique) étant appréhendables par la photo-interprétation, alors celle-ci peut constituer une aide importante à la réalisation de la cartographie végétale.

⇒ Les photographies infrarouges possèdent une très bonne résolution de l'image : le pixel de petite taille (1 x 1 m) restitue fidèlement les contours des éléments du paysage (rochers, arbres isolés...), ce qui permet leur reconnaissance.

- **Le développement par la société Geo-Image d'un logiciel du même nom.**

Ce logiciel présente deux fonctions particulièrement intéressantes pour la cartographie des milieux :

⇒ L'orthorectification : le logiciel permet d'orthonormer une photographie aérienne (c'est à dire de lui appliquer des coordonnées géographiques). Elle correspond à un orthophotoplan. La photographie est alors superposable à des cartes topographiques. Pour se faire, il déforme la photographie afin de la ramener au niveau de la mer (altitude = 0), puis la redresse à l'aide de cartes topographiques numérisées et orthonormées et à l'aide d'un Modèle Numérique de Terrain (MNT).

⇒ L'analyse des couleurs : le logiciel décompose les images en 256 couleurs, allant du blanc au noir pour la photographie infrarouge. Ainsi, chaque pixel est caractérisé par une couleur (parmi la palette des 256). Cela permet de rechercher sur l'ensemble de la photographie une couleur donnée. Il s'en suit des opérations d'extrapolation, d'automatisation de la cartographie, entraînant un gain de temps considérable.

Sur la base de ces éléments (l'existence de photographies infrarouges à très bonne résolution, répondant aux types de végétation et la mise sur le marché d'un logiciel capable d'analyser les couleurs), le Conservatoire Botanique National de Gap met en place une méthode de cartographie assistée par ordinateur, basée sur les hypothèses de travail suivantes : (1) la reconnaissance de la signature spectrale des communautés végétales sur la photographie infrarouge par analyse des couleurs, et donc l'automatisation de la cartographie, et (2) la possibilité pour une personne formée à l'écologie végétale de la région d'étude et à la photo-interprétation de valider, invalider, corriger et compléter la réalisation de la carte par ordinateur.

## 1.4. Problématique

Dans le cadre de la mise en place d'une base de données cartographiques des habitats, il convient de savoir dans quelle mesure cette méthode cartographique s'avère fonctionnelle. Les premières cartes de végétation venant d'être réalisées, toutes les phases de validation n'ont encore été assurées. Ce rapport vise donc, pour une première approche, à présenter au travers de deux exemples de cartes de végétation, les possibilités et les limites de la méthode, et à montrer la part de l'analyse des couleurs et la part de la photo-interprétation dans l'élaboration des cartes.

## 2. MATERIEL ET METHODES

### 2.1. Présentation des sites d'études

Les tests de cette méthode cartographique ont été réalisés dans le Parc Naturel Régional du Queyras (Hautes-Alpes). Ce massif montagneux se situe dans la zone bioclimatique des Alpes internes. C'est une région faiblement arrosée, très ensoleillée, aux

pelouses pour la plupart sèches à l'étage montagnard, très souvent écorchées aux étages subalpin et alpin, et dont les formations arborées sont très largement composées de conifères. Exceptés aux abords de zones humides (ruisseaux, sources, couloirs d'avalanches), la végétation présente un caractère nettement xérophile.

Les étages de végétation étudiés dans ces tests s'échelonnent du montagnard à alpin. L'étage montagnard a été étudié dans la vallée du Guil sur les communes de Château-Ville-Vieille et d'Aiguilles, et les étages subalpin et alpin sur la commune d'Arvieux.

## 2.2. Matériel utilisé pour la photo-interprétation et la réalisation de carte

- Des photographies aériennes infrarouges (mission de l'IFN, 1993/1994).
- des photocopies couleurs agrandies (échelle au 1 : 8000) de ces photographies aériennes pour disposer d'une meilleure définition des informations de terrain ;
- des transparents appliqués sur ces photocopies couleurs pour recueillir les informations de terrain ;
- un stéréoscope pour aider la photo-interprétation ;
- un scanner pour pouvoir travailler les photographies à l'écran ;
- le logiciel Geo-Image pour l'orthorectification des photographies infrarouges, l'analyse des couleurs et la réalisation de la carte de végétation ;
- le logiciel Map-Info pour mettre en page les cartes et lancer leur édition ;
- une imprimante au format A0 pour éditer les cartes.

## 2.3. Méthodologie

### 2.3.1. Le travail de terrain

#### • L'étalonnage des couleurs

Le travail de terrain ne se réalise plus par le tracé à main levée sur fond topographique (ou sur photographie aérienne) des contours des unités de végétation (contours digitalisés par la suite à l'aide du logiciel MapInfo).

A présent, ce travail consiste à réaliser un étalonnage entre la couleur des « polygones » homogènes de la photographie infrarouge et la végétation leur correspondant sur le terrain. Un parcours sillonnant à travers des zones d'expositions, d'altitudes et de pentes différentes, permet de réaliser des points de calage (Figure 1) dans des situations écologiques très variées. Dans la mesure du possible, plusieurs points de calage sont effectués pour chaque communauté végétale.

Les informations, issues de cet étalonnage, sont reportées sur le transparent apposé à la photocopie couleur de la photographie infrarouge. Elles correspondent, pour l'essentiel, à un numéro renvoyant à un type de communauté végétale et à des remarques (saisissant des éléments de l'écologie des groupements) transcrites soit sur le transparent, soit sur une feuille annexe.

Le travail d'étalonnage a été facilité dans certaines situations par la prise de clichés photographiques (Figure 2). En effet, dans les milieux en mosaïque, il est difficile et long de faire la correspondance entre les éléments observés sur la photographie aérienne et les éléments du terrain où le temps est compté. Ces comparaisons peuvent être menées plus calmement au bureau pendant l'hiver.

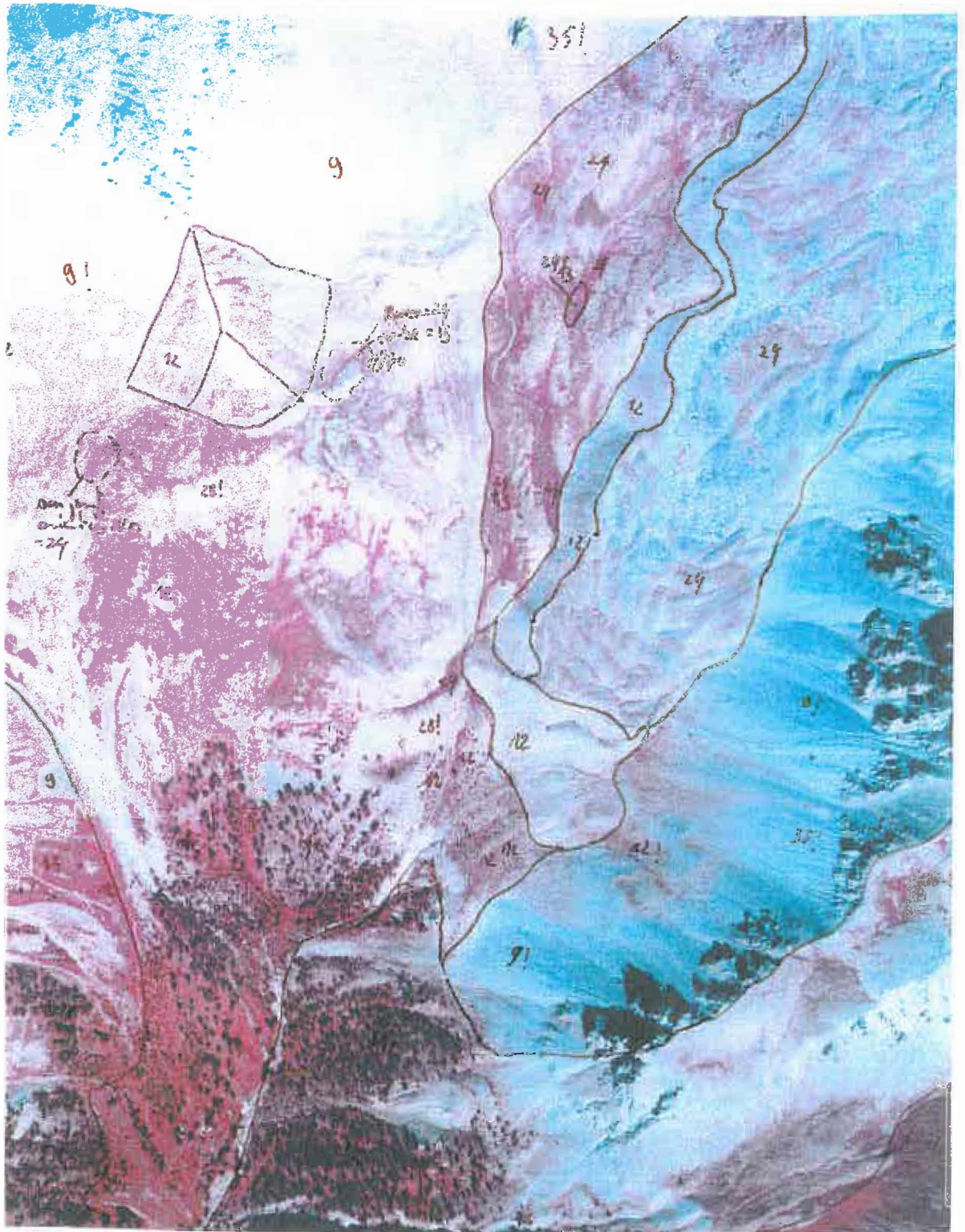


Figure 1 : Etalonnage entre la couleur des « polygones » homogènes de la photographie infrarouge et la végétation leur correspondant sur le terrain, et découpage de la photographie aérienne en polygones homogènes selon une altitude, une exposition et un degré de la pente identiques.

