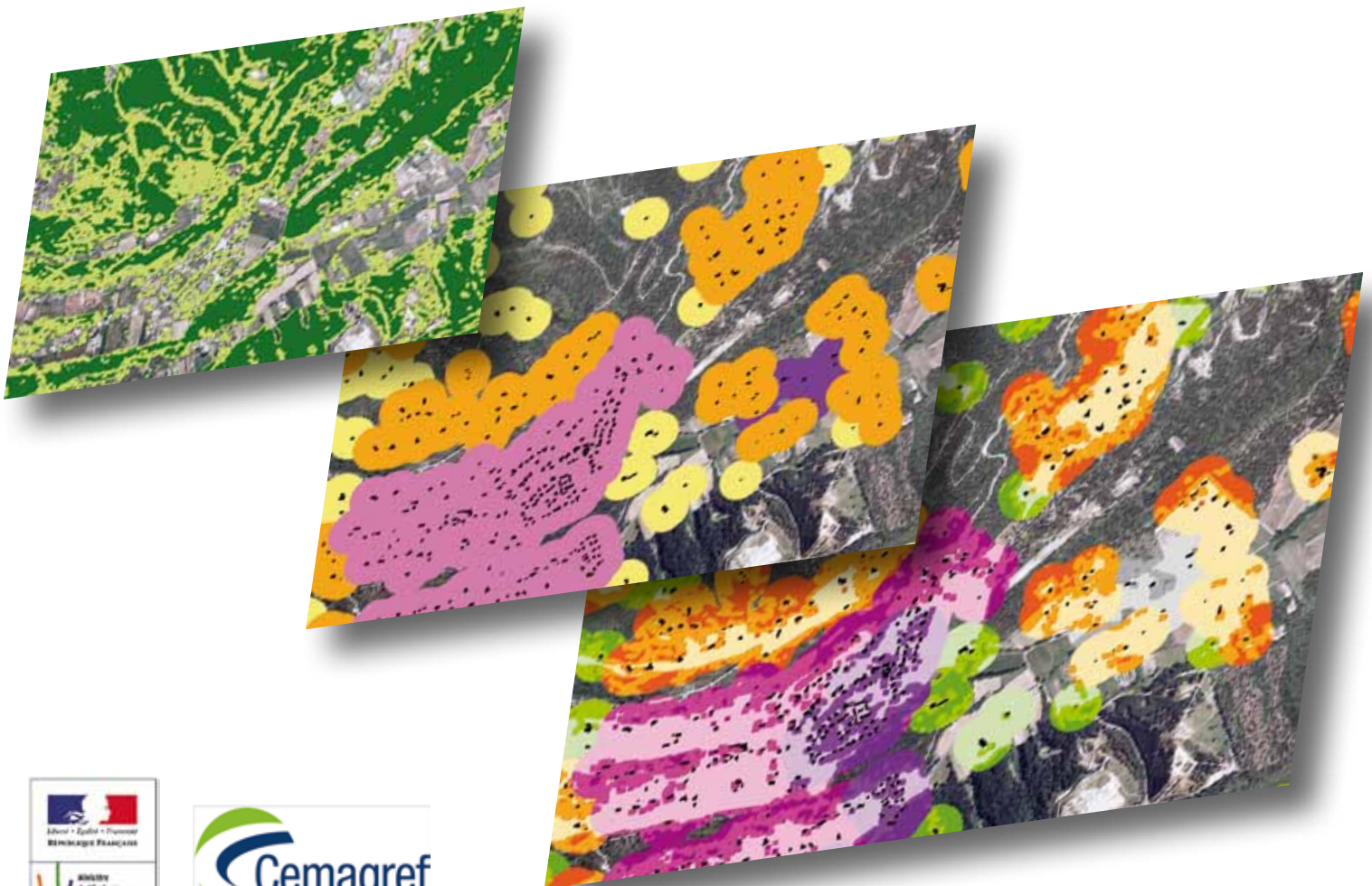


Caractérisation et cartographie des interfaces habitat-forêt

Prévention des risques d'incendies de forêt



GUIDE MÉTHODOLOGIQUE



MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE,
DU DÉVELOPPEMENT ET
DE L'AMÉNAGEMENT DURABLES
Service des risques naturels et hydrauliques

CEMAGREF
D'AIX-EN-PROVENCE
Groupe de recherche écosystèmes
méditerranéens et risques

Caractérisation et cartographie des interfaces habitat-forêt

Prévention des risques d'incendies de forêt

GUIDE MÉTHODOLOGIQUE

avril 2010

Cet ouvrage a été réalisé sur un financement du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (DGPR : direction générale de la prévention des risques). Il est le fruit de plusieurs années et programmes de recherche avec le concours du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer (direction générale de la prévention des risques), du ministère de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Pêche, du conseil régional Provence-Alpes-Côte d'Azur et de la Commission européenne (projet européen Fire Paradox n° FP6-018505). Il a été piloté par la DGPR (Jean-Marc Bernard du service des risques naturels et hydrauliques) et élaboré par le Cemagref d'Aix-en-Provence (Corinne Lampin-Maillet, Christophe Bouillon, Marlène Long-Fournel, Denis Morge et Marielle Jappiot du Groupe de recherche Écosystèmes méditerranéens et risques).

Il s'appuie sur les résultats de la mise en œuvre d'une première aide méthodologique développée en 2007, sur les réflexions menées au cours de comités de pilotage et sur de nombreux échanges avec gestionnaires, pompiers, aménageurs du territoire.

Les auteurs remercient les personnalités qui ont bien voulu apporter leur contribution à ce document en participant aux réunions de travail, en faisant part de leurs remarques dont il a été tenu compte.

MISE EN PAGE : Studio Brun, 13510.

PHOTOS DE COUVERTURE :

Interfaces habitat-forêt (Bouches-du-Rhône, Var, 2010)

SOURCES : C. Lampin-Maillet, M. Long-Fournel

Résumé

Mots-clé :

interface habitat-forêt,
type d'habitat résidentiel,
structure horizontale de
la végétation,
indice d'agrégation,
outil WUImap[®] Cemagref

Ce guide présente une méthode de cartographie des interfaces habitat-forêt applicable sur de grandes surfaces et à une grande échelle. Cette méthode est fondée sur la combinaison de quatre types d'organisation spatiale de l'habitat résidentiel (habitat isolé, habitat diffus, habitat groupé dense et habitat groupé très dense) avec trois natures de structure horizontale de la végétation définies selon les valeurs d'un indice d'agrégation (végétation continue, végétation éparse, absence de végétation). Une typologie en 12 types a ainsi été produite. Des exemples illustrant l'intérêt d'une cartographie des interfaces sont décrits. En parallèle un outil informatique, appelé WUImap[®] Cemagref, a été développé sous SIG pour cartographier automatiquement ces interfaces habitat-forêt. Une notice d'utilisation est fournie dans le guide. Des outils Excel et conseils sont également proposés en annexe pour faciliter le calcul de l'indice d'agrégation calculé sur la végétation.

Abstract

Keywords :

wildland-urban interfaces,
fire risk,
housing configuration,
vegetation structure,
aggregation index,
WUImap[®] Cemagref tool

This manual presents a method for Wildland-urban interfaces mapping on large areas and at large scale. This method is based on the combination of four housing configuration types and three natures of horizontal structure of vegetation. A typology of twelve wildland-urban interface types was produced. At the same time a software tool WUImap[®] Cemagref was developed in order to map WUIs as automatically as possible. Some examples of use of such tool are presented in the guide. A user' notice of WUImap[®] Cemagref was developed. A user' notice for the calculation and mapping of aggregation index of the vegetation - which is necessary to determine the horizontal structure of vegetation - was also developed in annex with a specific Excel tool for helping to work on large images.

LAMPIN-MAILLET, C., BOUILLON, C., LONG-FOURNEL, M., MORGE, D., JAPPIOT, M. 2010. Guide de cartographie et caractérisation des interfaces habitat-forêt. Convention n°2008 11 9 071 U du ministère de l'Écologie, de l'Énergie, du Développement durable et de la Mer. 68 p.

Contacts

Cemagref, Groupe de Recherche Écosystèmes méditerranéens et Risques, 3275 route de Cézanne, CS 40061, F-13182 Aix en Provence

MÉTHODOLOGIE : Corinne Lampin-Maillet, Tél. 04 42 66 99 63, corinne.lampin@cemagref.fr

LOGICIEL À TÉLÉCHARGER : Christophe Bouillon, Tél. 04 42 66 99 29, christophe.bouillon@cemagref.fr

Table des matières

INTRODUCTION	
LE RISQUE D'INCENDIE EN RÉGION MÉDITERRANÉENNE	9
LES INTERFACES HABITAT-FORÊT	10
OBJECTIF DU GUIDE	13
MÉTHODE DE CARTOGRAPHIE DES INTERFACES HABITAT-FORÊT	
DÉFINITION DES INTERFACES HABITAT-FORÊT DANS LE CONTEXTE MÉDITERRANÉEN FRANÇAIS	15
MÉTHODE DE CARTOGRAPHIE DES INTERFACES HABITAT-FORÊT	17
TYPLOGIE DES INTERFACES HABITAT-FORÊT ET CARTOGRAPHIE	27
INTÉRÊT DE LA CARTOGRAPHIE DES INTERFACES HABITAT-FORÊT	30
OUTIL DE CARTOGRAPHIE, NOTICE D'UTILISATION	
CONFIGURATION, LICENCE, INSTALLATION	35
DONNÉES EN ENTRÉE : PRÉ-REQUIS POUR UTILISATION DE L'OUTIL	39
RÉSULTATS DE SORTIE DE L'OUTIL <i>WUImap</i>® Cemagref 2010	41
FONCTIONNEMENT	44
OUTIL DE CALCUL DE L'INDICE D'AGRÉGATION DE LA VÉGÉTATION	51
RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	65
INDEX DES FICHES ET ILLUSTRATIONS	67

Introduction

Le risque d'incendie en région méditerranéenne

Chaque année, les feux de forêt détruisent environ 500 000 hectares de végétation en Europe, particulièrement en région méditerranéenne. On note en 2007 que cinq pays (Portugal, Espagne, France, Italie et Grèce) ont à eux seuls, dépassé ce bilan annuel avec plus de 575 000 hectares brûlés (JRC 2008, Lampin-Maillet 2008). En France, on comptabilise annuellement 24 000 hectares de forêt brûlés environ pour 2 650 incendies (moyenne sur la période 1973-2008 issue des données Prométhée sur les 15 départements du sud de la France). Depuis une quinzaine d'années, on constate une amélioration sensible des résultats liée notamment à une efficacité accrue des dispositifs de prévention (déploiement précoce sur le terrain des dispositifs départementaux de surveillance et de dissuasion) et à une diminution du nombre d'incendies de grande ampleur. Mais cette tendance favorable ne doit cependant pas faire oublier que le risque d'incendie reste très présent. En effet malgré la tendance à la baisse des surfaces incendiées, des bilans très lourds peuvent encore être d'actualité comme en 2003 avec plus de 60 000 hectares brûlés. Par ailleurs les scénarios de changement climatique indiquent à moyen terme une augmentation prévisible du risque d'incendie, résultant d'une augmentation de la fréquence des incendies et d'une extension de la saison des feux (Rigolot 2009).

Beaucoup de grands feux sont liés à l'évolution du territoire méditerranéen observée depuis plus d'un siècle qui tend à augmenter le risque d'incendie. Non seulement les anciennes terres agricoles délaissées du fait de la déprise agricole sont peu à peu colonisées par la végétation, mais aussi la forêt, de moins en moins exploitée, forme des massifs de plus en plus vastes et continus. Les conséquences sont une augmentation de la biomasse combustible (Lampin-Maillet et *al.* 2010). Parallèlement ces espaces sont le siège d'un développement, parfois anarchique, de constructions résidentielles.

Les interfaces habitat-forêt

L'urbanisation couplée au phénomène d'extension de la végétation forestière génère sur le territoire de nouvelles configurations spatiales que nous appelons interfaces habitat-forêt (WUI pour *Wildland-Urban Interface* en anglais). Pour le risque d'incendie, cette interface est une ligne, une aire ou une zone où les habitations et autres infrastructures humaines rencontrent, ou se mêlent avec, une végétation combustible (USDA et USDI 2001), des paysages ruraux (Vince et *al.* 2005), des forêts situées aux franges des grandes villes, sur les petites communes (Alavalapati et *al.* 2005, McGee 2005, Caballero et *al.* 2004). L'interface représente un lieu privilégié d'échanges, d'interactions entre deux systèmes, naturel et humain (Carroue et *al.* 2002, Groupe Interface 2008), une nouvelle organisation liant des caractéristiques d'habitation humaine avec des caractéristiques de végétation (Stewart et *al.* 2007). Les interfaces habitat-forêt illustrées par la photo ci-dessous sont directement concernées par les feux de forêt : pas moins de 90% des feux de forêts ont pour origine une cause humaine en Europe Méditerranéenne (Martin et *al.* 2005) et en France en particulier.



Interfaces habitat-forêt
en France (Plan de la Tour, 83).
Source
Cemagref/Lampin-Maillet

Chaque année, des hommes meurent des feux de forêt dans les interfaces habitat-forêt. Il s'agit le plus souvent de pompiers qui perdent la vie en protégeant les habitations et les populations menacées qui tentent alors de s'échapper. Selon leur environnement proche, les habitations localisées plus spécifiquement en zone forestière sont plus ou moins sensibles au feu. Ces interfaces habitat-forêt représentent des espaces clé en matière de gestion du risque d'incendie (Davis 1990, Velez 1997, Cohen 2000), en termes d'occurrence des feux (aléa), d'effets et de dommages (vulnérabilité).

L'intérêt de l'étude des interfaces habitat-forêt, apparu aux USA, Canada et Australie après les très grands feux de 1985, est également confirmé dans les pays Européens Méditerranéens. Des typologies d'interfaces ont été développées : fondées sur des facteurs démographiques (Davis 1990, Kamp et Sampson 2002), sur des densités de bâtis et autres infrastructures, associés à des pourcentages de recouvrement de végétation ou des densités de végétation (Radeloff et *al.* 2005; Caballero et *al.* 2004, Camia et *al.* 2003). Les cartographies d'interfaces qui en découlent utilisent généralement des cartes d'occupation du sol à l'échelle nationale d'une résolution de 30 m. Certaines méthodes développées à un niveau régional ou local permettent de localiser et de cartographier les interfaces procurant ainsi des outils pour l'élaboration de plans d'urgence et plans de secours (Camia et *al.* 2003, Pascual et *al.* 2003) mais cette localisation des interfaces reste sommaire et nécessite des données plus précises pour être efficace et pertinente en termes d'actions de gestion et de prévention du risque (Dumas et *al.* 2008, Theobald et Romme 2007). Aujourd'hui il devient indispensable de développer de telles actions d'aménagement de zones urbaines (PPRIF : Plan de Prévention du Risque Incendie de Forêt) comme de zones naturelles (PIDAF : Plan Intercommunal de Débroussaillage et d'Aménagement Forestier) et de s'assurer d'une bonne articulation entre ces deux volets de l'aménagement du territoire pour optimiser la prévention du risque d'incendie de forêt.

Objectif du guide

La cartographie des interfaces habitat-forêt s'inscrit dans ce contexte et constitue un des éléments clé qui participe à l'évaluation du risque d'incendie. Elle est en effet un moyen de localiser et d'inventorier des enjeux primordiaux, que sont les habitations résidentielles, à protéger en cas d'incendie du fait de la présence de population et de biens. Elle est une aide pour la lutte contre les incendies à travers la connaissance de l'organisation spatiale des habitations et de leur situation. Elle est également un outil pour localiser les populations qui vivent dans les interfaces habitat-forêt et pour lesquelles il est important de donner une information ciblée sur le risque d'incendie pour en améliorer la prévention.

Mais comment cartographier les interfaces habitat-forêt ? Quels critères quantitatifs choisir pour caractériser précisément la structure de l'habitat résidentiel sur de grandes surfaces ? Comment déterminer la structure de la végétation au contact des maisons ? Comment rendre opérationnelle une méthode objective de cartographie des interfaces habitat-forêt à grande échelle sur d'importants territoires ?

L'objectif du guide est de fournir une méthode de caractérisation et de cartographie des interfaces habitat-forêt à grande échelle (résolution fine) et sur de grandes surfaces, fondée sur les outils d'analyse spatiale.

Il s'organise en 2 parties :

La **première partie** propose une définition de l'interface habitat-forêt soumise au risque d'incendie, identifie des critères pertinents et quantifiés de caractérisation de la structure de l'habitat résidentiel et de celle de la végétation. Elle développe la méthode de cartographie mise en œuvre pour construire une typologie d'interfaces habitat-forêt.

La **seconde partie** présente l'outil de cartographie automatique développé sous SIG et appelé *WUImap*[®] et détaille sa notice d'emploi. A cette notice sont associés une note présentant le mode de calcul de l'indice d'agrégation (AI) calculé sur la végétation et un outil spécifique d'aide au traitement d'image de grande taille.

Méthode de cartographie des interfaces habitat-forêt

Définition des interfaces habitat-forêt dans le contexte méditerranéen français

Dans les régions françaises soumises à un risque d'incendie de forêt élevé, la loi d'orientation forestière du 11 juillet 2001 impose l'obligation de débroussailler dans un rayon de 50 m autour des bâtis situés à moins de 200 m de forêts, garrigues ou maquis (Art. L.322.3). Cette distance de débroussaillage peut être étendue à 100 m autour des maisons selon les règles locales. L'obligation de débroussaillage s'applique également de part et d'autre des routes desservant ces bâtis sur une profondeur variable, dépendant de l'arrêté préfectoral. Chaque département a en effet ses règles, 10 m est en général la profondeur préconisée.

La limite des 200 m, concernant les habitations soumises au débroussaillage obligatoire, est de manière générale définie par l'intermédiaire d'un support cartographique délivré par la préfecture du département concerné par le risque d'incendie de forêt s'appuyant sur un fond de carte de l'Inventaire Forestier National (IFN), parfois ajusté et corrigé localement, puis validé par les services de l'État, chargés de la bonne mise en œuvre des obligations de débroussaillage (Directions départementales des territoires).

Dans la définition proposée de l'interface habitat-forêt, seuls les **bâtis de type résidentiel situés à moins de 200 m de forêts, garrigues ou maquis** sont pris en compte, qu'ils soient occupés de façon

permanente, temporaire ou saisonnière, eu égard aux actions de prévention à développer auprès de la population résidente (les constructions agricoles, industrielles, commerciales et édifices publics bien que soumis au débroussaillage ne sont donc pas pris en compte dans cette définition).

L'interface habitat-forêt est **délimitée par l'espace inscrit dans un rayon de 100 m autour de ces bâtis** identifiés précédemment (Figure 1).

Cette distance de 100 m prend en compte la profondeur maximale à l'intérieur de laquelle les opérations de réduction du combustible s'imposent aux propriétaires de maisons par la loi forestière française (Art.321.5.3).

Ainsi en règle générale, l'interface sera constituée d'une zone de 50 m autour de la maison en principe débroussaillée (Obligation légale de débroussaillage) et d'une couronne entre 50 m et 100 m, non débroussaillée dans le cas où le débroussaillage à 50 m est considéré comme suffisant ou débroussaillée si le Maire a porté ce débroussaillage à 100 m.

L'interface habitat-forêt ainsi définie constitue par ailleurs une zone qui peut être affectée de façon significative par les sautes de feu générées par l'émission de particules incandescentes, appelées brandons, susceptibles de provoquer des

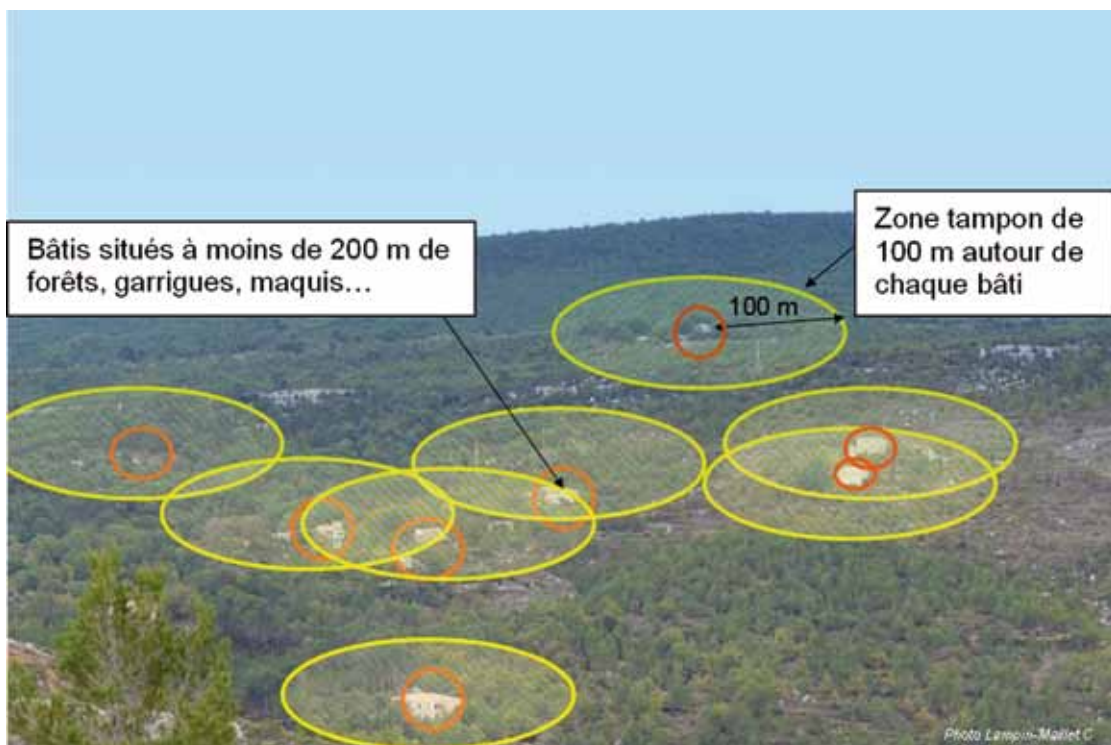


Figure 1 : Définition des interfaces habitat-forêt

incendies secondaires en avant d'un front de flamme en cas d'incendie. La saute de feu moyenne pour les pays méditerranéens européens est de 228 m (Colin et al. 2002), la surface délimitée par les interfaces se trouve située jusqu'à 300 m d'un massif (200 m + 100 m), elle est donc soumise au risque de feu issu de sautes de feu. La définition des interfaces habitat-forêt est illustrée sur la figure 1 ci-dessus.

Les interfaces habitat-forêt forment des

territoires plus ou moins complexes dans lesquels espaces forestiers et urbains sont en contact ou s'interpénètrent, marquant une rupture plus ou moins brusque dans l'espace entre une partie dominée par les processus anthropiques, et une autre, dominée par des processus naturels (massifs boisés, garrigues, etc.). Cette définition d'interface habitat-forêt conduit à élaborer des types d'interface en fonction des structures des systèmes « habitation » et systèmes « forêt ou autre espace naturel ».

Méthode de cartographie des interfaces habitat-forêt

La caractérisation des interfaces habitat-forêt proposée dans le guide est fondée sur la combinaison de deux critères :

- La structure des zones d'habitation résidentielle : habitat isolé, habitat diffus, habitat groupé dense et habitat groupé très dense ;
- La structure horizontale de la végétation traduisant sa capacité à propager le feu : végétation quasi-absente, végétation discontinue et éparse, végétation continue et dense définie par les valeurs de l'indice d'agrégation de la végétation.

Données et outils

Pour la mise en œuvre de la méthode, **quatre couches de données** sont nécessaires :

- L'emprise de la zone d'étude (format vecteur, polygone) ;
- L'emprise sur laquelle s'appliquent les obligations légales de débroussaillage (format vecteur, polygone) ;
- Les données de bâtis résidentiels (format vecteur, polygone) ;
- La couche de végétation d'une résolution maximale de 10 m permettant le calcul de l'indice d'agrégation de la végétation (format raster).

Deux logiciels sont utilisés :

- Un logiciel SIG. Dans le guide, le **logiciel ArcGIS®9.3** avec l'extension ArcInfo déve-

loppé par ESRI (Environmental Systems Research Institute) avec l'outil « Spatial Analyst » est utilisé. Il permet de visualiser, d'explorer et de faire des traitements d'analyse spatiale sur les données. Il travaille à la fois sur des bases de données vecteur et raster. Ce logiciel a été utilisé comme plate-forme de fonctionnement de l'outil *WUImap*® Cemagref 2010 présenté en deuxième partie du guide.

