

D'une végétation quasi absente, à une végétation éparse, à une végétation continue

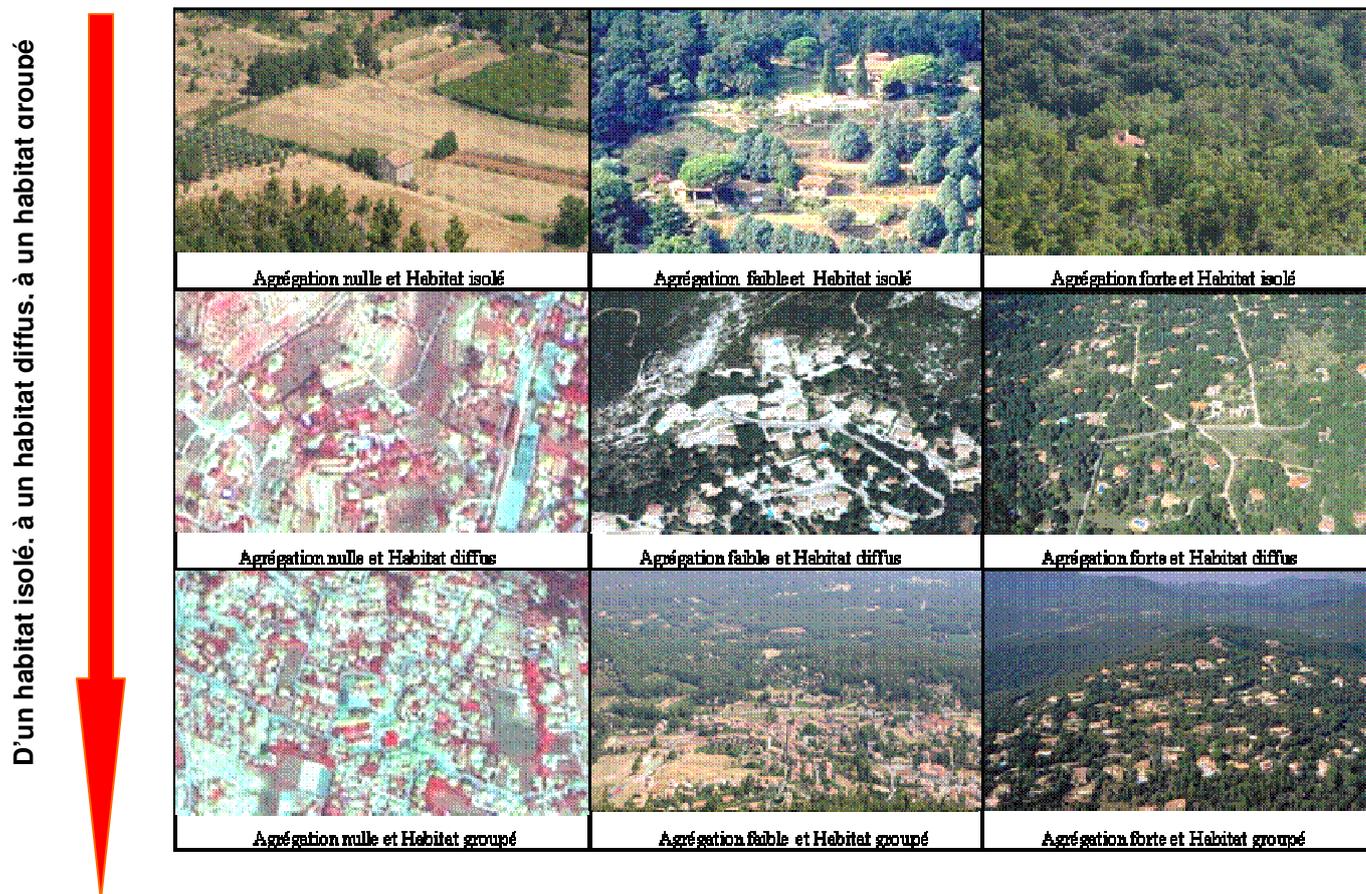


Figure 4 : Neuf types d'interface habitat-forêt

3. Méthodologie

3.1. Matériels et données

Les données requises sont les suivantes :

- Une carte de végétation sous format raster ou format vecteur
- Une couche exhaustive du bâti résidentiel.

Si elles ne sont pas disponibles ou obsolètes, les types de données où extraire ces couches sont:

- des images de télédétection à satellites à très haute résolution spatiale (image satellites, ortho photos) pour élaborer des cartes d'occupation du sol (par classification d'images, photo-interprétation) et en extraire la carte de la végétation, ou pour améliorer et mettre à jour des cartes existantes;
- des bases de données adaptées en lien avec les données du bâti et de la végétation.

Les différents matériels et types de logiciels utilisés pour caractériser et cartographier les

interfaces habitat-forêt sont de différentes natures :

- les systèmes d'information géographique

Dans la méthodologie présentée ci-après, nous avons utilisé le logiciel ArcGIS développé par ESRI (Environmental Systems Research Institute) pour caractériser la structure de l'habitat, pour combiner les différentes couches de données et cartographier les résultats.

- Les logiciels de traitement d'image par télédétection

Si l'on ne dispose pas de carte de végétation à jour, deux options sont proposées pour élaborer une carte de végétation à partir d'images satellites de très haute résolution spatiale. Dans ce contexte les logiciels de traitement d'images par télédétection permettent d'élaborer des classifications d'images satellites, de produire des cartes d'occupation du sol desquelles il est possible d'extraire la végétation.

