

L'image proche infrarouge : une information essentielle



INVENTAIRE FORESTIER
NATIONAL

Dès sa création, l'IFN eut recours aux images aériennes infrarouges comme support pour asseoir ses unités d'échantillonnage. À partir des années 1980, celles-ci servirent également à la réalisation de la carte forestière. Mais quel est l'intérêt de travailler dans le proche infrarouge ? Quels sont les connaissances de base à posséder et les éléments à considérer lorsque l'on interprète une image de ce type ? Ce numéro de L'IF propose quelques éléments de réponse.

Aujourd'hui, l'image numérique (Encadré A), l'orthophotographie et la BD ORTHO® en infrarouge couleur (Encadré E) ont remplacé l'image aérienne sur support argentique. Si les techniques d'obtention et les prétraitements de ces images ont évolué, les règles de base et les principales étapes pour extraire de ces images une information utile restent les mêmes. S'appliquant tant à la BD ORTHO® qu'aux centaines de milliers de photographies infrarouges dont dispose l'IFN, ces techniques permettent donc d'analyser les évolutions des territoires sur près de 50 ans.

Sommaire

Le proche infrarouge :
un apport spécifique

p. 1

La réponse des végétaux
aux rayonnements visible
et proche infrarouge

p. 3

Interpréter la végétation :
une combinaison de
multiples connaissances

p. 4

Méthode d'interprétation :
étapes et procédures

p. 8

Des centaines de milliers
de photographies à l'IFN

p. 10

La photo-interprétation de
l'image infrarouge :
une compétence forte de
l'établissement

p. 12

Perspectives

p. 12

Le proche infrarouge : un apport spécifique

Si les grands types de couverture du sol peuvent être appréhendés à partir d'images « ordinaires », c'est-à-dire panchromatiques noir et blanc ou couleurs naturelles, la distinction des feuillus et des résineux (Fig. 1), voire de certaines espèces, n'est possible de façon fiable qu'à l'aide du proche infrarouge (Encadré A). Il en va de même pour le degré d'activité chlorophyllienne des plantes (débourrage, état sanitaire, etc.) ou pour une meilleure perception de l'humidité des sols.

L'image infrarouge couleur (IRC) est ainsi l'image la plus appropriée pour l'étude de la végétation, même si toutes les espèces arborées, arbustives ou herbacées n'y sont pas traduites par une couleur spécifique.



Image en couleurs naturelles

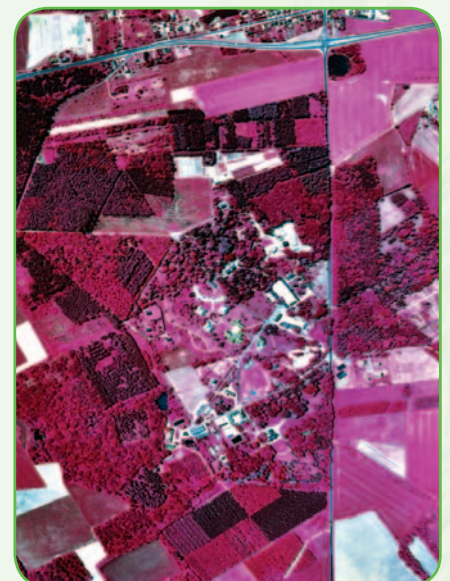


Image en infrarouge couleur

Fig. 1 : Comparaison de deux types d'image
(Loiret, Arboretum national des Barres)

L'infrarouge et son enregistrement

L'infrarouge

La partie « visible » et photosynthétiquement active du spectre solaire est formée d'un ensemble de radiations colorées (arc-en-ciel) caractérisées par leur longueur d'onde. Ces radiations, comprises entre l'ultraviolet et l'infrarouge, s'étendent de 400 à 700 nanomètres ($1 \text{ nm} = 10^{-6} \text{ mm}$). Au-delà du spectre visible et jusqu'à des longueurs d'onde de l'ordre de 1 mm (micro-ondes) se situe le rayonnement infrarouge (IR), lequel se divise en deux ensembles : l'IR réfléchi et l'IR émis ou IR thermique. Seul le très proche infrarouge (700 à 900 nm) présente un grand intérêt pour l'étude de la végétation.

L'enregistrement du proche infrarouge

Enregistrement argentique

Les émulsions photographiques sont sensibles de 300 à 900 nanomètres environ. Elles permettent d'enregistrer la partie visible du spectre solaire (films panchromatiques noir et blanc ou couleur) mais également une partie de l'ultraviolet ainsi que le proche infrarouge (films IR).

Pour enregistrer le proche infrarouge sur un film couleur (IRC) il est nécessaire de lui affecter l'une des trois couleurs primaires. Il est impossible de ce fait, d'enregistrer à la fois l'ensemble des couleurs naturelles et le proche infrarouge. Un « glissement » des trois couleurs de base vers les grandes longueurs d'onde permet d'affecter la couleur rouge au rayonnement proche infrarouge. Le rayonnement rouge réfléchi par le sol est alors traduit par du vert et le vert par du bleu. Le vert, le rouge et le proche infrarouge réfléchis par le sol sont ainsi traduits sur le film IRC par du bleu, du vert et du rouge (Fig. a).

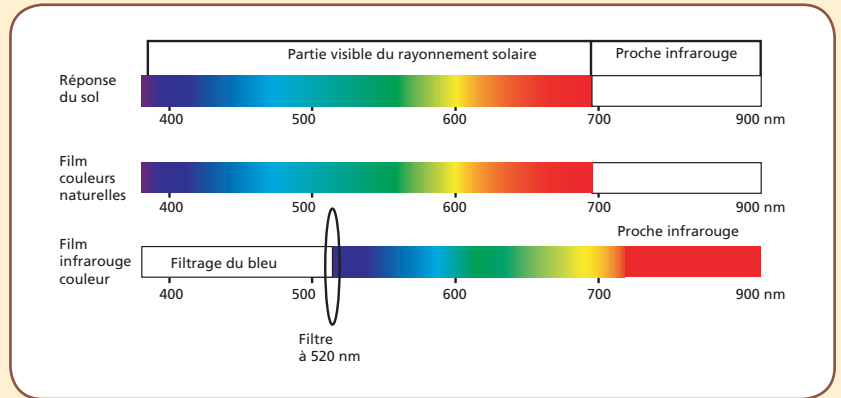


Fig. a : Principes de création des films couleurs naturelles et infrarouge couleur

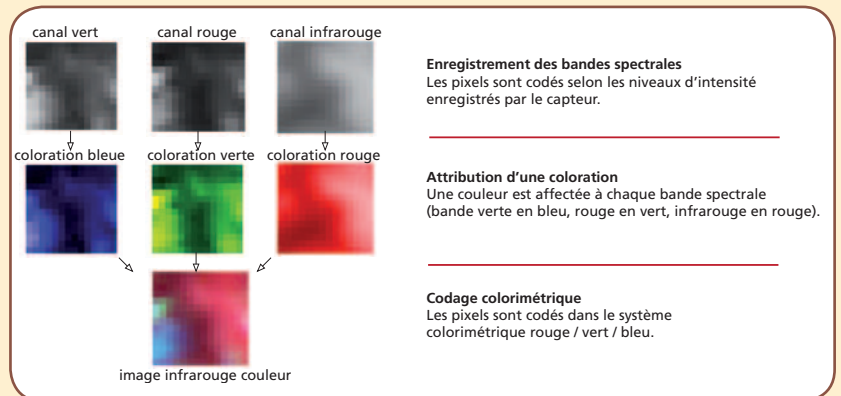


Fig. b : Principes de création de l'image numérique infrarouge couleur

Enregistrement numérique

L'image numérique infrarouge couleur est constituée de pixels dont la radiométrie est codée avec les niveaux d'intensité enregistrés par les trois canaux vert, rouge et proche infrarouge, traduits respectivement par du bleu, du vert et du rouge comme pour l'enregistrement photographique (Fig. b).