- Le logiciel gratuit d'analyse spatiale **FRAGSTATS®Version3.3** (McGarigal et Marks, 1994) aide à quantifier les unités spatiales et leur configuration au sein d'un paysage. Dans le guide, disposant d'une carte de végétation au format raster, il permet de calculer avec une représentation spatiale l'indice d'agrégation sur la végétation.

Remarques :

- Pour le calcul de l'indice d'agrégation (développé dans la 5^e partie du guide) une carte de végétation est nécessaire au format raster définie au pixel près. Si l'on ne dispose d'aucune carte de végétation, il est possible de la réaliser par une classification d'image satellite de type SPOT 5 d'une résolution spatiale maximale de 10 m. Ce type d'image à haute résolution est intéressante pour sa qualité homogène sur l'ensemble de l'étendue qu'elle couvre (3 600 km²) soit 60 km sur 60 km permettant ainsi d'obtenir des résultats à une échelle locale et sur de grandes surfaces.

- Si l'on dispose d'une carte de végétation au format vecteur, définie par des polygones ou des objets, le calcul de l'indice d'agrégation qui s'intéresse à l'arrangement des pixels ne présente pas d'intérêt, mais il est toujours possible d'identifier de façon qualitative la structure horizontale de la végétation en regroupant les classes de végétation identifiées selon le critère de continuité horizontale.
- Des images satellites récentes ou images aériennes de type BD ORTHO®IGN peuvent aussi permettre de mettre à jour les données de bâtis résidentiels extraites du thème bâtiment de la BD TOPO®IGN.
- Si l'on ne dispose que de données de bâtis résidentiels au format vecteur sous forme de points, le processus de cartographie des types d'interface habitat-forêt reste possible mais le résultat en termes de surfaces occupées par ces différents types sera sous-estimé. Un bâti résidentiel correspond en moyenne à un polygone de 15 m de côté.

Caractérisation de la structure de l'habitat résidentiel

Si les expressions « habitat isolé, diffus ou groupé » sont très répandues chez les cartographes, urbanistes ou aménageurs, il n'en existe pas vraiment de véritable définition. L'INSEE (Institut national de la statistique et des études économiques) ou l'IGN (Institut géographique national) développe des concepts comme unité urbaine, ou tâche urbaine (CETE-CERTU

2005) avec des notions de continuité de bâtis, de distances entre bâtis mais ils ne sont pas adaptés à la problématique incendie de forêt. Aussi en l'absence de définition précise des types d'habitat isolé, diffus et groupé, une définition est proposée dans le contexte des interfaces habitat-forêt soumises au risque d'incendie de forêt. La définition, puis la cartographie des types d'habitat (Lampin-Maillet et al. 2009), se fonde sur des critères spatiaux comme la distance entre bâtis et le regroupement de ces bâtis (et par conséquent la densité) mais aussi à partir de critères déterminants dans le contexte du risque d'incendie, comme la surface moyenne à débroussailler par bâti et le périmètre moyen à protéger par bâti en cas d'incendie (Lampin-Maillet 2009).

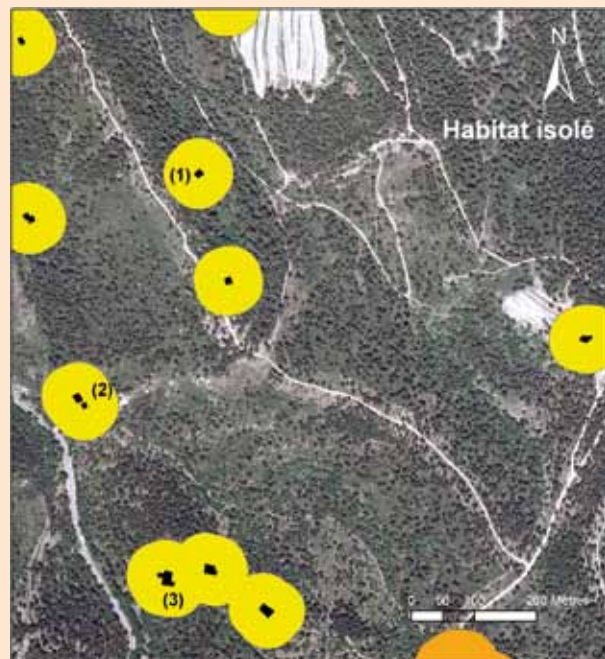
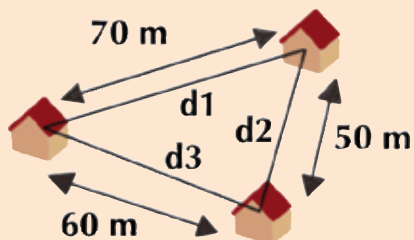
Après avoir sélectionné les bâtis résidentiels de la zone d'étude, soumis aux obligations légales de débroussaillage, des zones tampon de 50 m sont réalisées autour de ces bâtis. Il en résulte des ensembles de tailles et de formes différentes contenant un nombre variable de bâtis. Ces ensembles de bâtis sont alors classés en habitat isolé, diffus, groupé dense ou groupé très dense selon les caractéristiques énoncées ci-après. Puis, conformément à la définition de l'interface, une zone tampon de 100 m est appliquée autour des bâtis de chaque structure d'habitat (isolé, diffus, groupé dense, groupé très dense).

Fiche 1 : Habitat isolé

Photo Cemagref / C. Lampin-Maillet



L'habitat isolé (en jaune) est constitué des polygones contenant 1 à 2 bâtis (respectivement cas (1) et (2) sur la figure ci-contre) ainsi que des polygones contenant 3 bâtis pour lesquels la somme des distances entre bâtis, prises deux à deux, est supérieure à 100 m - $d1+d2 > 100$ m par exemple - (cas (3) sur la figure ci-contre).



© IGN BD Ortho.

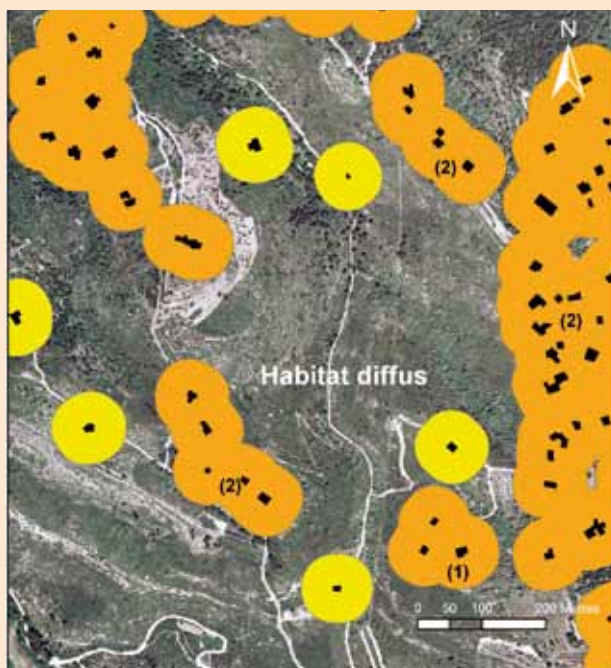
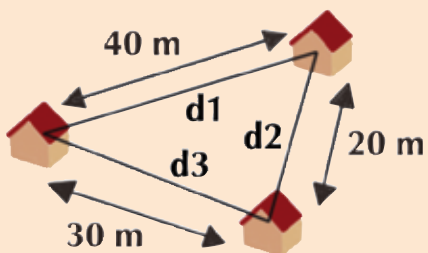
Caractéristiques moyennes	Densité de bâtis	Surface à débroussailler par bâti	Périmètre à défendre par bâti
Habitat isolé	1 bâti / ha	1 ha / bâti	330 m / bâti

Fiche 2 : Définition de l'habitat diffus

Photo Cemagref / C. Lampin-Maillet



L'habitat diffus (en orange) est constitué des polygones contenant 3 bâtis (cas (1) sur la figure ci-contre) pour lesquels la somme des distances entre bâtis, prises deux à deux, est inférieure à 100 m ($d1+d2 < 100$ m ou $d1+d3 < 100$ m ou $d2+d3 < 100$ m). Il est également constitué des polygones contenant de 4 à 50 bâtis (cas (2) sur la figure ci-contre).



© IGN BD Ortho.

Caractéristiques moyennes	Densité de bâtis	Surface à débroussailler par bâti	Périmètre à défendre par bâti
Habitat diffus	1,6 à 1,7 bâtis / ha	6 300 m ² / bâti	150 m / bâti

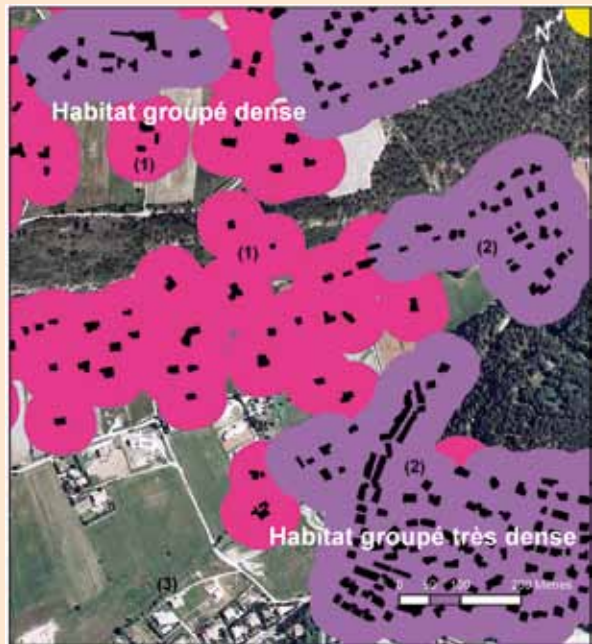
Fiche 3 : Définition de l'habitat groupé dense et très dense



Photos Cemagref / C. Lampin-Maillet

L'habitat groupé est constitué des polygones contenant plus de 50 bâtis avec deux sous-ensembles différenciés :

- un habitat groupé très dense (couleur mauve sur la figure ci-contre) constitué de groupes de plus de 10 bâtis distants entre eux de moins de 30 m. Cette configuration correspond à celle des lotissements urbains compacts ou celle des cœurs urbains (photo ci-contre) ;
- un habitat groupé dense (couleur rose sur la figure ci-contre) constitué de groupes de 1 à 10 bâtis distants entre eux de plus de 30 m. Cette configuration correspond à un habitat groupé moins compact que précédemment attendant en général à un habitat groupé très dense (photo ci-dessus).



© IGN BD Ortho

Caractéristiques moyennes	Densité de bâtis	Surface à débroussailler par bâti	Périmètre à défendre par bâti
Habitat groupé dense	2 à 3 bâtis / ha	6 000 m ² / bâti	187 m / bâti
Habitat groupé très dense	plus de 3 bâtis / ha	2 200 m ² / bâti	35 m / bâti

Si l'on compare les différents types d'habitat ainsi définis, on peut souligner que :

➤ **La densité du bâti** augmente avec un facteur de 3,5 de l'habitat isolé à l'habitat groupé dense et avec un facteur de 2,5 de l'habitat groupé dense à l'habitat groupé très dense.

➤ **La surface à débroussailler par bâti** diminue avec un facteur de 3 de l'habitat isolé à l'habitat groupé dense jusqu'à un facteur de 5 de l'habitat isolé à l'habitat groupé très dense. En terme de prévention contre le risque d'incendie de forêt, ces chiffres permettent d'apprécier l'effort à consentir par bâti pour maintenir un état débroussaillé selon le type de la structure de l'habitat (temps, budget).

➤ **Le périmètre à défendre par bâti** diminue avec un facteur de 7,6 de l'habitat isolé à l'habitat groupé dense jusqu'à un facteur 10 de l'habitat isolé à l'habitat groupé très dense. En cas de lutte contre l'incendie de forêt, le périmètre à protéger par bâti permet de traduire l'effort attendu en terme de déploiement des moyens

humains et matériels (pompiers, camions, etc.) et d'imaginer l'organisation en terme de dispersion de ces moyens lors de feux simultanés ou de grands feux.

Caractérisation de la structure de la végétation

Que ce soit par photo-interprétation ou par classification d'images, les types de végétation identifiés sont appréhendés en terme de propagation du feu et non en terme d'intensité. Il ne s'agit donc pas de caractériser précisément la nature ou la structure verticale de la végétation mais de s'intéresser à sa structure horizontale. Cette dernière est mesurée spatialement à travers le calcul d'un indice d'agrégation AI (*Aggregation Index*). Une carte de végétation au format raster est nécessaire pour calculer cet indice. Elle peut être obtenue en regroupant dans une même classe les types d'occupation du sol relatifs à la végétation résultant d'une classification par pixel d'image satellite par exemple (Figure 2a, ci-dessous).

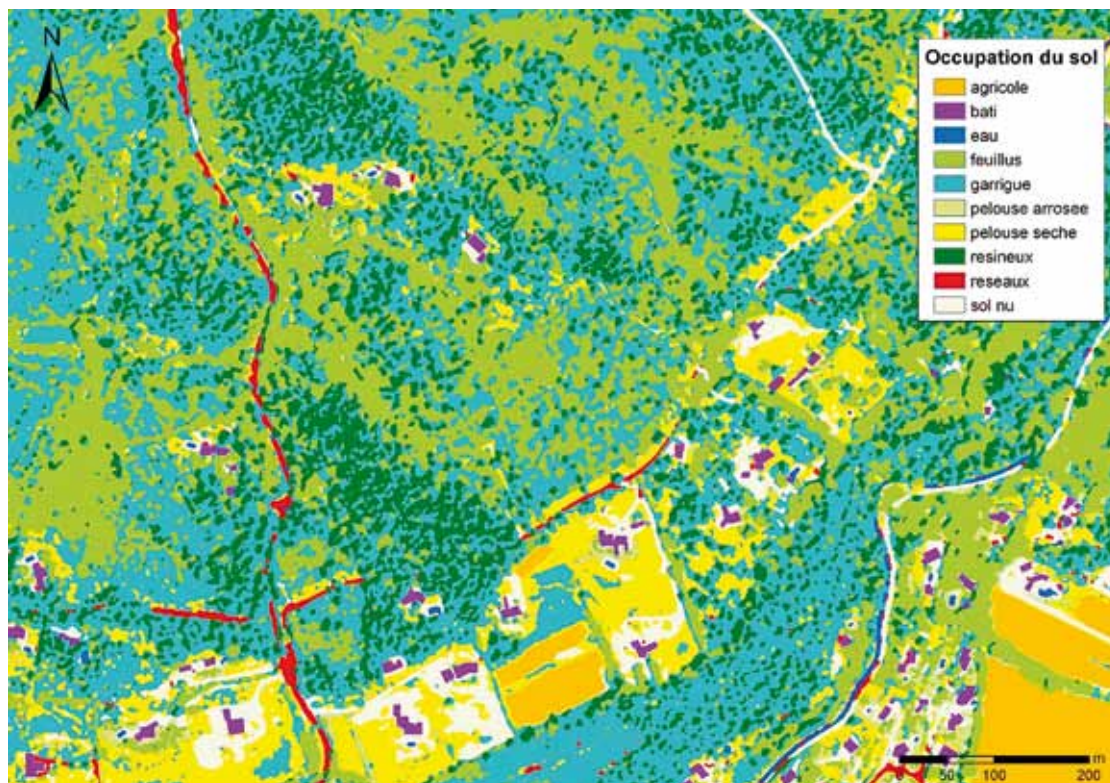


Figure 2a : Cartes d'occupation du sol à partir desquelles sont extraites les cartes de végétation. Carte d'occupation du sol au format raster (Journet 2008)

En référence à la figure 2a, deux classes sont alors considérées : la classe « végétation » regroupant les types d'occupation du sol relatifs à la forêt (feuillus, résineux), garrigue ; la classe « autre » regroupant le reste du territoire comme les surfaces agricoles, minérales (bâti, eau, sol nu), etc.

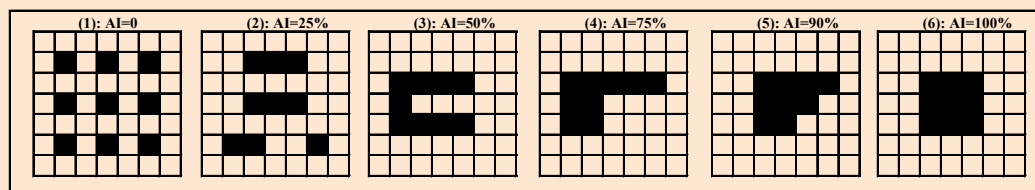
Calculé sur la classe « végétation », l'indice d'agrégation met en évidence l'organisation spatiale de celle-ci en terme de continuité horizontale. Le calcul est basé sur une analyse de voisinage réalisée à partir d'une fenêtre glissante d'un rayon de 20 m parcourant l'ensemble de l'image.

Fiche 4 : Indice d'agrégation de la végétation

L'indice d'agrégation AI fait référence à l'arrangement spatial et au regroupement des objets sur une image (format raster). Il renseigne sur la fréquence des connexions entre pixels d'une même classe de paysage (Robbez-Masson et al. 1999). Sa formule est définie comme suit :

$$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right] (100) \text{ avec } \begin{cases} g_{ii} = \text{nombre de contacts entre les pixels d'une classe } i \\ \max - g_{ii} = \text{nombre maximal de contacts entre les pixels d'une classe } i \end{cases}$$

Le calcul est réalisé avec une fenêtre glissante de 20 mètres. Les valeurs d'AI augmentent avec la continuité et la compacité des pixels comme illustré sur la figure ci-dessous.



Évolution de l'indice d'agrégation relatif à l'arrangement des 9 pixels noirs (Lampin et al. 2006)

Son calcul produit une carte au format raster avec des valeurs variant de 0 à 100 %.

Les valeurs obtenues de l'indice sont seuillées en considérant trois classes :

➤ **Les valeurs nulles de l'indice d'agrégation** (AI = 0) correspondent à une absence de végétation : surfaces minérales (sol nu, bâti), surfaces agricoles, etc., qui ne sont pas pour autant non combustibles mais qui correspondent généralement à des zones entretenues.

➤ **Les valeurs faibles de l'indice d'agrégation** (0 < AI ≤ 95 %) correspondent à une discontinuité de la structure horizontale de la végétation se traduisant par une

végétation éparse où le sol n'est pas entièrement recouvert de végétation (espaces ouverts, aires débroussaillées, jardins d'agrément, plantations, haies, etc.).

➤ **Les valeurs fortes de l'indice d'agrégation** (AI > 95 %) correspondent à une continuité horizontale de la végétation se traduisant par une végétation avec un taux de recouvrement élevé où le sol est complètement occupé par de la végétation (peuplements de résineux ou feuillus denses, garrigues ou maquis denses, etc.).

Si la carte de végétation n'est disponible qu'au format vecteur (Figure 2b), le calcul de l'indice d'agrégation ne peut pas être réalisé. La structure de la végétation peut dans ce cas être appréhendée qualitativement *via*

le taux de recouvrement par exemple. A ce moment là, les 3 classes de recouvrement peuvent être : couvert inférieur à 30 %, couvert compris entre 30 et 60 % et couvert supérieur à 60 %.

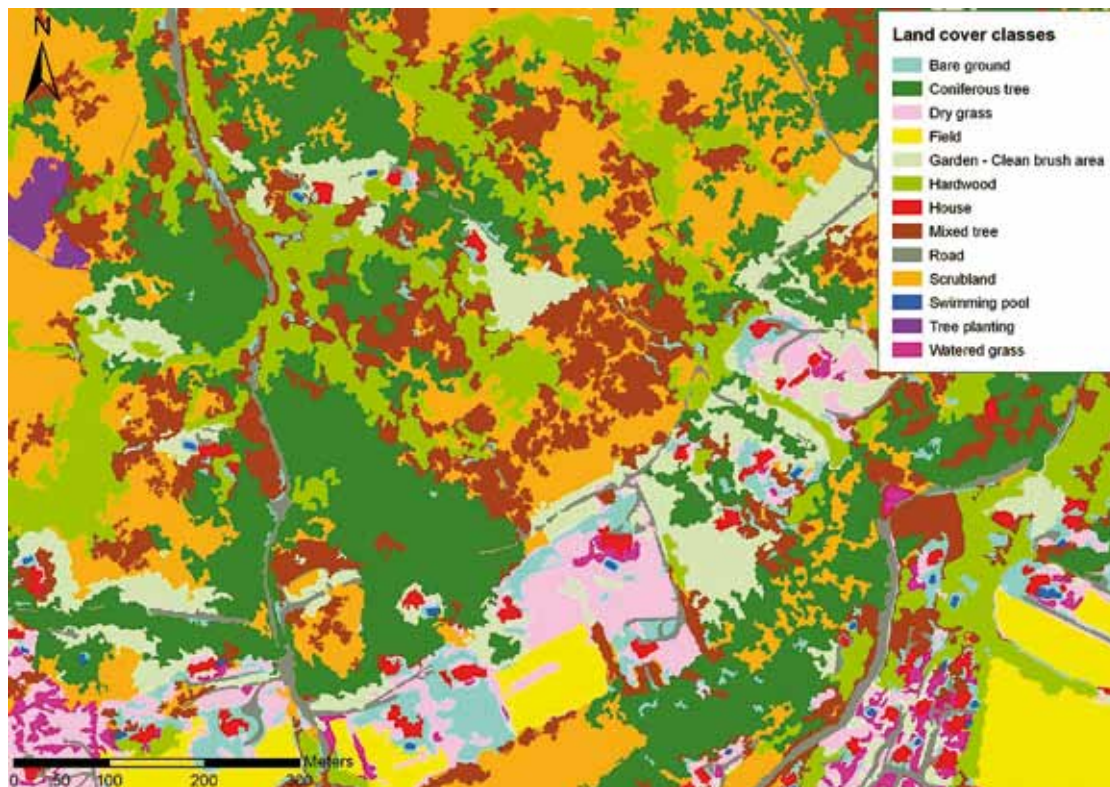


Figure 2b : Cartes d'occupation du sol à partir desquelles sont extraites les cartes de végétation. Carte d'occupation du sol au format vecteur (Long et al. 2007)

Fiche 5 : Définition des types de végétation

Végétation arborée et arbustive continue



Végétation continue (source Cemagref / C. Lampin-Maillet)

Cette classe est constituée des valeurs fortes de l'indice d'agrégation de la végétation, qui sont strictement supérieures à 95 %. Une forte agrégation de la végétation (jusqu'à 100 %) met en évidence une organisation de cette végétation en ensembles compacts, soit une structure horizontale continue de la végétation.

Végétation arborée et arbustive éparse, discontinue



Végétation éparse (source Cemagref / C. Lampin-Maillet)

Cette classe est constituée des valeurs faibles de l'indice d'agrégation de la végétation, valeurs non nulles qui sont inférieures ou égales

à 95 %. Une faible agrégation de la végétation met en évidence une organisation plutôt éparse de la végétation, soit une structure horizontale discontinue de la végétation. Les zones où l'indice d'agrégation est faible, correspondent à des zones où le milieu est plus ouvert, la végétation est mélangée à des zones sans végétation. Elles constituent généralement des zones tampons entre une zone à fort indice d'agrégation et une zone à indice nul d'agrégation de l'ordre d'une vingtaine de mètres d'épaisseur correspondant à la taille du rayon de calcul déterminant la fenêtre glissante.

Absence de végétation arborée et arbustive



Végétation absente (source Cemagref / C. Lampin-Maillet)

Cette classe est constituée des valeurs nulles de l'indice d'agrégation de la végétation. Une valeur nulle d'agrégation de la végétation souligne l'absence de connexions entre tout élément de végétation arborée et arbustive. L'occupation du sol est composée de surfaces autres que des espaces naturels de types forêts, garrigues, maquis, etc. Il s'agit de sol nu, de surfaces bâties, de surfaces agricoles, etc. Ces surfaces ne sont pas pour autant systématiquement non combustibles (surfaces agricoles notamment).

Typologie des interfaces habitat-forêt et cartographie

Une typologie des interfaces habitat-forêt est produite en combinant les deux critères précédents en utilisant un système d'information géographique (SIG) c'est-à-dire en croisant les quatre

classes d'habitat résidentiel (isolé, diffus, groupé dense et groupé très dense) avec les trois classes d'agrégation de la végétation (agrégation nulle, faible et forte).