Dans la méthodologie, nous avons travaillé à partir de classifications automatiques d'images satellites :

- d'une part avec le logiciel ERDAS Imagine® développée par Leica Geosystem qui permet de réaliser des classifications par pixel (classification supervisée utilisant les règles du maximum de vraisemblance). Le résultat permet de fournir une carte de la végétation au format raster.
- d'autre part avec le logiciel Feature Analyst® développé par Visual Learning System adapté pour classifier des images satellites de très haute résolution en combinant les attributs spatiaux et l'information spectrale. Le résultat permet de fournir une carte de la végétation au format vecteur.

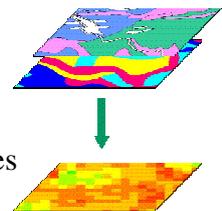
- Le logiciel d'analyse par l'écologie du paysage

Ces logiciels permettent de quantifier le territoire et sa configuration spatiale au sein d'un paysage. Nous avons utilisé le logiciel FRAGSTATS, logiciel gratuit disponible sur le web (McGarigal, K., S. A. Cushman, M. C. Neel, and E. Ene. 2002) pour calculer un indice d'agrégation sur la végétation.

3.2. Méthode

La caractérisation des interfaces habitat-forêt est réalisée en trois étapes:

- ☞ Production des cartes de végétation et de bâtis
- ☞ Analyse spatiale : Calcul des critères traduisant la structure de la végétation et celle du bâti
- ☞ Combinaison des critères précédents pour caractériser et cartographier les types d'interface habitat-forêt



3.2.1. Production des cartes de végétation et de bâtis

Selon la disponibilité des données, les cartes de végétation et de bâtis peuvent être extraites d'une carte d'occupation du sol déjà existante, cartographiant précisément les bâtis et la végétation, sinon elles peuvent être élaborées par traitement d'images satellites de très haute résolution spatiale ou par exploitation et mise à jour éventuelle de base de données existantes.

3.2.1.1. Traitement d'images de très haute résolution par classification

Deux options de traitement sont proposées:

- Une approche (1) classique de classification par pixel (supervisée ou non supervisée) utilisant en général la règle de vraisemblance maximum (cf. Figure 5);

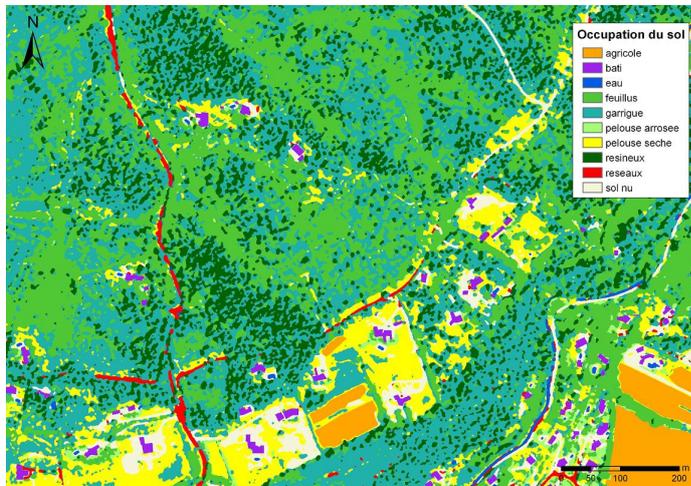


Figure 5: Classification par pixel avec le logiciel Erdas Imagine® et bâtis issus de la BD Topo® actualisée (Journet 2007)

- Une approche (2) par classification orientée objet combinant les attributs spatiaux (taille, forme, texture, ensemble, association spatiale) avec l'information spectrale (cf. Figure 6);

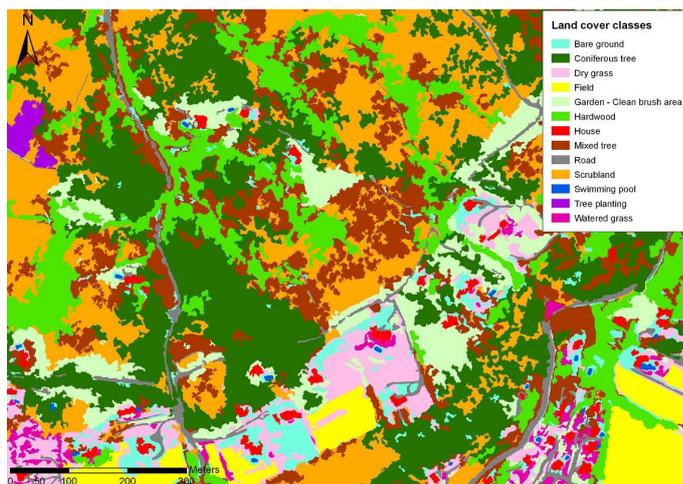


Figure 6: Classification orientée objet avec le logiciel Feature Analyst® (Long *et al*, 2007)

A partir de ces cartes d'occupation du sol ainsi produites, il est possible d'extraire avec fiabilité la végétation dans les deux approches, et les bâtis dans l'approche (2) uniquement.

3.2.1.2. Exploitation et mise à jour de bases de données existantes

Dans le cas où la classification d'images ne permettrait pas d'extraire avec fiabilité le bâti (cas de l'approche (1) ci-dessus), des bases de données complémentaires seraient nécessaires. Une carte des bâtis concernés par la caractérisation des interfaces habitat-forêt, à savoir les bâtis résidentiels, est élaborée par extraction de la couche des « bâtiments quelconques » correspondant aux habitations de la base de données de la BD TOPO® de l'IGN. Selon la date de réalisation de cette base, il est nécessaire de l'actualiser par digitalisation manuelle des bâtis manquant. Cette mise à jour du bâti est réalisée en superposant et en confrontant visuellement les données de bâtis de la base avec les bâtis observés sur d'autres supports image récentes, ou enquêtes de terrain. Cette actualisation peut être ensuite contrôlée en

utilisant une autre source image comme des orthophotos de la BD ORTHO® de l'IGN. Dans la carte des bâtis ainsi élaborée (Figure 7), les bâtis situés dans la zone soumise aux obligations de débroussaillage sont sélectionnés pour constituer les bâtis en interface.