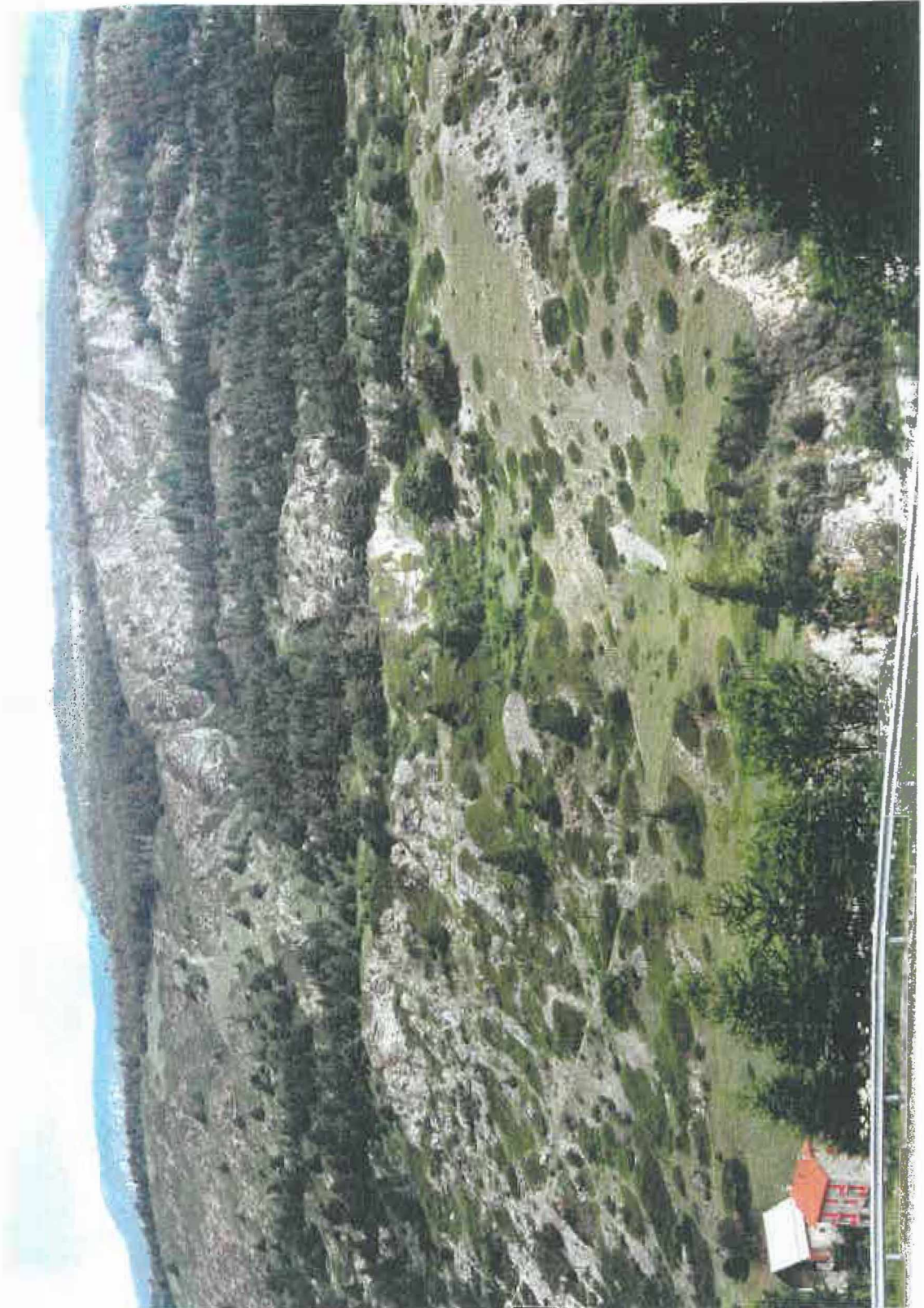
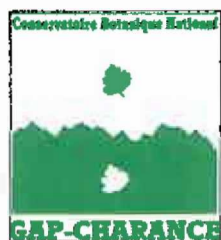


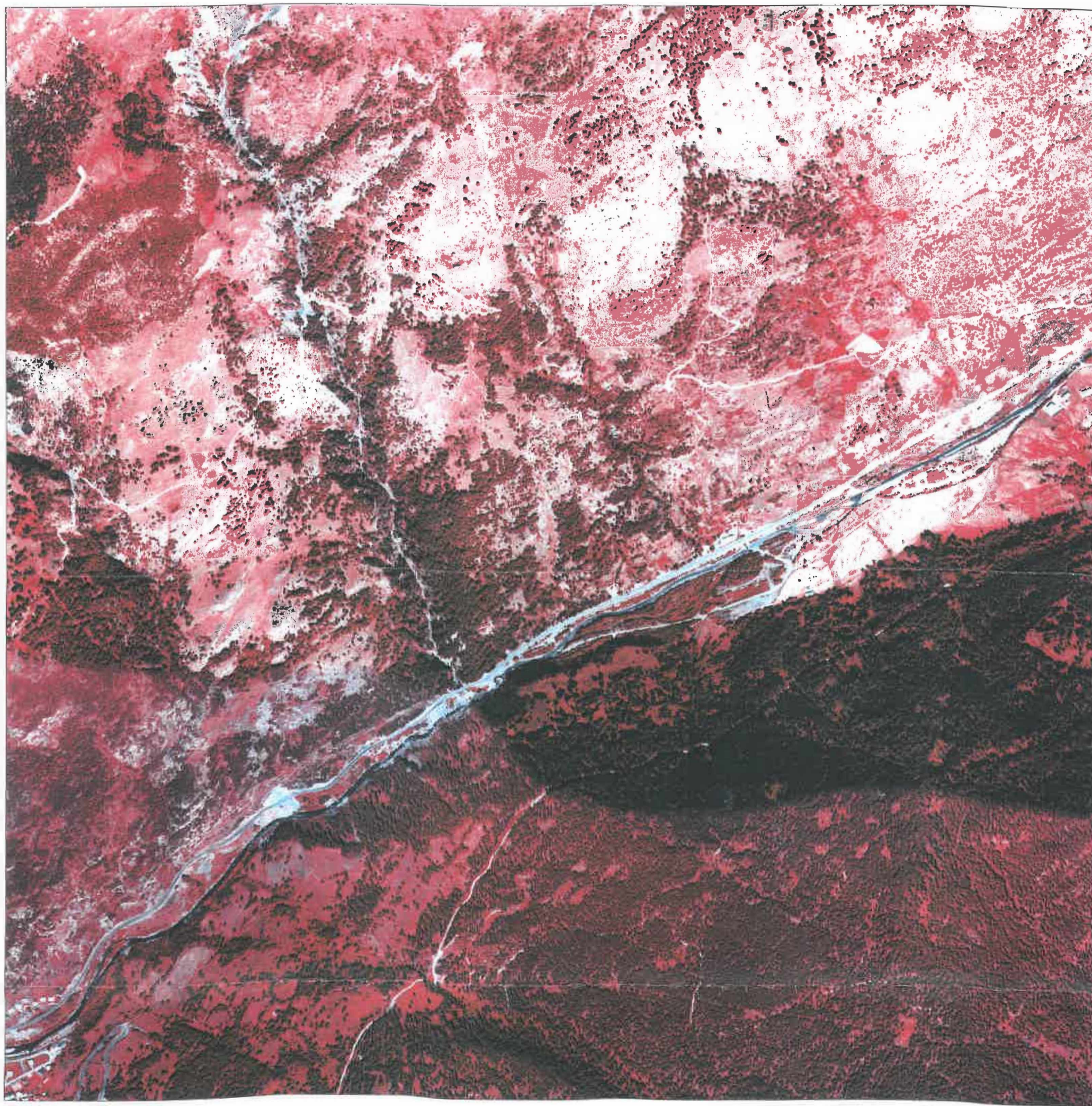
Figure 2 : Photographie facilitant le travail d'étalonnage entre la photographie aérienne infrarouge et la végétation observée sur le terrain.

# Photographies aériennes infra-rouge couleurs orthorectifiées et mosaïquées

communes de Château-Ville-Vieille et d'Aiguilles  
Parc Naturel Régional du Queyras