Fiche 6 : Typologie des interfaces habitat-forêt		
Habitat		Végétation
Isolé		Pas de végétation
Diffus		Agrégation faible
Groupé dense		Agrégation forte
Groupé très dense		

Type	Dénomination courte	Dénomination longue
Type 1	Habitat isolé & agrégation nulle	Habitat isolé au contact de zones agricoles ou urbaines sans végétation
Type 2	Habitat isolé & agrégation faible	Habitat isolé au contact de végétation peu agrégée, discontinue, éparse
Type 3	Habitat isolé & agrégation forte	Habitat isolé au contact de végétation très agrégée, continue, compacte
Type 4	Habitat diffus & agrégation nulle	Habitat diffus au contact de zones agricoles ou urbaines sans végétation
Type 5	Habitat diffus & agrégation faible	Habitat diffus au contact de végétation peu agrégée, discontinue, éparse
Type 6	Habitat diffus & agrégation forte	Habitat diffus au contact de végétation très agrégée, continue, compacte
Type 7	Habitat groupé dense & agrégation nulle	Habitat groupé dense au contact de zones agricoles ou urbaines sans végétation
Type 8	Habitat groupé dense & agrégation faible	Habitat groupé dense au contact de végétation peu agrégée, discontinue, éparse
Type 9	Habitat groupé dense & agrégation forte	Habitat groupé dense au contact de végétation très agrégée, continue, compacte
Type 10	Habitat groupé très dense & agrégation nulle	Habitat groupé très dense au contact de zones agricoles ou urbaines sans végétation
Type 11	Habitat groupé très dense & agrégation faible	Habitat groupé très dense au contact de végétation peu agrégée, discontinue, éparse
Type 12	Habitat groupé très dense & agrégation forte	Habitat groupé très dense au contact de végétation très agrégée, continue, compacte

Les 12 types d'interface habitat-forêt sont illustrés dans la figure 3, page suivante.

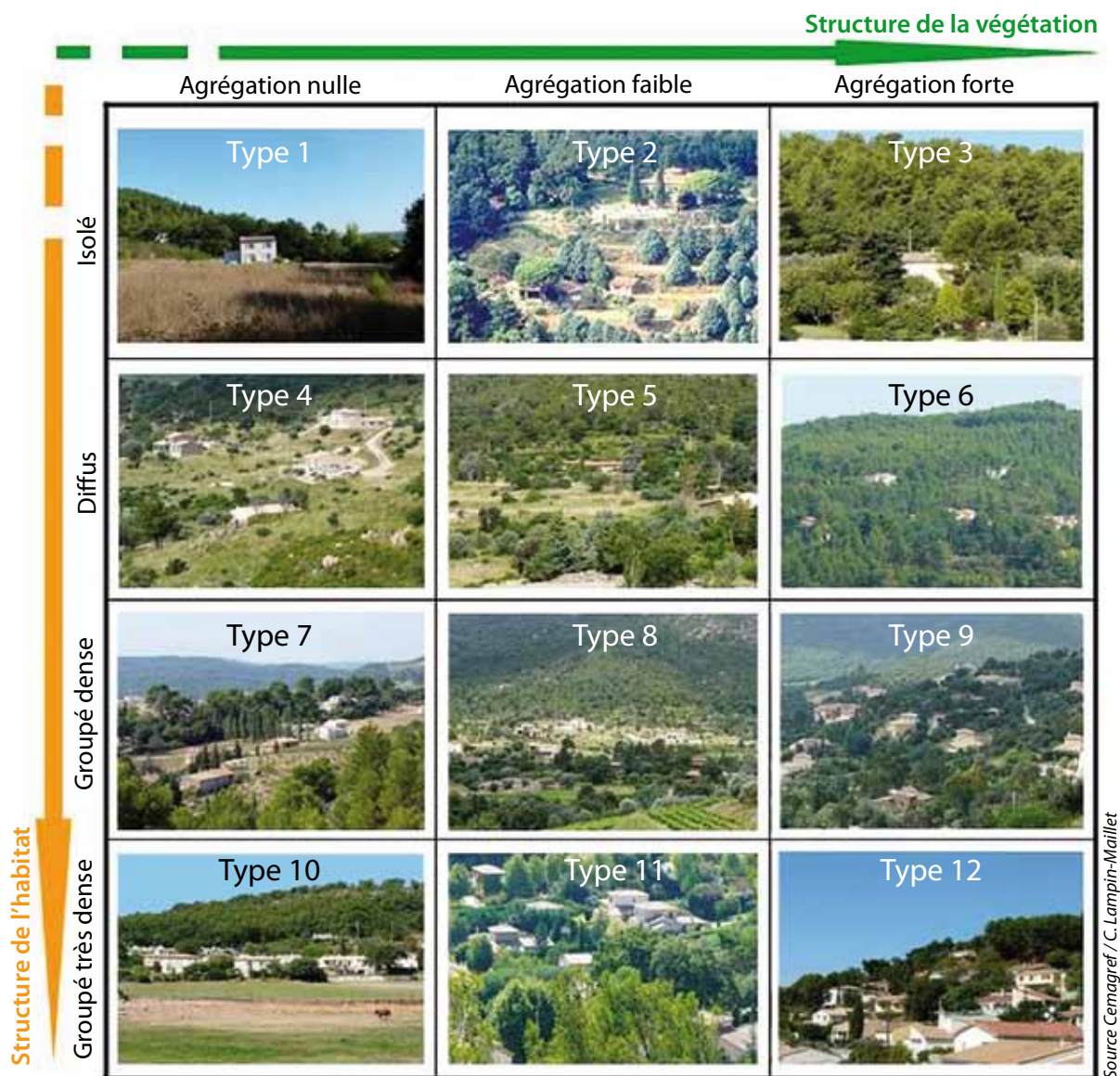


Figure 3 : Clé des types d'interfaces habitat-forêt

Un outil a été développé de façon à cartographier aussi automatiquement que possible les interfaces habitat-forêt ainsi que les types d'habitat résidentiel. Son nom est **WUImap**[®] Cemagref. La notice utilisateur est présentée dans la 4^e partie du guide, ses références sont :

Lampin-Maillet, C. et Bouillon, C. (2010). **WUImap**[®] Cemagref 2010 : Outil de

cartographie des interfaces habitat-forêt. Notice d'utilisation. 16 p.

La méthode développée sur deux sites d'étude localisés dans le sud-est de la France a été appliquée par des opérationnels sur le département de l'Hérault (613 000 ha) et celui de la Gironde. La figure 4 illustre une carte des interfaces habitat-forêt.

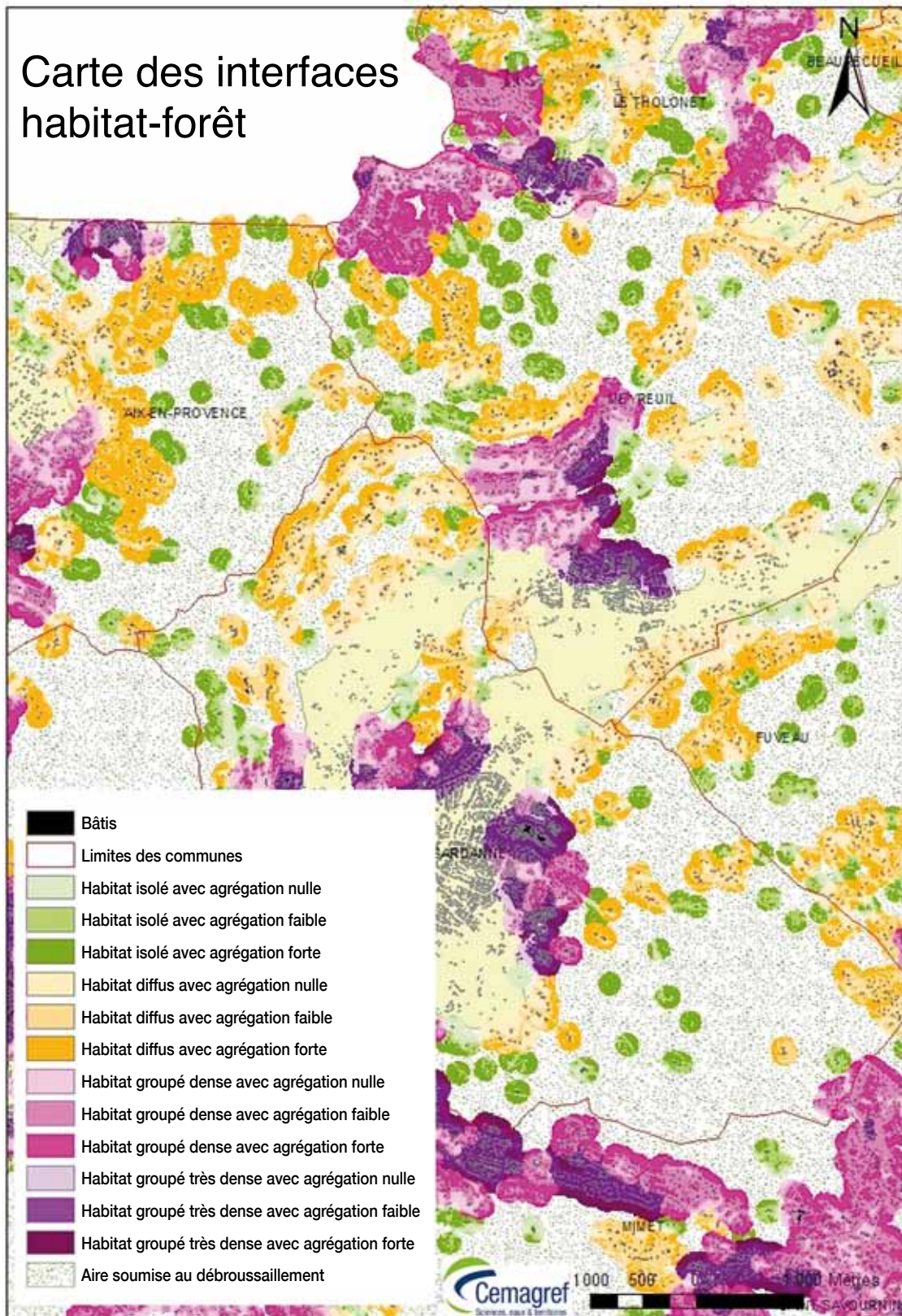


Fig. 4 : Carte des interfaces habitat-forêt dans le sud de la France

Intérêt de la cartographie des interfaces habitat-forêt

Importance des interfaces habitat-forêt sur le territoire

La cartographie des interfaces habitat-forêt a été réalisée sur une zone d'étude de grande surface couvrant 167 736 ha située entre les métropoles d'Aix-en-Provence et Marseille. Elle permet de quantifier l'importance des interfaces sur un territoire donné et une caractérisation précise des interfaces en termes d'occupation du sol. Ainsi dans le cas étudié, la surface délimitée par ces interfaces habitat-forêt occupe 30 % du territoire étudié et 56 % des bâtis résidentiels sont en interface habitat-forêt. Parmi ces bâtis, 3 % sont dans les interfaces en habitat isolé, 10 % en habitat diffus, 16 % en habitat groupé dense et 71 % en habitat groupé très dense. La figure 5 présente la proportion des différents types d'interface habitat-forêt. Selon le type d'habitat, on compte 12 % d'interfaces habitat-forêt en habitat isolé, 25 % d'interfaces habitat-forêt en habitat diffus, 28 % d'interfaces habitat-forêt en habitat groupé dense et

35 % en habitat groupé très dense. Selon la structure de la végétation, la répartition est de 45 % d'interfaces habitat-forêt avec une faible agrégation de la végétation, 17 % d'interfaces habitat-forêt avec une forte agrégation et 38 % d'interfaces habitat-forêt avec une agrégation nulle.

Les interfaces en termes d'occupation du sol

Afin de caractériser la nature de l'occupation du sol qui compose ces différents types d'interfaces, cette carte des interfaces habitat-forêt a été intersectée avec la carte d'occupation du sol Occsol SPOT5 produite en 2004 à l'initiative du CNES, de l'ARPE PACA et de Spot Image (site internet du CRIGE PACA). Selon le type d'habitat, la figure 6 présente la répartition des principaux types d'occupation du sol au sein des interfaces et en dehors.

L'analyse de la figure 6 montre que :

➤ Premièrement, la composante végétation est plus importante en dehors des interfaces qu'au sein des interfaces, correspondant à une large part de garrigue et de

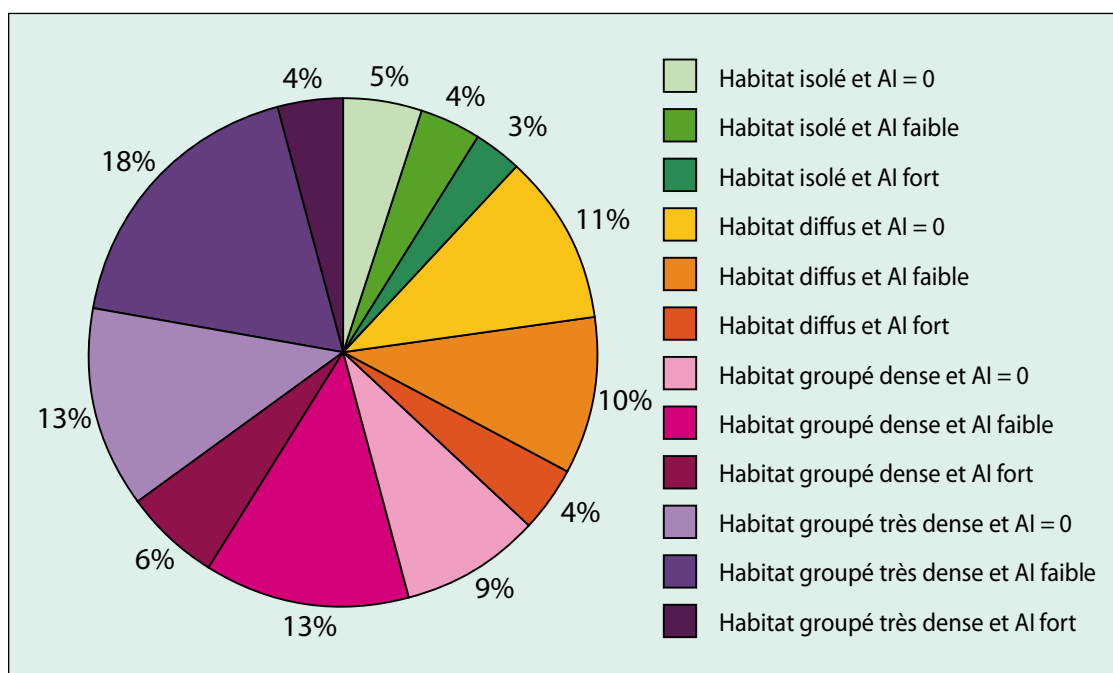


Figure 5 : Répartition en surface des types d'interfaces habitat-forêt sur la zone d'étude

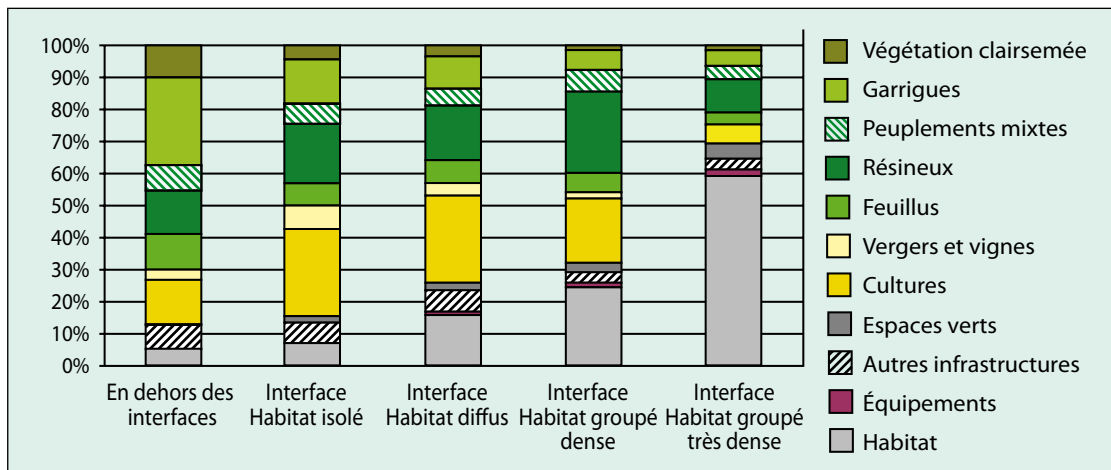


Figure 6 : Répartition des types d'occupation du sol au sein des interfaces habitat-forêt

végétation clairsemée. Au sein des interfaces la végétation prédomine avec plus de 40 % de végétation dans chaque type, à l'exception du type d'interface habitat groupé très dense. Les peuplements résineux et mixtes sont davantage représentés au sein des interfaces qu'en dehors, en revanche la part des peuplements feuillus est plus élevée en dehors des interfaces.

➤ Deuxièmement, la composante agricole est plus représentée au sein des interfaces qu'en dehors à l'exception du type d'interface en habitat groupé très dense. Dans les interfaces, les espaces agricoles diminuent avec la densité de la structure de l'habitat depuis l'habitat isolé jusqu'à l'habitat groupé très dense. En particulier, la vigne et les vergers sont davantage présents dans les interfaces en habitat isolé.

➤ Troisièmement, la composante urbaine occupe une part relativement similaire dans les interfaces en habitat isolé et en dehors des interfaces. Au sein des interfaces, cette part augmente fortement depuis l'interface en habitat isolé jusqu'à l'interface en habitat groupé très dense. La proportion de l'habitat est la plus importante pour l'interface en habitat groupé très dense (4,6 fois plus élevée qu'en habitat isolé).

Selon la structure de la végétation, les types d'interface correspondant à une agrégation nulle de la végétation correspondent à des surfaces dépourvues de végétation.

Les champs, le sol nu, les espaces urbanisés occupent généralement ces surfaces. Au contraire quand les types d'interface sont concernés par une forte agrégation, la végétation est toujours présente. Les types d'interface où l'agrégation est faible concernent davantage des espaces ouverts, qui peuvent être jointifs de zones où il n'y a pas de végétation ou à l'opposé avec des zones très forestières ou autres végétations denses et continues.

Dynamique territoriale d'urbanisation

L'intérêt de suivre une dynamique des interfaces habitat-forêt s'inscrit dans un contexte de dynamique d'urbanisation associée à une dynamique végétale, le tout dans un contexte de changement global.

L'étude de cette dynamique des interfaces habitat-forêt a été réalisée à titre d'exemple à l'échelle d'une commune (Meyreuil située au sud d'Aix-en-Provence, 2 021 ha). Pour cet exercice, la structure de la végétation a été considérée comme inchangée sur la période, seule la structure des zones bâties a été prise en compte. Des données de bâtis étaient disponibles sur 4 années : 1992, 1998, 2003 et 2006 soit sur la période de 15 ans de 1992 à 2006. Les figures 7 et 8 illustrent la dynamique des interfaces habitat-forêt sur 15 ans liée à l'évolution des zones bâties étudiée sur la commune de Meyreuil.

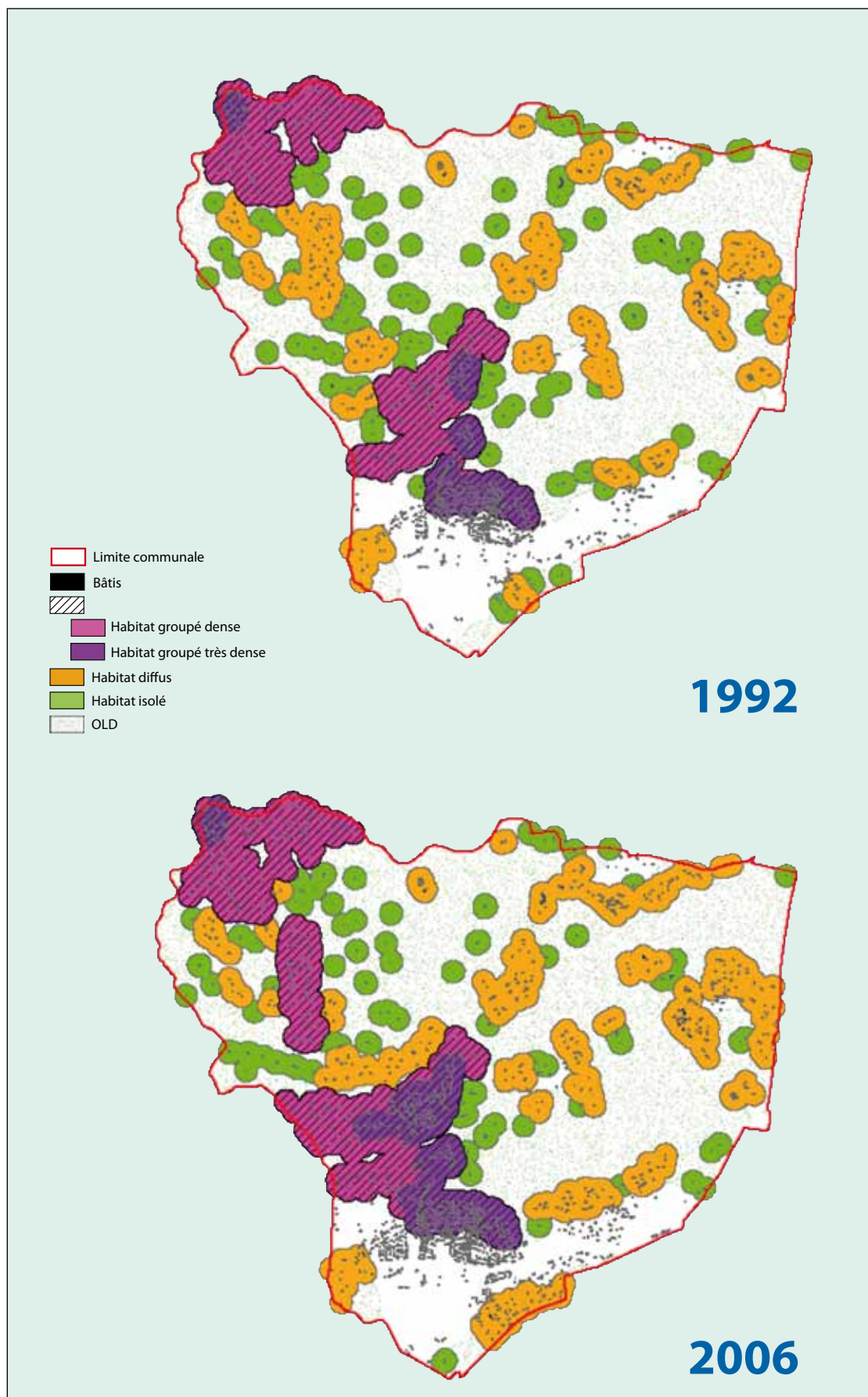


Figure 7 : Évolution des types d'habitat entre 1992 et 2006

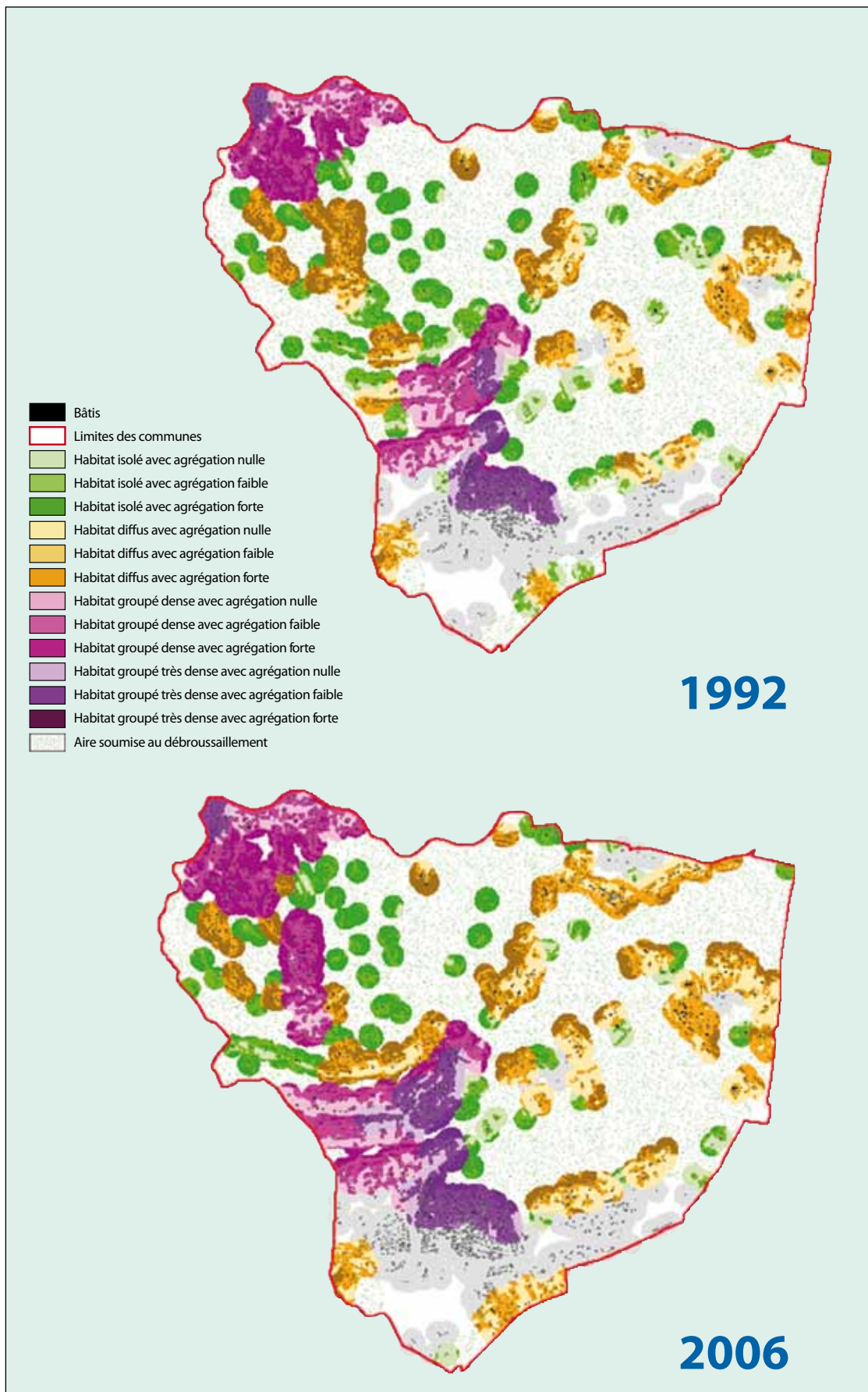


Figure 8 : Évolution des interfaces habitat-forêt entre 1992 et 2006.