La caméra numérique multi-canal est fondée sur le principe de synchronisation directe de quatre canaux enregistrant respectivement le bleu, le vert, le rouge et le proche infrarouge. Les principales caractéristiques radiométriques d'une caméra numérique sont la dynamique (nombre de niveaux de gris discernables), le rapport signal/bruit (minimiser l'influence du bruit par rapport à l'information utile) et la réponse linéaire du capteur à la lumière. Alors que la réponse d'un film à la lumière est logarithmique, celle des capteurs numériques est linéaire ce qui permet d'améliorer la qualité radiométrique de la mosaïque d'images. La richesse radiométrique obtenue (profondeur de l'image) est également bien supérieure à celle des films argentiques numérisés.



Fig. c : Caméra Vexcel (capteurs panchromatiques en ligne, entourés des 4 canaux couleur) et principe de synchronisation des canaux couleur (source IGN)

Initiées dans les années 1990, les études sur les capteurs numériques sont encore aujourd'hui en plein développement. En 2009, l'Institut géographique national (IGN) a réalisé ses enregistrements avec la caméra numérique IGN V2 (matrice de $7\,256 \times 5\,450$ pixels) et la caméra numérique Vexcel modèle UltraCamXp (matrice de $5\,770 \times 3\,770$ pixels pour la couleur et $17\,310 \times 11\,310$ pixels pour le panchromatique) (Fig. c).

La réponse des végétaux aux rayonnements visible et proche infrarouge

La réponse des végétaux aux rayonnements visibles et proche infrarouge dépend du nombre d'assises cellulaires et des formes plus ou moins régulières des cellules des feuilles (Encadré B), celles-ci évoluant au cours de la vie de la feuille.

L'importance relative des pigments foliaires dépend pour sa part du stade phénologique de la plante, de son état de stress ou de son état sanitaire (Fig. 2). Cela se traduit nécessairement sur sa réponse spectrale dans le visible comme dans le proche infrarouge. S'ajoutent à ces facteurs les conditions environnementales et stationnelles ou encore la structure du houppier.

À l'échelle du peuplement, la réponse spectrale est influencée par l'âge, la densité, la structuration verticale et la composition, c'est-à-dire la phénologie souvent non uniforme des espèces présentes.

La réponse des végétaux dépend également de la date et de l'heure de prise de vues. Ces impératifs horaires

et saisonniers sont importants à respecter tant au regard de la phénologie des espèces que de la hauteur du soleil au dessus de l'horizon. Le proche infrarouge en effet n'est pas sensible à la lumière réfléchi et en conséquence toutes les ombres sont noires.

Lorsque la date de prise de vues correspond, pour une espèce donnée, à son stade de débourrage, de floraison, ou de sénescence des feuilles, son identification est grandement facilitée. Mais ces conditions optimales, caractéristiques du printemps ou de l'automne, sont souvent associées à des hauteurs insuffisantes du soleil au-dessus de l'horizon et donc à des ombres portées trop importantes, même autour du midi solaire.

En été la situation est plus favorable. Cependant, le respect d'une hauteur minimale du soleil au dessus de l'horizon de 30° réduit le temps de prise de vues à une plage horaire quotidienne de 4 h environ centrée

sur le midi solaire. L'ensemble de ces facteurs a pour conséquence le fait que la variabilité intraspécifique est souvent équivalente, voire supérieure, à la variabilité interspécifique rendant délicate toute identification des espèces par leur seule réponse spectrale (Encadré C).



Fig. 2 : Diminution de l'activité chlorophyllienne des chênes à la suite d'une attaque par le *Bombyx disparate*.

B

Réflectance et structure de la feuille

Réflexion (r), absorption (a) ou simple transmission (t) sont les trois processus classiques d'interception du rayonnement solaire incident et ceci quelle que soit la bande spectrale considérée. Notons encore que : $t + r + a = 1$.

Dans le proche infrarouge, les pigments foliaires ainsi que la cellulose sont transparents, d'où une très faible absorption, inférieure à 10 %. Le rayonnement incident est soit transmis ($\pm 50\%$) soit réfléchi ($\pm 50\%$). Cette réflectance dépend de la structure du parenchyme lacuneux et de l'importance du parenchyme palissadique (Fig. d).

Le parenchyme lacuneux est le principal responsable de la réflexion dans le proche infrarouge. Lorsque celui-ci est peu développé (résineux) la réflectance est faible. À l'inverse, lorsqu'il est très développé (feuillus), la réflectance est forte (Fig. e).

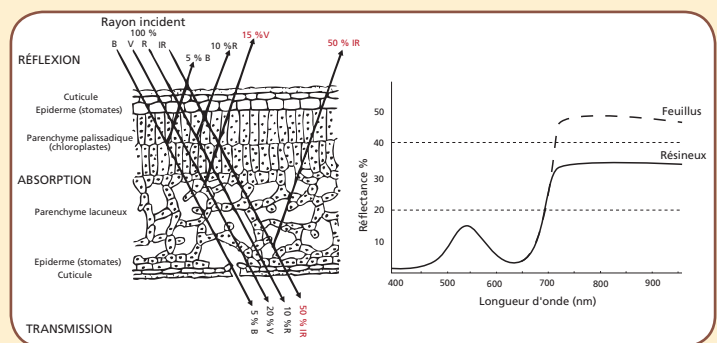


Fig. d : Réflexion, absorption, transmission du rayonnement solaire par la végétation

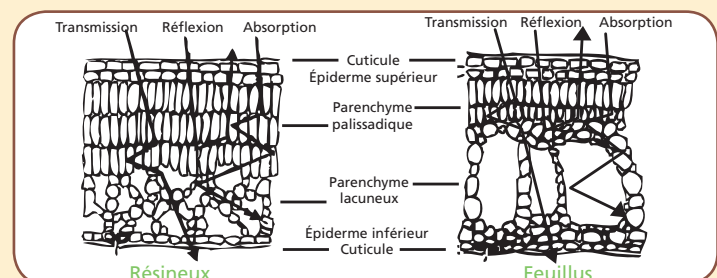


Fig. e : Structure des feuillus et trajet de la lumière (d'après Girard, 1989)

Interpréter la végétation : une combinaison de multiples connaissances

La photo-interprétation fait appel à des raisonnements complexes basés sur la prise en compte de tous les critères observables, ainsi que sur un certain nombre de connaissances acquises, extérieures à l'image mais toujours mobilisables. « ... des résultats sérieux dans ce domaine ne seront

obtenus que si le photo-interpréteur est d'abord botaniste, écologiste ou géographe avant d'être photo-interpréteur » (Rey, 1968). La photo-interprétation exige donc de solides connaissances thématiques et ne dispense pas d'autres modes d'étude du milieu (bibliographie, échanges

d'expériences, etc.). Elle ne dispense pas non plus d'un travail de terrain. La vision d'ensemble que procure la vue aérienne apparaît complémentaire de la vision très locale, mais beaucoup plus exhaustive, que l'on peut avoir en cheminant sous le couvert des cimes.