1 : 10 000



missions aériennes IGN IFN 1993-1994

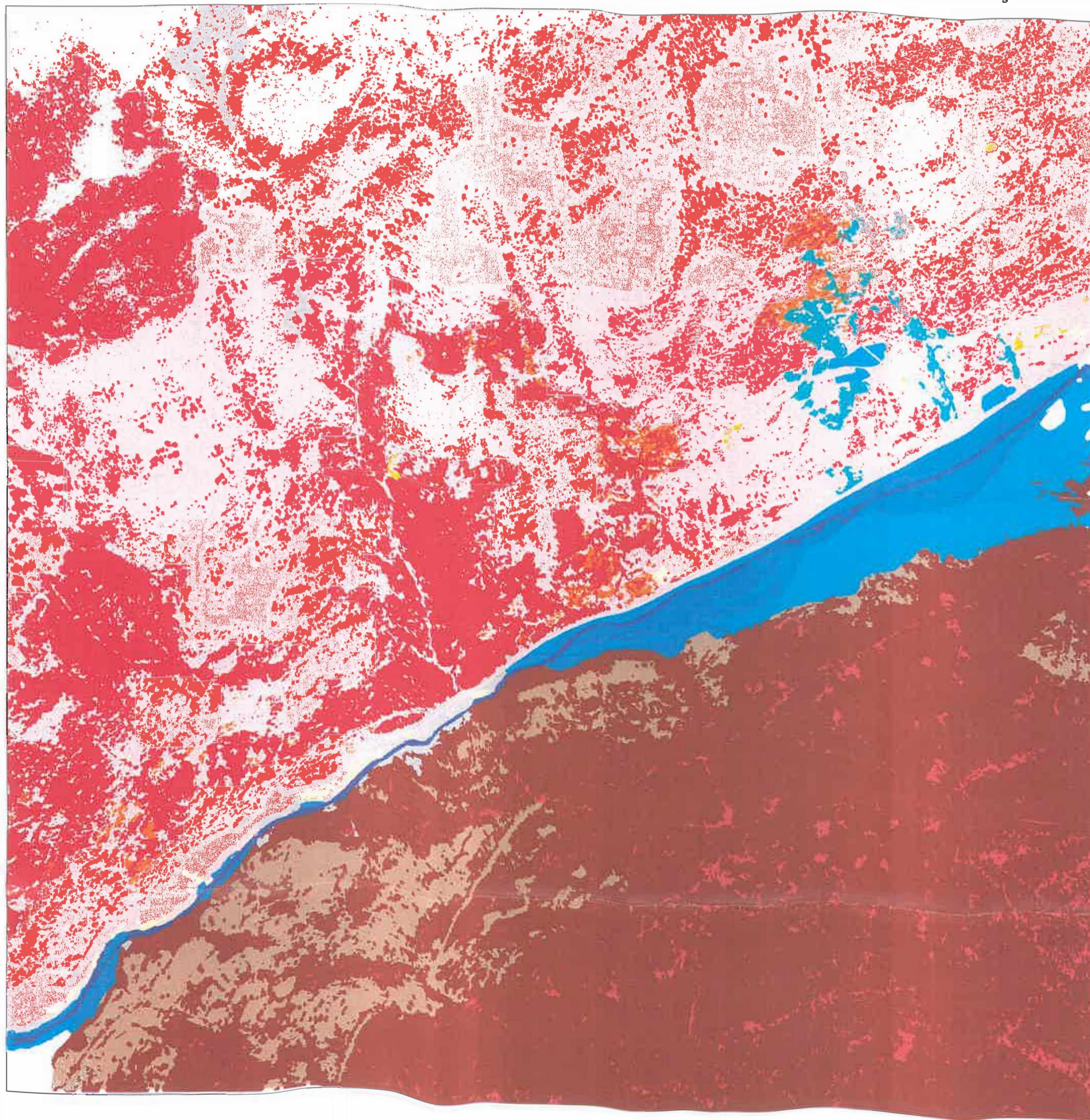
CBNA 1999

Carte de végétation obtenue par photo-interprétation radiométrique et visuelle

communes de Château-Ville-Vieille et d'Aiguilles  
Parc Naturel Régional du Queyras



1 : 10 000

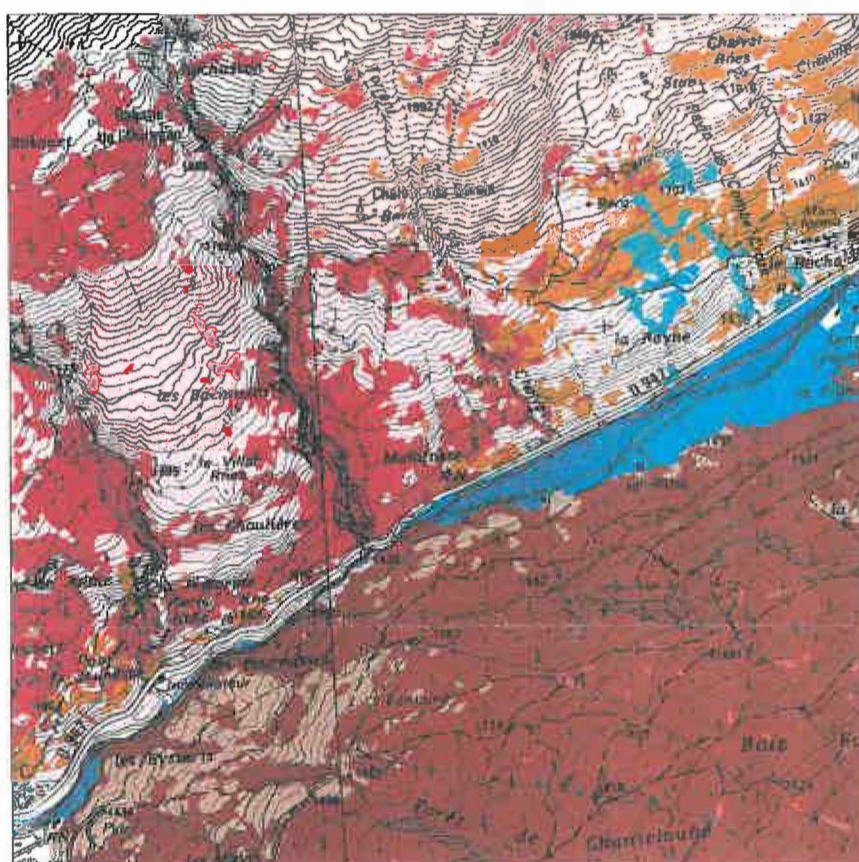


# Passage de la photographie aérienne infra-rouge couleurs à la carte des habitats au 1 : 25 000

## Carte des habitats

communes de Château-Ville-Vieille et d'Aiguilles  
Parc Naturel Régional du Queyras

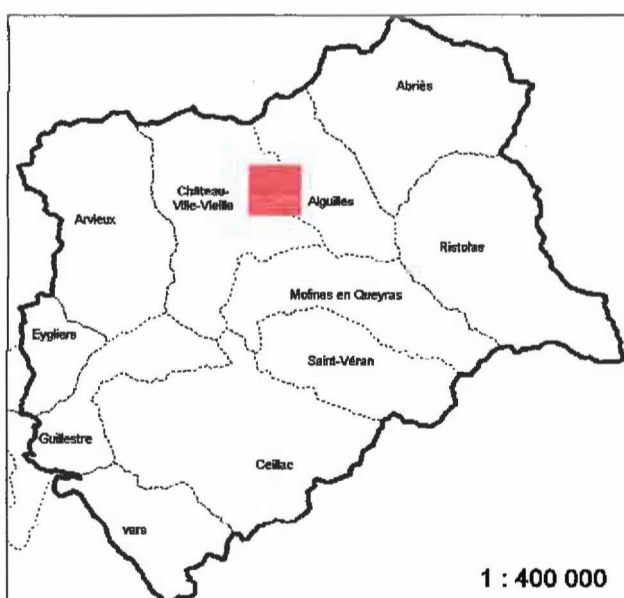
1 : 25 000



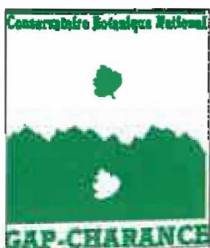
scan 25 © IGN 1998

	Pins sylvestres / Bois à <i>Pinus sylvestris</i> (Ononido-Pinion)
	Pelouses steppiques (Stipo-Poion xerophilae)
	<i>Juniperus sabina</i> / Landes à <i>Juniperus sabina</i> et <i>Astragalus alopecurus</i> (Astragalo-Juniperetum sabiniae)
	Taillis à <i>Berberis vulgaris</i> et <i>Prunus brigantia</i> (Berberido vulgaris-Prunetum brigantiae)
	Taillis de feuillus indéterminés
	Mélèzes / Mélèzes sur prébois à hautes herbes du Geranio-Chaerophylletum hirsuti
	Prébois à hautes herbes (Geranio-Chaerophylletum hirsutii)
	Pelouses mésophiles à <i>Bromus erectus</i> (Mesobromion)
	Saulaies ( <i>Salix eleagni</i> )
	Forêts riveraines à <i>Alnus incana</i> (Alno-Padion)
	Alluvions caillouteuses à <i>Epilobium fleischeri</i> (Epilobietum fleischeri) et saulaies pionnières à <i>Salix eleagnos</i> et <i>Salix purpurea</i> (Salicetum eleagno-purpureae)
	Eboulis à <i>Achnatherum calamagrostis</i> et <i>Centranthetis angustifolia</i> (Achnathero calamagrostido-Centranthetum angustifolii)
	Cultures et prés de fauche
	Rivière