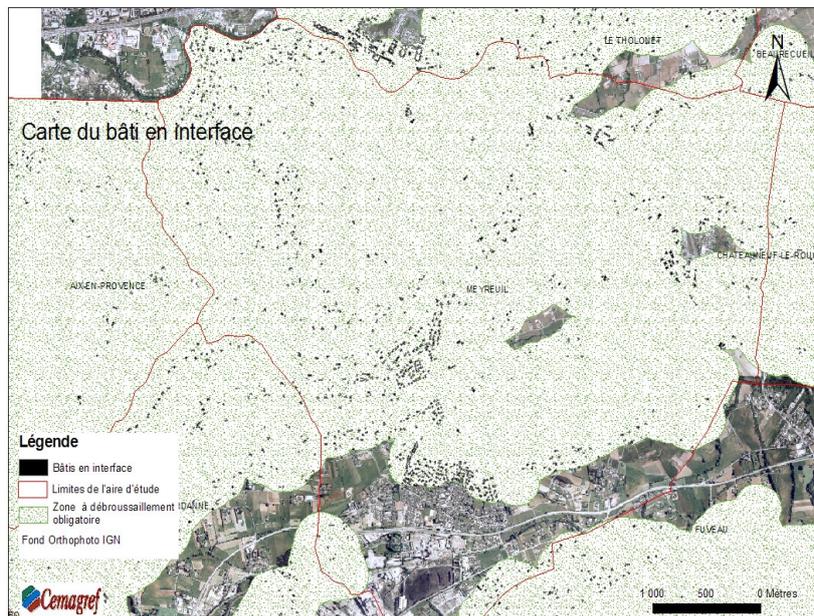


Figure 7: Carte du bâti en interface

3.2.2. Analyse spatiale

3.2.2.1. Critère traduisant la structure de la végétation

Que ce soit par photo-interprétation ou par classification (par pixel, orientée objet), 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 sa structure horizontale.

Cette structure horizontale de la végétation peut être évaluée de deux manières différentes selon la disponibilité des données de végétation. Si la carte de végétation est une image au format raster issue d'une classification par pixel, la structure de la végétation est identifiée à partir de calcul d'un indice de l'écologie du paysage, l'indice d'agrégation. Si elle est une image au format vecteur issue d'une base de données existante, d'une photo-interprétation, d'une classification orientée objet, la structure de la végétation est identifiée qualitativement.

☞ L'indice d'agrégation calculé sur la végétation (carte de végétation au format raster issue de classification supervisée)

Cet indice de configuration spatiale ou d'agrégation spatiale, appelé AI (Aggregation Index), fait référence à l'arrangement spatial et au regroupement des objets sur l'image. Il renseigne sur la fréquence des connexions entre pixels d'une même classe de paysage (Robbez-Masson et al, 1999), se prêtant ainsi à une quantification de l'organisation du paysage. L'indice d'agrégation est calculé à partir d'une matrice d'adjacence (de contiguïté) montrant la fréquence des pixels qui apparaissent côte à côte. L'AI est défini par la formule suivante :

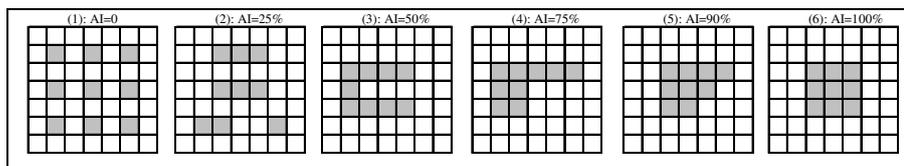
$$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max g_{ii}} \right] (100) \quad \left\{ \begin{array}{l} g_{ii} = \text{nombre de contacts entre les pixels d'une classe } i \end{array} \right.$$

avec

$\max - g_{ii}$ = nombre maximal de contacts entre les pixels d'une classe i

La figure 8 illustre l'évolution de l'indice d'agrégation selon l'agencement de 9 pixels. Le schéma (6) correspond à l'agrégation maximale, c'est-à-dire au nombre de contacts maximal entre les pixels. Dans ce cas on compte 40 contacts verticalement, horizontalement et diagonalement. A l'opposé, le schéma (1) correspond à une agrégation nulle, aucun contact n'existe entre les pixels qui sont isolés les uns des autres. Le schéma (4), correspondant à une agrégation de 75%, est le rapport du nombre de contacts entre les pixels, ici 30, et du nombre de contacts maximal possible entre les 9 pixels, c'est-à-dire 40.

Le calcul est réalisé avec une fenêtre glissante d'un radius de 10 mètres correspondant à une surface significative de 100 m².



Lampin *et al*, 2006

Figure 8 : Evolution de l'indice d'agrégation en fonction de l'agencement de 9 pixels

Le calcul de l'indice produit une carte au format raster avec des valeurs variant de 0 à 100%. (cf. détail du calcul en Annexe 6). Pour simplifier les résultats, 3 classes de valeurs d'agrégation sont identifiées comme illustré ci-dessous :

- Agrégation = 0 correspond à une occupation du sol généralement différente de la végétation ; il n'y a aucun contact entre chaque unité de végétation de surface équivalente à celle du pixel de l'image.
- $0 < \text{Agrégation} < 90 \%$ correspond à une végétation discontinue, éparse ou des limites de maquis garrigues ;
- $\text{Agrégation} \geq 90 \%$ met en évidence une végétation continue et dense.