Distinction des espèces par leur réponse spectrale

Les peuplements qui, sur image infrarouge couleur d'été, peuvent être distingués par des différences de teintes, quelles que soient les conditions, sont peu nombreux

(Encadré C). Cependant outre la distinction feuillus (rouges) et résineux (sombres), les pinèdes par exemple, sans distinction d'espèces, se différencient bien des autres résineux

(sapins et épicéas notamment). Le cèdre et le mélèze s'identifient également par une teinte assez stable et caractéristique (Fig. 3).

C

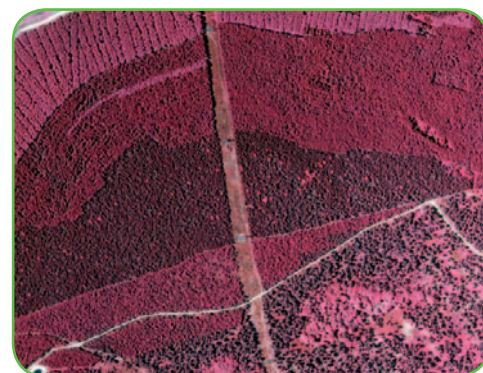
Différences de teintes et distinctions d'espèces

Les distinctions possibles sur des images IRC d'été (juillet/août), de bonne qualité, de même éclaircissement, à l'échelle moyenne du 1/20 000, pour des peuplements adultes sains, de même densité, sont indiqués dans le tableau ci-dessous. Si les différences de teintes ne sont pas suffisantes, d'autres critères d'identification tels les critères stationnels (pente, altitude, exposition, sol, etc.) ou la date de prise de vues (en relation avec le stade phénologique) peuvent être utilisés.

	Différences de teinte			Autres critères d'identification **
	Très nettes	Assez nettes	Subtiles *	
Feuillus	Décidus		Quasi inexistantes *	Date de prise de vues Forme des houppiers Critères stationnels Mode de gestion
			Chênes (R, P, P)	
			Hêtre	
			Châtaignier	
			Robinier	
			Érables	
	Sempervirents		Chêne vert	Forme des houppiers Critères stationnels Date de prise de vues
			Chêne liège	
			Olivier	
			Eucalyptus	
Conifères	Pins		Pin sylvestre	Critères stationnels Forme des houppiers
			Pin maritime	
			Pin noir d'Autriche	
			Pin laricio	
			Pin à crochets	
			Pin d'Alep	
			Pin pignon	
			Pin cembro	
	Autres conifères		Sapin pectiné	Forme des houppiers Critères stationnels
			Épicéa commun	
Mélèze		Épicéa de Sitka		
		Douglas		
Ligneux bas			Callune	Critères stationnels Répartition spatiale Hauteur de la végétation Forme des cimes
			Genévrier	
			Buis	
			Bruyère arborescente	
			Ronces	
Herbacées	Graminées	Fougère aigle	Molinie	Critères stationnels Répartition spatiale Date de prise de vues

* dans la plupart des cas

** par ordre d'importance décroissante



Haute-Loire : de haut en bas : plantation de mélèze (rose), d'épicéa commun (brun rouge), de pin sylvestre (sombre). En bas de l'image, épicéas communs adultes mêlés de quelques taches de hêtre.



Gard, Cévennes : peuplement de chênes verts (à droite) et de châtaigniers mêlés de pins maritimes (à gauche).

Fig. 3 : Distinction des espèces par leur réponse spectrale

Analyse des formes

L'étude des formes est une base sûre de la photo-interprétation. En effet, si la forme des objets peut varier dans le temps, elle reste un critère d'identification beaucoup plus stable et donc plus fiable que la couleur.



Vosges : la juxtaposition de petites parcelles d'épicéas d'âges différents qui caractérise le boisement des anciennes terres agricoles, tranche avec la pessière qui couvre les flancs de la montagne

L'analyse des formes peut concerner trois types d'objet :

- les parcelles ou éléments de type de formation ;
- les arbres et groupes d'arbres ou hétérogénéité intra-parcellaire ;
- les cimes, quelles que soient leur densité ou la structure du peuplement.



Haute-Saône : peuplement de chênes traité en taillis avec parcelles d'âges différents

À chacun de ces trois types d'objets peuvent être attribuées quatre caractéristiques : le nombre, la dimension, la forme et la répartition spatiale, dans le plan horizontal comme dans le plan vertical.

L'échelle parcellaire

À l'échelle parcellaire, les formes anthropisées ou « naturelles », grandes ou petites, géométriques ou quelconques, connexes ou disjointes, enclavées ou non au sein d'un autre usage du sol, ainsi que leur répartition spatiale, peuvent être porteuses d'information sur le type de milieu, le mode de mise en valeur, le type de sylviculture pratiqué ou l'historique de la parcelle (Fig. 4).

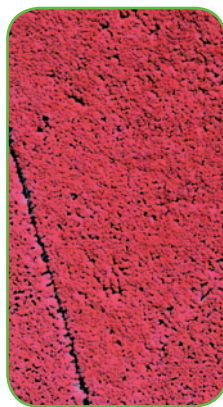
Fig. 4 : Analyse des formes, dimensions et répartitions spatiales des parcelles

L'hétérogénéité intra-parcellaire

En effet, à l'exception des parcelles équiennes, monospécifiques et à couvert plein (futaie régulière de chênes par exemple), les peuplements forestiers présentent une certaine hétérogénéité intra-parcellaire.

De nombreux éléments de type de formation sont ainsi constitués de taches élémentaires différentes, véritables mosaïques d'essences, de structures forestières, de densités ou d'âges, voire de types de couverture du sol. Le nombre de ces constituants et la façon dont ils occupent l'espace caractérisent l'hétérogénéité de la parcelle et permettent sa classification (Fig. 5).

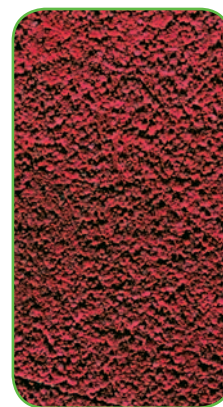
Ainsi, les mélanges de feuillus et de résineux, de futaie et de taillis, la forêt ouverte sont quelques exemples de ces formations dont l'aspect est hétérogène sur l'image. Leur délimitation ne peut dépendre alors que de spécifications extérieures à l'image et notamment de l'objectif poursuivi et de la typologie adoptée.



Loir-et-Cher : futaie régulière de chêne



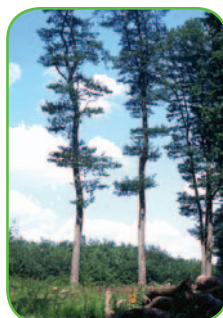
Saône-et-Loire : taillis sous futaie



Saône-et-Loire : peuplement en conversion



Saône-et-Loire : futaie irrégulière de chêne



Arbre de futaie régulière



Arbre de réserve de taillis sous futaie



Futaie irrégulière issue d'un ancien taillis sous futaie

Fig. 5 : Hétérogénéité liée à la structure des peuplements

Observation des cimes

L'identification des espèces, lorsqu'elle est possible, repose sur une observation détaillée de la forme des cimes (Encadré D). S'il existe bien quelques grands types de forme (arrondie, ovale, effilée, en étoile, rugueuse ou lisse, à bord régulier ou irrégulier), ils sont plus souvent caractéristiques d'un groupe d'espèces (pins/autres conifères) ou d'un stade de développement (jeune/adulte) que d'une espèce particulière (Fig. 6).

