



Direction Régionale
de l'Alimentation,
de l'Agriculture
et de la Forêt
du Languedoc-Roussillon



ANALYSE DU POTENTIEL AGRONOMIQUE DES TERRES AFFECTÉES PAR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON

PHASE 2 – 2009 / 2010

APPLICATION DES MÉTHODOLOGIES DE QUANTIFICATION DES TERRES ARTIFICIALISÉES ET DE
CARACTÉRISATION DES DYNAMIQUES DE CONSOMMATION DES TERRES SUR LES
DEPARTEMENTS LITTORAUX DU LANGUEDOC ROUSSILLON



RAPPORT D'ÉTUDE

MAUD BALESTRAT, ERIC BARBE, STÉPHANE DUPUY

Février 2011



Ce document constitue le rapport de la deuxième phase de l'étude concernant l'analyse du potentiel agronomique des terres affectées par l'aménagement du territoire, commandée par le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire (DRAAF Languedoc-Roussillon) en 2007.

La première phase menée par le Cemagref (UMR TETIS, Montpellier) a fait l'objet d'un rapport¹ méthodologique en octobre 2008. Elle a conduit à proposer :

- (i) une méthodologie de quantification des terres artificialisées, en collaboration avec le CIRAD (UMR TETIS, Montpellier),
- (ii) un indice spatialisé de potentiel agronomique des sols INRA (UMR LISAH, Montpellier),
- (iii) des indicateurs d'analyse des dynamiques en lien avec l'artificialisation des sols.

La deuxième phase, objet de ce rapport, a été conduite de 2009 à 2010 par le Cemagref et le Cirad (UMR TETIS, Montpellier). Elle visait à :

- (i) appliquer la méthodologie de quantification des terres artificialisées sur les quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon,
- (ii) développer les indicateurs d'analyse des dynamiques en lien avec l'artificialisation des sols.

Ce rapport est accompagné :

- d'un document regroupant toutes les annexes,
- d'un diaporama de présentation,
- de couches de données SIG représentant les taches artificialisées 1997 et 2009 sur la région Languedoc Roussillon,
- d'une couche de données SIG de classification d'occupation du sol s'intéressant prioritairement à l'extraction d'information concernant l'artificialisation,
- de couches de données SIG représentant les indicateurs spatiaux calculés à différentes mailles d'analyse (communes, cantons, départements), sur la région Languedoc Roussillon,
- d'une couche de données SIG spécifique au département de la Lozère représentant de façon synthétique l'évolution de l'artificialisation entre 2000 et 2009.

Mots clés

Méthode de quantification – tache artificialisée – indicateurs spatiaux – télédétection – RapidEye – IRS – classification orientée objet – système d'information géographique - potentiel agronomique des sols.

Propriété de l'étude

Le Ministère de l'Agriculture, de l'Alimentation, de la Pêche, de la Ruralité et de l'Aménagement du Territoire, le Cemagref et le CIRAD sont propriétaires des résultats de cette étude.

Auteurs

Maud Balestrat (Cemagref, UMR TETIS) – maud.balestrat@teledetection.fr

Eric Barbe (Cemagref, UMR TETIS) – eric.barbe@teledetection.fr

Stéphane Dupuy (Cirad, UMR TETIS) – stephane.dupuy@teledetection.fr

¹ Balestrat M., Barbe E., Dupuy S., Lagacherie P., Meynard T., 2008. Analyse du potentiel des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire. Étude méthodologique sur une zone pilote (département de l'Hérault - 34). Rapport d'étude, Cemagref, INRA, DRAAF LR. 56 p

Sommaire

1. Contexte et enjeux	4
1.1. Enjeu	4
1.2. Vers une stratégie de préservation des terres agricoles	4
1.3. La commande	4
1.4. Objet du rapport	5
2. Méthode – démarche	6
2.1. Rappel de la méthode générale de quantification des espaces artificialisés	6
2.1.1. Extraction d'informations d'occupation du sol à partir d'images satellitaires - classification	7
2.1.2. Traitement spécifique des routes.....	8
2.1.3. Méthode de détermination de la tache artificialisée	8
2.1.4. Méthode de suivi de l'évolution de l'artificialisation	10
2.2. Adaptation de la méthode de classification pour une application à petite échelle	11
2.2.1. Choix de données	11
2.2.2. Traitement spécifique de la Lozère.....	12
2.2.3. Adaptation de la nomenclature	12
2.2.4. Extraction des espaces artificialisés en 2009	13
2.2.5. Extraction des espaces artificialisés en 1997	15
2.2.6. Validation	15
2.2.7. Temps de traitement	17
2.3. Produits de la méthode de quantification des terres artificialisées	17
2.3.1. Une méthode de détermination des espaces artificialisés	17
2.3.2. Une cartographie des zones artificialisées du Languedoc-Roussillon en 2009	17
2.3.3. Les taches artificialisées 1997 et 2009	18
3. Indicateurs – Analyse de la dynamique de consommation des terres à potentiel agronomique et de ses déterminants	21
3.1. Définitions et objectifs	21
3.1.1. Des indicateurs pour quoi faire ?	21
3.1.2. Produire un système d'indicateurs.....	21
3.2. Description de la démarche	22
3.2.1. Analyse des usages et besoins pour garantir la qualité des indicateurs	22
3.2.2. Elaboration d'un modèle conceptuel systémique	23
3.2.3. Passage d'un modèle explicatif à un système d'indicateurs d'aide à la décision.....	24
3.3. Indicateurs retenus (délivrés aux acteurs)	25
3.3.1. Informations techniques.....	25
3.3.2. Synthèse des indicateurs spatiaux proposés	26
3.4. Principaux résultats à l'échelle régionale et départementale	30
3.4.1. Distribution des types de sols en fonction de leur potentiel agronomique	30
3.4.2. Progression de l'artificialisation.....	34
3.4.3. Artificialisation des sols par classe de potentiel agronomique des sols	37
3.4.4. Dynamiques démographiques et artificialisation	42
3.5. Développement d'un outil de consultation en ligne	44
4. Synthèse et perspectives	45
Table des illustrations	48
Bibliographie	50