La cartographie dynamique des interfaces habitat-forêt entre 1992 et 2006 permet de souligner une évolution du nombre de bâtis :

➤ Une augmentation de +3,1 % par an du nombre de bâtis implantés en zone d'interface habitat-forêt ;

➤ Une augmentation de +3 % par an du nombre de bâtis implantés en dehors des zones d'interface habitat-forêt.

Elle permet également de constater une augmentation plus soutenue du territoire communal situé dans les interfaces habitat-forêt (+6 %) que du territoire communal si-

tué en dehors des interfaces (+ 0,54 % dont 0,48 % concernent les terres agricoles). Cette dynamique se traduit d'une part par une densification de l'habitat (-3,1 % d'interfaces en habitat isolé, +4,4 % d'interfaces en habitat diffus et +4,6 % d'interfaces en habitat groupé), d'autre part par la poursuite de l'extension des zones urbaines sur des zones agricoles et au sein de zones boisées ou de garrigues (+2,0 % d'interfaces en agrégation nulle, +1,7 % d'interfaces en agrégation faible et +2,3 % d'interfaces en agrégation forte). Elle peut être appréciée précisément au sein même des interfaces habitat-forêt.

Outil de cartographie WUImap[©]

Notice d'utilisation

Le logiciel © ESRI ArcGis 9.3 est utilisé comme plate-forme de fonctionnement de l'outil WUImap[©] Cemagref 2010.

Le programme développé dans WUImap[©] Cemagref 2010 permet de cartographier les types d'interfaces habitat-forêt définis dans le document, en référence à l'article Lampin-Maillet et *al.* (2010). Il permet aussi de cartographier seulement les types d'habitat résidentiel sans prendre en compte l'agrégation de la végétation, en référence à l'article Lampin-Maillet et *al.* (2009).

Configuration, Licence, Installation

Configuration

La configuration matérielle utilisée comprend un PC dont les caractéristiques minimales sont les suivantes :

- un processeur de type © Intel Xeon à 1.6Ghz
- 3 GB de mémoire vive
- un espace disponible sur le disque dur : minimum 1Go

La configuration logicielle utilisée est la suivante:

- système d'exploitation © Microsoft Windows Xp professionnel SP3
- logiciel © ESRI ArcGIS 9.3
- logiciel Python 2.5.1 (fourni et installé par ArcGIS par défaut)

L'outil logiciel, gratuit, WUImap[®] Cemagref 2010 est mis à disposition selon les termes de la [licence Creative Commons Paternité-Pas d'Utilisation Commerciale-Pas de Modification - version 2.0 France](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.0/fr/). Pour plus de détails, Creative Commons peut être contacté à : <http://creativecommons.org/>



Licence

Cet outil ne fonctionne qu'avec une licence valide ArcGIS 9.3 type « ArcInfo » et une licence pour le module « Spatial Analyst ». Ce programme a été développé en langage Python, installé par défaut avec le logiciel ArcGIS.

Copyright © 2009 ESRI ArcGIS, All rights reserved.
Copyright © 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007 Python Software Foundation; All Rights Reserved,
Copyright © 1997-2008 Jordan Russell. All rights reserved.

Installation

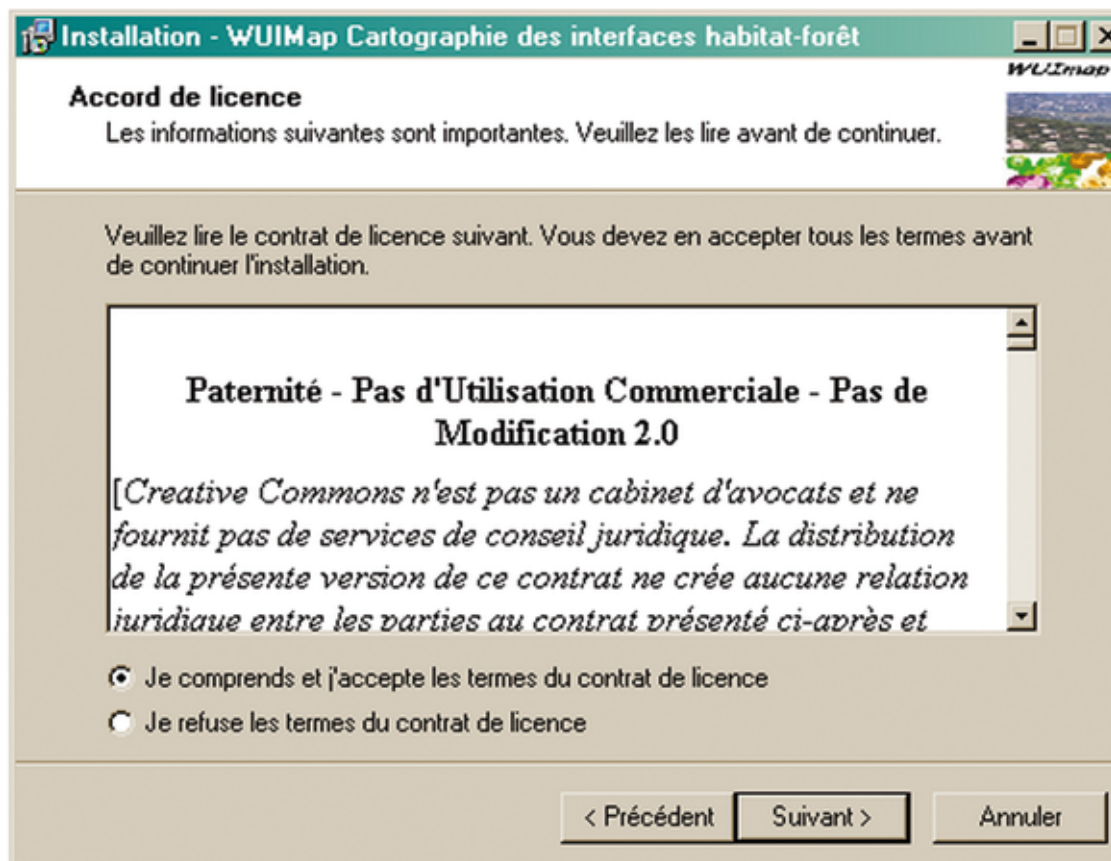
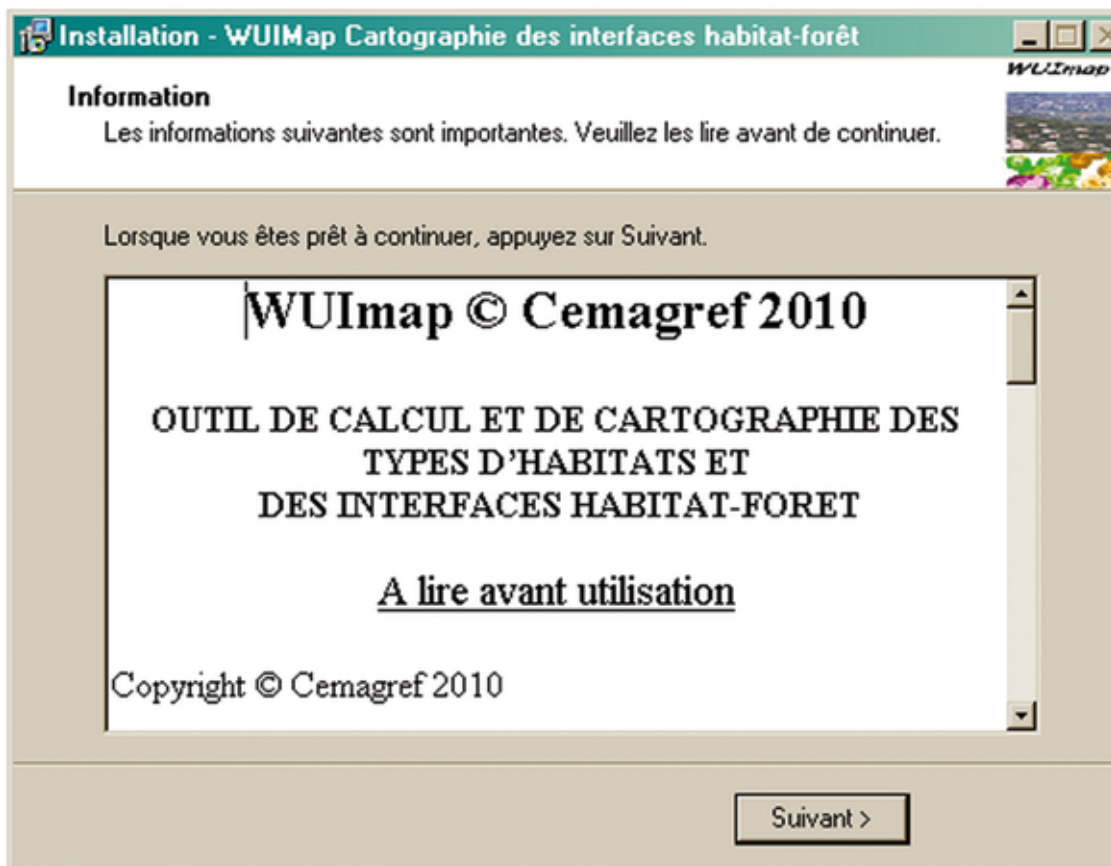
Copier le fichier d'installation [Installer WUImap Cemagref.exe] sur le bureau de l'ordinateur.

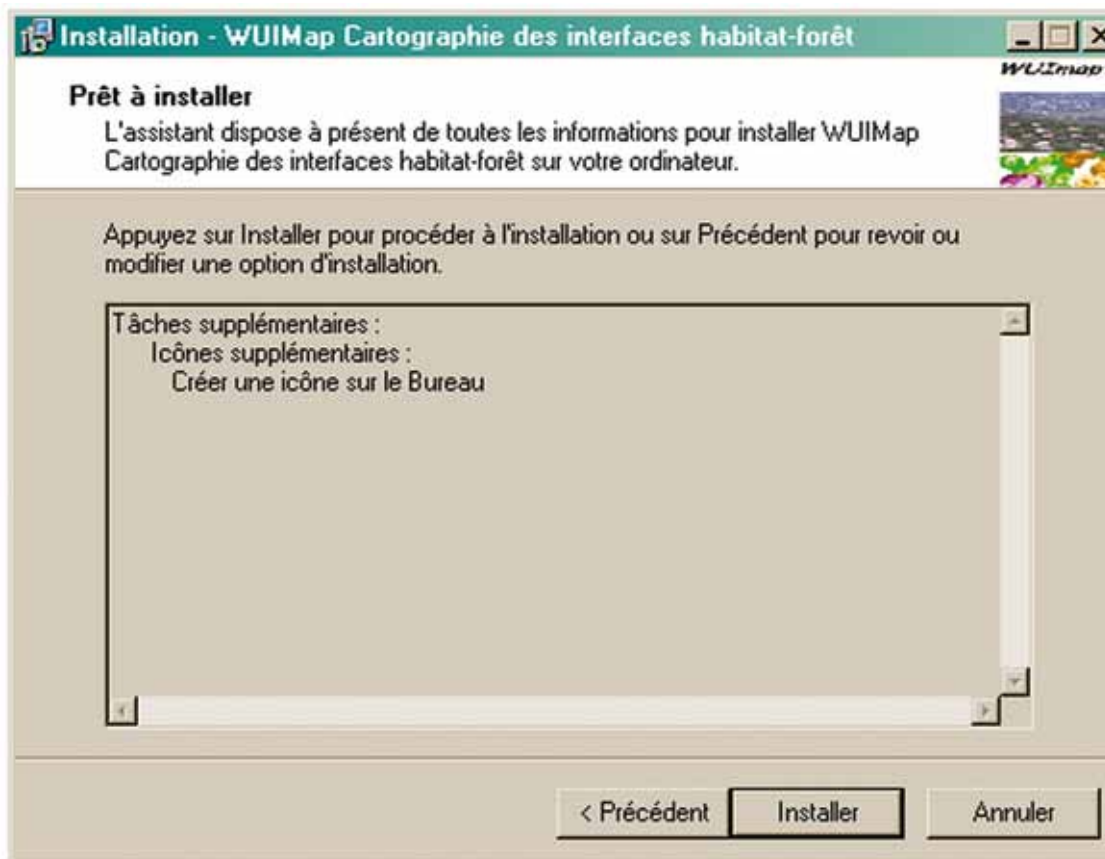
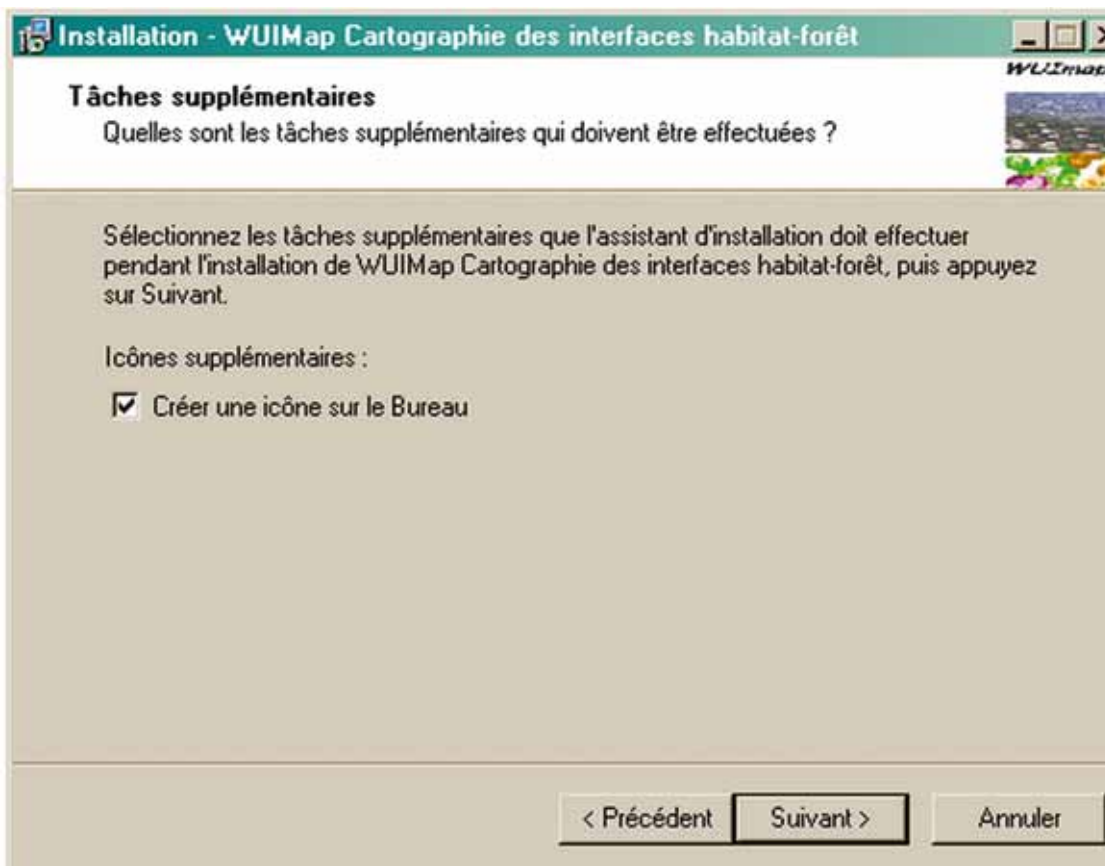
Lancer le fichier d'installation fourni en cliquant sur l'icône : (nécessité d'avoir les droits administrateur).

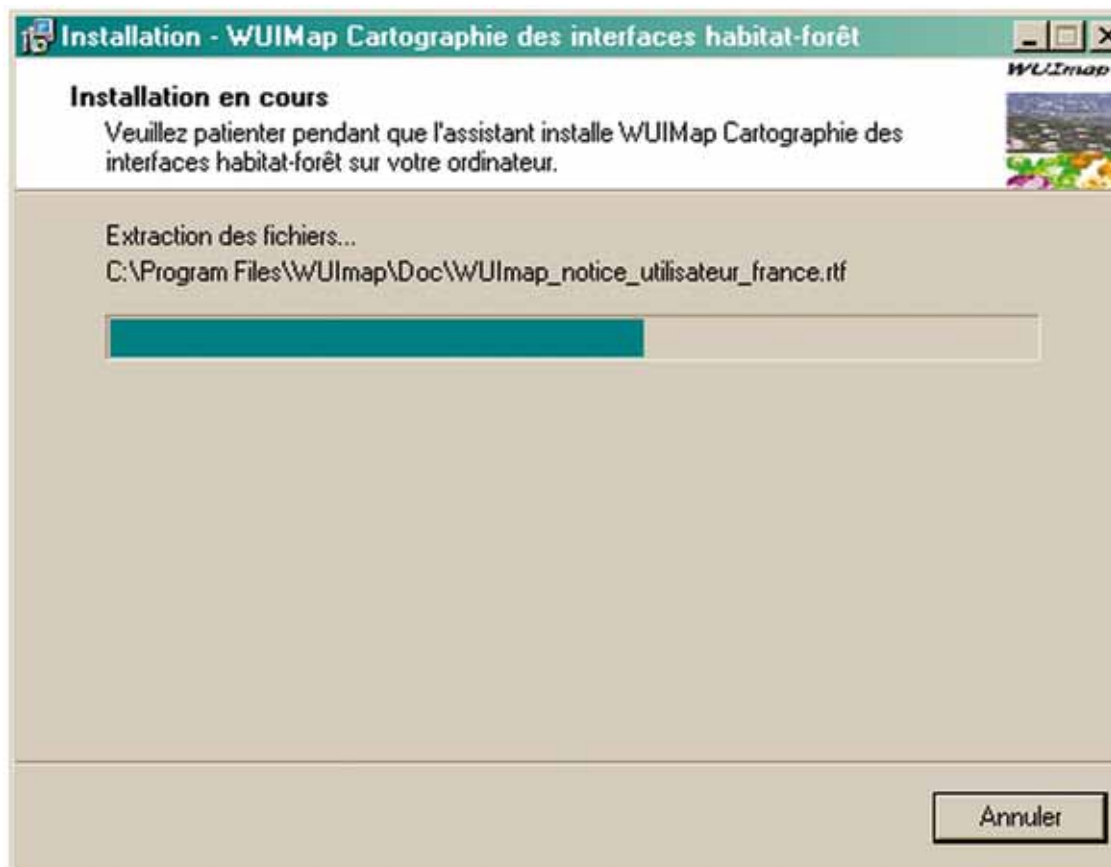


Suivre la procédure :









Le programme d'installation crée ensuite les répertoires et icônes nécessaires au fonctionnement du logiciel *WUImap*®



Un jeu de données test est fourni. Il est installé dans le répertoire **C:\WUImap\donnees**.

Données en entrée : Pré-requis pour utilisation de l'outil

Les fichiers acceptés en entrée sont uniquement les formats suivants :

- géotiff (.tif) pour les formats raster ;
- shapefiles (.shp) pour les formats vecteur.

Géoréférencement

Tous les fichiers d'entrée doivent avoir un système de coordonnées commun (Lambert 93, Lambert 2 Etendu, etc.).



Dans certaines conditions, l'absence de système de géoréférencement ou la présence de systèmes différents provoque des erreurs dans le programme et l'arrêt de celui-ci

Préparation des fichiers

Il est nécessaire de préparer les différents fichiers correspondant à la zone d'étude.

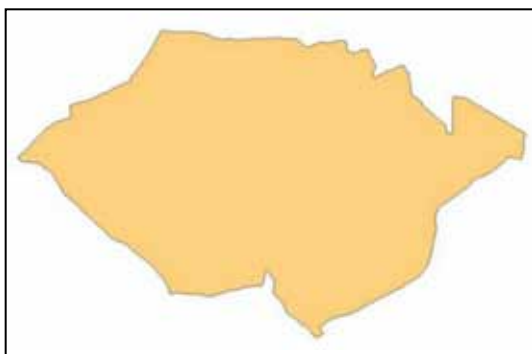
Dans ce but il est recommandé de découper les différents fichiers sources ci-après selon le contour de l'étude.

- bâti ;
- zone soumise au débroussaillage obligatoire ;
- indice d'agrégation de la végétation.

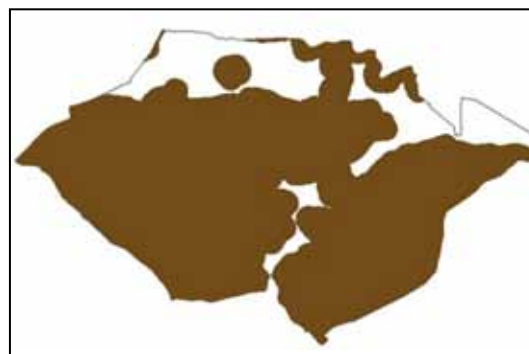
Cette préparation permet d'éviter les erreurs de calculs générées par des données manquantes dans les couches raster.

Pour la couche des bâtis, les maisons dont le centroïde se situe dans le périmètre d'étude sont considérées.

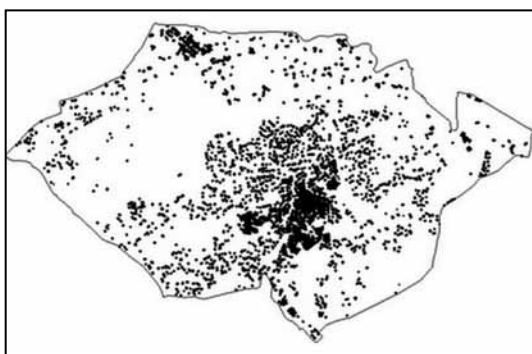
Données d'entrée



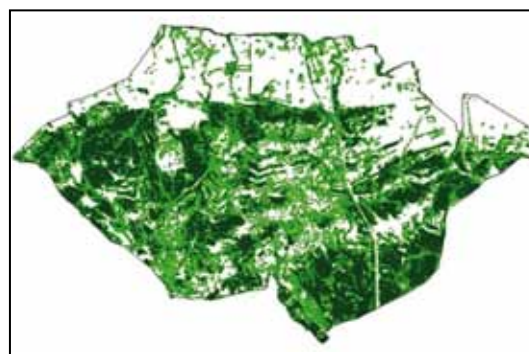
Périmètre d'étude



Zone soumise au débroussaillage obligatoire



Bâtis (polygones)



Indice d'agrégation de la végétation



Dans le cas du fichier choisi pour le bâti, il ne faut pas oublier de sélectionner les entités référencées comme bâti résidentiel et d'une surface de plus de 30 m²

Il est utile de vérifier l'intégrité des polygones du fichier des bâtis avec la commande « réparer la géométrie » d'ArcGIS. Cela permet d'éviter le blocage du programme.

Résolution des fichiers raster

La méthodologie a défini une résolution d'entrée optimale de 2,5 m. Les calculs de la carte des types d'habitat sont réalisés automatiquement à cette résolution.

Dans le cas du calcul de la carte des types d'interfaces, le logiciel accepte en entrée un fichier d'agrégation de la végétation avec une résolution qui peut varier entre 0,5 m et 10 m.