De plus, ces formes vont dépendre, pour une même espèce, de son origine (rejet ou semence), de son statut (dominant ou dominé), de son environnement ou de la sylviculture pratiquée.

L'angle sous lequel un arbre est observé, c'est-à-dire sa position par rapport au nadir, et l'angle sous lequel il est éclairé par le soleil vont également influencer son apparence sur l'image.

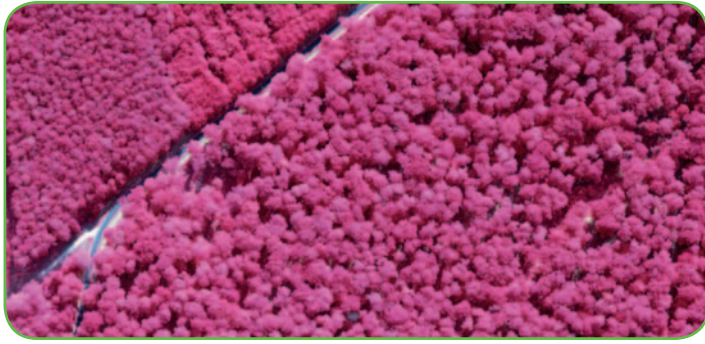
À l'échelle du peuplement, l'homogénéité ou l'hétérogénéité des formes des cimes, la régularité ou l'irrégularité de la distribution des arbres dans le plan horizontal comme dans le plan vertical restent les caractéristiques les plus aisément observables sur l'image et la base de son interprétation.

D

L'observation de la forme des cimes

Des espèces forestières ou des groupes d'espèces forestières peuvent être identifiés d'après la forme de leur houppier, pour des peuplements adultes à une échelle maximale du 1/20 000 (soit une dimension du pixel inférieur au mètre). L'observation des cimes permet également de distinguer certaines structures forestières.

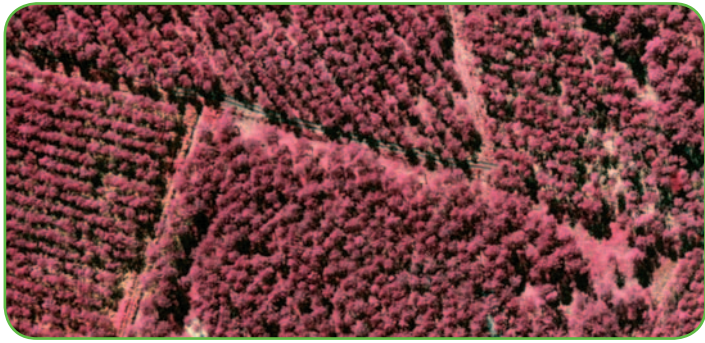
Formes des cimes	
Arbre de futaie régulière feuillue <i>versus</i> réserve de taillis sous futaie	Si les espèces gardent leurs caractéristiques de forme, un arbre de réserve de taillis sous futaie présentera une cime plus ample, aux branches plus étalées qu'un arbre de futaie régulière. Celui-ci est caractérisé par un houppier beaucoup plus étroit avec des branches moins nombreuses et nettement plus courtes.
Taillis	Cimes non individualisables en peuplement fermé. Dans un peuplement ouvert, seules les cépées sont individualisables sans distinction du nombre de brins.
Chênes décidus	Cime plutôt « rugueuse », hétérogène, à bords irréguliers.
Chêne vert	Très rare en futaie, sauf arbre isolé, le chêne vert forme des taillis denses et compacts.
Chêne liège	Cime très hétérogène à bords irréguliers semblant se diviser en autant de parties qu'il y a de branches maîtresses.
Hêtre	Cime « lisse » plus homogène que celle du chêne, à bords réguliers. Peut s'apparenter à une portion de sphère.
Châtaignier	Espèce généralement en taillis. En futaie ou en verger, cime hétérogène, à bords irréguliers comparable à celle du chêne pédonculé.
Bouleau	Petites cimes effilées contrastant par leurs formes avec celles des autres feuillus, à l'exception du peuplier.
Robinier	Petites cimes effilées individualisables, aspect choux-fleurs.
Pin pignon	Forme très caractéristique, arrondie et particulièrement lisse.
Pin à crochets	Cime généralement assez pointue.
Autres pins	Formes assez semblables entre elles et comparables à celle des chênes décidus. Les pins dans leur ensemble se distinguent bien des autres conifères.
Sapin	Forme de cône effilé. Cime beaucoup plus tabulaire dans les vieux peuplements.
Épicéa	Forme effilée, les branches maîtresses formant une sorte d'étoile très caractéristique.
Autres conifères	Cimes coniques et pointues ou très légèrement arrondies, comparables à celle du sapin. Port plus hétérogène pour le cèdre. Les distinctions d'espèces se font sur d'autres critères.



Cher : futaie de chêne



Alpes-de-Haute-Provence : mélèze



Gironde : pin maritime



Ariège : taillis de robinier

Fig. 6 : Analyse de la forme des cimes

Prise en compte des critères stationnels

Un peuplement forestier doit être étudié dans son environnement.

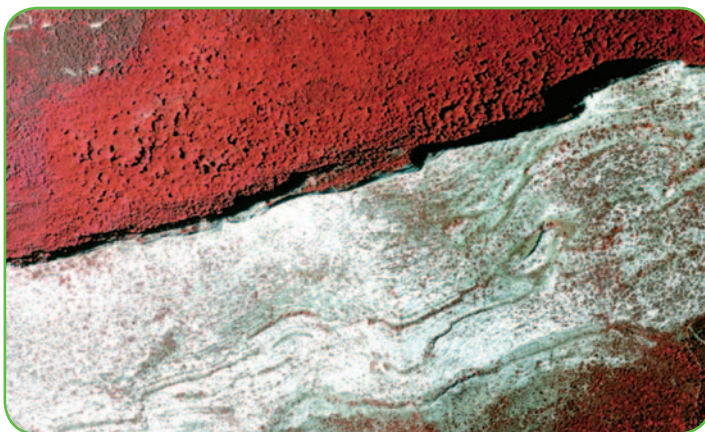
Les critères appréhendés ici sont ceux qui caractérisent la station écologique et plus largement la micro région : critères bioclimatique, topographique, géologique, géomorphologique ou pédologique (cf. p. 9).

Ces critères sont soit directement observables sur les photographies

(pente, exposition, etc.) soit à extraire de documents cartographiques divers. Leur finalité est d'orienter l'interprète dans la formulation de ses hypothèses quant à la nature des espèces présentes. Tel est le cas, par exemple, des oppositions de versants, avec hêtraie en versant nord et peuplement plus xérophile en versant sud, des aulnaies ou frênaies dans les ripisylves,

du châtaignier ou du pin maritime sur sol acide, etc. (Fig. 7).

Si la prise en compte de ces critères ne conduit que rarement à une hypothèse unique, elle limite très sensiblement les choix possibles, surtout après une observation détaillée de la forme et de la couleur des arbres.