1. Contexte et enjeux

1.1. Enjeux

Le développement péri-urbain, le développement de l'habitat en zones rurales et le développement des infrastructures de transport et touristiques se font le plus souvent par prélèvement de terres agricoles. Les dynamiques locales (croissance de la population, enjeux économiques, implantation d'infrastructures et d'immobilier aux dépens de quelques hectares de terres agricoles) et l'intérêt des propriétaires fonciers (souvent directement intéressés par cette vente) amènent systématiquement à entériner le prélèvement de terres agricoles.

Cette dynamique de consommation de terres agricoles au profit de l'urbanisation (au sens large), jugée marginale à l'échelle locale, devient préoccupante à l'échelle régionale et à fortiori nationale quand elle est multipliée par le nombre de communes et accumulée au cours du temps. On peut en effet craindre que cette disparition de terres agricoles soit irréversible : il serait très difficile et coûteux (sinon impossible ou économiquement irréaliste) de les remobiliser pour une production agricole. C'est donc un patrimoine qui est consommé pour un intérêt économique immédiat sans réflexion sur son utilité collective à moyen et long terme. Compte tenu de l'évolution du contexte international de l'alimentation et du commerce des produits agricoles et denrées alimentaires, quel patrimoine de terres agricoles sera nécessaire à assurer une stratégie nationale ? Cette étude a été engagée en vue d'apporter des éléments de réponse à cette problématique.

1.2. Vers une stratégie de préservation des terres agricoles

Si les stratégies de préservation des espaces naturels ou des milieux aquatiques sont reconnues, il reste à mettre en œuvre une telle stratégie de préservation appliquée aux terres agricoles.

Après le projet de Directive européenne sur les Sols qui peut être considéré comme une première étape dans cette direction, la loi de modernisation agricole française constitue une importante évolution dans la prise en compte de ce patrimoine stratégique et sa préservation. L'exposé des motifs du projet de loi précisait « que le rythme annuel de consommation des terres agricoles s'accélère. Il a plus que doublé depuis les années soixante, passant de 35 000 hectares de terres agricoles consommés chaque année, à 75 000. Il devient urgent de mettre en œuvre une véritable politique de préservation du foncier agricole en France, en se fixant comme objectif de réduire de moitié le rythme de consommation des terres agricoles d'ici 2020 ».

De fait la loi n°2010-874 de modernisation de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010 comporte comme objectif prioritaire la réduction de la consommation des terres et instaure plusieurs instruments dont un « observatoire de la consommation des espaces agricoles » qui « élabore des outils pertinents pour mesurer le changement de destination des espaces agricoles et homologue des indicateurs d'évolution » (article L112-1 modifié du code rural). Cet observatoire est complété à l'échelle départementale par une « commission départementale de la consommation des espaces agricoles » qui doit être consultée pour certaines procédures et autorisations d'urbanisme en lien avec l'objectif de réduction de la consommation des espaces agricoles.

1.3. La commande

Consciente depuis plusieurs années de ces enjeux de préservation d'un patrimoine stratégique, la DRAAF Languedoc-Roussillon a sollicité le Cemagref dès 2007 pour élaborer une méthode de suivi et quantification de la dynamique de consommation de terres par le développement de l'habitat en zones péri-urbaines et zones rurales afin de :

- disposer de données chiffrées objectives sur le rythme de consommation de terres par l'artificialisation, à la fois en surface et en caractéristiques,
- comprendre les relations entre les dynamiques démographiques, économiques et sociales (aménagement du territoire) et la consommation de terres, et la façon dont ces dynamiques sont gérées dans les dispositifs réglementaires.

Deux approches complémentaires

Pour apporter des éléments de réponse en termes de superficies et de qualité des terres consommées l'étude a été conduite selon deux approches distinctes et complémentaires :

- une approche quantitative visant à développer une méthode de quantification et de suivi des superficies de terres consommées par le développement de l'habitat en zones péri-urbaines et zones rurales,
- une approche qualitative visant à produire une méthode de qualification des sols selon leur potentiel agronomique et leur aptitude à accueillir de grandes cultures s'appuyant sur les données de sols existantes et en utilisant une typologie pertinente à l'échelle nationale.

Ces travaux n'ont pas été focalisés sur l'analyse de l'évolution des espaces à usage agricole, mais se sont plus généralement intéressés à l'analyse de l'artificialisation des terres, étant entendu que le potentiel agricole d'une terre ne dépend pas de son usage actuel, mais de ses qualités agronomiques et de sa disponibilité.