### situation de la zone étudiée dans le Parc Naturel Régional du Queyras



1 : 400 000

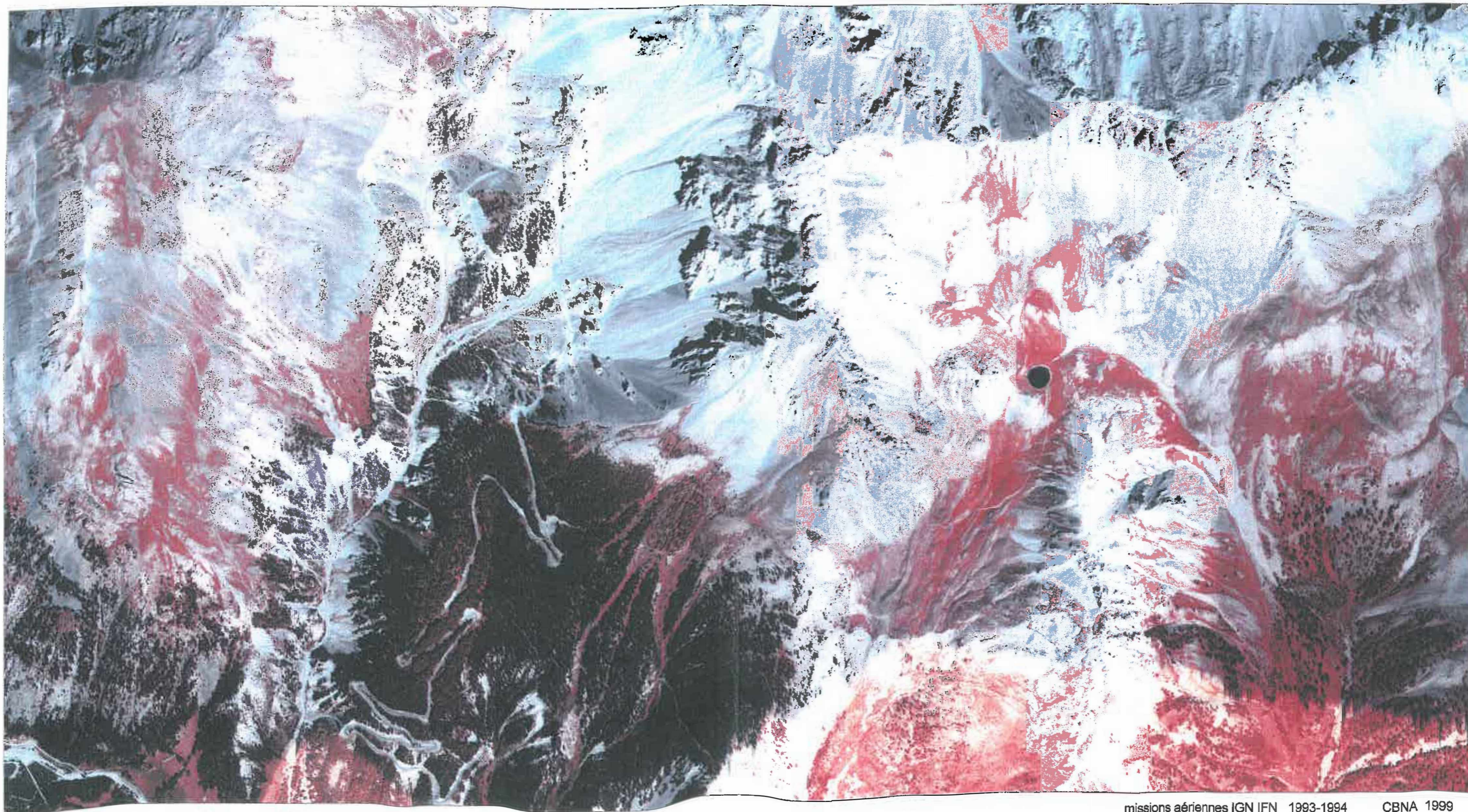


# Photographies aériennes infra-rouge couleurs orthorectifiées et mosaïquées

commune d'Arvieux Parc Naturel Régional du Queyras



1 : 10 000





# Photo-interprétation des photographies aériennes infra-rouge couleurs

carte 3

commune d'Arvioux Parc Naturel Régional du Queyras



1 : 10 000



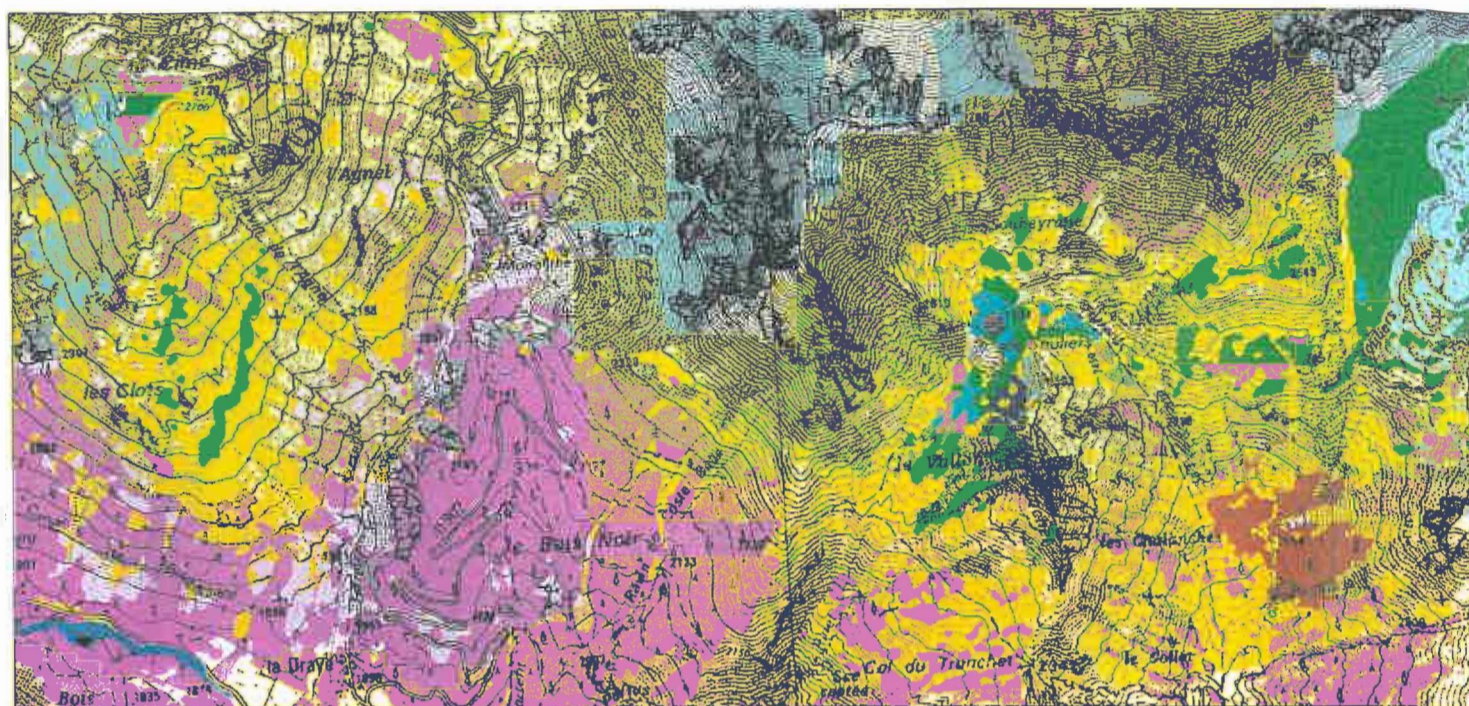
# Carte des habitats

carte 4



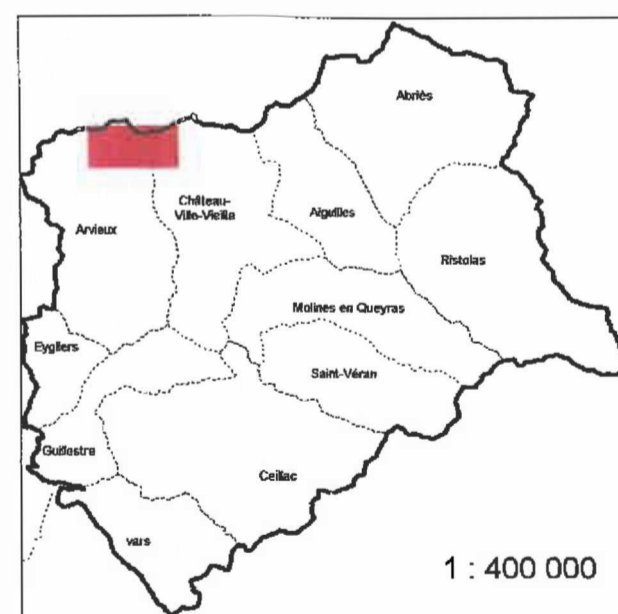
commune d'Arvieux  
(Col d'Izoard)  
Parc Naturel Régional du Queyras

1 : 25 000



scan 25 IGN 1998 © © CBNA 1999

Bois et Landes	
	Bois à <i>Pinus uncinata</i> et <i>Ononis rotundifolia</i> ( <i>Ononido rotundifoliae-Pinetum uncinatae</i> )
	Façons à Larix decidua
	Landes à <i>Juniperus nana</i> et <i>Arctostaphylos uva-ursina</i> ( <i>Junipero-Arctostaphyletum</i> )
Pelouses de mode thermique	
	Pelouses à <i>Sesleria caerulea</i> et <i>Helictotrichon sedenense</i> ( <i>Seslerio-Avenetum montanae</i> )
	Pelouses à <i>Kobresia myosuroides</i> et <i>Carex curvula</i> ( <i>Elyno-Curvuletum</i> )
Pelouses de mode intermédiaire	
	Pelouses à <i>Carex sempervirens</i> ( <i>Festucetum hallen-carcetosum</i> )
Pelouses de mode nival	
	Pelouses à <i>Festuca violacea</i> et <i>Trifolium thalii</i> ( <i>Festuco-Trifolietum thalii</i> ) et pelouses à <i>Ranunculus kuepferi</i> et <i>Alopecurus alpinus</i> ( <i>Ranunculo-Alopecuretum gerardi</i> )
	Combes à neige à <i>Salix herbacea</i> ( <i>Salicetum herbaceae</i> )
	Pelouses ébouleuses à <i>Salix retusa</i> et <i>Salix reticulata</i> ( <i>Salicetum retuso-reticulatae</i> )
Éboulis, alluvions et milieux rocheux	
	Éboulis calcaires à éléments fins à <i>Berardis acaulis</i> ( <i>Berardietum lanuginosae</i> )
	Éboulis calcaires à éléments fins à <i>Leontodon montanus</i> ( <i>Leontidetum montani</i> )
	Éboulis calcaires à éléments fins à <i>Leontodon montanus</i> ( <i>Leontidetum montani</i> ) ou à <i>Berardis acaulis</i> ( <i>Berardietum lanuginosae</i> )
	Éboulis calcaires à éléments moyens à <i>Thlaspi rotundifolium</i> ( <i>Thlaspetum rotundifolii</i> )
	Éboulis calcaires à <i>Achnatherum calamagrostis</i> et <i>Centranthetum angustifolium</i> ( <i>Achnathero calamagrostido-Centranthetum angustifolii</i> )
	Alluvions caillouteuses à <i>Epilobium fleischeri</i> ( <i>Epilobietum fleischeri</i> ) et saules pionnières à <i>Salix elaeagnos</i> et <i>Salix purpurea</i> ( <i>Salicetum elaeagno-purpureae</i> )
	Faïences calciques ( <i>Polemonium caeruleum</i> )
	Glacier rocheux
	Lacs



cartes réalisées par  
J. Van Es et P. Ségura  
CBNA 1999

- **La typologie des habitats**

La nomination des habitats ne se fait pas directement selon la typologie CORINE Biotope (1997), mais selon une typologie phytosociologique qui apporte une information plus précise ; les habitats décrits dans le CORINE Biotope englobent souvent plusieurs associations phytosociologiques. Il est de fait, possible et facile de passer de la nomenclature phytosociologique à la nomenclature CORINE Biotope, alors que l'inverse n'est pas possible. Ces données phytosociologiques constituent une information de référence qui peut être valorisée aux travers de différentes thématiques (voir discussion).

Le travail de cartographie passe donc par l'acquisition de connaissances phytosociologiques. La littérature a été consultée (Barbero (1972), Braun-Blanquet (1969, 1972), Braun-Blanquet & al. (1954), Bressoud (1980), Bressoud & Trotereau (1984), Dalmas (1972), Lacoste (1975), Lavagne (1968), Lavagne & al. (1983), Meyer (1981), Pellet (1983, 1986), Rameau (1996), Richard (1975, 1985), Royer (1982) et Theurillat (1992, 1995)) et une synthèse bibliographique a été réalisée. Les communautés végétales rencontrées ne pouvant être directement rattachées à une association phytosociologique ont fait l'objet de relevés phytosociologiques, minutieusement confrontés par la suite, aux relevés de la littérature.