Bouches-du-Rhône : hêtraie sur le flanc nord du massif de la Sainte Baume, garrigue très dégradée et chêne vert en versant sud



Alpes-Maritimes : le pin sylvestre s'est installé prioritairement dans les zones de fractures et les micro-talwegs de ce plateau calcaire

Fig. 7 : Prise en compte des critères stationnels

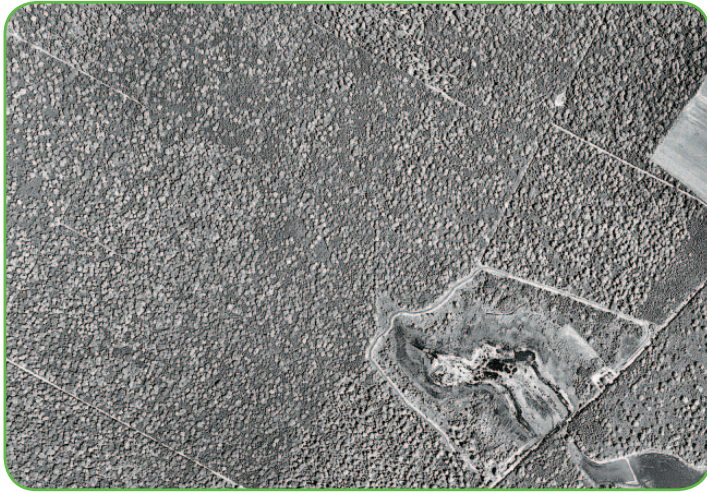
Exemples d'adaptation de la végétation aux conditions locales de sols et de micro-climats.

Analyse temporelle des évolutions

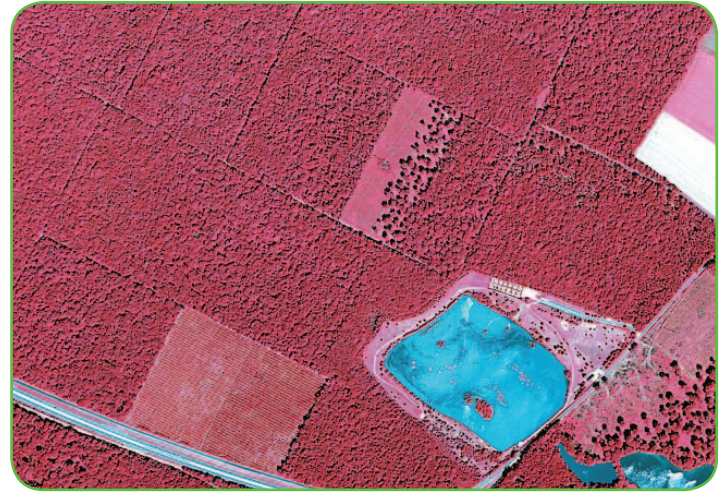
L'analyse multi-temporelle est une source importante d'information. L'apport de cette quatrième dimension permet ainsi de passer de l'analyse d'un objet, considéré à un instant donné,

à celle d'un processus dont certains stades peuvent être plus aisément identifiables que d'autres (Fig. 8). Cet apport du multi-temporel, comme critère d'identification des espèces ou

des structures forestières, concerne à la fois l'analyse des couleurs (d'un stade phénologique à l'autre) et celle des formes (d'un âge à l'autre, d'une structure à une autre).



Côte-d'Or (1968)



Côte-d'Or (2000)

Fig. 8 : Analyse des évolutions comme critère d'identification - Du taillis sous futaie vers la futaie

Méthodes d'interprétation : étapes et procédures

Il s'agit d'extraire un maximum d'information de l'image en s'aidant pour ce faire de données complémentaires. Les principales étapes peuvent être schématisées comme suit :

Établissement d'une nomenclature précise.

Cette définition des besoins peut être faite indépendamment des possibilités offertes par l'image ou en fonction de celles-ci. À l'IFN, un compromis entre les possibilités de l'image et les besoins de l'établissement a été mis en œuvre pour la définition d'une nomenclature nationale des types de formation végétale (Fig. 10).

Observation stéréoscopique.

La vision stéréoscopique¹ correspond à la vision normale en trois dimensions. À ce titre, elle représente la seule analyse correcte de la forme des objets sur un couple d'images. Or, les orthophotoplans IRC (couverture

départementale orthorectifiée) utilisés aujourd'hui pour l'interprétation ne permettent pas la vision stéréoscopique. En revanche, ces images à l'écran offrent un confort de visualisation bien supérieur à la stéréoscopie, surtout pour de forts grossissements.

Certes, la stéréoscopie numérique existe (lunettes, filtres polarisants) mais elle reste onéreuse et peu répandue. Coupler la vision monoscopique à l'écran à la vision stéréoscopique de l'ancienne couverture aérienne argentique est alors la seule solution possible pour une analyse fine de la forme des objets.

Prise en compte des contraintes liées à l'image.

Celles-ci concernent notamment l'échelle, la date de prise de vues ou encore les angles de visée et d'éclaircement (Fig. 9) de la parcelle observée.

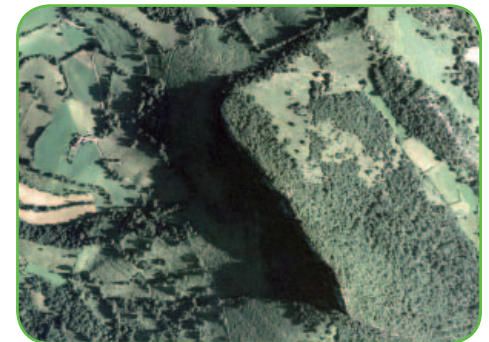


Fig. 9 : Différence d'éclaircement

¹: La vision stéréoscopique consiste à ce que chaque œil n'observe qu'une des photographies du couple stéréoscopique. Chaque rétine enregistre alors une image différente du même objet et les conditions de la vision habituelle en trois dimensions sont ainsi recréées.