Une contrainte forte

Tenant compte que les enjeux de préservation d'un patrimoine de terres agricoles s'expriment à l'échelle nationale, la DRAAF Languedoc-Roussillon a imposé comme contrainte que les méthodes proposées soient reproductibles dans l'espace (c'est à dire sur tout le territoire métropolitain) et dans le temps (à plusieurs dates) afin de permettre un suivi homogène de l'artificialisation des terres et de sa caractérisation. Les méthodes et données utilisées doivent donc être suffisamment « génériques » pour être disponibles et applicables sur tout le territoire et « performantes » pour envisager avec réalisme leur mise en œuvre à cette échelle.

Produits

Ce travail a été réalisé par le Cemagref (UMR TETIS) pour l'aspect « quantification » en partenariat avec l'INRA (UMR LISAH) pour l'aspect « qualification ». Il a fait l'objet d'un rapport méthodologique 2008 rendant compte des méthodes et produits analysés puis de la méthode de quantification proposée et testée sur une zone pilote dans l'Hérault (une centaine de communes couvrant des territoires urbains et ruraux et qui s'étendent du littoral aux contreforts des Cévennes). Le rapport 2008 rend compte également en termes de qualification, de la méthode d'élaboration d'un indice spatialisé de potentiel agronomique des sols issu de la BD sol.

Enfin un travail d'interprétation et de croisement de ces méthodes a permis d'élaborer une synthèse sous forme d'indicateurs spatiaux permettant de répondre et d'illustrer les phénomènes de consommation de terres dans le temps.

1.4. Objet du rapport

Fort de ces résultats, la DRAAF Languedoc Roussillon a souhaité poursuivre les travaux en 2009 / 2010 et confier au Cemagref (UMR TETIS) la mise en œuvre de la méthode de quantification proposée, sur les départements littoraux de la région (Pyrénées Orientales, Aude, Hérault et Gard) où la pression foncière est exacerbée afin de valider la pertinence de la méthode et produire un « historique » de l'évolution de l'artificialisation de ces territoires.

Le présent rapport rend compte de la méthode mise en œuvre sur ces 4 départements littoraux, des résultats obtenus et des indicateurs spatiaux produits permettant d'étudier la dynamique de consommation d'espace par l'artificialisation et ses déterminants.

Le travail réalisé et présenté dans ce rapport, initialement exploratoire en 2007 et fondé sur un besoin perçu par la DRAAF Languedoc-Roussillon, revêt une nouvelle dimension aujourd'hui et constitue potentiellement un élément de réponse à la mise en œuvre de l'observatoire de la consommation des espaces agricoles.

2. Méthode – démarche

2.1. Rappel de la méthode générale de quantification des espaces artificialisés

L'étude méthodologique réalisée en 2008 a permis, compte tenu des contraintes de reproductibilité et de disponibilité des données nécessaires, d'élaborer une méthode générique consistant à :

- (i) extraire des informations d'occupation du sol à partir d'images satellitaires selon une nomenclature adaptée, puis les agréger en 2 classes (artificialisé / non artificialisé),
- (ii) appliquer un processus de dilatation / érosion à ces objets afin d'obtenir une « tache artificialisée » représentative de l'emprise au sol de l'artificialisation.

Suivi dans le temps

En appliquant cette méthode à des images couvrant un même territoire prises à des dates différentes, il est possible de créer puis de comparer les taches artificialisées (Cf. 2.1.3.) afin de mesurer l'évolution de l'artificialisation de ce territoire.

Pour cette deuxième phase, en plus d'un état de référence récent, il est demandé de produire un historique permettant d'avoir un aperçu de l'évolution de l'artificialisation durant la dernière décennie. Afin d'optimiser la méthode et de réduire le temps de traitement, nous faisons l'hypothèse que l'artificialisation est un phénomène croissant, tandis que le phénomène inverse de « retour à un état naturel » des espaces artificialisés reste marginal. La classification extraite de l'image à date T peut alors être utilisée comme « masque » pour restreindre le territoire à traiter sur l'image à date T-n. La diminution du nombre de pixels à traiter entraîne un gain de temps important.

La figure suivante présente la méthode générale.