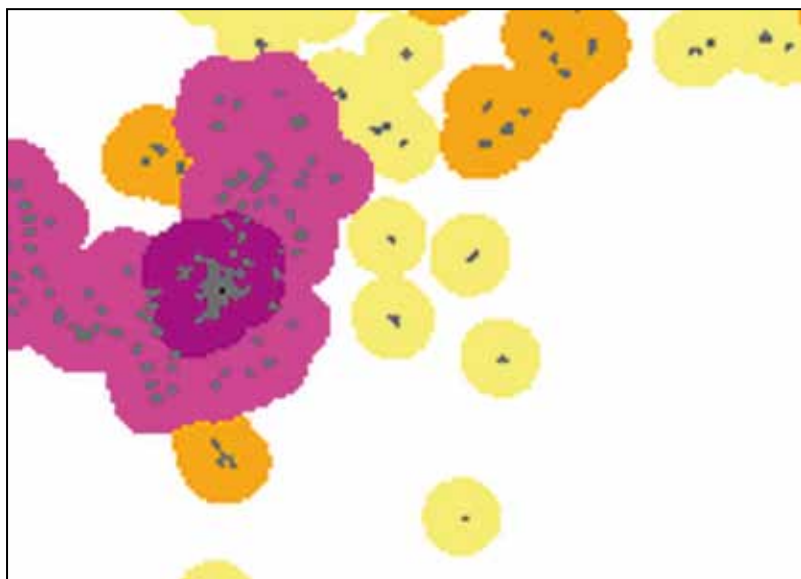
Résultats de sortie de l'outil WUImap[®] Cemagref 2010

Le programme produit 2 types de cartes sous forme d'image raster au format « .tif » (GEOTIFF) compatible avec la majorité des logiciels. Les informations sont codées en différentes classes détaillées dans le paragraphe suivant.

Carte des types d'habitat résidentiel










La carte produite [types_habitat.tif] présente les types d'habitat dont un exemple figure ci-dessous correspondant à la légende ci-après :

Habitat	
	isolé
	diffus
	groupé dense
	groupé très dense



Le calcul est réalisé sur l'ensemble de la zone d'étude choisie en dissociant les types d'habitat suivant leur appartenance à la zone d'obligation légale de débroussaillage (légende couleur) ou non (légende échelle de gris).

Légende et codes de la carte des types d'habitat

Couleur / code	Types d'habitat	Zones
 0	Absence d'habitat	À l'intérieur de la zone d'obligation légale de débroussaillage
 10	Habitat isolé	
 20	Habitat diffus	
 30	Habitat groupé dense	
 40	Habitat groupé très dense	
 50	Habitat isolé	À l'extérieur de la zone légale de débroussaillage
 60	Habitat diffus	
 70	Habitat groupé dense	
 80	Habitat groupé très dense	

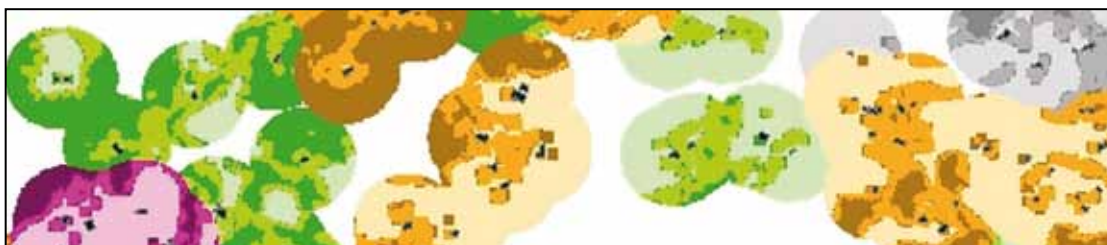
Cette carte est réalisée avec une résolution non modifiable de 2,5 m.

Carte des interfaces habitat-forêt

La carte des interfaces habitat-forêt [[types_interfaces.tif](#)] est le résultat du croisement de la carte des types d'habitat avec la carte de l'indice d'agrégation de la végétation (AI) reclassé.



Cette carte n'est pas produite si la couche indice d'agrégation de la végétation n'est pas renseignée

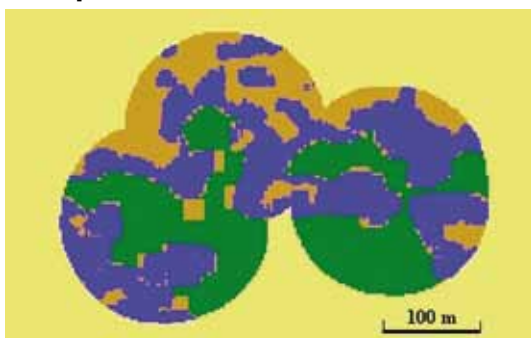


Exemple d'une carte des interfaces habitat-forêt correspondant à la légende du tableau ci-contre (page de droite).

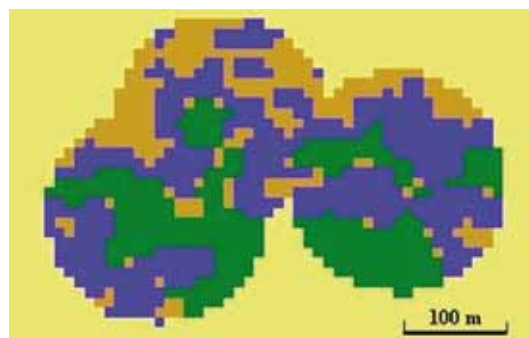


La résolution de sortie de cette carte est égale à la résolution d'entrée de la carte de l'indice d'agrégation de la végétation (AI)

Exemples :



Résolution 2.5 m



Résolution 10 m

Légende et codes de la carte des interfaces habitat-forêt

Couleur / code	Types d'interface habitat-forêt	Zones
0	Absence d'habitat	A l'intérieur de la zone d'obligation légale de débroussaillage
11	Habitat isolé & AI nul	
12	Habitat isolé & AI moyen	
13	Habitat isolé & AI fort	
21	Habitat diffus & AI nul	
22	Habitat diffus & AI moyen	
23	Habitat diffus & AI fort	
31	Habitat groupé dense & AI nul	
32	Habitat groupé dense & AI moyen	
33	Habitat groupé dense & AI fort	
41	Habitat groupé très dense & AI nul	
42	Habitat groupé très dense & AI moyen	
43	Habitat groupé très dense & AI fort	
51	Habitat isolé & AI nul	
52	Habitat isolé & AI moyen	
53	Habitat isolé & AI fort	
61	Habitat diffus & AI nul	
62	Habitat diffus & AI moyen	
63	Habitat diffus & AI fort	
71	Habitat groupé dense & AI nul	
72	Habitat groupé dense & AI moyen	
73	Habitat groupé dense & AI fort	
81	Habitat groupé très dense & AI nul	
82	Habitat groupé très dense & AI moyen	
83	Habitat groupé très dense & AI fort	

Gestion des répertoires

Le logiciel va installer automatiquement un répertoire de données tests sur **C:\WUImap_donnees**.

Le répertoire de sortie choisi par l'utilisateur va être utilisé pour la création d'un sous-répertoire de sortie nommé « Resultats_Interfaces » contenant les fichiers .tif créés.

Un répertoire temporaire TempW est également créé pour les besoins du programme puis supprimé à la fin du processus.



En cas d'échec inopiné du logiciel il convient de supprimer les répertoires créés avant une nouvelle tentative

Fonctionnement

Lancement

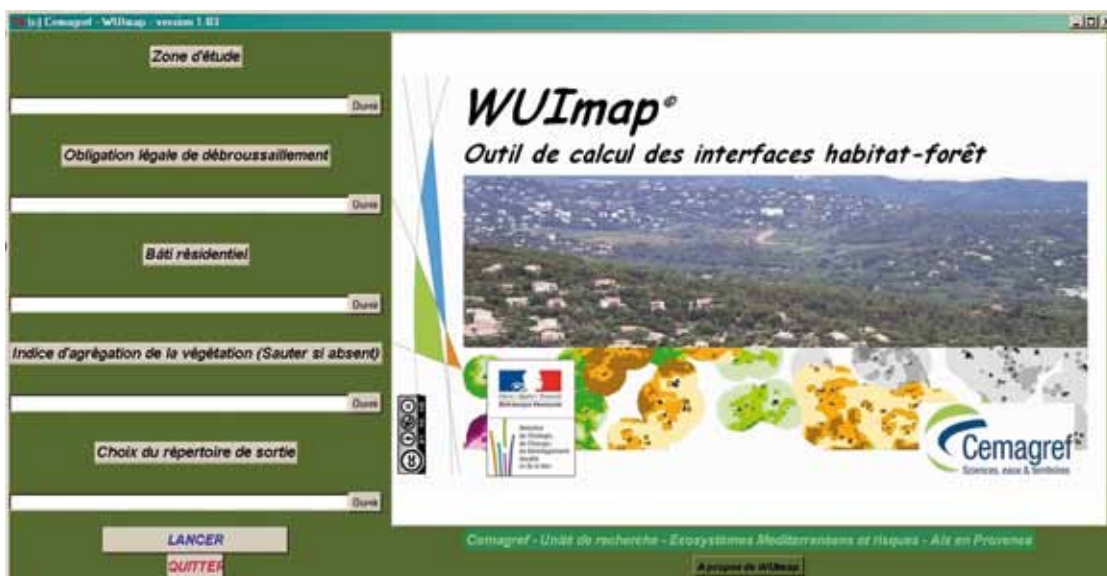


Cliquer sur l'icône WUImap sur le bureau Windows ou sur :



WUImap

Le programme se présente sous une fenêtre unique avec l'ensemble des fonctionnalités :



Fichiers d'entrée



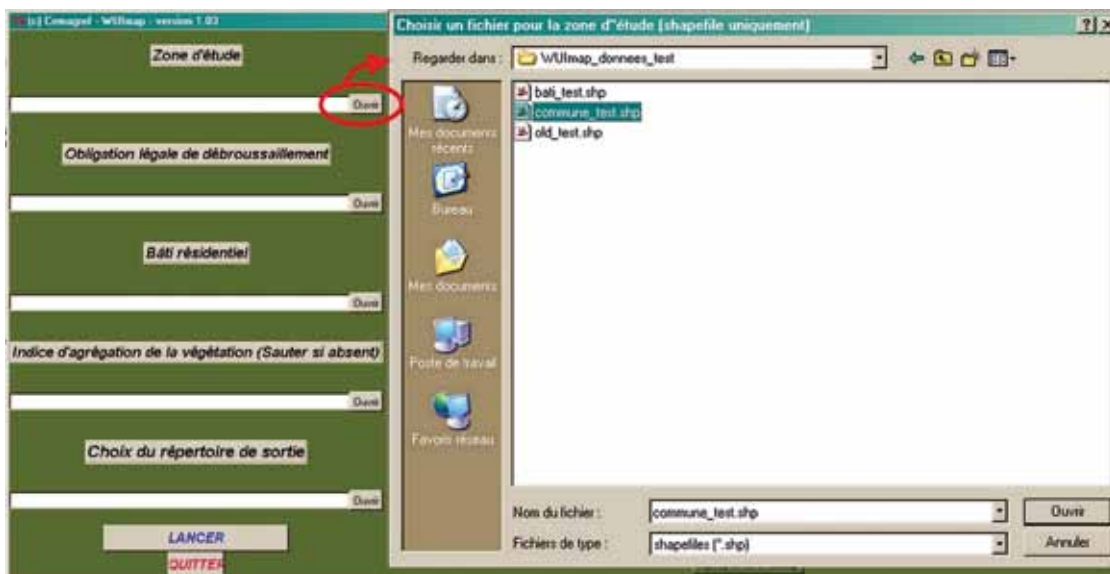
Les trois entrées suivantes sont indispensables au fonctionnement du programme

- **Périmètre de l'étude** (fichier de type shapefile .shp - polygone) : il s'agit d'un fichier délimitant la zone à étudier, par exemple une commune. Ce fichier va délimiter l'étendue géographique des calculs sur les autres données.
- **Zone d'obligation de débroussaillage** (fichier de type shapefile .shp - polygone) : ce fichier comprend la zone où l'obligation légale de débroussailler s'applique.
- **Bâti résidentiel** (fichier de type shapefile .shp - polygone) : Ce fichier est composé des polygones représentant les bâtis résidentiels de plus de 30 m².

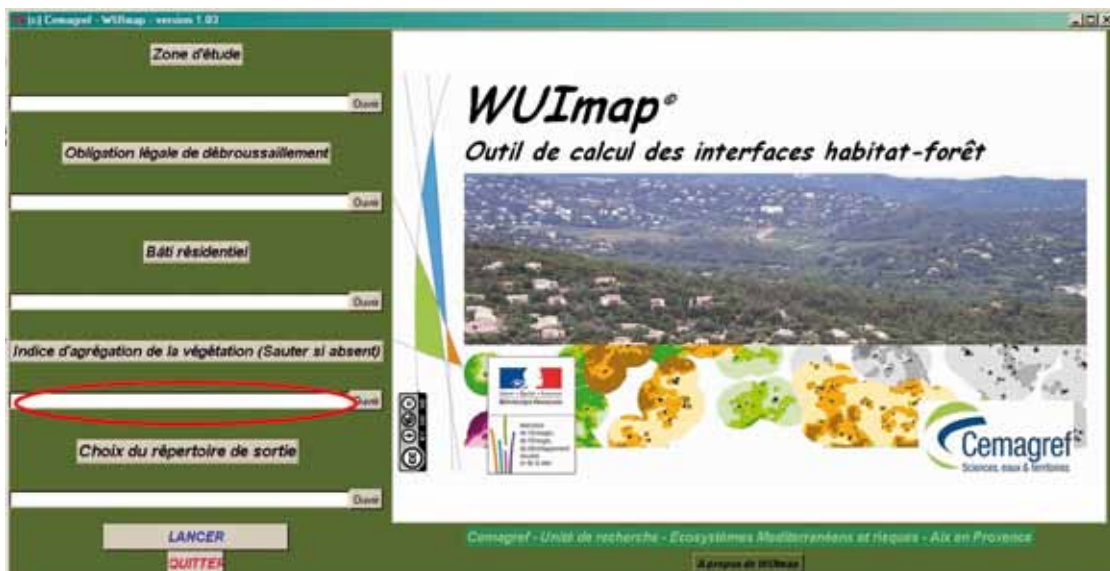


La méthode de référence utilise les bâtis sous forme de polygones

Choisir les fichiers correspondants aux différentes catégories :

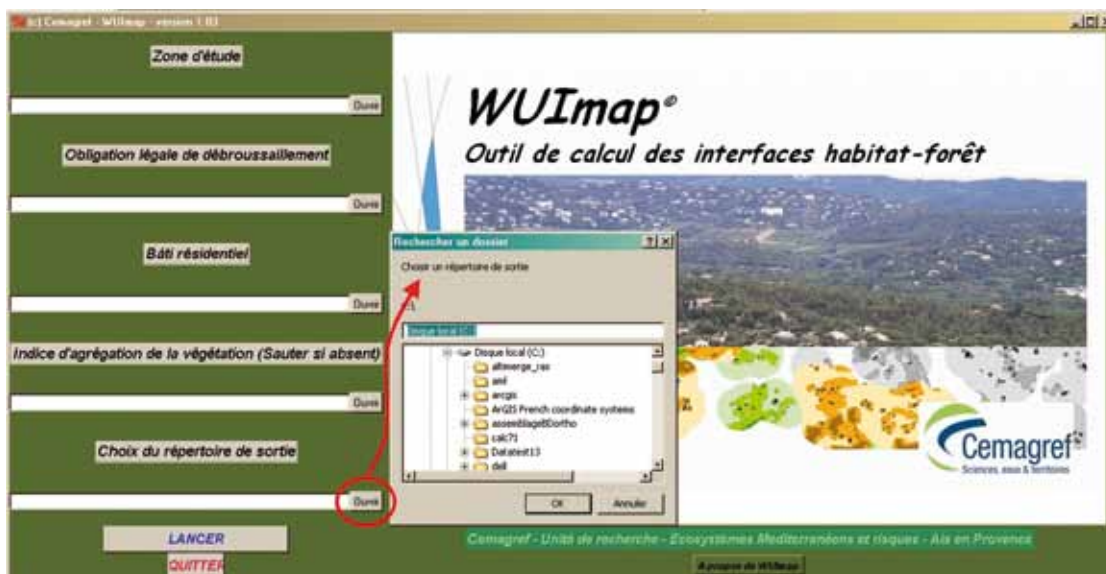


Si le fichier de la couche d'agrégation de la végétation n'est pas en votre possession : ignorer la case Indice de végétation AI



Choix du répertoire de destination des fichiers de sortie

Ce répertoire sera créé à l'emplacement défini par l'utilisateur avec un nom choisi qui ne doit pas contenir de caractères spéciaux ni d'espaces. Ce répertoire contient les fichiers finaux produits « carte des types d'habitat » et/ou « carte des types d'interface » en format TIF géoréférencé.



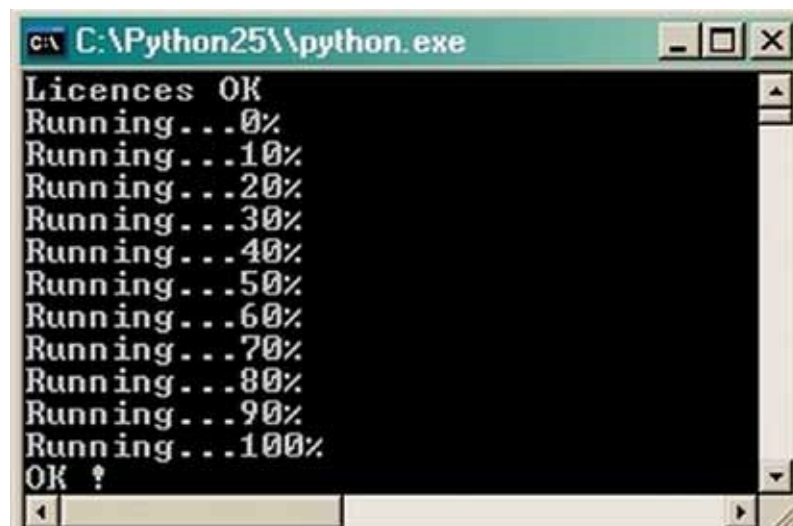
Jusqu'à cette étape il est possible de modifier les fichiers choisis et le répertoire de sortie en renouvelant une sélection.

Processus de calcul

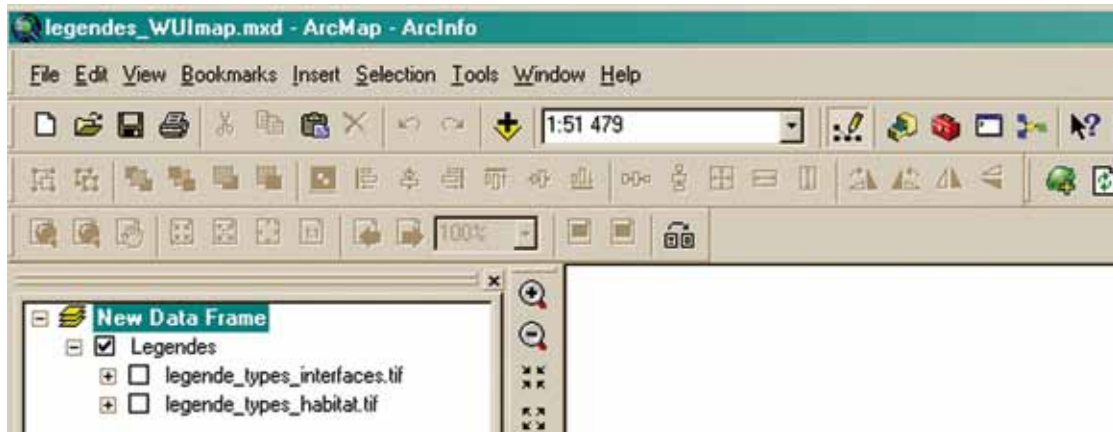
Cliquer sur la touche « LANCER »

Le programme fonctionne... patienter quelques minutes...

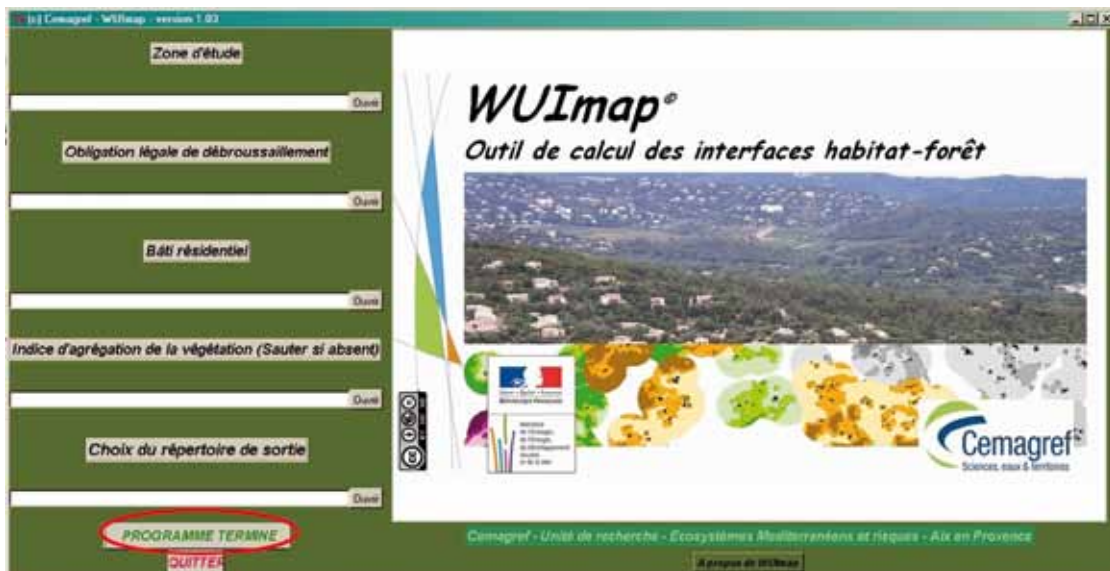
Un fenêtre de commande Dos s'ouvre et permet de suivre le déroulement du programme :



Un projet ArcMap intitulé légendes_WUImap.mxd s'affiche.



La fin des calculs se matérialise par l'apparition du message « PROGRAMME TERMINE » qui apparaît à la place du bouton « LANCER ».



Fin du programme

Appuyer sur la touche « QUITTER » et le programme se ferme.



Pour refaire tourner le programme, il faut choisir un nouveau répertoire de sortie ou supprimer celui qui a été créé précédemment

Test du programme

Le jeu de données fourni permet de tester le programme. Lancer le programme avec les fichiers présents dans le répertoire C:\WUImap_donnees_test.