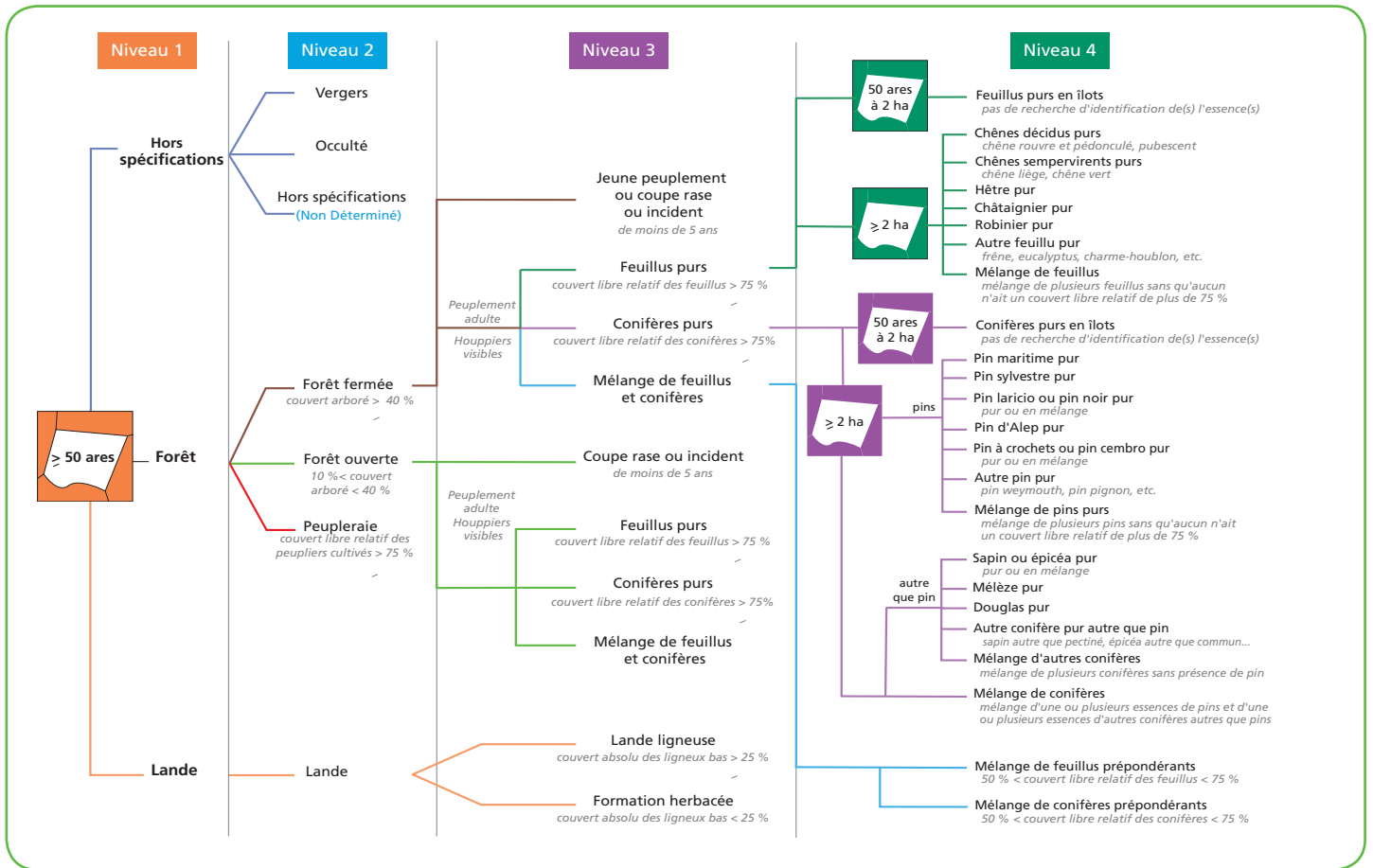


Fig. 10 : Arbre décisionnel du « Guide de la cartographie forestière IFN version 2 »

Recueil d'informations extérieures à l'image.

La consultation de documents tels que cartes topographiques, géologiques, pédologiques, phytosociologiques, les guides de typologie des stations forestières ou encore le recueil d'informations sur l'écologie des espèces, peuvent être une aide précieuse à la formulation d'hypothèses vraisemblables quant à la nature des espèces présentes (Fig. 11).

Formulation d'hypothèses de travail.

La synthèse de toutes les données observables ou mobilisables conduit l'interprète à la formulation d'un nombre souvent réduit d'hypothèses, voire même à une seule, quant à la composition du peuplement observé. Si l'interprète possède de bonnes connaissances forestières, ces hypothèses seront d'autant plus simples à formuler.

Contrôles au sol et généralisation des observations de terrain.

Des contrôles au sol s'imposent pour confirmer ou infirmer les hypothèses faites lors de l'interprétation (Fig. 12). Toute généralisation sur photographie d'observations de terrain, par nature très localisée, devra cependant être conduite de façon prudente et en concertation entre interprètes.



Fig. 12 : Tablette tactile utilisée sur le terrain

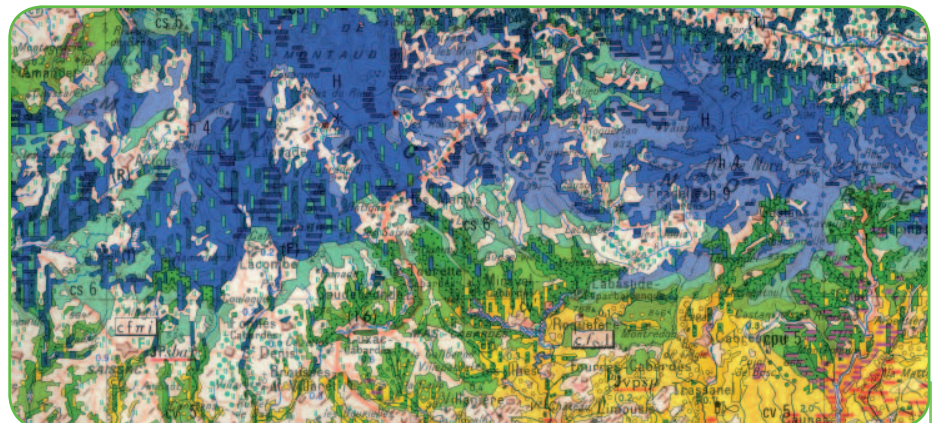


Fig. 11 : Carte de la végétation de la France (Carcassonne) ©CNRS, 1964

Des centaines de milliers de photographies à l'IFN

De 1960 à 2004, l'IFN a fait réaliser ses propres prises de vues en infrarouge noir et blanc (IRNB) puis progressivement à partir de 1972 en IRC. De ce fait, l'établissement dispose de plusieurs centaines de milliers de photographies. Chaque département français a été couvert trois ou quatre fois à des échelles variant du 1/15 000 au 1/25 000 (Fig. 13). Les négatifs IRNB ont été déposés à la Photothèque nationale et les films IRC sont conservés dans les délégations interrégionales.

Récemment l'IFN a entrepris la numérisation selon les standards IGN (résolution de 1 200 dpi) de la plupart de ses couvertures aériennes argentiques infrarouge couleur. Ce travail concerne, à ce jour, 61 départements sur un total de 63 possédant au moins une couverture aérienne IRC, soit quelques 80 000 clichés numérisés.

De 1999 à 2005, une partie de ces couvertures aériennes argentiques IRC a été orthorectifiée (correction des déformations liées principalement au relief visant à rendre l'image superposable à la carte). Les orthophotographies obtenues ont parfois été assemblées afin de disposer d'un orthophotoplan départemental (Fig. 14).

Depuis 2006, l'IFN utilise le produit BD ORTHO® infrarouge couleur de l'IGN dont il co-produit quelques départements par an (partenariat signé en 2007). Il s'agit aujourd'hui du référentiel image pour la réalisation de la couche « végétation multi-thèmes » de la BD TOPO® de l'IGN et de la carte forestière IFN (Encadré E). Cette dernière correspond à l'enrichissement thématique de la couche précédente (Fig. 10).