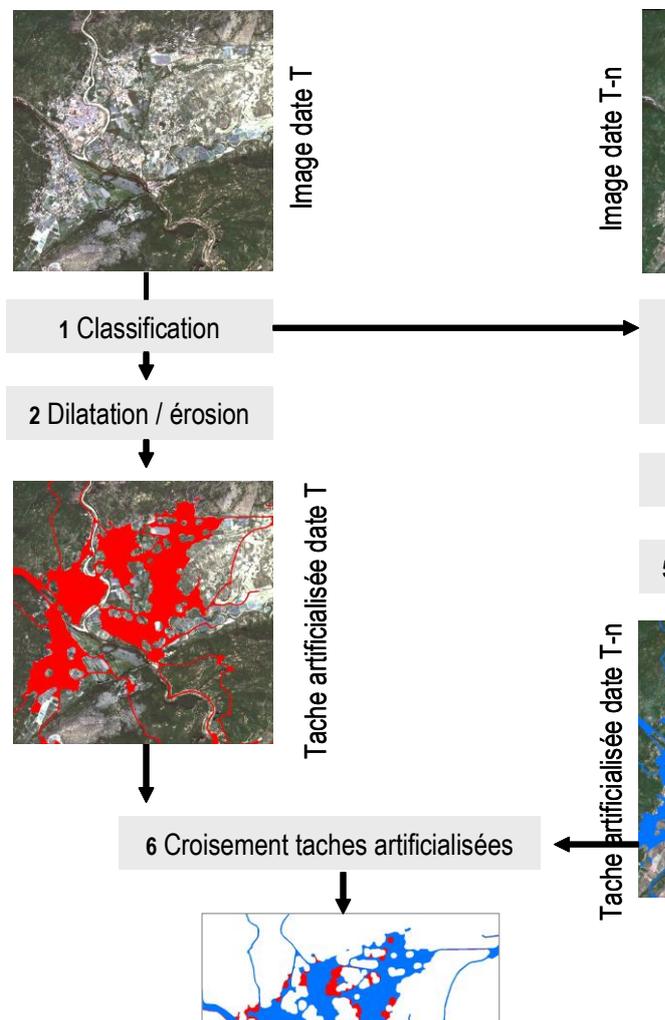


Figure n°1 : méthode générale

Limites de la méthode

Cette méthode constitue un compromis entre la finalité opérationnelle locale d'évaluation et de localisation des terres artificialisées et la contrainte de reproductibilité dans le temps et dans l'espace en vue de sa mise en œuvre potentielle sur tout le territoire national.

De fait, l'intérêt majeur de la méthode réside dans sa capacité à être appliquée à petite échelle² tout en produisant des résultats exploitables à l'échelle locale (1/15 000). Cependant, les processus mis en œuvre relèvent d'une modélisation qu'il ne faut pas chercher à comparer à une analyse exhaustive, type photo-interprétation par exemple, certes plus précise mais économiquement impossible à réaliser ne serait ce qu'à l'échelle d'un département.

2.1.1. Extraction d'informations d'occupation du sol à partir d'images satellitaires - classification

La méthode générale repose sur des images satellitaires, véritables « photographies » d'un territoire à un instant t dont on extrait des informations en vue de leur appliquer ensuite le processus de dilatation érosion permettant de produire la tache artificialisée. Il s'agit à cette étape de réaliser des traitements d'image par classification orientée objet combinant des étapes de segmentation et de classification afin d'extraire les différentes classes d'occupation du sol suivantes illustrées par la figure ci dessous :

- Tissu urbain résidentiel continu (A)
- Tissu urbain résidentiel discontinu (A)
- Tissu urbain résidentiel diffus (A)
- Zones industrielles & commerciales (A)
- Grands axes routiers & ferres (A)
- Aéroports (A)
- Zones portuaires (A)
- Chantiers, Carrières, Décharges (A)
- Espaces verts urbains (NA)
- Espaces sportifs et de loisirs (NA)
- Espaces agricoles (NA)
- Forêts (NA)
- Milieux à végétation arbustive et / ou herbacée (NA)
- Rochers, sols nus & espaces ouverts avec peu de végétation (NA)
- Cours d'eau & plan d'eau (NA)
- Mers et océans (NA)
- Marais (NA)

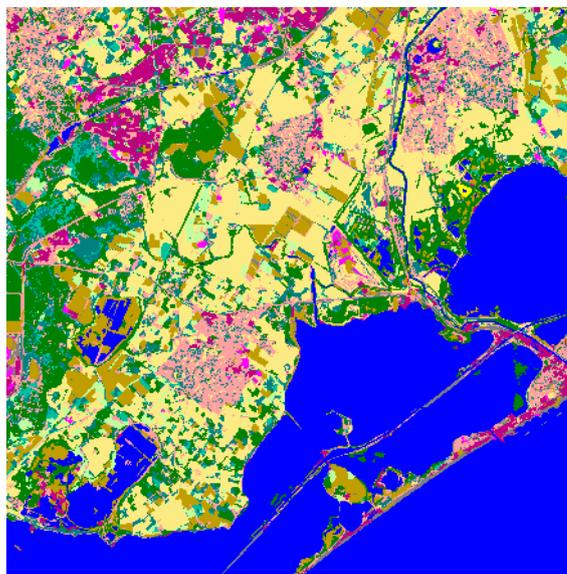


Figure n°2 : exemple de classification (extrait)

Les classes obtenues sont ensuite regroupées en 2 classes synthétiques en vue d'appliquer le processus de dilatation érosion:

- Artificialisé (mention A dans la liste précédente)
- Non Artificialisé (mention NA dans la liste précédente)

La figure ci-contre représente un extrait du résultat de regroupement en 2 classes :

- Artificialisé
- Non artificialisé

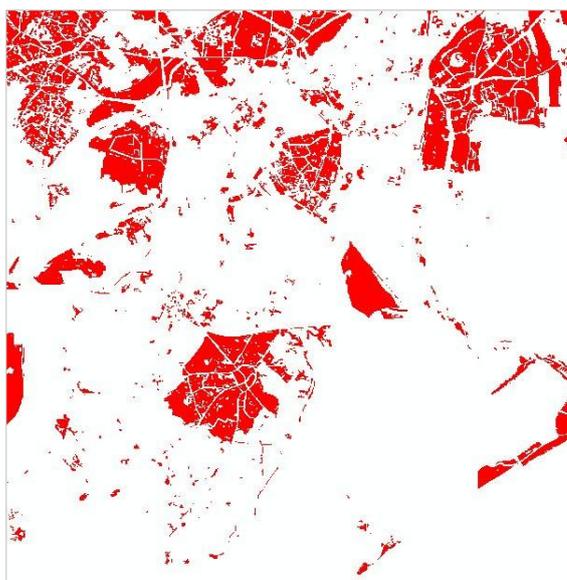


Figure n°3 : classification simplifiée

² Plus l'échelle est petite plus le territoire considéré est grand. Inversement une grande échelle fait référence à un zoom sur un territoire restreint pour offrir un plus grand niveau de détails de la réalité terrain.