### 2.3.2. Réalisation de la carte de végétation assistée par ordinateur

La réalisation de la carte de végétation combine analyse des couleurs et photo-interprétation. Elle se déroule en plusieurs étapes :

⇒ Le découpage de la photographie infrarouge en polygones homogènes (exposition, pente, altitude identiques) : il est réalisé à l'aide de l'observation stéréoscopique des photographies infrarouges originales (Figure 1). Ces polygones sont les unités de base sur lesquelles l'analyse des couleurs va porter.

Ce travail préliminaire a pour but de limiter les risques d'erreurs de l'analyse des couleurs. Un type de communauté végétale, à titre d'exemple, se développant en exposition sud, dans des conditions thermo-xérophiles, présente une biomasse plus faible qu'en situation nord, plus longuement enneigée et plus humide. Les signatures spectrales de cette communauté végétale seront différentes dans les deux situations. Il existe de plus, des habitats exclusifs de versants nord, d'autres de versants sud, certains ne poussant qu'au dessus d'une certaine altitude, d'autres qu'en dessous ...

Ce découpage permet de plus, suite à la phase d'extrapolation (expliquée dans les étapes suivantes), d'éviter d'obtenir une carte indiquant la présence de groupements exclusivement alpins, à l'étage montagnard ou subalpin, dans des zones présentant la même signature spectrale. Ce travail préalable permet donc de réaliser un premier tri des communautés végétales. Les phases suivantes de travail sont donc réalisées au sein de ces polygones homogènes.

⇒ L'analyse des couleurs : elle consiste à identifier et à relever à partir des points d'étalonnage réalisés sur le terrain, les couleurs correspondant à chaque communauté végétale.

⇒ La traduction de la photographie infrarouge en carte de végétation : elle peut s'opérer selon différentes modalités :

- par extrapolation et automatisation de la cartographie dans les zones du polygone homogène où l'observateur n'a pas été. Les pixels correspondant aux valeurs de couleurs obtenues à l'étape précédente sont sélectionnés sur l'ensemble du polygone. L'aire potentielle d'une communauté végétale s'affiche alors à l'écran. Celle-ci est soumise au regard critique de l'observateur qui s'appuie sur la connaissance des facteurs écologiques (degré de la pente, altitude et exposition), issue de la littérature et de son expérience de terrain. Cette est sera traduite en une couleur correspondant à la légende du groupement si elle semble réaliste
- les polygones sont dessinés manuellement si l'aire potentielle apparaît écologiquement aberrante et en contradiction avec les observations de terrain.

### 3. RESULTATS

#### 3.1. Les milieux identifiables

L'analyse des couleurs sur l'ensemble de la photographie ne permet l'individualisation d'aucune communauté végétale. Aucune d'entre elles ne présente en effet de couleurs exclusives. En revanche, au sein des polygones homogènes, elle permet de distinguer certaines communautés végétales ou certains groupements de communautés végétales. Combinée à la photo-interprétation et en considérant les uns après les autres, les facteurs écologiques (altitude, pente, exposition) et la forme des éléments du paysage, l'analyse permet d'affiner la discrimination des communautés végétales.

##### • Etages alpin et subalpin

Aux étages alpin et subalpin, 23 associations phytosociologiques ont été distinguées sur le terrain (Tableau 1). Après découpage de la photographie en polygones homogènes, l'analyse des couleurs permet de distinguer 16 catégories de milieux. Pour les pelouses alpines, les distinctions principales concernent les trois modes de répartition de la végétation. Ces distinctions s'appuient d'une part sur les couleurs différentes de ces trois modes et d'autre part, dans les zones où ils sont imbriqués (zones de micro-relief où alternent bosses et creux) et forment des mosaïques, sur l'observation stéréoscopique. Les combes à neige du *Saliceto-Retuso reticulatae*, sur fortes pentes ébouleuses situées en versant nord, se différencient du *Seslerio-Avenetum* se développant sur des pentes identiques mais en expositions moins froides. Les pelouses de mode nival et les marécages ne sont pas toujours différenciables. Au sein des éboulis alpins, les éboulis à éléments fins (*Leontidetum montanii* et *Berardietum lanuginosae*) se différencient des éboulis à éléments moyens (*Thlaspetum rotundifolii*) et des éboulis à gros éléments prenant des couleurs plus bleutées.

La prise en compte de l'altitude permet d'extraire des pelouses de mode nival, les combes à neige du *Salicetum herbacea* poussant à plus haute altitude que le *Festuco-Trifolietum thalii* et le *Ranunculo-Alopecuretum gerardi*.

De plus, l'étude de la forme des communautés végétales (analyse visuelle par l'observateur des éléments du paysage) permet de séparer les marécages à eau très peu profonde, les zones de suintement, les ruisselets, des combes à neige, par leur aspect ramifié, digité, méandreux...

Au total, sur les 23 associations phytosociologiques recensés sur le terrain, 18 catégories de milieux peuvent être distinguées par l'analyse des couleurs et par photo-interprétation.

Tableau 1 : Différenciation progressive des Associations phytosociologiques alpines et subalpines au sein de polygones homogènes (selon l'exposition et le degré de la pente) par analyses combinées de la couleur, de l'altitude et de la forme des éléments du paysage. Les groupements figurant au sein d'une même case et portant une astérisque (\*) ne sont pas différenciables.

Formations végétales	Associations présentes sur les zones tests	Groupements séparables par analyses des couleurs	Groupements séparables par analyses combinées des couleurs et de l'altitude	Groupements séparables par analyses combinées des couleurs, de l'altitude et de la forme
<b>ALPIN</b> Pelouses de mode thermique	<i>Astragalo-Ononidetum cenisiae</i> <i>Seslerio-Avenetum montanae</i> <i>Avenetum parlatores</i>	Pelouses de mode thermique indifférenciés	Pelouses de mode thermique indifférenciés	Pelouses de mode thermique indifférenciés
Pelouses de mode intermédiaire	<i>Centaureo-Festucetum spadicea</i> <i>Festucetum halleri</i> ss <i>Ass caricetosum</i>	Pelouses de mode intermédiaire indifférenciés	Pelouses de mode intermédiaire indifférenciés	Pelouses de mode intermédiaire indifférenciés
Pelouses éboulées de mode nivale	<i>Salicetum retuso-reticulatae</i>	<i>Salicetum retuso-reticulatae</i>	<i>Salicetum retuso-reticulatae</i>	<i>Salicetum retuso-reticulatae</i>
Pelouses de mode nivale	<i>Salicetum herbacea</i> <i>Festuco-Trifolietum thalii</i> <i>Ranunculo-Alopecuretum gerardi</i>	Pelouses de mode nivale et groupements de marécages indifférenciés	<i>Salicetum herbacea</i> <i>Festuco-Trifolietum thalii</i> * <i>Ranunculo-Alopecuretum gerardi</i> * Groupements de marécages indifférenciés*	<i>Salicetum herbacea</i> <i>Festuco-Trifolietum thalii</i> * <i>Ranunculo-Alopecuretum gerardi</i> * Groupements de marécages indifférenciés
Groupements de marécages	<i>Caricion davallianae</i> <i>Caricion nigrae</i>			
Pelouses rudéralisées	<i>Rumicion alpini</i>	<i>Rumicion alpini</i>	<i>Rumicion alpini</i>	<i>Rumicion alpini</i>
Groupements d'éboulis	<i>Thlaspetum rotundifolii</i> <i>Leontidetum montanii</i> <i>Berardietum lanuginosae</i>	<i>Thlaspetum rotundifolii</i> <i>Leontidetum montanii</i> * <i>Berardietum lanuginosae</i> *	<i>Thlaspetum rotundifolii</i> <i>Leontidetum montanii</i> * <i>Berardietum lanuginosae</i> *	<i>Thlaspetum rotundifolii</i> <i>Leontidetum montanii</i> * <i>Berardietum lanuginosae</i> *
Groupements de falaises	<i>Androsacetum helveticae</i>	<i>Androsacetum helveticae</i>	<i>Androsacetum helveticae</i>	<i>Androsacetum helveticae</i>
<b>SUBALPIN</b> Pelouses	<i>Seslerio-Avenetum montanae</i>	<i>Seslerio-Avenetum montanae</i>	<i>Seslerio-Avenetum montanae</i>	<i>Seslerio-Avenetum montanae</i>
Groupements d'éboulis	<i>Achnaero-Centranthetum angustifolii</i>	<i>Achnaero-Centranthetum angustifolii</i>	<i>Achnaero-Centranthetum angustifolii</i>	<i>Achnaero-Centranthetum angustifolii</i>
Groupements de falaises	<i>Potentillon caulescentis</i>	<i>Potentillon caulescentis</i>	<i>Potentillon caulescentis</i>	<i>Potentillon caulescentis</i>
Landes	<i>Vaccinio-Rhododendretum ferruginei</i> <i>Junipero-Arctostaphyletum</i>	<i>Vaccinio-Rhododendretum ferruginei</i> <i>Junipero-Arctostaphyletum</i>	<i>Vaccinio-Rhododendretum ferruginei</i> <i>Junipero-Arctostaphyletum</i>	<i>Vaccinio-Rhododendretum ferruginei</i> <i>Junipero-Arctostaphyletum</i>
Forêts	<i>Vaccinio-Pinetum cembrae</i> <i>Ononido-Pinetum uncinata</i>	<i>Vaccinio-Pinetum cembrae</i> <i>Ononido-Pinetum uncinata</i>	<i>Vaccinio-Pinetum cembrae</i> <i>Ononido-Pinetum uncinata</i>	<i>Vaccinio-Pinetum cembrae</i> <i>Ononido-Pinetum uncinata</i>
Nombre de groupements	23	16	17	18

Tableau 2 : Différenciation progressive des Associations phytosociologiques montagnardes au sein de polygones homogènes (selon l'exposition et le degré de la pente) par analyses combinées de la couleur, de l'altitude et de la forme des éléments du paysage. Les groupements figurant au sein d'une même case et portant une astérisque (\*) ne sont pas différenciables.