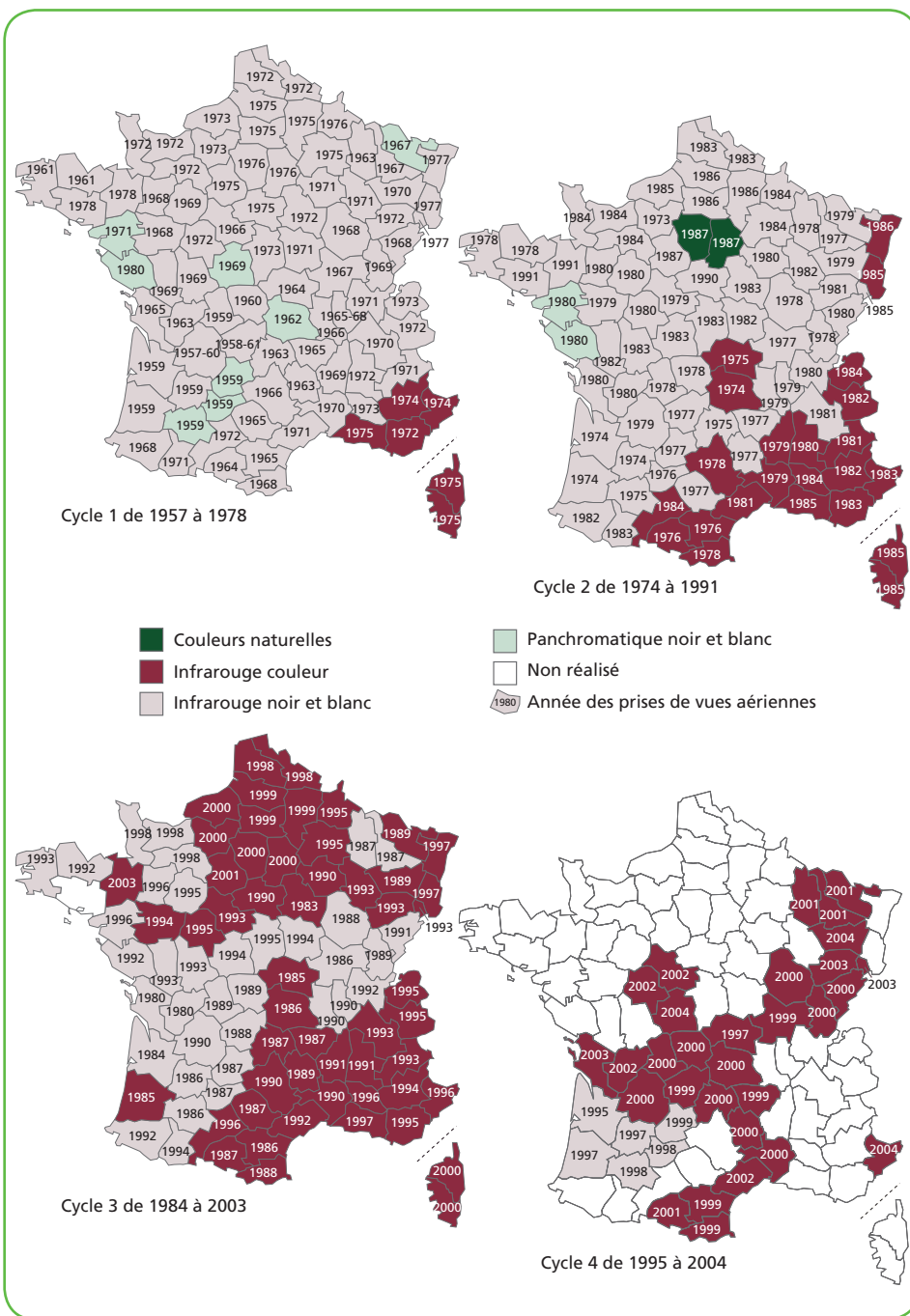


Fig. 13 : Couvertures aériennes de l'IFN

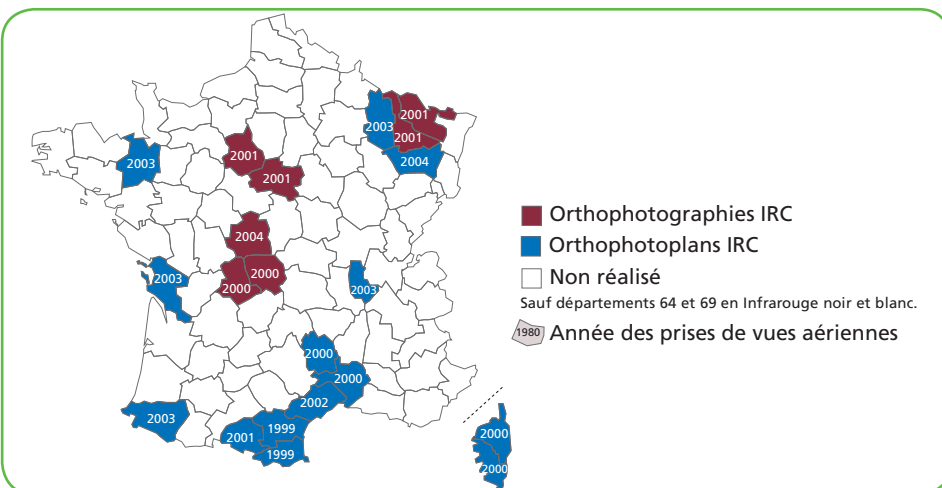


Fig. 14 : Orthophotographies et orthophotoplans réalisés à partir des couvertures aériennes de l'IFN

Depuis 2006, la BD ORTHO® infrarouge couleur est le référentiel image de la cartographie forestière de l'IFN

La BD ORTHO® infrarouge couleur

Le produit BD ORTHO® est la composante orthophographique du référentiel à grande échelle (RGE) de l'IGN. Il s'agit d'une collection d'orthophotographies, de résolution (dimension du pixel au sol) allant de 50 à 20 cm, avec une mise à jour départementale tous les 5 ans (prévue tous les 3 ans dans les prochaines années).

Réalisées initialement en couleurs naturelles, les prises de vues de la BD ORTHO® ont été acquises avec une caméra à quatre canaux à partir de 2005 (démarche initiée en 2002), ce qui permet d'obtenir la couleur naturelle et l'IRC à partir d'un seul et même enregistrement (Encadré A).

La BD ORTHO® IRC constitue ainsi désormais la couverture la plus appropriée pour l'étude de la végétation, c'est le référentiel image utilisé pour la cartographie forestière de l'IFN. Cela permet une interopérabilité à la fois géographique (superposition de couches d'information) et temporelle (dates de prises de vues identiques) entre les données de l'IGN et celles utilisées pour la réalisation de la carte forestière.

Les autres utilisateurs de la BD ORTHO® IRC sont principalement les ministères, les collectivités territoriales, les agences de l'eau, les sphères de l'enseignement et de la recherche.

Le partenariat IGN-IFN de co-production

À partir de 1999, l'IFN a développé des compétences en orthorectification de photographies aériennes en réalisant des orthophotoplans infrarouge couleur à partir de ses photographies argentiques numérisées.

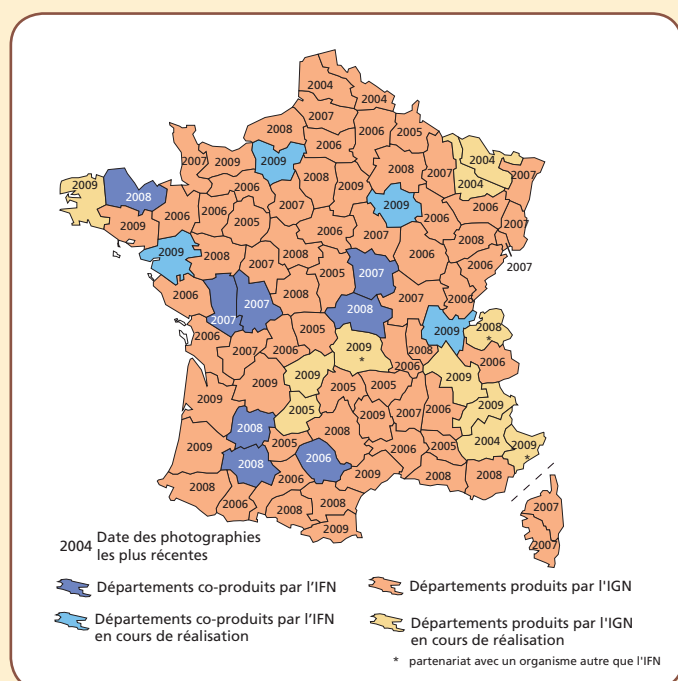


Fig. f : BD ORTHO® infrarouge couleur

Depuis septembre 2007, l'IGN et l'IFN ont établi un partenariat de co-production de la BD ORTHO® (couleurs naturelles et proche infrarouge couleur). L'atelier de production IFN a ainsi réalisé huit couvertures départementales, avec l'objectif d'en produire cinq par an (Fig. f).