2.1.2. Traitement spécifique des routes

Les infrastructures routières sont difficilement identifiables par télédétection. Si une route à grand gabarit (autoroute, 4 voies,...) est facilement repérable du fait de son importante emprise au sol, les routes départementales et à plus petit gabarit bordées ou couvertes par la végétation (arbres) sont généralement masquées sur les images satellitaires.

Compte tenu de la part importante que ces infrastructures représentent en termes d'artificialisation, il est pourtant indispensable de les prendre en considération pour déterminer la tache artificialisée.

Nous avons donc choisi d'utiliser une couche de données vectorielles représentant le réseau routier en complément des images satellitaires pour cette classe d'objets.

Afin de limiter les coûts et tenant compte de la difficulté à disposer de mises à jour régulières de ce type de données, nous n'avons utilisé qu'une seule couche de « routes » (date de validité proche de la date T-n) en faisant l'hypothèse que le réseau routier hors agglomération évolue principalement des deux façons suivantes :

- évolution « mesurée » du réseau existant,
- création de nouvelles routes ou requalification notable de routes existantes (élargissement, changement de statut).

Dans cette hypothèse nous considérons que les évolutions « mesurées » représentent une modification marginale de l'espace artificialisé que nous pouvons ignorer, tandis que les évolutions du fait de la création de nouvelles routes ou la requalification de routes existantes couvrent une importante emprise au sol permettant de les identifier et de les extraire à partir des images satellitaires.

La combinaison de ces routes avec les informations précédemment extraites des images satellitaires constitue la couche finale d'objets artificialisés que nous appellerons « zone artificialisée » et qui permettra de calculer la tache artificialisée.

La figure ci-contre présente un extrait de la « zone artificialisée ».



Figure n°4 : zone artificialisée (extrait)

2.1.3. Méthode de détermination de la tache artificialisée

La notion de tache artificialisée développée dans nos travaux constitue une évolution de la notion de tache urbaine connue des géographes et urbanistes. Si le principe (dilatation / érosion) est comparable, notre définition de la tache artificialisée se distingue de celle de la tache urbaine par les objets d'étude et la valeur du critère de distance de continuité du bâti appliquée dans le calcul.

La tache urbaine est focalisée sur le bâti urbain avec un critère de distance de 200m, tandis que notre tache artificialisée agrège tous les éléments d'artificialisation (dont le bâti n'est qu'une occurrence) avec un critère de distance réduit plus adapté aux contextes péri-urbain et rural.

Opération de dilatation / érosion

La création d'une tache artificialisée consiste à agréger les objets de la classe « artificialisé » selon ce critère de distance de continuité du bâti afin de produire une information plus exhaustive sur l'emprise réelle des surfaces artificialisées et d'obtenir un masque d'un seul tenant aux contours homogènes. L'emprise des territoires urbanisés est donc augmentée en appliquant une opération de morphologie mathématique, combinaison de deux opérations élémentaires : une dilatation et une érosion (Cuniberti et al. 2005 ; CERTU, 2007 ; Le Corre et al., 2000 ; AGORAH, 2005). La dilatation consiste à agréger entre eux les objets artificialisés distants de moins de N mètres donc à la création d'un buffer positif (polygone englobant la zone située dans un rayon $R=N/2$ autour d'un objet) à partir de chaque objet représentant les surfaces artificialisées. L'érosion consiste à redonner aux objets leur taille initiale en laissant reliés entre eux les objets qui auront été agrégés en appliquant un buffer négatif de rayon « -R »

La figure suivante illustre les différentes étapes de l'opération de dilatation / érosion sur une partie des communes de Saint Clément de Rivière et de Montferrier sur Lez (département de Hérault).