Le seuil retenu peut varier légèrement selon le contexte de la végétation et la résolution de l'image, oscillant entre 90 et 97%. Généralement il correspond au pic significatif qui apparaît dans la répartition des valeurs de l'indice d'agrégation calculé sur l'ensemble de l'image étudiée.

La carte de l'agrégation de la végétation (Figure 9b) met ainsi en évidence des espaces de végétation continue et dense, de végétation discontinue et éparse, et de végétation quasi absente telle que l'illustre la figure 10.

Carte de la végétation

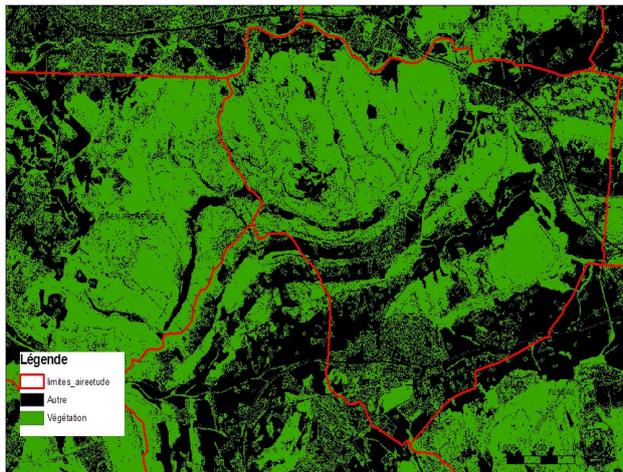


Figure 9a: Classes de végétation regroupées en une classe

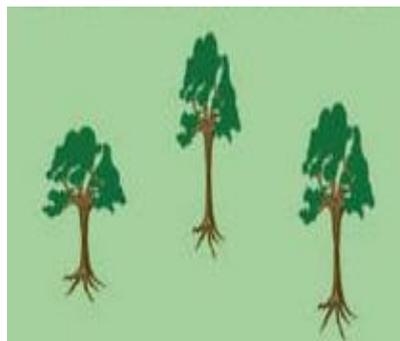


Figure 9b: Calcul de l'indice d'agrégation sur cette classe de végétation



AI = 0

Absence de végétation



$0 \leq AI < 90\%$

Végétation éparse



AI $\geq 90\%$

Végétation dense

Figure 10: Illustration des types de structure de la végétation mis en évidence selon les valeurs de l'indice d'agrégation AI

☞ **Identification qualitative de la structure de la végétation (carte de végétation au format vecteur issue de la photo-interprétation ou de classification orientée objet)**

La carte d'occupation du sol (Figure 11) obtenue par classification orientée objet met en évidence différentes classes de végétation. L'identification qualitative de la structure horizontale de la végétation se fait alors en regroupant les classes de végétation identifiées selon le critère de continuité horizontale.

Ainsi, dans la classification orientée objet réalisée avec Feature Analyst, les classes de végétation sont regroupées (Figure 12) comme suit :

- Structure horizontale de la végétation continue

Ce regroupement correspond aux classes de végétation dont la couverture arborée est dense : la surface au sol est totalement couverte de végétation (forêts de résineux, feuillus, mixtes non débroussaillées, garrigues, maquis, etc.).

- Structure horizontale de la végétation discontinue

Ce regroupement correspond aux classes de végétation éparse : la surface au sol n'est pas totalement couverte de végétation, il s'agit souvent de zones entretenues (débroussaillées, végétation d'agrément, plantations, haies, etc.).

- Le reste des classes d'occupation du sol constitue des surfaces non végétalisées (sol nu, surfaces bâties, surfaces agricoles, etc.) mais pas nécessairement non combustibles (surfaces agricoles notamment).