Les grandes étapes de production

Le protocole de la chaîne de production de la BD ORTHO® IRC se décompose en quatre grandes étapes : traitement géométrique, traitement radiométrique, mosaïquage, rehaussement colorimétrique (Fig. g).

L'équipement informatique et les techniques développées s'améliorent au fil des campagnes de production, notamment pour s'adapter à l'évolution des caméras numériques.

Le partenariat IGN-IFN permet de réfléchir à des améliorations concernant le rehaussement colorimétrique sur l'IRC. Les compétences de l'IFN en matière d'interprétation du signal infrarouge pourraient ainsi permettre d'établir des spécifications pour affiner le paramétrage de la courbe de rehaussement et le rendre plus en adéquation avec les besoins des utilisateurs de l'IRC sur l'ensemble du territoire.

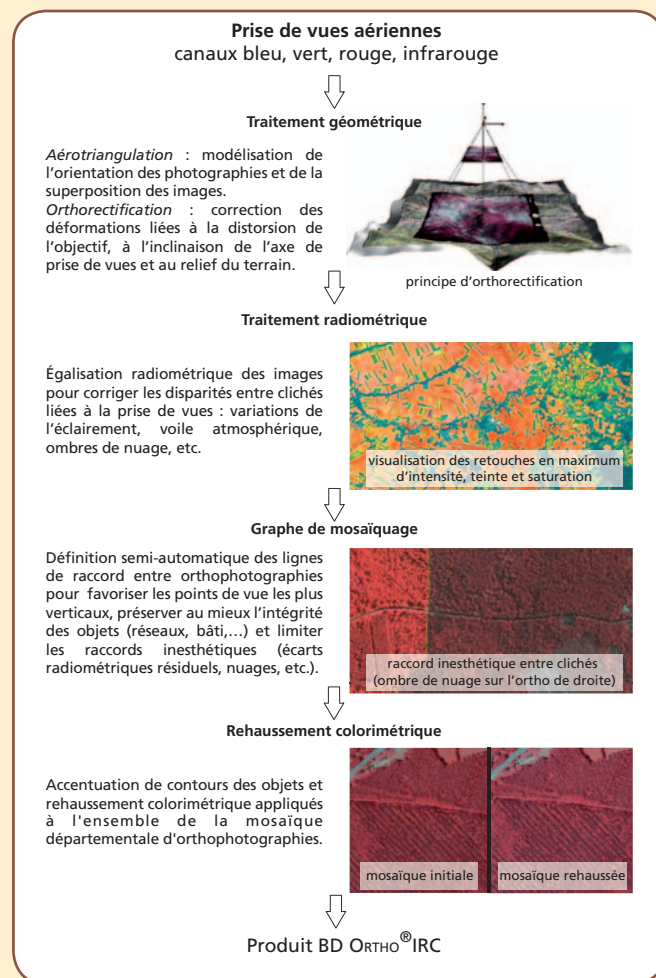
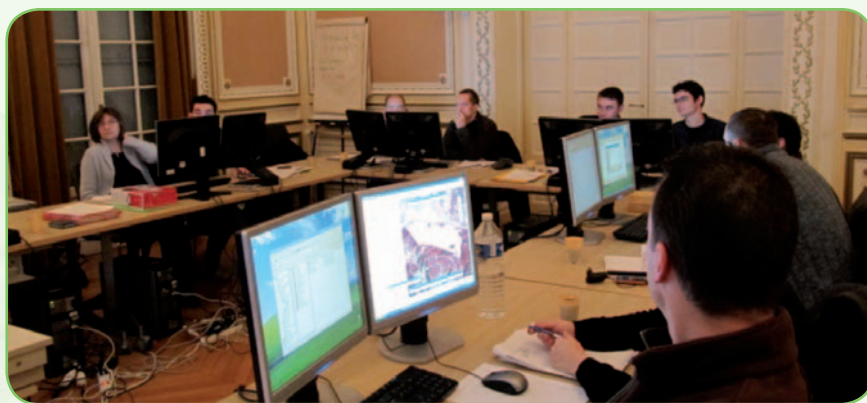


Fig. g : Les grandes étapes de production de la BD ORTHO® infrarouge couleur

La photo-interprétation de l'image infrarouge : une compétence forte de l'établissement

De formation forestière, les photo-interprètes de l'IFN acquièrent au sein de l'établissement une grande expérience quant à l'interprétation des images infrarouges pour la cartographie de la végétation : identification des espèces et stades de la sylviculture. Une grande partie de ce savoir a été consigné dans l'ouvrage « Manuel d'interprétation des photographies aériennes infrarouges – Application aux milieux forestiers et naturels » publié en 2008.

L'IFN organise également des sessions de formation soit régulièrement depuis plus de 30 ans pour les étudiants forestiers d'AgroParisTech (formation FIF), soit dans le cadre de stages pour divers organismes (ONF, écoles forestières, etc.) désireux d'utiliser la BD ORTHO® IRC ou les anciennes couvertures aériennes infrarouges sur support argentique.



Formation « Production de la carte forestière »

Perspectives

L'IFN a toujours maintenu une veille technologique sur les nouvelles approches de traitement automatique des images. Tel est le cas aujourd'hui encore avec les images à résolution décimétrique de type BD ORTHO®.

Si les besoins à l'échelle parcellaire perdurent – coupes rases, éclaircies, état sanitaire, grands accidents, etc. – de nouveaux besoins apparaissent à l'échelle de l'arbre – précision dans l'identification locale des espèces ou des volumes sur pied par exemple –.

La détection et la cartographie automatique des arbres ou groupes d'arbres sur les images à résolution décimétrique progressent également. La segmentation automatique d'image, mise en œuvre par les photo-interprètes dans le cadre de la réalisation de la couche « Végétation » de la BD TOPO® en est un premier exemple (cf. *L'IF* n°20).

D'autres techniques, le LiDAR (Light Detection And Ranging) par exemple, viennent compléter cette offre d'outils et de techniques de traitement pour répondre aux nouveaux besoins des pouvoirs publics et/ou des gestionnaires : identification plus détaillée des espèces, estimation des hauteurs, cartographie des volumes sur pied, etc. au coût le plus raisonnable possible.

Pour en savoir plus...

Manuel d'interprétation des photographies aériennes infrarouges – Application aux milieux forestiers et naturels, J-G. BOUREAU - INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL, 268 p., 25 €
www.ifn.fr/spip/?rubrique163

Guide technique, La cartographie forestière - version 2, INVENTAIRE FORESTIER NATIONAL, 52 p.
www.ifn.fr/spip/IMG/pdf/Guide_technique_cartographie_IFN1.11.pdf



Couverture du Manuel



Directeur de la publication : C. VIDAL

Rédaction : J-G. BOUREAU, L. MAIRE

Conception et réalisation : C. BOUREUX

ISSN : 1769-6755

Contact

Stéphanie LUCAS

Chargée de communication

Inventaire forestier national

Château des Barres

F- 45290 Nogent-sur-Vernisson

Tél. : +33(0)2 38 28 18 18

Courriel : stephanie.lucas@ifn.fr

Abonnement

Tous les numéros de *L'IF* sont téléchargeables sur le site internet de l'IFN : www.ifn.fr

Pour recevoir régulièrement *L'IF* ou modifier vos coordonnées : if@ifn.fr

www.ifn.fr



L'IF n°10 : *Le paysage forestier vu du ciel*, 12 p.

L'IF n°20 : *Nouvelle cartographie forestière - De la production à l'utilisation*, 8 p.

www.ifn.fr/spip/?rubrique33