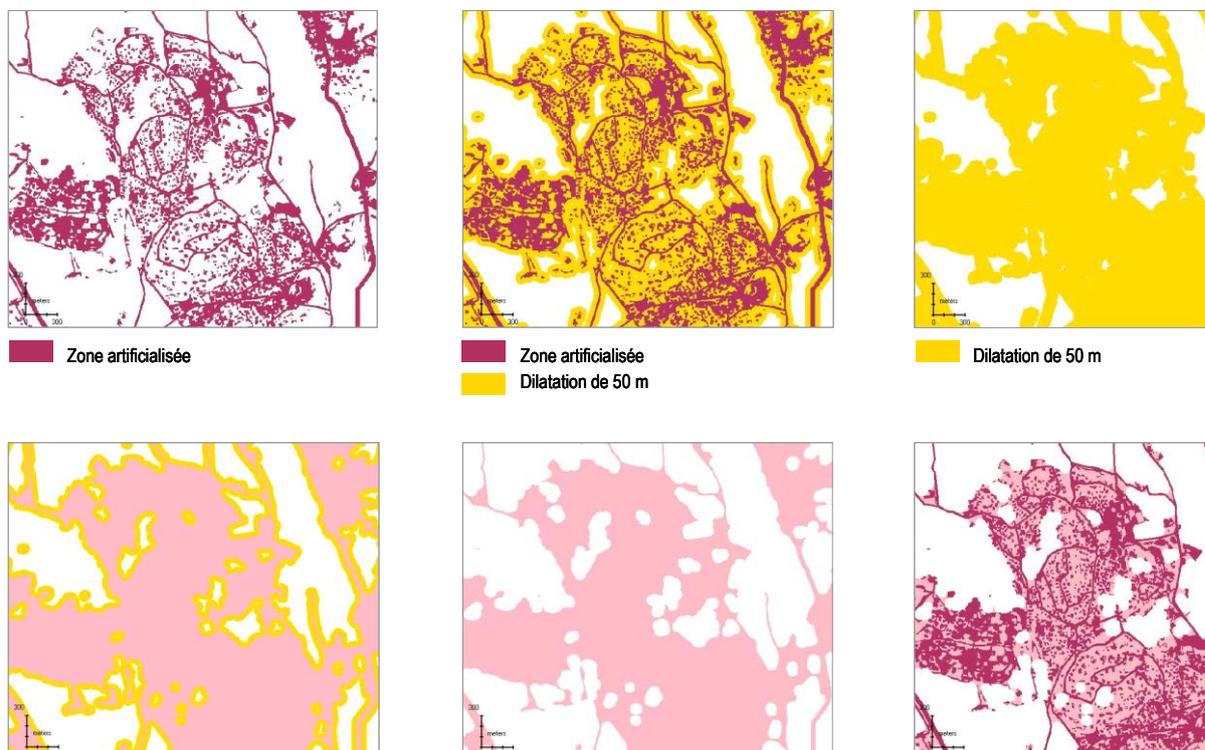


Figure n°5 : étapes de création de la tache artificialisée à partir des objets de zone artificialisée

A partir de la couche « zone artificialisée » précédemment constituée (Cf. 2.1.1 et 2.1.2), on applique une dilatation de 50 m, afin de fusionner tous les objets distants de 100 m maximum et on obtient un polygone englobant. En appliquant ensuite le processus inverse d'érosion de 50m, les contours externes du polygone sont ramenés à l'emprise initiale de la « zone artificialisée », tout en conservant l'agrégation des objets à l'intérieur. La tache artificialisée est désormais constituée.

La dernière illustration de cette figure présente la superposition de la zone artificialisée et de la tache artificialisée. On constate le résultat du phénomène d'agrégation des opérations de dilatation / érosion.

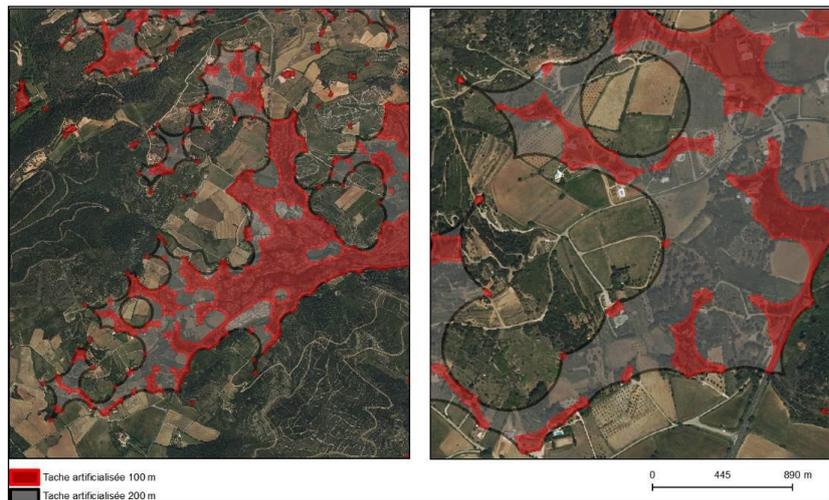
Choix de la distance de continuité du bâti

Pour rappel (Cf. rapport méthodologique 2008), le **critère de continuité du bâti** est lié à la distance entre les éléments artificialisés à prendre en compte pour considérer qu'ils appartiennent ou non à la même zone. Plus le critère de continuité est faible plus la tache artificialisée sera morcelée, il dépend donc du type d'habitat à étudier et de la précision des données exploitées. Les travaux existants sur le choix d'une distance de continuité des bâtiments s'appuient généralement sur le seuil de 200 m admis au niveau international pour la définition des agglomérations.³ Cependant cette définition d'agglomération tient à la volonté de s'accorder sur un vocabulaire universel de la ville et correspond concrètement à la distance qu'une personne peut facilement parcourir à pied entre deux maisons (Le Corre et al., 2000). Ainsi elle n'est pas nécessairement adaptée à la définition d'une tache artificialisée dont la précision et la caractérisation dépendent du mode de détection et de la résolution des données spatiales exploitées pour le traitement.

³ « Une agglomération est un regroupement de population qui, sans tenir compte des limites administratives, forme une zone bâtie dont aucune construction n'est distante de plus de 200 m de la plus proche » (Nation Unies 1978 cité par Albert 2007).

Nous avons déterminé en 2008 que la distance de 100 m (soit un rayon de 50m) constitue la valeur adaptée pour un suivi de l'artificialisation des sols, tant sur les espaces ruraux que péri-urbains et urbains, basé sur une information extraite d'images satellitaires de haute résolution comme l'illustre la figure ci-contre.