Formations végétales	Associations présentes sur les zones tests	Groupements séparables par analyses des couleurs	Groupements séparables par analyses combinées des couleurs et de l'altitude	Groupements séparables par analyses combinées des couleurs, de l'altitude et de la forme
Pelouses d'affinité steppique	<i>Stipo-Poion xerophilae</i>	<i>Stipo-Poion xerophilae</i>	<i>Stipo-Poion xerophilae</i>	<i>Stipo-Poion xerophilae</i>
Groupements pionniers crassulescents	<i>Sedetum brigitiacum</i>	Non visible	Non visible	Non visible
Groupements de sources pétrifiantes	<i>Cratoneurion commutata</i>	Non visible	Non visible	Non visible
Pelouses mésophiles (fauchées)	<i>Mesobromion</i>	Pelouses mésophiles et	Pelouses mésophiles et	<i>Mesobromion</i>
Prairies temporaires, cultures	Prairies temporaires, cultures	Prairies temporaires, cultures indifférenciés	Prairies temporaires, cultures indifférenciés	Prairies temporaires, cultures
Groupements de feuillus	<i>Berberido-Prunetum brigitiacae</i> <i>Pruno-Populetum tremuli</i> Groupements de feuillus indéterminés	Groupements de feuillus indifférenciés	Groupements de feuillus indifférenciés	Groupements de feuillus indifférenciés
Groupements pionniers de gravières	<i>Epilobio-Scrophularietum caninae</i> <i>Salict-Myricarietum</i>	Groupements pionniers de gravières indifférenciés	Groupements pionniers de gravières indifférenciés	Groupements pionniers de gravières indifférenciés
Forêts riveraines	<i>Salicetum elaeagno-purpureae</i> <i>Alno-padion</i>	Forêts riveraines indifférenciées	Forêts riveraines indifférenciées	Forêts riveraines indifférenciées
Groupements d'éboulis	<i>Achnatero-Centranthetum angustifolii</i>	<i>Achnatero-Centranthetum angustifolii</i>	<i>Achnatero-Centranthetum angustifolii</i>	<i>Achnatero-Centranthetum angustifolii</i>
Groupements de falaises	<i>Potentillion caulescentis</i>	<i>Potentillion caulescentis</i>	<i>Potentillion caulescentis</i>	<i>Potentillion caulescentis</i>
Pieds isolés de ligneux	Genévrier sabine ( <i>Juniperus sabina</i> ) Mélèze ( <i>Larix decidua</i> )	Non visible	Non visible	Genévrier sabine ( <i>Juniperus sabina</i> ) Mélèze ( <i>Larix decidua</i> )
Nombre de groupements	16	7	7	10

- **Etage montagnard**

A l'étage montagnard (Tableau 2) 16 associations phytosociologiques sont observées sur le terrain. A l'issue du découpage de la photographie, 7 catégories de milieux sont individualisées. La prise en compte du facteur altitude ne permet pas d'améliorer la discrimination des groupements.

En revanche, l'étude de la forme des communautés végétales (rendue possible par la grande résolution de la photographie aérienne) permet de considérer trois catégories de milieux supplémentaires. Il s'agit principalement de la distinction des landes à Genévriers sables, mosaïque de lenticelles roses, sans ombre, plaquées le plus souvent sur des escarpements rocheux, des mélèzes, dont les ombres portées et le relief des houppiers sont visibles au stéréoscope.

Sur le terrain, le tracé à main levée de communautés végétales permet d'augmenter la liste des groupements identifiables.

## 3.2. Les cartes de végétation

### 3.2.1. La carte de végétation issue de la photo-interprétation radiométrique (analyse des couleurs) et visuelle

Cette carte de végétation est le résultat du travail combinant l'analyse des couleurs et la photo-interprétation (Cartel et Carte 3). Dans la majorité des cas, les fonctions d'analyse des couleurs (quand les couleurs sont contrastées sur la photographie) et d'automatisation de la cartographie sont utilisées. Lorsqu'elles sont inutilisables (photographie de mauvaise qualité), la carte est alors réalisée manuellement de façon plus traditionnelle. A partir de l'observation d'une zone de la carte, le nombre et la forme de ses taches de végétation (« polygones ») permettent d'apprécier la méthode de saisie (travail d'analyse des couleurs et d'automatisation ou travail manuel).

- **Zones réalisées par des opérations d'automatisation**

Certaines zones de cette carte se caractérisent par leur aspect mosaïqué (taches plus ou moins importantes, voire parfois très petites). C'est le cas des éboulis à éléments fins, des éboulis à éléments moyens et des pelouses sur pentes ébouleuses (*Seslerio-Avenetum*, *Salicetum retuso-reticulatae*) qui sont étroitement imbriqués.

Dans de telles zones, le résultat ainsi obtenu permet d'observer l'un des points forts de cette méthode : le dessin automatique et fidèle des contours des objets. Chaque lambeau de pelouse se développant dans les éboulis, la plupart des combes à neige enchâssées dans des pelouses bénéficiant d'un enneigement moins durable, se dessinent selon leur silhouette naturelle.

Ce résultat s'observe notablement aux étages subalpins et montagnards par la cartographie des pieds d'arbres et de Genévriers isolés.

La légende est adaptée aux limites de la méthode : dans certaines situations, deux associations végétales aux mêmes signatures spectrales peuvent être séparées par photo-interprétation sur la base de leur écologie ou par observation sur le terrain. Chacune a alors une légende propre. C'est le cas des éboulis du *Berardietum lanuginosae* et du *Leontidetum montanii*, pour lesquels, en exposition nord, il est possible de faire une distinction ; le *Berardietum lanuginosae* ne poussant qu'en exposition sud et le *Leontidetum montanii* à toutes les expositions.

En revanche, en exposition sud, à moins de procéder à l'examen systématique de chaque ébouli, il n'est pas possible de faire cette distinction ; la légende regroupe alors ces deux types d'éboulis.

Concernant les éboulis, il apparaît une logique souvent respectée : les éboulis du *Thlaspetum rotundifolii* à éléments moyens occupent les parties basses des grandes zones ébouleuses. Ils sont surmontés par les éboulis à éléments fins du *Berardietum lanuginosae* ou du *Leontidetum montanii* (selon l'exposition) à éléments plus fins et plus légers, donc moins soumis à la gravité.

#### • Zones réalisées manuellement

Dans d'autres zones en revanche, en particulier sur les pentes douces, les groupements ne peuvent être séparés sur la base de leur signature spectrale. Sur le terrain, l'observateur trace alors les limites (moins authentiques et plus grossières), qui sont ensuite digitalisées. Ces formes sont notamment observables pour les pelouses du *Festucetum spadicea* (ne figure pas sur la carte de végétation des étages alpin et subalpin présentée dans ce rapport).

Enfin, toujours dans les situations où les signatures spectrales de plusieurs milieux se confondent, la délimitation des groupements, peut se faire directement sur l'écran à l'aide de la souris. C'est le cas des groupements de falaises, gris, gris-bleutés à l'instar des éboulis, qui s'en distinguent toutefois aisément visuellement, par la texture, la forme et les ombres portées.

### 3.2.2. La carte des habitats obtenue par agglomération et gommage de polygones

La grande précision de la carte de végétation obtenue précédemment permettant la représentation des pieds d'espèces ligneuses (par là même, une quantification de l'envahissement des pelouses par ces espèces) est destinée à une sortie à grande échelle (de l'ordre du 1 : 5000). Ramenée au 1 : 25000, le piqueté que constituent les espèces ligneuses sur matrice de pelouses rend la carte très chargée et peu lisible. Des fonctions de généralisation (agglomération et gommage de polygones au sein d'une fenêtre de taille définie) permettent ce changement d'échelle (Carte 2 et Carte 4) au cours duquel s'opèrent :

- le remplacement des taches de faibles surfaces, perturbant la lisibilité, par la matrice les englobant, afin de faciliter la lecture ;

- le passage d'une cartographie des pieds d'espèces ligneuses à une cartographie des habitats composés d'espèces ligneuses.

Pour réaliser ce passage, les fonctions de généralisation sont paramétrées : une lande est cartographiée quand les pieds d'espèces ligneuses qui la composent recouvrent plus de 25% d'une surface, et un bois quand les pieds d'espèces ligneuses qui le composent, recouvrent plus de 50%.

## 4. DISCUSSION

### 4.1. La méthode

Le Conservatoire Botanique National de Gap vise donc à développer une méthode de cartographie assistée par ordinateur, qui permet une part d'automatisation (basée sur l'analyse et la reconnaissance de couleurs) et qui laisse une large part à la photo-interprétation, dont la qualité dépend de la plus ou moins grande connaissance que l'observateur a acquise du terrain. Cette méthode nécessite donc une phase de terrain, pour la prise d'informations (travail d'étalonnage entre la photographie infrarouge et la végétation ou dessin à main levée des unités de végétation) et pour l'imprégnation de l'observateur au terrain, à l'écologie des groupements.

De cette expérience, il ressort qu'à elle seule, l'analyse des couleurs de la végétation est insuffisante, et qu'une méthode de cartographie basée sur cette seule analyse serait un échec. Cependant, ce travail d'analyse des couleurs, dans les zones où il peut être appliqué et à condition qu'il soit réalisé au sein de polygones homogènes, permet d'extraire une information de base permettant déjà de séparer des communautés végétales ou des groupes de communautés végétales plus ou moins précis, mais dont l'essentiel de l'information sera valorisé par photo-interprétation.

Sans ce support photographique et la photo-interprétation, l'expérience de terrain de l'observateur serait moins valorisée lors de la réalisation de cartes, qui se ferait à main levée.