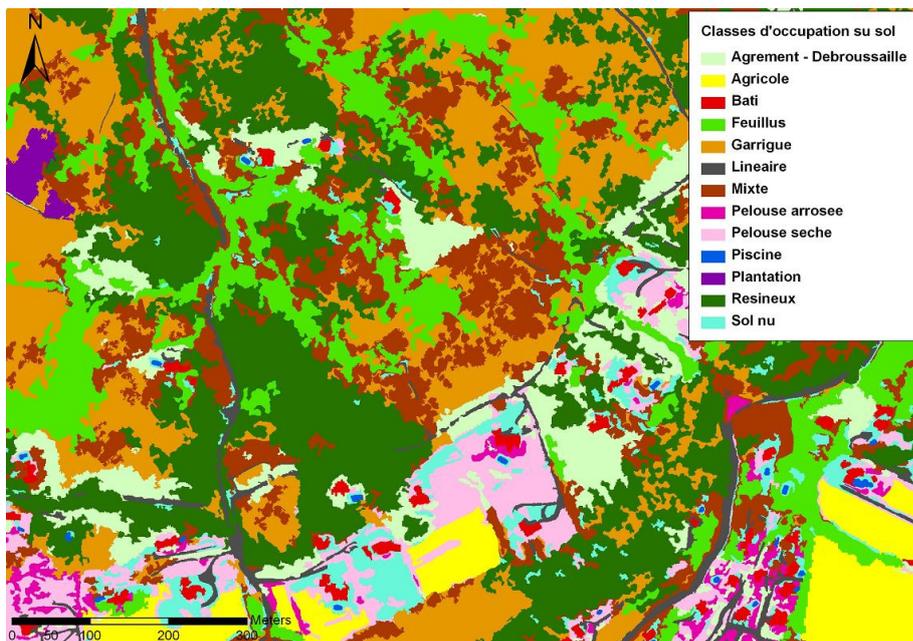
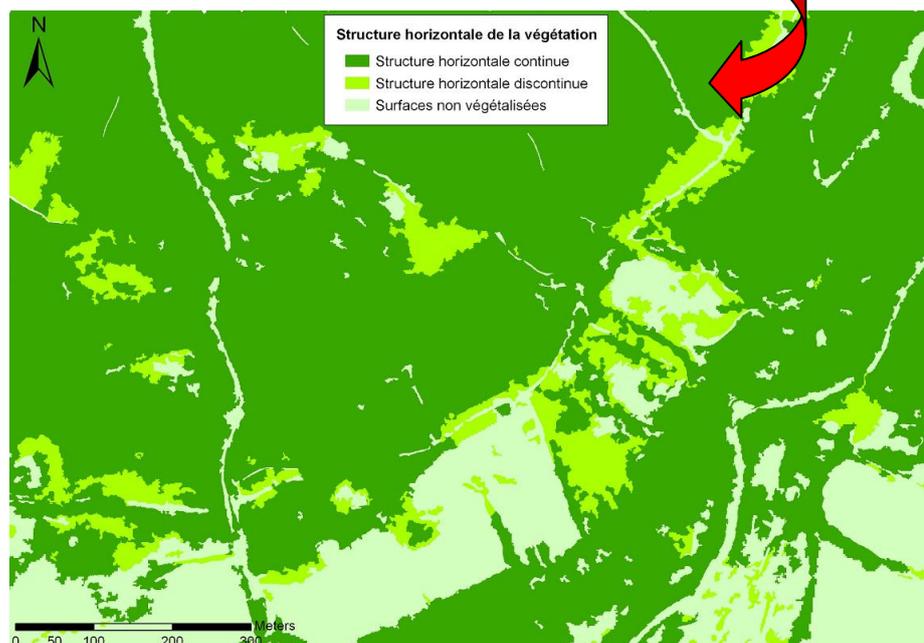


Figure 11 : Classification d'image orientée objet réalisée avec le logiciel Feature Analyst® (Long *et al.*, 2007)

Figure 12: Regroupement des classes caractérisant la structure horizontale de la végétation.



3.2.2.2. Critère traduisant la structure de l'habitat

Si les expressions « habitat isolé, diffus ou groupé » sont très répandues chez les cartographes, urbanistes et autres aménageurs, il n'en existe pas vraiment de véritable définition. L'INSEE (Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques) 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. 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 trois types habitat, 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 risque d'incendie, comme le périmètre moyen à protéger par bâti en cas d'incendie et la surface moyenne à débroussailler par bâti (Lampin, 2007).

☞ Critères spatiaux pour caractériser l'habitat

La couche de base des bâtis est une couche au format vecteur, chaque bâti correspondant à un polygone. Des zones tampon (fonction buffer) de 50 m sont réalisées autour des bâtis situés en interface. Des buffers de tailles et de formes différentes, contenant un nombre variable de bâtis, sont ainsi formés. Ils sont alors classés principalement selon ce nombre de bâtis (cf. détail du calcul en Annexe 6.2). Ainsi sont définis :

- L'habitat isolé (en jaune sur la figure 13)

Ensembles de 1 à 2 bâtis, éloignés de plus de 100 m de tout autre ensemble de bâtis, et,

ensembles de 3 bâtis, distants de plus de 100 m de tout autre ensemble de bâtis et pour lequel la somme des distances entre bâtis, prises deux à deux, est supérieure à 100 m ($d_1+d_2>100m$ par exemple). En cas de lutte contre l'incendie, cet agencement spatial des bâtis les assimile à des bâtis isolés.

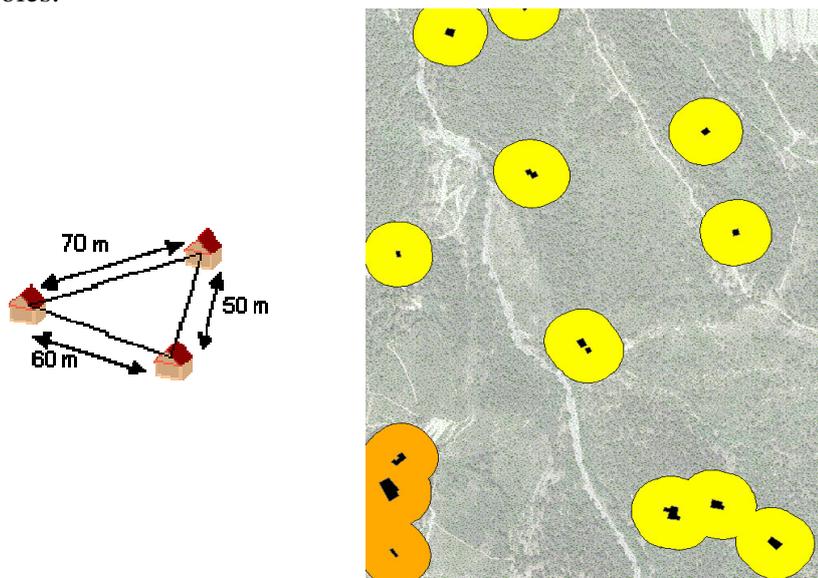


Figure 13 : Habitat isolé

- L'habitat diffus (en orange sur la figure 14)

Ensembles de 4 à 50 bâtis, distants de plus de 100 m de tout autre ensemble de bâtis
et,

ensembles de 3 bâtis, distants de plus de 100 m de tout autre ensemble de bâtis et pour lequel
la somme des distances entre bâtis, prises deux à deux, est inférieure à 100 m.