Figure n°6 : comparaison de la représentativité des taches artificialisées en fonction de la distance de continuité du bâti retenue



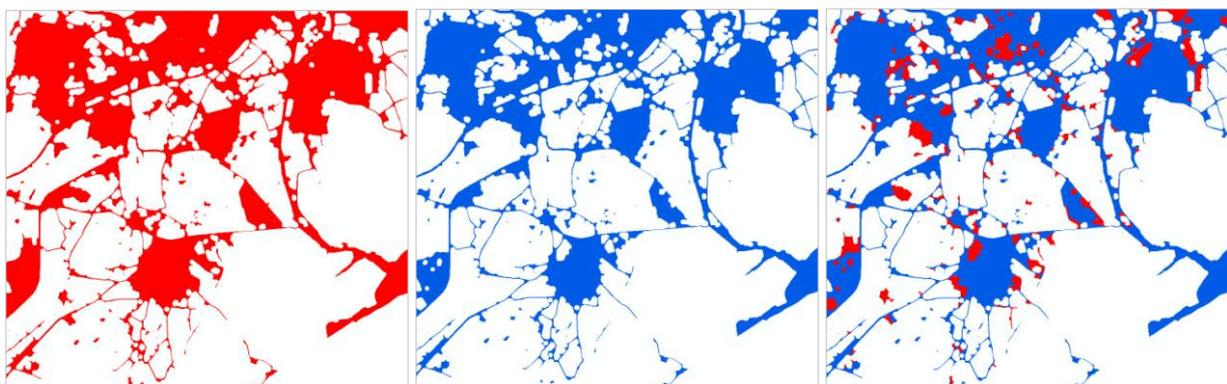
Enfin la figure ci dessous présente, dans la continuité des figures n°2, 3 et 4, un extrait de la tache artificialisée calculée à partir de la classification simplifiée intégrant les routes.



Figure n°7 : extrait de la tache artificialisée

2.1.4. Méthode de suivi de l'évolution de l'artificialisation

En reproduisant la tache artificialisée à plusieurs dates suffisamment espacées dans le temps, il devient possible de suivre l'évolution de l'artificialisation des sols. La combinaison de ces taches permet de localiser et quantifier cette évolution comme l'illustre la figure suivante.



Tache artificialisée date T

Tache artificialisée date T-n

Superposition taches artificialisées

Figure n°8 : suivi de l'évolution de l'artificialisation par superposition des taches artificialisées

2.2. Adaptation de la méthode de classification pour une application à petite échelle

La méthode de classification élaborée durant la première phase de ce projet consistait à produire des cartographies des espaces artificialisés à différentes dates (récente et archive) afin de mesurer la progression de ces zones. Partant de l'hypothèse que tout ce qui n'est pas artificialisé à un instant t ne l'était pas précédemment (Cf. 2.1), nous utilisons la classification la plus récente comme masque permettant de vérifier la nature (artificialisé / non artificialisé) de l'occupation du sol sur les images d'archive.

Ces traitements reposaient sur des images satellitaires type SPOT et IRS testées à différentes dates et résolutions (1989, 1995, 2000 et 2005 avec des résolutions de 2,5m à 25m).

Des adaptations nécessaires pour la généralisation

Les principales limites de cette méthode, observées durant la première phase concernaient :

- le temps de traitement, de l'ordre de 40 jours pour la classification des 103 communes de la zone d'étude,
- le coût d'acquisition des données à haute résolution (de l'ordre de 30 à 40.000 € HT pour le seul département de l'Hérault),
- la faible résolution des images d'archive les plus anciennes ne permettant pas d'obtenir des résultats satisfaisants.

Dans la perspective de généralisation de la méthode aux 4 départements littoraux de la région Languedoc-Roussillon, des adaptations ont été nécessaires en termes de données et traitements afin de contenir les coûts et les temps de traitement tout en conservant la qualité des résultats et en traitant de grands territoires.

2.2.1. Choix de données

Plusieurs fournisseurs d'images satellitaires ont été consultés pour obtenir des couvertures récentes et d'archive de la région Languedoc-Roussillon avec une contrainte inédite d'acquisition des images sous une licence permettant leur large mutualisation gratuite avec les établissements publics et collectivités.

Les images récentes

Nous avons retenu la proposition de la société RapidEye qui a réalisé une couverture spécifique à notre demande au printemps / été 2009 sur la région complète. Ces données ont une résolution de 5 mètres en couleur (canaux bleu, vert, rouge, red edge et proche infra rouge) et sont livrées sous la forme de dalles de 25 km de côté. Au total nous avons reçu 91 dalles comme le présente la figure ci dessous :

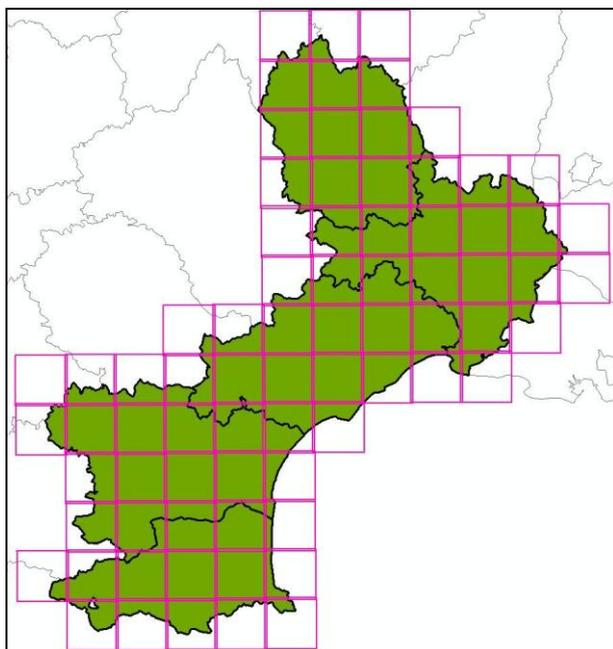


Figure n°9 : tableau d'assemblage des images RapidEye

Les dates d'acquisition de ces données s'étendent du 31 mars au 21 août 2009. Certaines dalles ont été livrées en double pour compenser la présence de nuages.