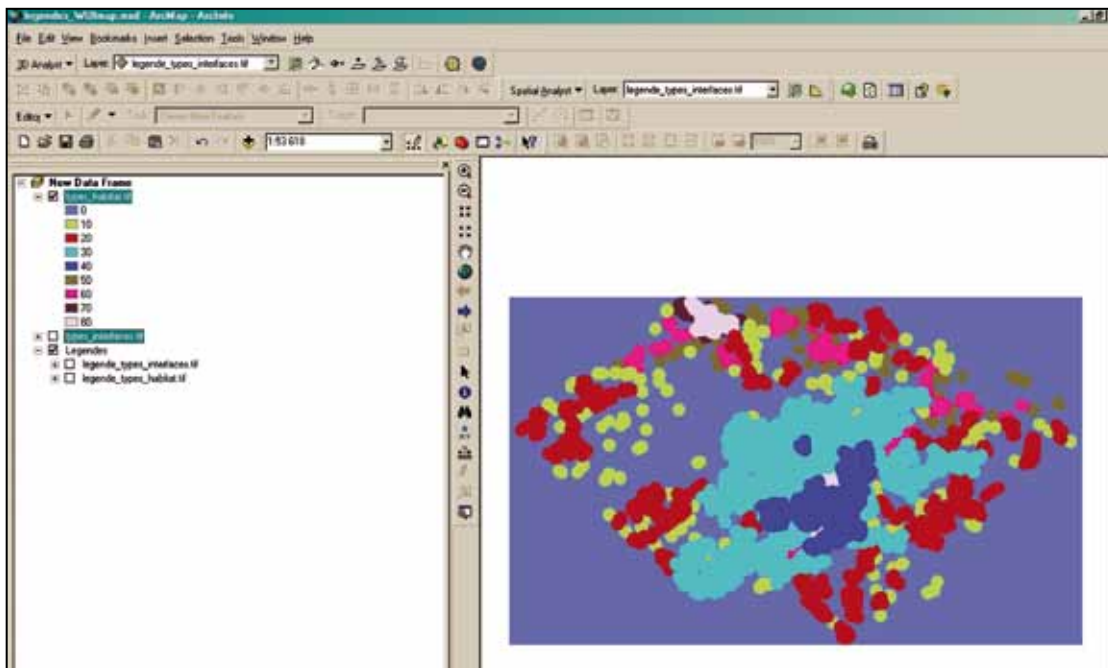
Affichage et contrôle des résultats

Lancer ArcGIS via le lien intégré dans le menu WUImap (via le menu Démarrer/Programmes)

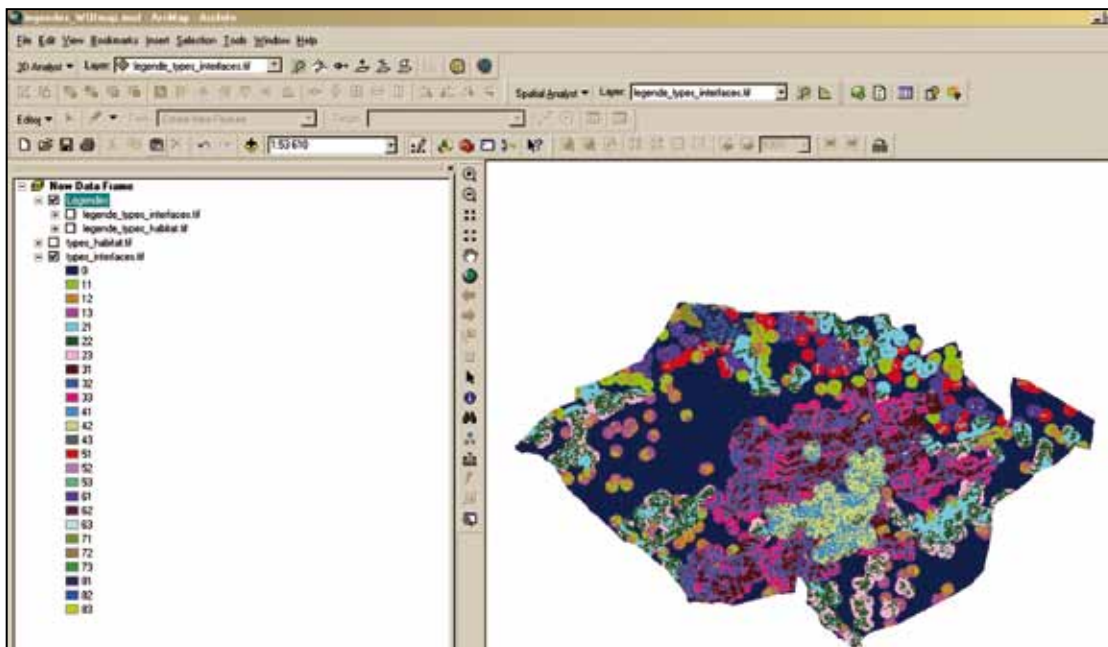


Charger les images créées depuis :
« votre répertoire choisi + \Resultats_WUImap »
Puis afficher les images : Le test doit générer des images
similaires à celles ci-après.

Types d'habitat : [types_habitat.tif]

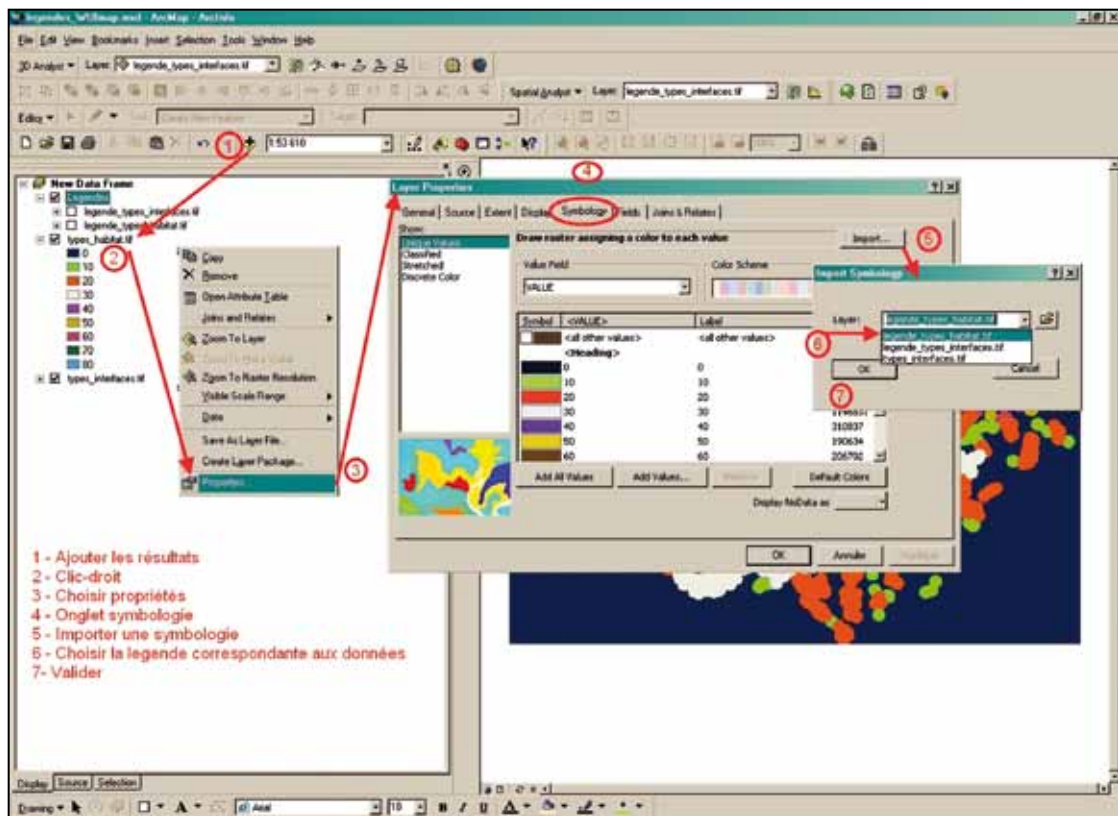


Interfaces Habitat-forêt : [types_interfaces.tif]

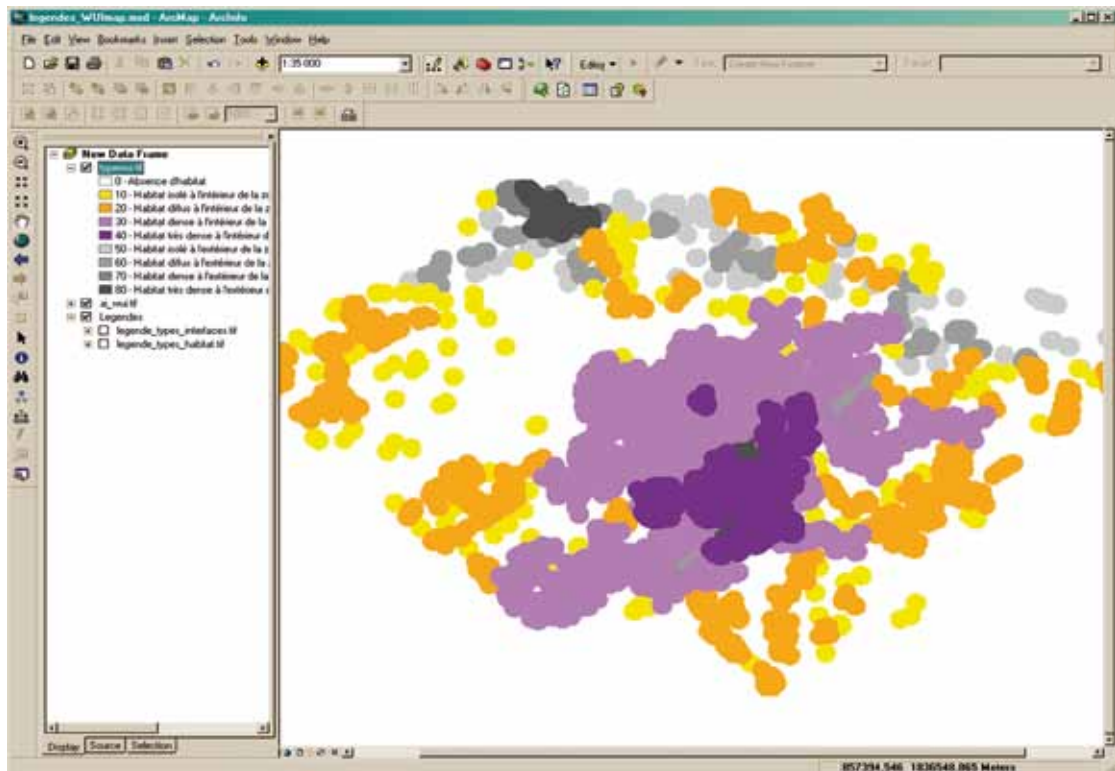


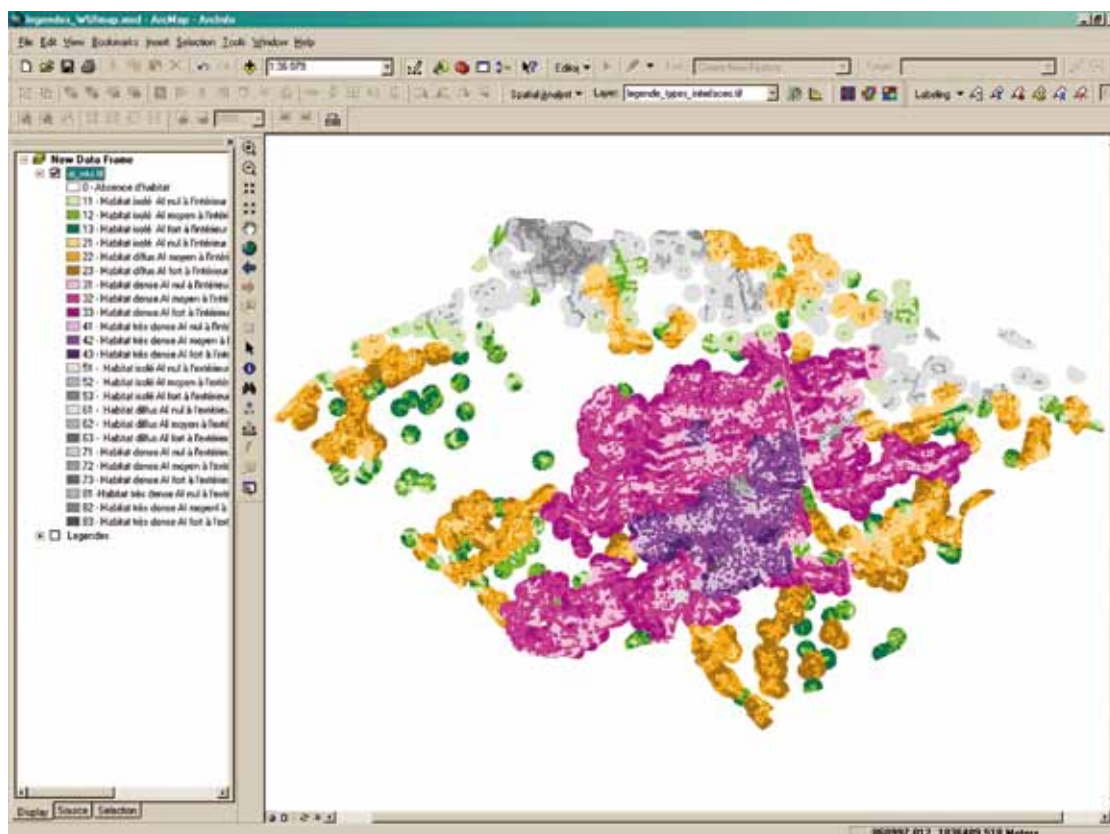
**Gestion d'une classe d'habitat manquante.
En cas d'absence de bâti dans une classe le programme prend
en compte cette information pour le calcul des cartes**

Appliquer la légende et les couleurs prédéfinies pour obtenir le
résultat final selon la procédure suivante :



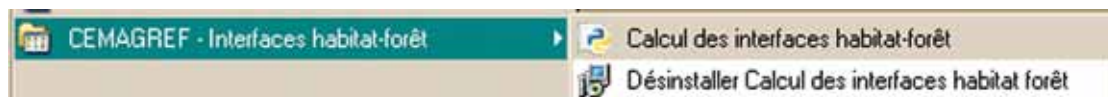
L'affichage après application de la légende se présente sous la forme ci-dessous :





Désinstallation du logiciel et limites

Pour supprimer le programme de l'ordinateur, cliquer sur le menu des programmes (il est nécessaire d'avoir les droits administrateur).



Ce programme a été testé avec des jeux de données variés et avec la configuration matérielle décrite précédemment.

Il fonctionne dans les limites définies ci-après :

- La taille maximum de la grille raster en entrée est de 11 000 x 14 000 pixels, soit 100 000 ha avec une résolution de 2,5 m.
- Le nombre maximum de polygones de bâtis est de 40 000 – soit l'équivalent d'une commune de 80 000 habitants.

Outil de calcul de l'indice d'agrégation de la végétation

La méthode de cartographie des interfaces habitat-forêt (Lampin-Maillet et *al.* 2008) préconise le calcul d'un critère traduisant la structure horizontale de la végétation. Ce critère est l'indice d'agrégation aussi nommé AI pour *Aggregation Index* en anglais, dans le cas où l'on possède des cartes de végétation au format raster. Le logiciel utilisé est le logiciel FRAGSTATS® Version 3.3. FRAGSTATS est un logiciel

libre disponible sur le web à l'adresse suivante :

http://www.umass.edu/landeco/research/FRAGSTATSs/downloads/FRAGSTATSs_downloads.html

La taille de l'image est un facteur limitant pour FRAGSTATS. Il est donc nécessaire de préparer les images avant de lancer le calcul de l'indice d'agrégation.

Découpage des images en sous images

Le logiciel FRAGSTATS est limité en termes de capacité de calcul par le type de processeur et la RAM des ordinateurs sur lesquels il fonctionne (sous Windows). A titre indicatif, sur un ordinateur possédant un processeur d'environ 1,5 à 2 méga hertz (Mhz) et une RAM d'un Giga octets (Go), la dimension maximale du format raster admise par FRAGSTATS correspond à une grille d'environ 8 000 lignes par 8 000 colonnes. Pour le même type d'ordinateur ayant une RAM de 2 Go, la grille pourra avoir une taille maximale de 11 000 lignes par 11 000 colonnes. Pour calculer précisément la taille optimale de la grille raster sur laquelle porteront les calculs, des informations complémentaires sont disponibles directement sur l'aide écrite par les concepteurs du logiciel FRAGSTATS.

Si la taille de l'image à traiter est supérieure à cette dimension optimale, il faudra découper l'image en autant de sous-images que de multiples de cette dimension. Le principe du découpage est le suivant :

➤ **C** est le nombre de colonnes de la grille du raster représentant la carte de végétation à traiter et **L** le nombre de lignes ;

➤ **c** et **l** le nombre de colonnes et de lignes au-delà desquels FRAGSTATS ne pourra plus réaliser le calcul ;

➤ **n** et **n'** sont des nombres multiples de **c** et **l** tel que : $n = C / c$ et $n' = L / l$.

Le nombre de sous-cartes à effectuer sera égal à : $n * n'$.



n et n' doivent être des nombres entiers, ils sont égaux aux résultats des fractions C / c et L / l mais arrondis au chiffre supérieur

Exemple : Je dois calculer avec le logiciel FRAGSTATS, l'indice d'agrégation de la végétation à partir d'une carte de végétation représentée par un raster de dimension 11 880 lignes sur 9 220 colonnes. J'ai à ma disposition un ordinateur ayant un processeur de 1,66 Mhz et une RAM de 1 Go. La grille maximale que le logiciel pourra traiter sera de 8 000 colonnes par 8 000 lignes.
 $C=11\ 880, c=8\ 000, L=9\ 220, l=8\ 000$. Le rapport $C/c = 11\ 880 / 8\ 000 = 1,485$, n sera égal à 2. Le rapport $L/l = 9\ 220 / 8\ 000 = 1,152$, n' sera égal à 2. Il me faudra produire $2 * 2 = 4$ sous-cartes de végétation pour calculer la carte d'AI résultant de cette carte de végétation.

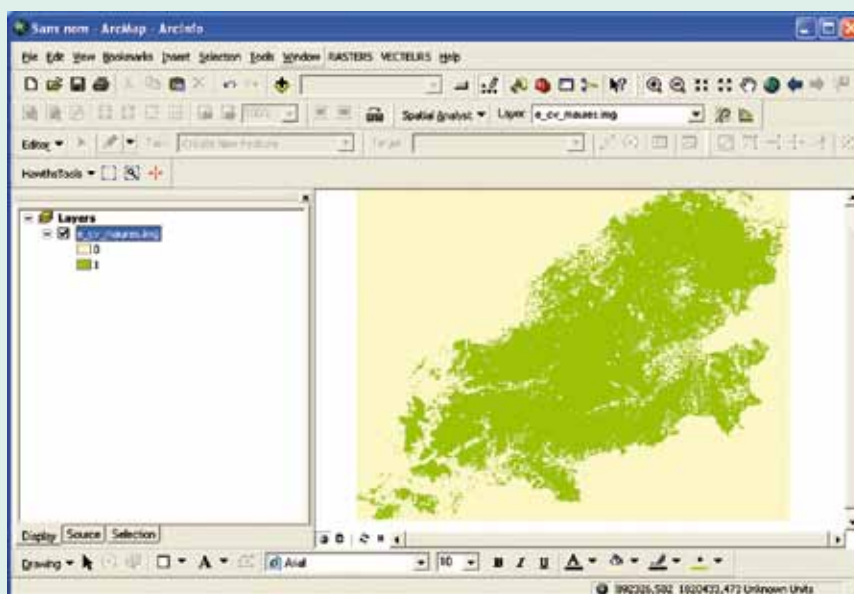


Illustration de l'image représentant les classes de végétation/non végétation de la zone d'étude

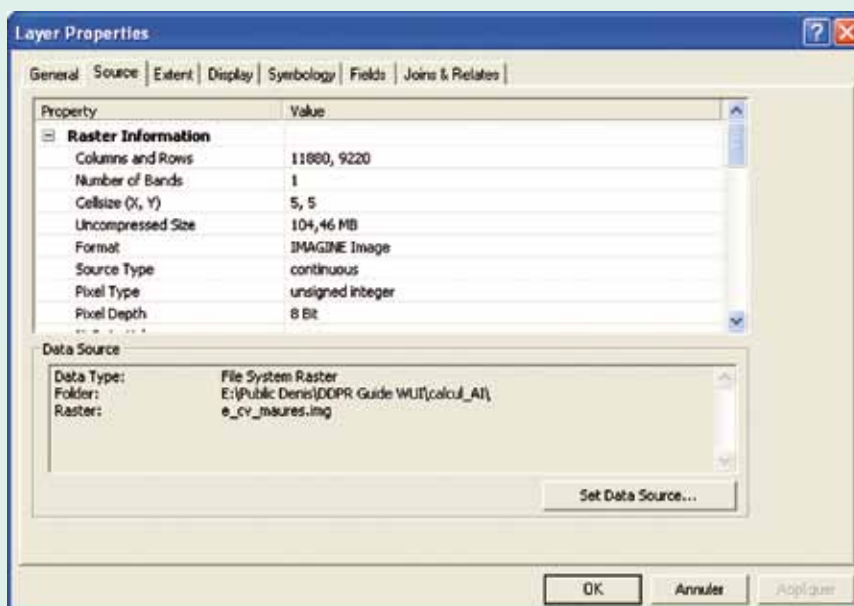


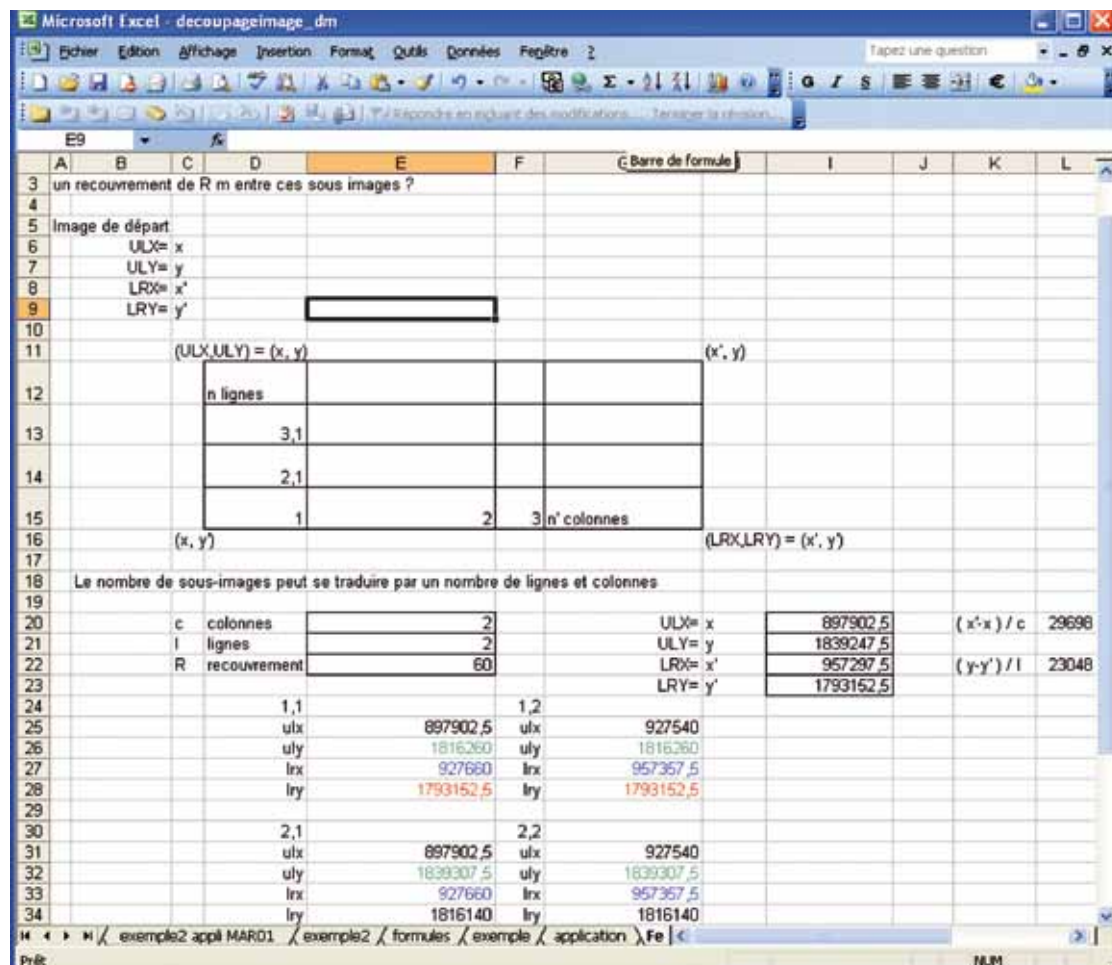
Illustration des informations disponibles relative à l'image précédente (nombre de lignes, colonnes, résolution de l'image)

Pour effectuer le calcul de l'indice d'agrégation de la végétation et le représenter cartographiquement, le logiciel FRAGSTATS utilise une fenêtre glissante. Cette technique implique une dimension de l'image en sortie inférieure à celle de l'image en entrée. Il faut donc prévoir une marge de recouvrement entre chaque sous-image. Cette marge doit être égale à trois fois la taille de la fenêtre glissante définie pour le calcul. Par ailleurs pour éviter les effets de disparition de valeurs situées en bordure d'image, il est conseillé de prendre un nombre entier supérieur à 3.

Le nombre de sous-images et les marges de recouvrement étant définis, il reste à procéder au découpage de l'image. Pour cela, une feuille de calcul sous Excel a été conçue permettant le calcul direct des coordonnées géographiques de chaque sous-carte en fonction des coordonnées de la carte de végétation en entrée, dans

le système de géo-référencement choisi. Il suffit pour cela d'entrer les nombres : n, n' des multiples des colonnes et lignes, le nombre R du recouvrement désiré et les coordonnées géographiques de l'image de végétation en entrée. Ces coordonnées sont celles de la cellule située le plus en haut à gauche de la grille, elles sont appelées ULX et ULY (pour Upper Left X et Upper Left Y) et celles de la cellule situées le plus en bas à droite, appelées LRX et LRY (pour Lower Right X et Lower Right Y).