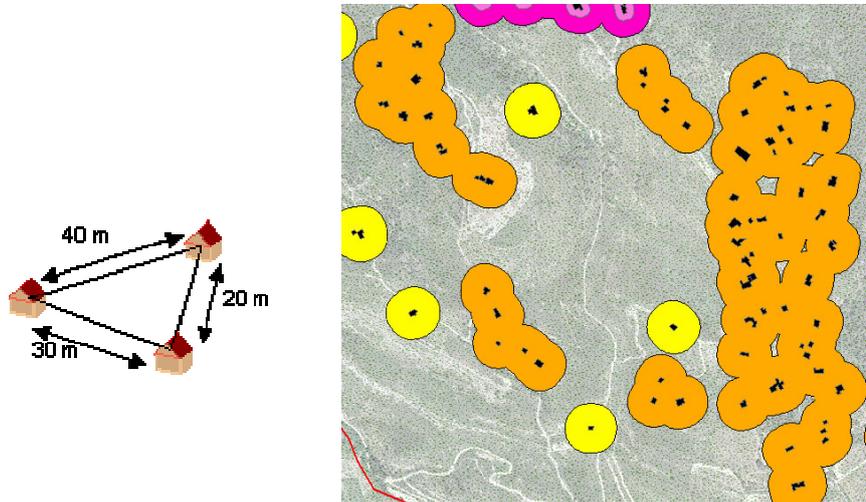


Figure 14 : Habitat diffus

- **L'habitat groupé** (en rose clair et rose foncé sur la figure 15)

Ensembles de plus de 50 bâtis distants de plus de 100 m de tout autre ensemble de bâtis.

Avec deux sous-ensembles de bâtis:

- Habitat groupé dense (rose clair) constitué de groupes de 1 à 10 bâtis distants de plus de 30 m de tout autre ensemble de bâtis,
- Habitat groupé très dense (rose foncé) constitué de groupes de plus de 10 bâtis, distants entre eux de moins de 30 m.



Figure 15 : Habitat groupé

Chaque type d'habitat ainsi défini peut être caractérisé par des indicateurs traduisant

l'organisation spatiale des bâtis dans le contexte incendie de forêt :

- ☞ La *densité du bâti* calculée comme le nombre de bâtis rapporté à la surface contenant ces bâtis,
- ☞ Le *périmètre moyen à défendre par bâti* correspond au périmètre du polygone rapporté au nombre de bâtis concernés.
- ☞ La *surface moyenne à débroussailler par bâti* correspond à la surface rapportée au nombre de bâtis concernés.

Les caractéristiques calculées dans un environnement de 100 m autour des bâtis (correspondant à la surface délimitant l'interface habitat-forêt) ont les valeurs suivantes (tableau 1):

Nature d'habitat	Surface moyenne à débroussailler par bâti (m ²)	Périmètre moyen à protéger par bâti (m)	Densité (nombre de bâtis par ha)
Habitat isolé	10 000	330	Moins de 1 bâti
Habitat diffus	6 400	150	De 1 à 2 bâtis
Habitat groupé	3 400	45	Plus de 2 bâtis

Tableau 1 : Caractéristique des types d'interfaces habitat-forêt

Pour l'habitat groupé très dense, correspondant aux zones les plus urbaines situées en interface, la surface moyenne à débroussailler par bâti (m²), périmètre moyen à protéger par bâti (m) et la densité de bâti, sont respectivement de 2 100 m², 35 m et plus de 3 bâtis par ha.

On obtient ainsi une carte des types habitat dans les interfaces habitat-forêt (Figure 16).