### 4.2. L'étendue de la méthode

- **Reconnaissance des différentes communautés végétales**

L'analyse des couleurs, la prise en compte de la topographie, de l'altitude et de la forme des éléments du paysage, permet de distinguer :

- pour les étages alpins et subalpins : 18 catégories de milieux sur les 23 associations phytosociologiques trouvées sur les sites d'étude ;
- pour les étages montagnards : 10 catégories de milieux sur les 16 associations phytosociologiques trouvées sur les sites d'étude.

A ces valeurs, il faut rajouter les groupements directement observables sur le terrain, qui ajoutent de la précision à la cartographie. Plus le temps passé sur le terrain est grand et plus le gain de précision est important.

Aux étages subalpin et alpin, les milieux se différencient principalement suivant les modes thermique, intermédiaire et nival, regroupant chacun plusieurs associations végétales de pelouses aux écologies assez proches. La précision de cette distinction est plus ou moins satisfaisante selon les utilisations et les attentes de la carte.

En effet, dans une optique de conservation et de gestion des milieux, où la dynamique de la végétation et l'appartenance des communautés végétales à des séries de végétation doivent être intégrées, les mesures de gestion à adopter pour les pelouses d'un même mode de répartition de la végétation sont souvent semblables. C'est le cas des pelouses écorchées à

*Sesleria caerulea* et à *Helictotrichon sedenense* (*Seslerio-Avenetum montanae*) et celles à *Astragalus sempervirens* et à *Ononis cristata* (*Astragalo-Ononidetum cenistae*), figurant tous deux dans le mode thermique et dans la même série de végétation, bénéficieront de prescriptions de gestion identiques. Il peut en être de même pour les pelouses du mode nival situées en dessous de 2400 m (ce qui exclut les combes à neige du *Salicetum herbacea*).

En revanche, dans une optique pastorale, il semble intéressant de distinguer dans le mode intermédiaire les pelouses à *Festuca paniculata* du *Centaureo-Festucetum spadicea* des pelouses à *Carex sempervirens* du *Festucetum halleri caricetosum*. Cette distinction s'effectue à main levée sur le terrain.

La discrimination de groupements présentant des signatures spectrales identiques peut être réalisée de différentes manières :

- par le croisement de la photographie infrarouge et du cadastre. La structure du parcellaire peut fournir des informations quant à l'utilisation des terres : à titre d'exemple, les pelouses du *Centaureo-Festucetum spadicea*, fauchées et situées sur des terrains privés, apparaissent sous forme d'une mosaïque de parcelles de petites tailles. Elles se distinguent des pelouses du *Festucetum halleri caricetosum*, pâturées et situées sur des terrains communaux et figurant sur le parcellaire sous forme d'une mosaïque de parcelles de plus grandes tailles. La présence de canaux d'irrigation peut également révéler la présence de pelouses du *Centaureo-Festucetum spadicea* ;

- par la projection sur la photographie aérienne de points issus de la base de données floristique mis en place au Conservatoire Botanique National de Gap. La projection de ces points peut permettre d'identifier la nature de certains groupements de végétaux : la présence dans un éboulis de l'espèce *Berardia subacaulis* indique un éboulis du *Berardietum lanuginosae* ;

- par l'utilisation de cartes existantes réalisées à des échelles plus petites ;

- par la définition de limites altitudinales pour les groupements se développant à des altitudes différentes. Ces limites sont actuellement définies statistiquement, mais sont, par manque d'observations, à ce jour provisoires. Ces recherches s'effectuent aux différentes expositions, entre les combes du *Salicetum herbacea* et les pelouses *Festuco-Trifolietum thalii*, entre les pelouses à *Carex sempervirens* du *Festucetum halleri caricetosum* et le *Curvuletum elynetosum*, en situation de crêtes, de sommets de bosses.

- **La réalisation automatique de la carte**

L'automatisation de la cartographie (quand elle est possible) épargne un long travail de digitalisation et permet un gain de temps et de précision considérable.

Outre l'intérêt purement cartographique de cet atout, cet outil permet de saisir certaines phases de la dynamique de la végétation, ce qui est intéressant : dans le contexte actuel de déprise agricole (individualisation cartographique de chaque pied de Genévriers ou d'arbres composant les landes, évaluation de leur surface ou de leur nombre). La connaissance de la végétation d'une station, de son stade dynamique (donné par cet outil cartographique) et de la série de végétation dans laquelle elle figure, informe du type de végétation vers laquelle elle va évoluer. Les efforts du Conservatoire Botanique National se portent actuellement sur la cartographie de la dynamique de végétation et des séries.

Cette capacité de traçage automatique des contours (point fort de cette méthode) est rendue possible par la très bonne résolution des photographies infrarouges. Cela constitue un avantage primordial sur l'imagerie satellitaire multicanale dont la résolution (pixel de grande

taille : 20 x 20 m) empêche à ce jour, et ce pour quelques années encore, la réalisation d'études fines (à l'échelle cadastrale) de la dynamique de certains stades de la végétation.

- **La grande précision de localisation des objets**

Le travail s'effectuant sur des photographies orthonormées, la carte de végétation obtenue est elle-même un orthoplan, superposable aux fonds topographiques. Chaque tache de végétation et chaque élément sont donc très facilement repérables sur le terrain à l'aide de la carte topographique.

- **Le changement d'échelle**

Pour faciliter le travail d'analyse, l'échelle des photographies peut être agrandie jusqu'à la limite de la lisibilité. Cette limite est fonction de la résolution de la photographie et du scannage. Dans le cadre de ces tests, les photographies utilisées présentant un pixel de 1 x 1 m et scannées à 600 dpi sont agrandissables jusqu'au 1 : 2500.

Des photographies aériennes disponibles et présentant un pixel de 0.25 x 0.25 m peuvent être agrandies jusqu'au 1 : 500. Leur utilisation pour la cartographie de la végétation sur de larges surfaces (échelle de la région) implique un long et lourd travail (nombre important de polygones à valider), ce qui les rend difficilement utilisables pour ce type de cartographie. En revanche, leur très bonne résolution en fait un bon outil pour la cartographie de petite surface.

La grande précision de l'information des cartes réalisées par photo-interprétation radiométrique et visuelle permet, par l'utilisation de fonctions de généralisation, de passer très rapidement d'une échelle à une autre. Le passage d'une carte réalisée à échelle fine (1 : 2500, 1 : 5000) à une carte de synthèse à plus grande échelle (1 : 25000, 1 : 50000) est donc très rapide.

### 4.3. Les limites de la méthode

- **Les limites liées à la photographie infrarouge**

⇒ Les limites inhérentes à la photographie infrarouge : la réponse n'est pas le seul fait des éléments photographiés. Des paramètres topographiques sont susceptibles de la faire varier : le degré et l'orientation de la pente, l'altitude, des activités anthropiques (la fauche ou le pâturage se traduisant par une diminution de la biomasse végétale). De plus, les ombres masquent la nature des communautés végétales sur la photographie infrarouge.

⇒ Une association végétale présente une certaine variabilité floristique, de recouvrement, de biomasse, d'exposition et de degré de pente, qui engendre une variabilité de cette réponse. De fait, les signatures spectrales de deux associations végétales peuvent se chevaucher de façon importante. Cette limite est en grande partie palliée par un travail s'effectuant au sein de polygones homogènes, ce qui assure une cartographie fiable.

⇒ Deux associations végétales présentent la même signature spectrale.

- **Les limites liées au mosaïquage des photographies aériennes**

La phase de mosaïquage, qui assemble les différentes photographies ortho-normées, ne respecte bien souvent pas les limites des différentes unités paysagères. C'est le cas en particulier, du mosaïquage de photographies issues de passages d'avion (traces) différents. Il s'en suit des raccords grossiers coupant en deux des unités paysagères homogènes, et de fait, un travail d'analyse des couleurs difficile.

- **Le travail statistique sur l'analyse des couleurs**

Préalablement à l'analyse des couleurs, chaque image, qui se décompose en trois canaux (rouge, vert, bleu) fait l'objet d'une classification non supervisée afin de réaliser une image en un seul canal. A chacun des 256 codes de la table couleur (de la classification) est attribué une couleur. Pour se faire, le code numéro un est attribué à la couleur du premier pixel rencontré sur la photographie, le code numéro deux à celle du second pixel, etc...

Lors du passage à une autre photographie où la couleur des premier, second,... pixels sont différents, les codes attribués aux couleurs ne sont pas les mêmes.

De fait, il n'est pas possible de caractériser statistiquement sur l'ensemble d'une région les couleurs contribuant à chacune des associations végétales. Le travail d'analyse doit donc être réalisé sur chaque photographie et ne peut être étendu aux autres photographies.

Pour pallier ce problème, une solution consiste à mosaïquer (assembler) plusieurs photographies entre elles, et à appliquer la classification non supervisée à la photographie d'assemblage. Mais, il s'en suit une perte d'informations sur les couleurs, qui rend la discrimination des différentes communautés végétales plus difficile. Un travail réalisé séparément sur chaque photographie a donc été privilégié afin de conserver un maximum d'informations.

Cette limite de la méthode implique un travail de cartographie plus important.

La validation des cartes est partielle. Tous les polygones n'ont pas fait l'objet de vérification. Elle montre une très bonne fiabilité de la méthode pour certains types de groupements (les éboulis, les pelouses se développant au sein des éboulis, les pieds d'espèces ligneuses...). Cette phase de validation devra être complétée et devra évaluer statistiquement pour chaque association végétale cartographiée, le pourcentage d'erreurs, et déterminer les associations avec lesquelles elle se confond, et l'importance de ces confusions.

#### **4.4. La valorisation des cartes réalisées**

- **La réalisation de cartes thématiques**

La carte des associations phytosociologiques obtenue constitue un support contenant une information brute et devient ainsi un référentiel. Celui-ci peut être valorisé au travers de cartes thématiques concernant des domaines très variés :

- carte de répartition des milieux naturels basée sur la typologie CORINE Biotope. Dans le cadre du projet de réalisation d'une base de données cartographiques des habitats de

la région Provence-Alpes-Côte d'Azur, il est très facile de passer de ce référentiel basé sur la typologie phytosociologique, à une carte qui s'appuie sur la typologie CORINE Biotope.

- carte de répartition des habitats d'intérêt européen dans le cadre de la mise en place du réseau Natura 2000, cartes de répartition des ZNIEFF.