Cet outil de calcul est disponible sous forme d'un fichier Excel (*decoup_image.xls*) composé de trois feuilles de calcul. La première feuille (nommée formule) correspond à la description du calcul dans l'espace de la feuille. Elle n'est pas active. La deuxième feuille nommée application est une feuille active correspondant au calcul avec tous les indices à renseigner



mis à 0. La troisième feuille est une feuille vierge dans laquelle le contenu de la deuxième feuille doit être recopié et les indices (n, n', R, ULX, ULY, LRX, LRY) inscrits dans les cellules correspondantes pour que le calcul s'exécute automatiquement. On obtient ainsi les coordonnées (ulx, uly, lrx et lry) de chaque sous-image à réaliser pour le découpage de l'image de végétation de départ.



La feuille « application » contient la possibilité d'intégrer au maximum quatre colonnes et quatre lignes. Le calcul est toujours fait sur l'étendue maximale. En-deçà de cette étendue, il suffit de supprimer, les lignes et colonnes en trop. Au-delà il faut construire à la main les lignes et colonnes supplémentaires sur le modèle de la feuille « Formule ».

Illustration

Le découpage est effectué avec le logiciel ArcMap®ESRI. Sur la boîte à outils (ArcToolbox), choisir l'outil *Data Management Tools* puis *Raster, Raster Processing* puis *Clip*. Une fenêtre s'ouvre dans laquelle le nom et le chemin de l'image en entrée sont précisés, puis les coordonnées de la sous-image à créer. Le découpage est lancé en cliquant sur OK. L'opération est répétée autant de fois que de sous-image à créer. Une fois créées, les sous-images doivent être dans un format raster reconnu par le logiciel FRAGSTATS.

Exemple : Le nom de l'image initiale est e_cv_maures.img. Les coordonnées de chaque sous- image à créer sont précisées. Le découpage est lancé en cliquant sur OK. L'opération est répétée 4 fois pour chacune des 4 sous-images à créer.



Les noms des 4 sous-images sont ecvm_1_1.img, ecvm_1_2.img, ecvm_2_1.img et ecvm_2_1.img.

Sous-images mises au format ASCII non géo référencé reconnu par FRAGSTATS

Généralement l'image de végétation initiale est obtenue par le traitement d'image(s) satellite(s) ou d'orthophoto(s). Elle possède donc un format variable selon le logiciel de traitement d'images utilisé (Imagine, Er Mapper, TNT, Mapinfo, Arcmap, etc.), les sous-images sont dans ce même format. Le logiciel FRAGSTATS

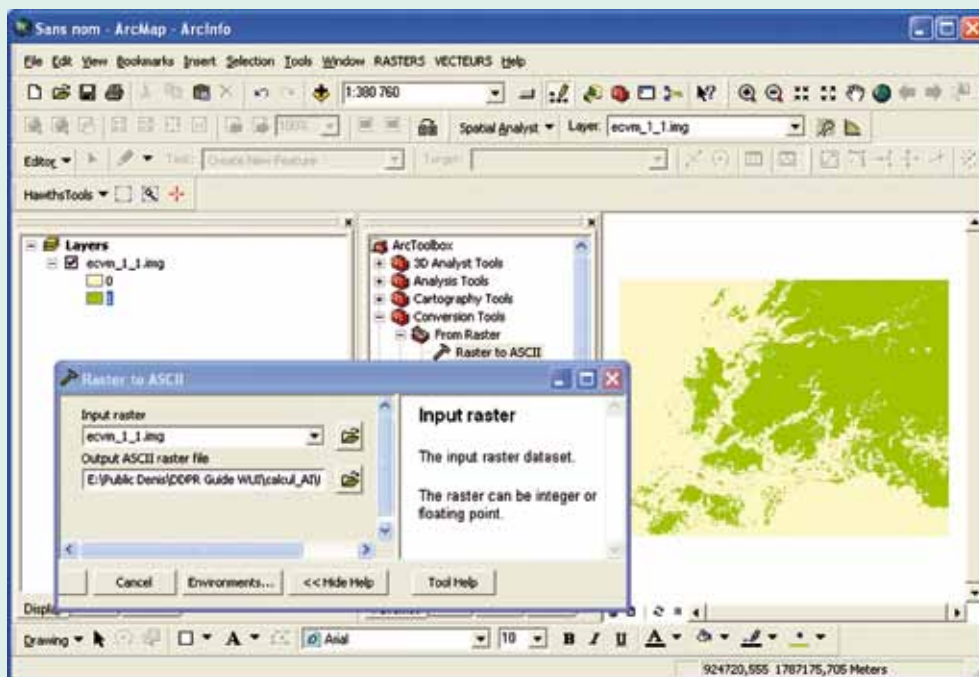
ne reconnaît que le format ASCII auquel les indications de géo-référencement ont été supprimées. Il est donc nécessaire de réaliser une conversion du format initial des sous-images au format ASCII imposé par FRAGSTATS, la plupart des logiciels d'analyse spatiale étant capables de traiter cette opération. Il est conseillé de supprimer les indications de géoréférencement avec un logiciel d'édition de format texte de type Wordpad. Seules les valeurs de végétation (code 1) et de non végétation (code 0) seront présentes sur la grille raster.

Illustration

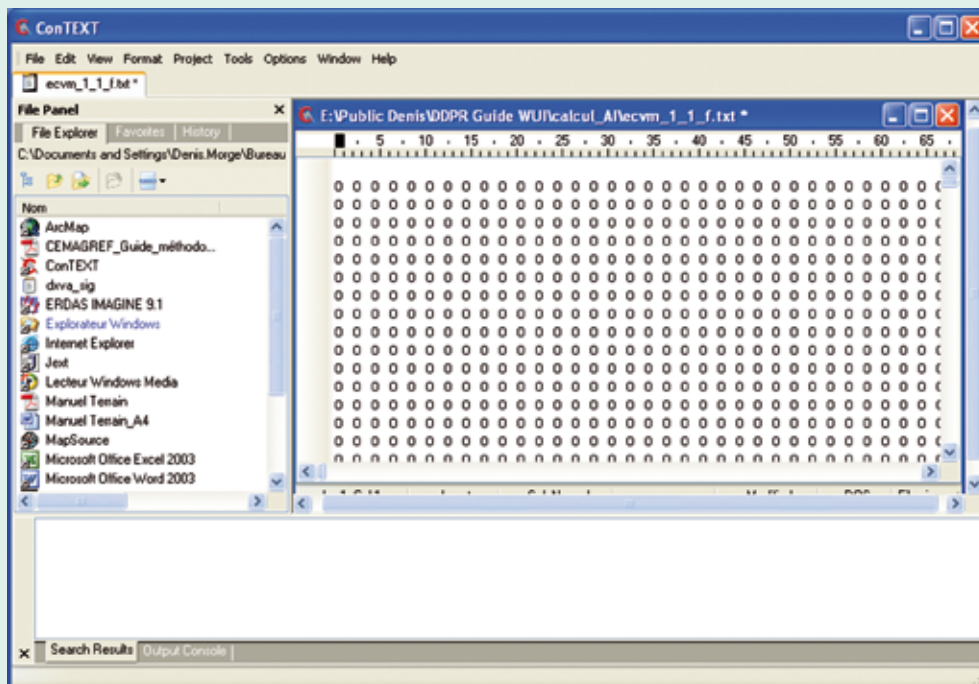
La conversion des fichiers raster des sous-images de végétation d'un format *img* au format ASCII est réalisée sous ArcMap®ESRI. Sur la boîte à outils (ArcToolbox), choisir l'outil *Conversion Tools, From Raster, Raster to ASCII*. Une fenêtre s'ouvre, le chemin et le nom de l'image à convertir sont précisés ainsi que le nom et le chemin du fichier de sortie. La conversion est lancée en cliquant sur OK.

Les images converties au format ASCII sont alors ouvertes avec le logiciel d'édition de texte Wordpad. Les lignes d'en tête correspondant au géo-référencement et au nombre de lignes et colonnes sont supprimées après avoir été enregistrées dans un autre document. Les informations de l'entête ne doivent pas être perdues car elles seront réintégréées ultérieurement. Les sous-images peuvent alors être traitées sous FRAGSTATS.

Exemple : Les 4 sous-images de végétation d'un format *img* sont converties au format ASCII. Ainsi 4 fichiers sont créés : *ecvm_1_1.txt*, *ecvm_1_2.txt*, *ecvm_2_1.txt* et *ecvm_2_2.txt*.



Puis ouvrir avec un éditeur de texte et supprimer le fichier entête des fichiers ASCII.

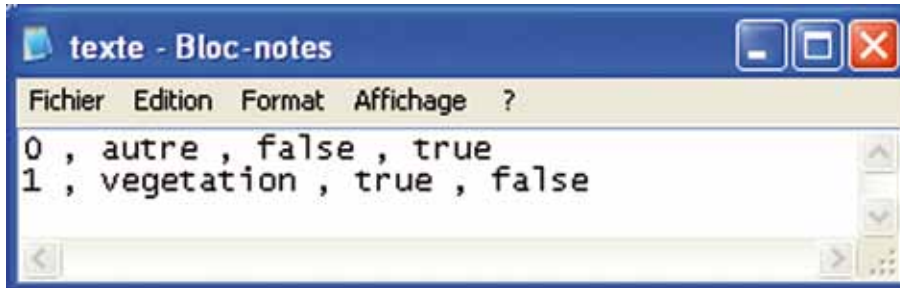


Enregistrement des changements sous un nom différent (ajout d'un f à la fin pour FRAGSTATS) : *ecvm_1_1_f.txt* ; *ecvm_1_2_f.txt* ; *ecvm_2_1_f.txt* ; *ecvm_2_2_f.txt*.

Calcul de l'indice d'agrégation de la végétation AI

Avant de lancer le calcul de l'indice d'agrégation, un fichier texte (texte.txt)

doit être créé sous un éditeur de texte (bloc-notes) de façon à définir comme suit les deux classes suivantes : une classe végétation (codée 1) et une classe non végétation (codée 0).



À présent le logiciel FRAGSTATS 3.3 peut-être lancé.

Dans le menu principal, sélectionner *FRAGSTATS*, puis *Set Run Parameters*. La fenêtre Run Parameters permet de

renseigner les paramètres de l'image à prendre en compte dans le calcul et de spécifier le type d'analyse utilisé.

Illustration

Le **fichier ASCII** sur lequel porte le calcul est récupéré.

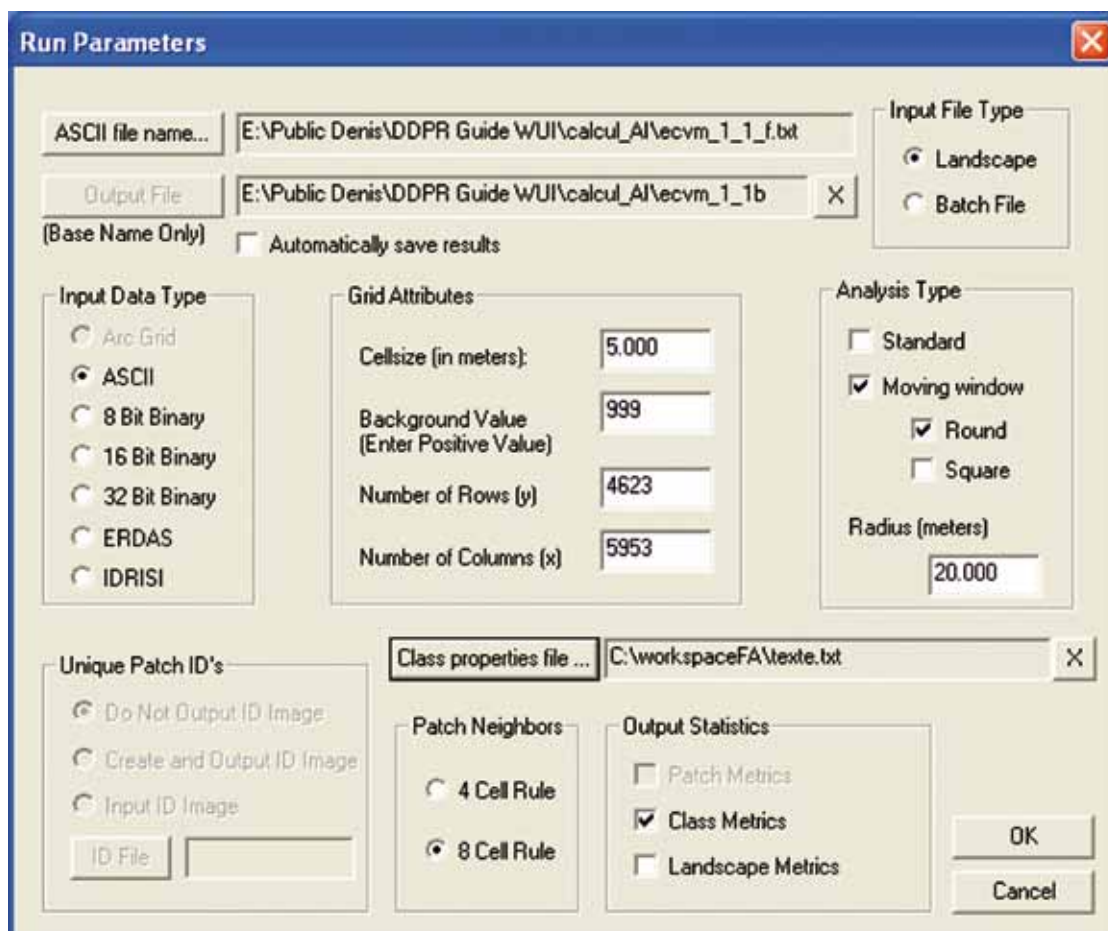
Les **paramètres de l'image** à renseigner sont alors :

- La résolution de l'image raster au format ASCII ;
- La valeur fixée au No Data (999 valeur choisie a priori)
- Le nombre de lignes de l'image raster au format ASCII ;
- Le nombre de colonnes de l'image raster au format ASCII.

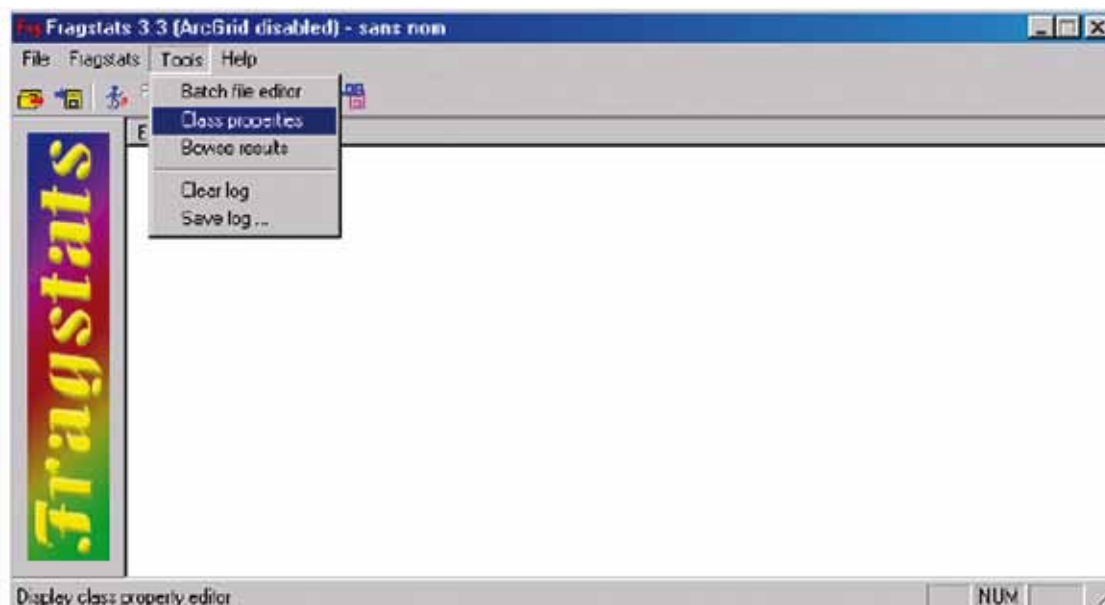
Le **type d'analyse** est à renseigner également :

Le choix d'utiliser une fenêtre glissante permettant la représentation spatiale de l'indice calculé, de forme ronde et d'un rayon fixé à 20 m (conformément à la méthode de caractérisation des interfaces habitat-forêt Lampin-Maillet et *al.* 2010).

Le fichier de définition des classes (texte.txt défini ci-dessus) sur lesquelles seront effectués les calculs est à récupérer au niveau du bouton *Class properties file*, calculs d'indicateurs réalisés sur les classes (*Class metrics*) en considérant un environnement de 8 pixels (*8 Cell Rule*).



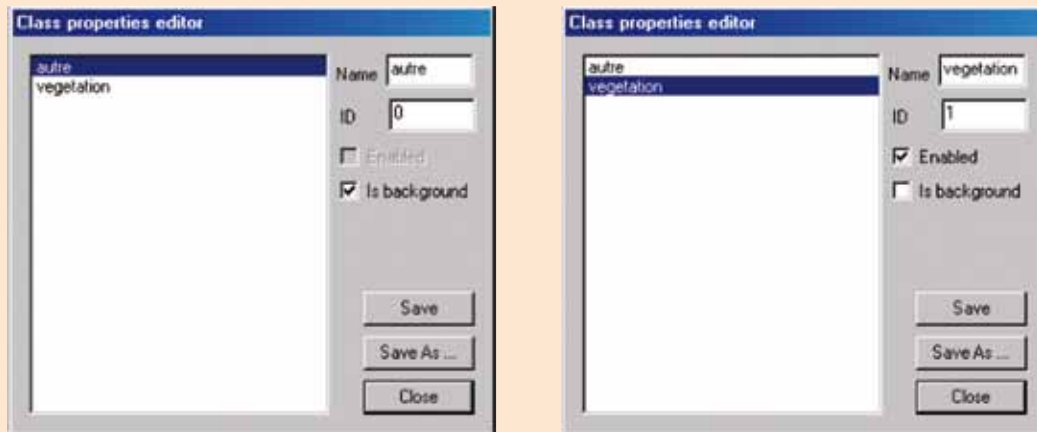
Les paramètres ci-dessus renseignés, cliquer sur OK.
Puis dans le menu *Tools*, sélectionner *Class properties*.



Cette étape permet de définir la classe sur laquelle
le calcul de l'indice d'agrégation sera réalisé.

Illustration

Souhaitant calculer l'agrégation de la végétation, il conviendra de cocher *Enabled* pour la classe végétation et *background* pour la classe autre. Ce choix sera sauvegardé en cliquant sur *Save* puis en cliquant sur *Close* pour fermer.

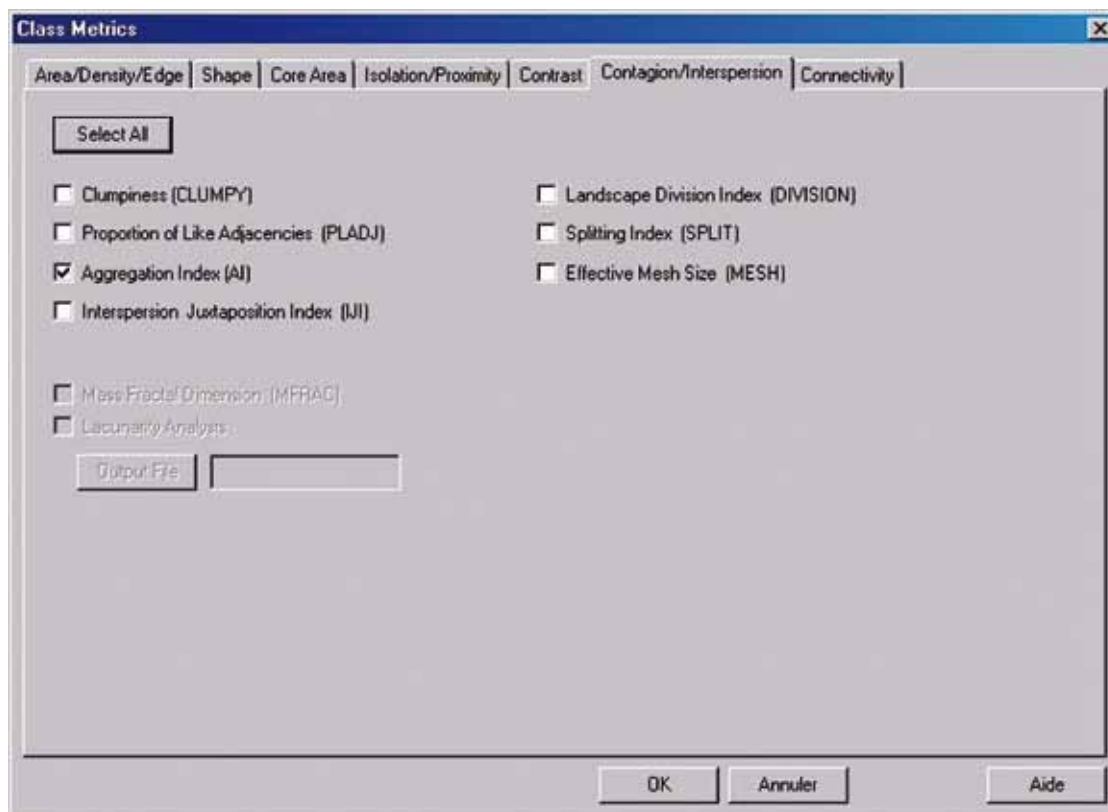


Le logiciel FRAGSTATS offre une palette d'indicateurs permettant de caractériser l'organisation spatiale d'un paysage ou de classes particulières de ce paysage. Dans

le cas étudié, il s'agit de caractériser une classe particulière, la classe végétation pour laquelle on souhaite connaître le niveau d'agrégation.

Illustration

Dans le menu FRAGSTATS, sélectionner l'onglet *Select Class Metrics*. La fenêtre *Class Metrics* ouverte présente différents types d'indices à calculer. Choisir l'onglet *Contagion / Interspersion* puis cocher *Aggregation Index (AI)*. Ce choix est validé en cliquant sur *OK*.



L'ensemble des paramètres nécessaires ayant été enregistrés, le calcul de l'indice d'agrégation est lancé en sélectionnant la fonction *Execute* dans le menu principal *FRAGSTATS*.

Récupération des fichiers résultant du calcul de l'indice d'agrégation AI et conversion au format raster initial

Les images résultant du calcul de l'indice d'agrégation effectué sous *FRAGSTATS* pour chaque sous-image, sont ouvertes

avec le logiciel d'édition de texte utilisé précédemment. Elles sont au format ASCII et sont non géo-référencées (les références ayant été supprimées pour rendre possible le calcul sous *FRAGSTATS*). Il s'agit alors d'insérer et de coller dans le haut du fichier texte les indications géographiques (références sauvegardées en début de processus de calcul d'indice en vue de cette réintégration). Chaque image résultant du calcul de l'indice d'agrégation est ainsi complétée et enregistrée sous un autre nom, puis convertie du format ASCII au format raster initial.

Exemple : Les fichiers ASCII de l'indice d'agrégation AI sont stockés par le logiciel FRAGSTATS dans un sous-répertoire dont le nom est composé du nom du fichier de départ complété d'un suffixe (----) _MW1. A l'intérieur de chaque sous-répertoire se trouve le fichier de l'indice d'agrégation AI sous le nom : AI_1.txt. Ainsi les répertoires sont : **ecvm_1_1_f.txt_MW1, ecvm_1_2_f.txt_MW1, ecvm_2_1_f.txt_MW1 et ecvm_2_2_f.txt_MW1**. Le fichier ASCII de chaque sous-image de végétation est ouvert avec un éditeur de texte, l'entête est copiée et collée dans la sous-image de l'indice de végétation correspondante. Le fichier est enregistré sous un autre nom dans un répertoire spécifique. Ainsi un répertoire de calcul d'AI avait été créé dans lequel se trouvaient les 4 fichiers de l'AI calculés par FRAGSTATS et géo-référencés comme montré précédemment : **Ai_1_1_ecvm.txt, Ai_1_2_ecvm.txt, Ai_2_1_ecvm.txt et Ai_2_2_ecvm.txt**.