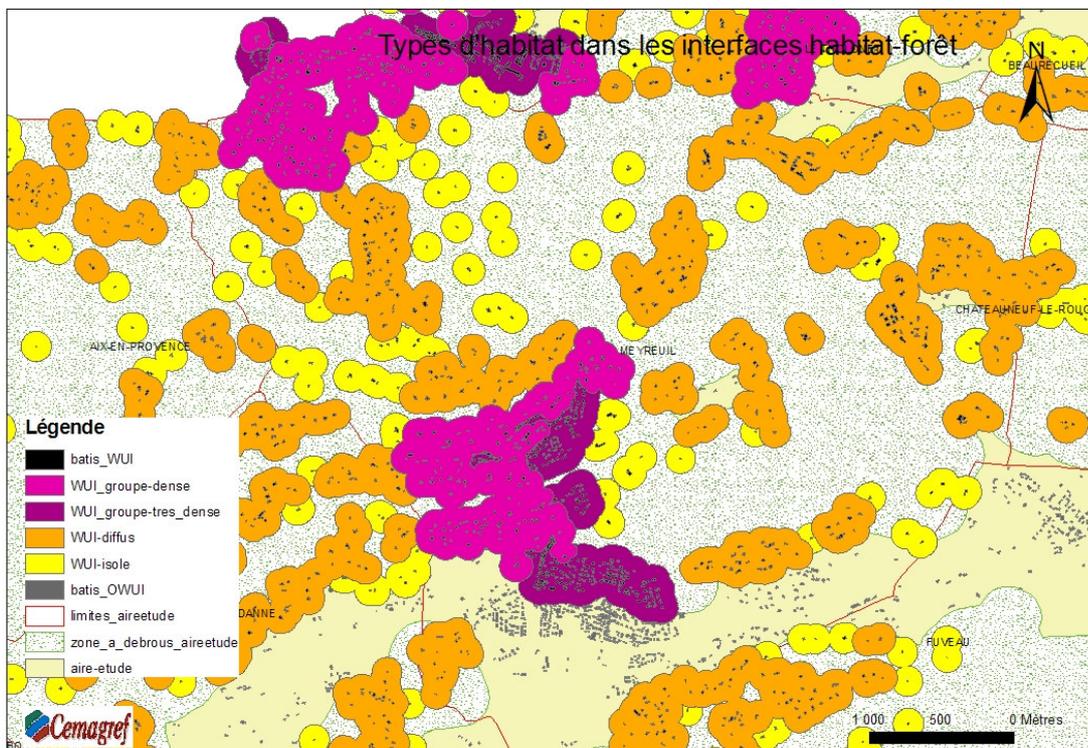


Figure 16 : Carte des types d'habitat en interface habitat-forêt

3.2.3. Combinaison des critères précédents pour caractériser et cartographier les types d'interface habitat-forêt

La caractérisation des interfaces habitat-forêt est alors réalisée en combinant les critères relatifs d'une part, à la structure de la végétation (indice d'agrégation ou couverture de canopée de végétation) et, d'autre part, à la structure de l'habitat (cf. détail du calcul en Annexe 6.3).

La combinaison des trois types de structure de végétation et des trois types d'habitat conduit à 9 types principaux d'interfaces (on peut considérer jusqu'à 12 types si l'on tient compte du détail de l'habitat groupé en habitat groupé dense et très dense - Figures 18 & 19):