- carte de répartition des durées d'enneigement. A partir des données issues de la littérature et des durées de recouvrement des différentes associations végétales par la neige, ce thème peut intéresser les communes dans le cadre de projets de création de station de ski.

- carte de répartition potentielle de différentes espèces animales (insectes, oiseaux,...) en s'appuyant sur la connaissance de leur biotope. Certains animaux sont inféodés à des communautés végétales particulières. C'est le cas du Nacré porphyrin (*Clossiana titonia*) dont les larves se développent au sein des prairies de fauche du *Trisetum-Polygonum bistorta*, ou encore du Tetras lyre qui niche dans les Rhodoraies (*Vaccinio-Rhododendretum ferruginei*) et les Aulnaies vertes (*Alnetum viridis*) au dessus de 1900 m.

- carte de répartition des valeurs fourragères à partir de la connaissance des valeurs pour les différentes associations végétales.

- carte de répartition de l'envahissement des pelouses par des ligneux afin d'orienter les mesures de gestion et d'adopter une stratégie de restauration des milieux ouverts.

Cette carte de végétation qui sert de référentielle de la réalité du terrain peut donc permettre à des spécialistes de disciplines variées de traiter les questions qu'ils se posent. Les informations qui en découlent, basées sur un référentiel commun, peuvent alors être croisées.

#### • L'aide à la gestion des milieux et à l'aménagement du territoire

A partir des cartes de végétation obtenues, il est possible :

- de calculer la surface des différents habitats. Réalisés à différentes dates, ces calculs de surface peuvent constituer un bon outil de suivi des habitats dans le temps.

- de passer ces cartes de végétation au crible de l'écologie du paysage : analyse de la forme et de la position spatiale (concept de corridor, de fragmentation des habitats, de capacité de dispersion des organismes...) afin de conserver un *continuum* au sein de certains habitats, permettant des migrations de la flore et de la faune.

- de comparer la carte de végétation de la situation actuelle à la carte de végétation d'une situation antérieure. Ce travail est réalisé actuellement entre 1993 et 1948 sur une zone du Queyras. Celui-ci permet de mesurer l'impact de l'abandon des terres (régression des espaces agricoles, progression des espèces ligneuses de landes et de forêts) et son incidence en terme de paysage, de conservation biologique, de stratégies d'aménagement du territoire et de mesures agri-environnementales.

Les cartes de végétation et les différentes cartes thématiques, dont l'échelle est modulable, peuvent être établies à des échelles de l'ordre du 1 : 5000, ce qui les rend superposables au plan cadastral. Ces cartes peuvent alors alimenter les SIG mis en place par les collectivités territoriales, en tant qu'outil de gestion de l'espace. La finesse de ces cartes et leur superposition possible au cadastre, en font un outil concret de la gestion du territoire. En effet, c'est l'échelle du parcellaire qui permet de connaître les noms des propriétaires fonciers et leurs pratiques agricoles, qui permet de mettre en évidence, par croisements d'informations, les conflits d'usage. Cette échelle est aussi nécessaire pour mettre en place des mesures agri-environnementales.

## **4.5. Evaluation du temps et des besoins de formation pour la réalisation des cartes de végétation**

### **• Temps de réalisation des cartes de végétation**

Dans le cadre de la cartographie de la végétation d'un site couvrant plusieurs photographies aériennes (3 x 3 kms), le temps nécessaire pour réaliser la carte de végétation de la première photographie est de six jours (trois jours pour le travail de terrain et trois jours pour la réalisation de la carte). Le chevauchement entre deux photographies est de un tiers. Le temps nécessaire pour cartographier les autres photographies est donc de quatre jours (deux tiers de six jours).

### **• Besoin de formation pour la réalisation des cartes de végétation**

La capacité à réaliser une carte de végétation par photo-interprétation radiométrique et visuelle nécessite un temps assez long (six mois) de formation et d'imprégnation de l'opérateur à l'écologie des milieux. Ce type de carte peut être réalisé par des étudiants de niveau ingénieur (stage de fin d'étude).

En revanche :

- la réalisation d'une carte d'occupation des sols, demandant un temps de formation moindre, peut être effectuée par un personnel moins qualifié, lors d'un stage de plus courte durée (niveau maîtrise) ;

- la validation d'une carte des essences forestières et de landes donnant des indications sur la dynamique des milieux peut être réalisée par n'importe quel opérateur.

La difficulté de la méthode ne tient pas à la maîtrise de l'outil mais à la connaissance des milieux.

### **• La réalisation d'autres tests par le Conservatoire Botanique National de Gap**

Les tests présentés dans ce rapport ont été réalisés dans le Parc Naturel du Queyras mais d'autres l'ont été dans le massif du Mercantour, au col de la Cayolle, avec l'aide de stagiaires et d'agents du parc National du Mercantour, ainsi que sur la commune de Gap.

Des photographies orthonormées redressées ont également été transmises à l'Office National des Forêts pour réaliser une cartographie expérimentale dans le cadre de l'aménagement forestier. Les premiers résultats montrent l'intérêt et le gain de temps considérable liés à la création de couches thématiques sur support de photographies orthonormées à grande échelle.

## Bibliographie

AUBERT G., BOREL L., LAVAGNE A. & MOUTTE P. (1965), Feuille d'Embrun Est (XXXV-38). Elaboration d'une carte à moyenne échelle - (1/50 000<sup>e</sup>) à partir de levés exécutés à grande échelle - (1/20 000<sup>e</sup>), *Doc. Carte. Vég. Alpes* 3:61-86.

BARBERO M. (1972), Etudes phytosociologiques et écologiques comparées des végétations orophiles alpine, subalpine et mésogéenne des Alpes Maritimes et Ligures, Thèse d'Etat, Univ. Provence, 2 tomes, 1:418 p., 2 (pl. + ann.).

BRAUN-BLANQUET J. (1954), La végétation alpine et nivale des Alpes françaises, *Trav. Com. Sci. C.A.F.* 4:26-96, in "Etude Botanique de l'étage alpin", 8e Congr. Int. Bot.

BRAUN-BLANQUET J. (1969), Une association endémique des Alpes Sud-occidentales le Myrrhido-Adenostyletum, *Acta Bot. Croat.* 28:49-54.

BRAUN-BLANQUET J. (1972), Die Gänsefussweiden der Alpen (*Chenopodium subalpinum*), *Saussurea* 3:141-156, *Comm. SIGMA* 199.

BRESSOUD B. (1980), La végétation du Bas-Marais de l'Ar du Tsan (Val de Réchy, 2185 m, Nax, Valais), *Bull. Murithienne* 97:3-24.

BRESSOUD B. & TROTTEREAU A. (1984), Le Caricion bicolori-atrofuscae, alliance arctico-alpine, dans les marais du massif de la Vanoise et des régions limitrophes, *Trav. Sci. Parc Natl. Vanoise* 14:9-47.

DALMAS J.P. (1972), Etudes phytosociologique et écologique de l'étage alpin des Alpes sud-occidentales françaises et plus particulièrement de la région Vars-Ecrins (H.A.), Thèse 3<sup>e</sup> Cycle, Doc. Univ., Univ. Provence, 173 p.

LACOSTE A. (1975), La végétation de l'étage subalpin supérieur de la Tinée (Alpes-Maritimes), *Phytocoenologia* 3 (1-3):83-345.

LAVAGNE A. (1968), La végétation forestière de l'Ubaye et des Pays de Vars & La végétation rupicole des Hautes-Vallées de l'Ubaye et de l'Ubayette (Alpes Cottiennes), Thèse d'Etat, Marseille, 2 vol., 434 p.

LAVAGNE A., ARCHILOQUE A., BOREL L. & DEVAUX J.P. (1983), La végétation du Parc Naturel Régional du Queyras. Commentaires de la carte phytoécologique au 1/50 000<sup>e</sup>, *Rev. Biol. & Ecol. Médit.* 10 (3):175-248.

MEYER D. (1981), La végétation des vallées de Vallouise, du Fournel et de la Biaysse (Pelvoux oriental, Hautes-Alpes). Analyse phytosociologique et phytogéographique des étages collinéen, montagnard et subalpin, Thèse 3<sup>e</sup> Cycle, Doc. Univ., Univ. Provence, Aix-Marseille 1, 176p.

PELLET G. (1983), Etude pastorale d'un alpage de l'Oisans. Impact d'un troupeau ovin sur la végétation, Rapport D.E.A., Université de Grenoble, 32 p.

PELLET G. (1986), Phytoécologie, phytosociologie et potentialités fourragères des pelouses d'altitude en Oisans (Alpes françaises). Application à la vallée du Chazelet (La Grave, Hautes-Alpes), Thèse 3<sup>e</sup> Cycle, Doc. Univ., Univ. Sci. Techn. Méd. Grenoble, 95 p.

RAMEAU J.C. (1996), Réflexions syntaxonomiques et synsystématiques au sein des complexes sylvatiques français, Rapport, ENGREF, 230 p.

RICHARD J.L. (1975), Les groupements végétaux du Clos du Doubs (Jura Suisse), *Beitr. Geobot. Landesaufn. Schweiz* 57:1-71.

RICHARD J.L. (1985), Pelouses xérophiles alpines des environs de Zermatt (Valais, Suisse), *Bot. Helv.* 95/2:193-211.

ROYER J.M. (1982), Caractérisation, répartition et origine du *xérobromion*, *Colloques Phytosociol.* (Bailleul) 11:243-267, "Les pelouses calcaires".

THEURILLAT J.P. (1992), Les prairies à *Trisetum flavescens* (L.) P. Beauv. (*Trisetum-Polygonion*) dans la région d'Aletsch (Valais) et en Suisse, *Candollea* 47:319-356.

THEURILLAT J.P., AESCHIMANN D., KÜPFER P. & SPICHI (1995), The higher vegetation units of the Alps, *Coll. Phytosociol.* 23:189-239 "Large area vegetation surveys".

UNIVERSITE DE JOSEPH FOURNIER GRENOBLE 1 (1995), Documents pour la carte de la végétation des Alpes (vol I à X). Documents de cartographie écologique (Vol XI à XXXI)