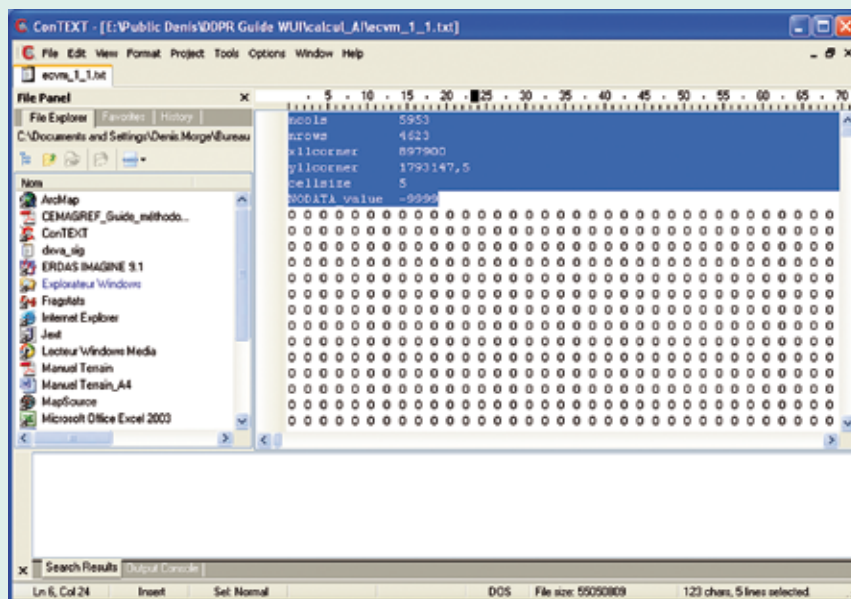


Illustration de la sous-image de végétation avec son en-tête

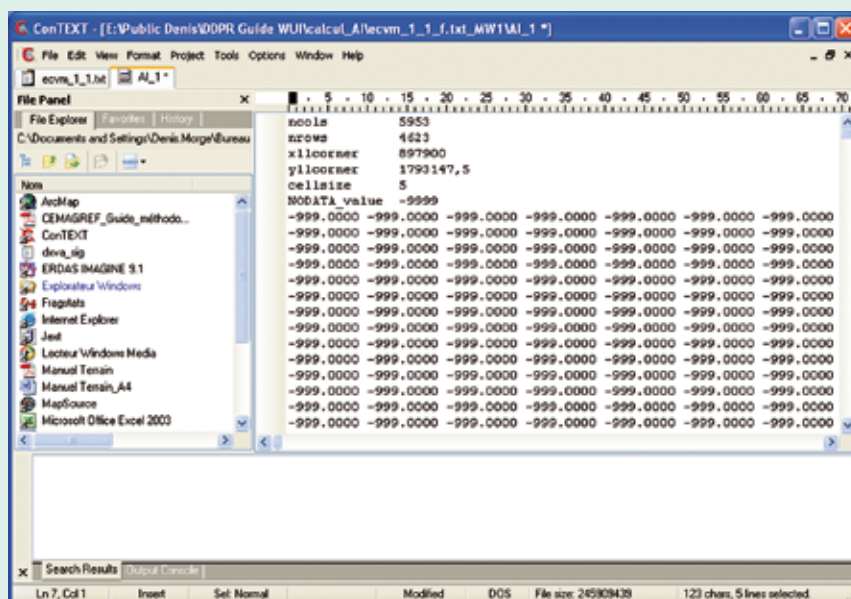
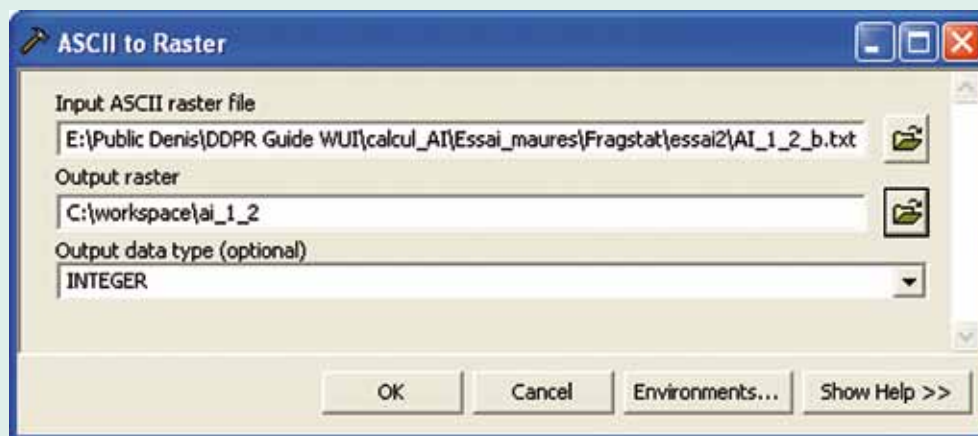


Illustration de la sous-image de l'indice de végétation avec copie des informations de l'entête de la sous-image de végétation précédente

Illustration

La conversion des fichiers raster des sous-images de l'indice d'agrégation d'un format ASCII au format raster initial est réalisée sous ArcMap®ESRI. Dans la boîte à outils (ArcToolbox), choisir l'outil *Conversion Tools, To Raster, ASCII to Raster*. Une fenêtre s'ouvre, le chemin et le nom de l'image à convertir sont précisés ainsi que le nom et le chemin du fichier de sortie. Le format raster souhaité peut être précisé : *img, tiff* ou rien pour le format grid. Enfin le format des données de la grille est aussi précisé *integer* pour une valeur entière ou *float* pour une valeur décimale (en général le choix *Integer* est privilégié pour obtenir une table de valeurs susceptibles d'être seuillées ultérieurement. La conversion est lancée en cliquant sur OK.

Exemple : Pour l'exemple traité, les 4 images suivantes sont obtenues : ai_1_1, ai_1_2, ai_2_1 et ai_2_2.



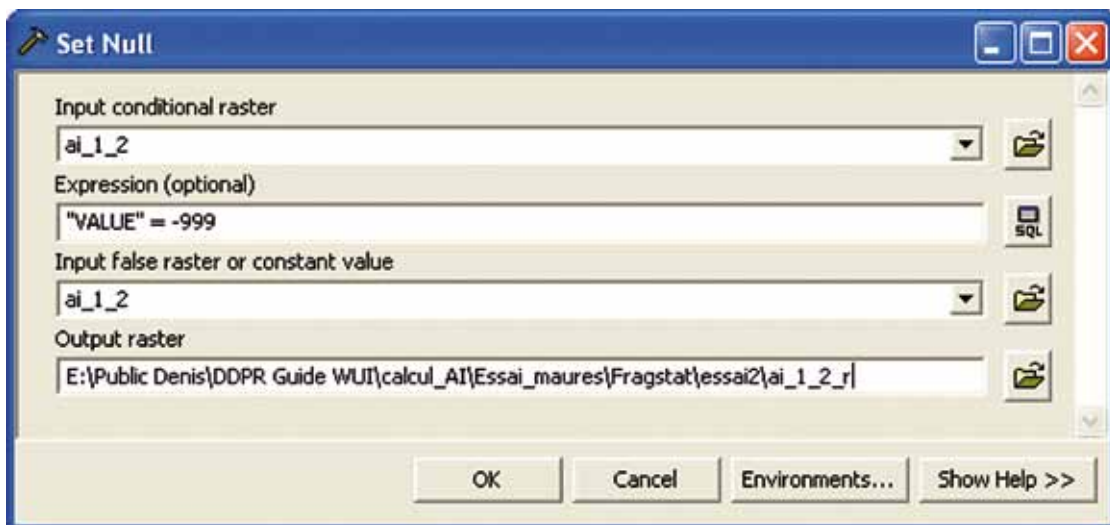
L'image résultant ainsi du calcul de l'indice d'agrégation, après conversion, présente des valeurs entières de pixel variant de 0 à 100. Des pixels d'une valeur égale à -999 apparaissent également, situés en général aux extrémités de l'image. Ils découlent de la taille de la fenêtre glissante qui ne permet pas de calcul sur les bords de l'image. Les pixels concernés sont codés à -999 (NoData). L'image du calcul de l'indice d'agrégation présente donc sur son contour d'une profondeur égale à 20 m (correspondant au rayon de calcul de la fenêtre glissante) des valeurs égales à -999 et des valeurs variant de 0 à 100 en dehors.

Composition de l'image finale de l'indice d'agrégation de la végétation par mosaïquage des sous-images

La composition de l'image finale de l'indice d'agrégation de la végétation est réalisée en mosaïquant les sous-images. Au moment du mosaïquage, des bandes peuvent apparaître correspondant aux contours des sous-images mis en évidence par les valeurs -999 comme vu dans le paragraphe précédent. Pour faire disparaître ces bandes il est possible de transformer la valeur -999 en valeur No Data. ArcMap®ESRI propose dans sa version sous ArcInfo DeskTop la commande *Set-null* permettant de réaliser cette opération.

Illustration

Dans la boîte à outils (ArcToolbox), choisir l'outil *Spatial Analyst Tools, Conditional*, puis *Con*, puis la commande *Set Null*. Dans la fenêtre doivent être précisés : le nom du raster à traiter, l'expression permettant la conversion (ici « value » = -999) puis la valeur des pixels qui n'ont pas à être transformés et qui sont égaux à leur valeur d'origine (ici les autres pixels du raster traité : on entre alors le nom du raster de départ) et enfin le chemin et le nom du raster final. Le traitement est lancé en cliquant sur OK.



La recomposition de l'image de l'indice d'agrégation calculé sur l'image initiale de la végétation est réalisée par mosaïquage des sous-images de l'indice d'agrégation

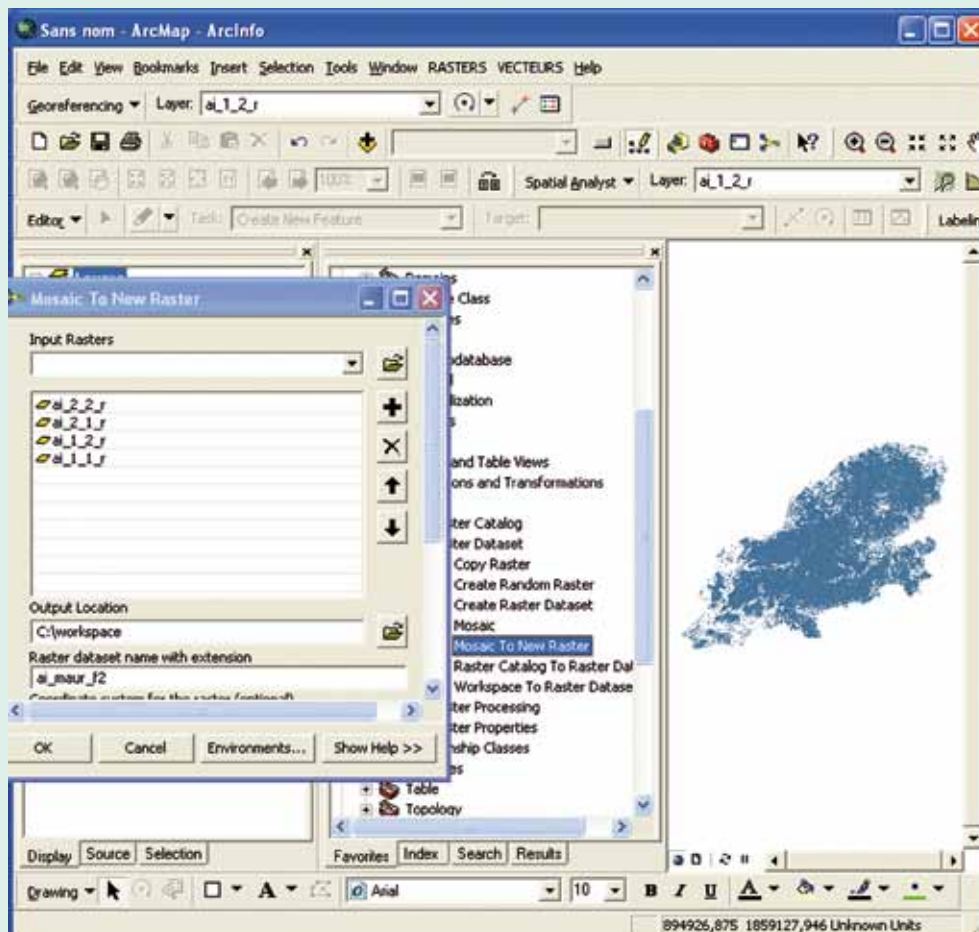
calculées sur chaque sous-image de végétation.

NB : Ne pas oublier de mettre les valeurs des cellules en *Integer* (valeurs entières)

Illustration

Dans la boîte à outils (ArcToolbox), choisir l'outil *Data Management Tools, Raster, Raster Dataset* puis *Mosaic to New Raster*. Une fenêtre s'ouvre permettant d'entrer les noms des images à mosaïquer, d'ajuster le paramétrage si besoin. Le mosaïquage est lancé en cliquant sur OK.

Exemple : Pour l'exemple traité, les 4 noms des sous-images à mosaïquer ainsi que le nom et le chemin du répertoire où l'on veut stocker l'image finale sont spécifiés. Sur les zones de recouvrement la valeur des pixels pourra provenir du raster de dessus (First) ou du raster de dessous (Last)



L'image de l'indice d'agrégation obtenue est constituée de pixels dont les valeurs varient de 0 à 100 %. La méthode de cartographie des interfaces habitat-forêt préconise de simplifier cette image en reclassant les valeurs en 3 classes fixées avec les seuils suivants : valeurs égales à 0 %, valeurs non nulles inférieures ou égales à 95 % et valeurs supérieures à 95 %. Cette manipulation se fait directement par l'outil **WUImap**® Cemagref pour la cartographie des interfaces habitat-forêt. Ce reclassement est possible sous ArcMap® ESRI en sélectionnant la couche puis dans l'onglet **Propriétés Symbology Classify** : choisir 3 classes avec pour limites de classe : 0, 95 et 100.

Références bibliographiques

- Avalapati, J.R.R., Carter, D.R., Newman, D.H. 2005. Wildland-urban interface : Challenges and Opportunities. *Forest policy and Economics*. 7:705-708.
- Caballero, D., Giroud, F., Picard, C., Xanthopoulos, G. 2004. EUFIRELAB/ Euro-Mediterranean Wildland Fire Laboratory, a “wall-less” laboratory for wildland fire Sciences and technologies in the Euro-Mediterranean Region - Deliverable D-10-01- Wildland-Urban Interface Management: A state of the art. <http://www.eufirelab.org/deliverable.php?unit=10>. 28 p.
- Camia, A., Valera, V., Marzano, R., Etchifidis, G. 2003. Spatial analysis in European Wildland-urban interface environment using GIS. In Proceedings (Eds Xanthopoulos, G.) of the international workshop WARM, Forest fires in the wildland-urban interface and rural areas in Europe: an integral planning and management challenge. Athens, Greece. pp.185-196.
- Carroue, L., Claval, P., Di Meo, G., Miossec, A., Renard, J.P., Simon, L., Veyret, Y. 2002. Limites et discontinuité en géographie. Dossiers des images économiques du monde. Édition SEDES, 159 p.
- Cohen, J.D. 2000. Preventing disaster : Home ignitability in the wildland-urban interface. *Journal of Forestry*. 98 (3). 15-21.
- Colin, P.Y., Lampin, C., Delboulbe, E., Coste, N., Marcillat, J., Pereira, J.C., Bingelli, F., Gaulier, A., Bothelho, H., Loureiro, C., Loddo, G., Ditana, E., Guijarro, M., Hernando, C., Diez, C., Martinez, E., Madrigal, J., Vega, J.A., Gorostiaga, P., Alexandrian, D., Dimitrakopoulos, A. 2002. SALTUS program-Spot fires. Knowledge and modelling. Proceedings of the IV International Conference on Forest Fire Research - 18 novembre au 22 novembre 2002, Luso (Portugal).
- Davis, J. B. 1990. The wildland-urban interface: paradise or battleground ?. *Journal of forestry*. 6, 88 (1), 26-31.
- Dumas, E., Jappiot, M., Tatoni, T. 2008. Mediterranean urban-forest interface classification (MUFIC) : A quantitative method combining SPOT5 imagery and landscape ecology indices. *Landscape and Urban Planning*. 84, 183–190.
- Groupe de recherches « interfaces ». 2008. Chapelon, L., Allard, P., Christofle, S., Ensellem, K., Ferrier, J.P., Fusco, G., Gay, J.C., Kaddouri, L., Lampin-Maillet, C., Lavaud-Letilleul, V., Perez, S., Rozenblat, C. L'interface : contribution à l'analyse de l'espace géographique. *L'Espace Géographique*, 2008/03, Tome 37, 193-207.
- Journet, S. 2008. Caractérisation et cartographie du combustible dans les interfaces habitat-forêt. Mémoire de Master 2: Evaluation et Gestion de l'environnement et des paysages de montagne. Encadrement : Lampin-Maillet, C et Rovera, G. Septembre 2008. 119 pages.
- JRC. 2008. Statistics 1980-2008, data source JRC-IES Report n°7/2008.
- Kamp, M., Sampson, N. 2002. Using GIS to identify potential wildland-urban interface areas based on population density. www.sampsongroup.com/Papers/wui_paper.pdf. 9 p.
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Bouillon, C., Morge, D., Ferrier, J.P. 2010. Mapping wildland-urban interfaces at large scales integrating housing density and vegetation aggregation for fire prevention in the South of France. *Journal of Environmental Management*. vol. 91, pp. 732-741.
- Lampin-Maillet, C., Jappiot, M., Long, M., Morge, D., Ferrier, J.P. 2009. Characterization and mapping of dwelling types for forest fire prevention. *Computers, Environment and Urban Systems* 33 (2009), pp. 224-232.

- Lampin-Maillet, C. 2009. Caractérisation de la relation entre organisation spatiale d'un territoire et risque d'incendie : Le cas des interfaces habitat-forêt du sud de la France. Thèse de doctorat de l'université Aix-Marseille, mention Lettres et Sciences humaines (Géographie-Structures et dynamiques spatiales). 325 pages + annexes.
- Lampin-Maillet, C. 2008. 2007, Summer Fires in the European Mediterranean – The Cases of Greece, Italy and Spain. Mediterranean yearbook. European Institute of the Mediterranean. Med. 2008, Economy and Territory- Sustainable Development, 243-247. <http://www.iemed.org/anuari/2008/aarticles/en243.pdf>.
- Lampin-Maillet, C., Long, M., Jappiot, M. 2008. Une méthode pour caractériser et cartographier les interfaces habitat-forêt, un enjeu pour la prévention des incendies de forêt. *Revue Forestière Française*, Mai-juin 2008. n°3 /2008, 363-380.
- Lampin, C., Jappiot, M., Long, M., Borgniet, L. 2006. Cartographie des interfaces habitat-forêt. Une approche spatiale pour estimer le risque d'incendie de forêt, *Revue internationale de Géomatique*. European journal of GIS and Spatial analysis. Information géographique et gestion des risques, vol. 16, n°3-4 : 2006, 320-340.
- Long, M., Lampin, C., Jappiot, M., Morge, D., Bouillon, C. (2007a). Automated feature extraction on Quickbird imagery required to map wildland urban interfaces (WUI) in the French Mediterranean region. 6th EARSeL Workshop on Forest Fires Greece from 27 - 29 September 2007.
- Martin P, Bonora L, Conese C, Lampin C, Martinez J, Molina D, Salas J. 2005. Towards methods for investigating on wildland fire causes. Deliverable D-05-02 EUFIRELAB. 55 p.
- McGee, T. K. 2005. "Completion of recommended WUI fire mitigation measures within urban households in Edmonton, Canada." *Environmental Hazards* 6: 147-157.
- Pascual, C., Garcia-Montero, L.G., Manzanera, J.A., Arroyo-Mendez, L.A., Beltran, I., Caballero, D. (2003). Preliminary description of urban settlement typologies related to forest fire risk (WARM project). In Proceedings (Eds Xanthopoulos, G.) of the international workshop WARM, Forest fires in the wildland-urban interface and rural areas in Europe: an integral planning and management challenge. Athens, Greece. pp. 203-204.
- Radeloff, V.C., Hammer R.B., Stewart, S.I., Fried, J.F., Holcomb, S.S., McKeefry, J.F. 2005. The wildland urban interface in the United States. *Ecological applications*. 15 (3), 799-805.
- Rigolot, E. 2009. Perspectives : incendies et changement climatique. *Forêt-Entreprise*. N° 185 – Mars 2009. pp. 47-48.
- Robbez-Masson, J.M., Foltête, J.Ch., Cabello, L., Flitti, M. 1999. Prise en compte du contexte spatial dans l'instrumentation de la notion de paysage. Application à une segmentation géographique assistée. *Revue internationale de Géomatique*. Vol. 9.2, 173-195.
- Stewart, S.I., Radeloff, V.C., Hammer, R.B., Hawbaker, T.J. 2007. Defining the Wildland-Urban Interface. *Journal of Forestry*, 201- 207.
- Theobald, D.M., Romme, W.H. 2007. Expansion of the US wildland-urban interface. *Landscape and Urban Planning*. 83, 340-354.
- USDA-USDI. 2001. U.S. Department of Agriculture and U.S. Department of Interior. Urban wildland interface communities within vicinity of Federal lands that are at high risk from wildfire. Fed.Reg. 66. pp. 751-777.
- Vélez, R. 1997. Recent history of forest fires in Mediterranean area. In: Balabanis P, Eftichidis G, Fantechi R (eds) Forest fire risk and management. Proceedings of the European School of Climatology and Natural Hazards, Greece, 27 May–4 June 1992. European Commission, Brussels, 15–26.
- Vince, S.W., Duryea, M.L., Macie, E.A., Hermansen, L.A. 2005. Forests at the wildland-urban interface : conservation and management (Boca Raton, CRC Press).

Index des fiches et illustrations

Fiches

Fiche 1	Définition de l'habitat isolé	p. 19
Fiche 2	Définition de l'habitat diffus	p. 20
Fiche 3	Définition de l'habitat groupé dense et très dense	p. 21
Fiche 4	Indice d'agrégation de la végétation	p. 23
Fiche 5	Définition des types de végétation	p. 25
Fiche 6	Typologie des interfaces habitat-forêt	p. 27

Figures

Figure 1	Définition des interfaces habitat-forêt	p. 16
	Carte d'occupation du sol à partir desquelles sont extraites les cartes de végétation :	
Figure 2a	Carte d'occupation du sol au format raster	p. 22
Figure 2b	Carte d'occupation du sol au format vecteur	p. 24
Figure 3	Clé des types d'interfaces habitat-forêt	p. 28
Figure 4	Carte des interfaces habitat-forêt dans le sud de la France	p. 29
Figure 5	Répartition en surface des types d'interfaces habitat-forêt sur la zone d'étude	p. 30
Figure 6	Répartition des types d'occupation du sol au sein des interfaces habitat-forêt	p. 31
Figure 7	Évolution des types d'habitat entre 1992 et 2006	p. 32
Figure 8	Évolution des interfaces habitat-forêt entre 1992 et 2006	p. 33

Beaucoup de grands feux sont liés à l'évolution du territoire méditerranéen observée depuis plus d'un siècle qui tend à augmenter le risque d'incendie de forêt. D'une part, les terres agricoles délaissées sont peu à peu colonisées par la végétation et la forêt de moins en moins exploitée forme des massifs de plus en plus vastes et continus. D'autre part, la forte pression de l'urbanisation conduit à un développement parfois anarchique de constructions résidentielles. L'urbanisation couplée au phénomène d'extension de la végétation forestière génère sur le territoire de nouvelles configurations spatiales appelées interfaces habitat-forêt. Ces interfaces, à la fois source de départ de feu et vulnérables à l'incendie, sont directement concernées par les feux de forêt ; pas moins de 90 % des feux ayant pour origine une cause humaine.

La caractérisation et la cartographie des interfaces habitat-forêt apparaît aujourd'hui indispensable dans l'aménagement du territoire pour optimiser la prévention du risque d'incendie de forêt : dans le développement des actions d'aménagement des zones urbaines notamment dans le cadre des PPRIF (Plans de prévention des risques d'incendie de forêt) mais également des zones naturelles dans le cadre des PIDAF par exemple (Plan intercommunal de débroussaillage et d'aménagement forestier).

Ce guide présente une méthode de cartographie des interfaces habitat-forêt applicable sur de grandes surfaces et à une grande échelle. Cette méthode est fondée sur la combinaison de critères spatiaux caractérisant l'organisation de l'habitat résidentiel d'une part, la structure horizontale de la végétation d'autre part. Parallèlement, un outil informatique *WUImap*[®] Cemagref a été développé pour cartographier automatiquement ces interfaces.

La typologie des interfaces produite permet – aux gestionnaires, collectivités locales, aux spécialistes chargés d'études techniques, etc. auxquels s'adresse ce guide – de localiser et d'inventorier les enjeux primordiaux que sont les habitations résidentielles à protéger en cas d'incendie du fait de la présence de population et de biens. Elle constitue une aide précieuse dans la lutte contre les incendies à travers la connaissance de l'organisation spatiale des habitations et de leur situation. Elle est également un outil pour localiser les populations qui vivent dans les interfaces habitat-forêt et pour lesquelles il est important de donner une information ciblée sur le risque d'incendie pour en améliorer la prévention.