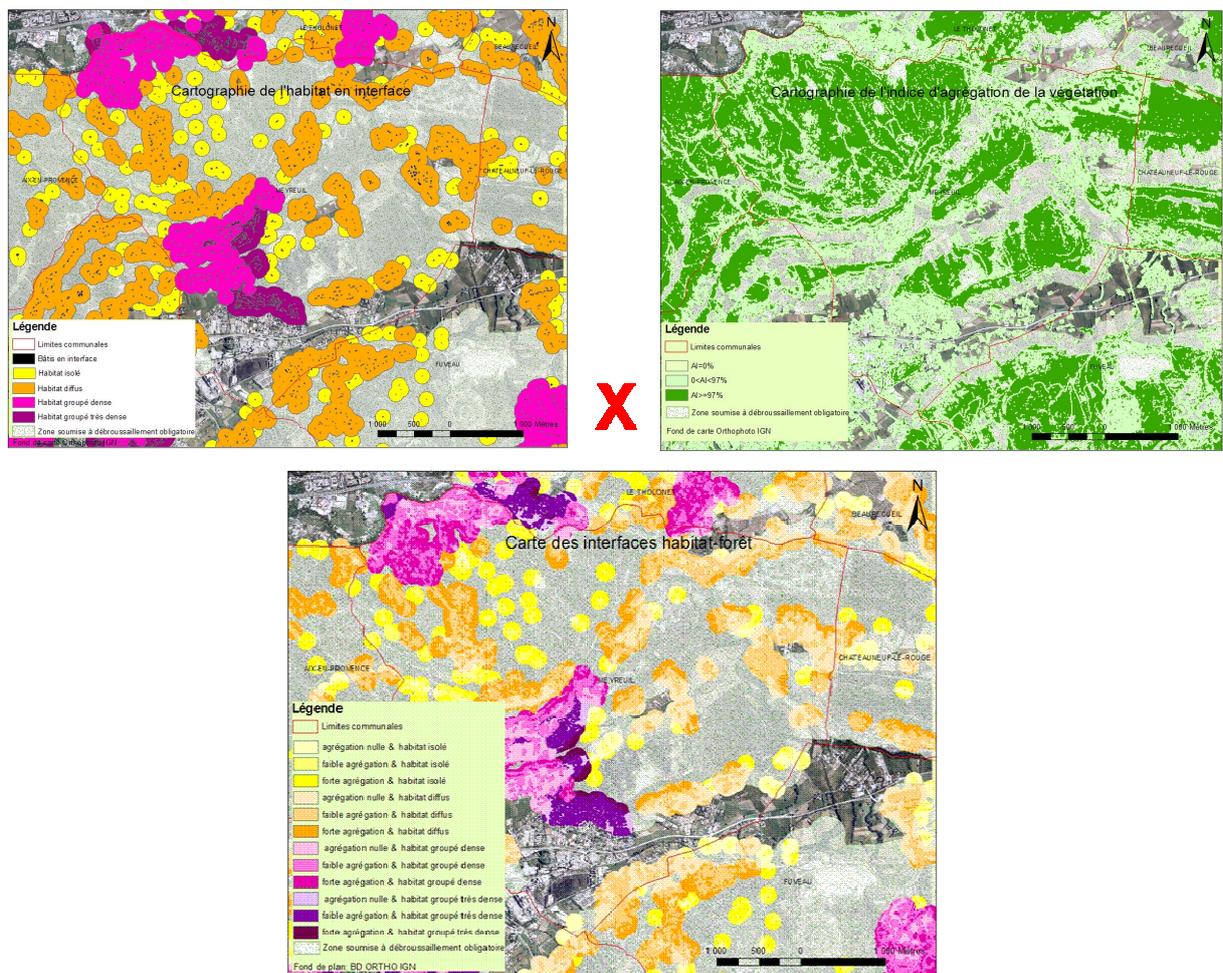
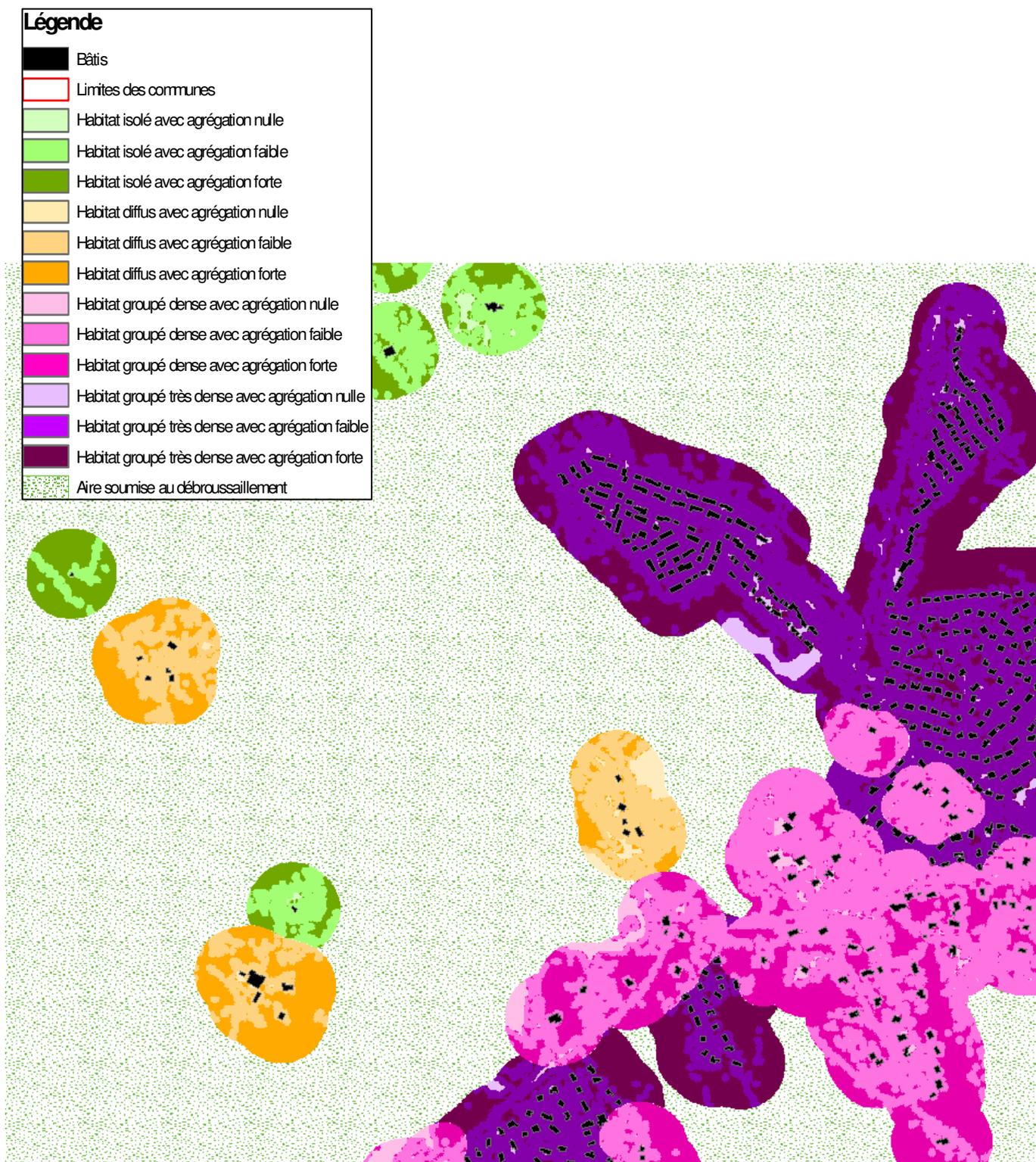


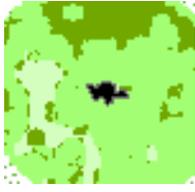
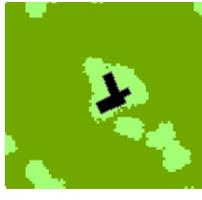
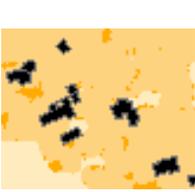
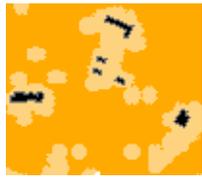
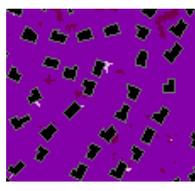
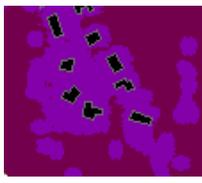
Figure 18: Cartographie des types d'interfaces habitat-forêt

Figure 19: Zoom sur la cartographie des types d'interfaces habitat-forêt



La caractérisation des interfaces peut être illustrée par la figure 20.

Figure 20 :
Illustration des
types d'interface
habitat-forêt

		Structure de la végétation		
		Occupation du sol différente de la végétation	Végétation discontinue, éparse	Végétation continue, dense
Types d'habitat	Habitat isolé  $D \leq 1$ bâti/ha	  Type 1	  Type 2	  Type 3
	Habitat diffus  $1 < D \leq 2$ bâtis/ha	  Type 4	  Type 5	  Type 6
	Habitat groupé (dense et très dense)  $D > 2$ bâtis/ha	  Type 7	  Type 8	  Type 9