Les images d'archive

En ce qui concerne les images d'archive, seuls les satellites IRS 1C et IRS 1D fournissent depuis 1996 des données ayant une résolution spatiale comparable aux données RapidEye (25 mètres en multispectral et 5,8 mètres en panchromatique). Nous avons donc commandé 11 couples d'images (multispectrales et panchromatiques) acquises entre le 23 octobre 1996 et le 5 septembre 1997 (Cf. figure n°10).

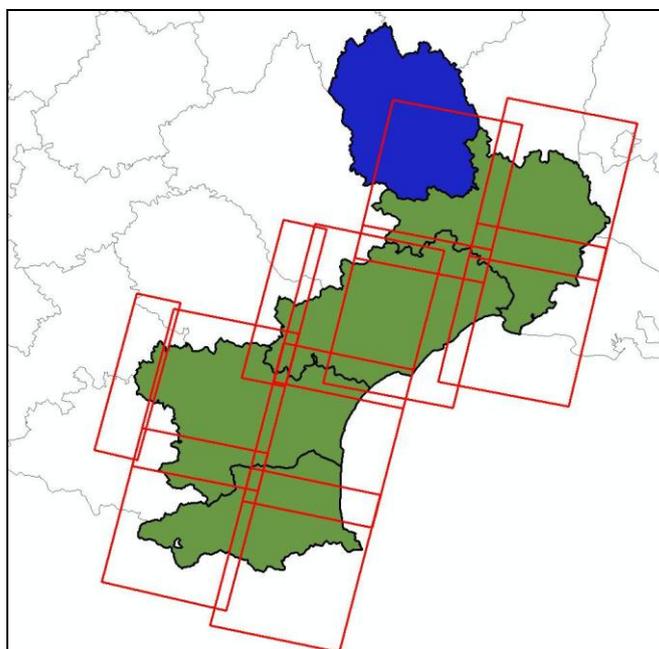


Figure n°10 : Tableau d'assemblage des images IRS

Conformément à la commande de l'étude de généralisation, les quatre départements littoraux sont couverts par ces images d'archive. Afin de contenir les coûts elles ont été commandées au niveau 1A, ce qui a nécessité la mise en place d'un chantier d'orthorectification⁴ qui a duré 2 mois.

Mutualisation des données

Comme évoqué précédemment, une contrainte inédite de licence permettant la mutualisation gratuite avec les acteurs de la sphère publique en enseignement, recherche et collectivités a été spécifiée aux fournisseurs d'images satellitaires contactés. De fait les images RapidEye et IRS ont été acquises sous ce type de licence et sont désormais disponibles gratuitement auprès du Cemagref de Montpellier pour tous les établissements publics, sous réserve d'une utilisation non commerciale.

2.2.2. Traitement spécifique de la Lozère

L'objet de ce rapport répond à la demande de généralisation de la méthode de quantification des terres artificialisées sur les départements littoraux du Languedoc-Roussillon. Compte tenu de la disponibilité de données sur le département de la Lozère (couverture complète en images satellitaires en 2009 et partielle en 1997), nous avons développé en complément une approche spécifique pour ce département en produisant une donnée comparable à Corine Land Cover pour l'année 2009 qui permet d'évaluer grossièrement l'évolution de l'artificialisation de ce département (Cf. annexe n°3).

2.2.3. Adaptation de la nomenclature

Lors de la première phase de l'étude, nous avons constaté une importante limite concernant les temps de traitement très longs pour réaliser la cartographie des espaces artificialisés. Afin de réduire ces temps tout en conservant la pertinence des résultats nous avons simplifié la nomenclature en diminuant le nombre de classes. Cette simplification a un impact sur le résultat intermédiaire de cartographie d'occupation du sol mais n'en a aucun sur le résultat final (segmentation des espaces artificialisés et non artificialisés).

En effet certaines classes précises relevant d'espaces naturels (landes, garrigue,...) ou d'espaces agricoles (parcours, vigne,...) sont très difficiles à discriminer (surtout en milieu méditerranéen) et nécessitent des traitements spécifiques en plus d'une lourde étape de photo-interprétation.

⁴ Redressement géométrique des images afin que chaque pixel soit superposable à une carte plane qui le représente.

Nous avons donc conservé les classes les plus discriminantes (du point de vue artificiel / non artificiel) et faciles à traiter et nous avons supprimé les sous classes qui ne représentaient qu'un intérêt complémentaire (cartographie d'occupation du sol fine).

La figure ci-dessous présente la nomenclature retenue afin de diminuer de façon significative le temps de travail alloué à la photo-interprétation. Neuf classes ont été retenues.

Nom de classe	méthode utilisée
Zone artificialisée	Obtenues par télédétection puis corrigées par photo-interprétation
Végétation urbaine	
Espace agricole	
Zone naturelle	
Zone en eau	
Zone naturelle humide	
Carrière, chantier, décharge	
Route 10m	Obtenues à partir de la BD Carto © de l'IGN
Route 20m	

Figure n°11 : nomenclature retenue

2.2.4. Extraction des espaces artificialisés en 2009

Le changement de capteur (passage de Spot 5 à RapidEye) d'une part et notre volonté de réduire le temps de photo-interprétation d'autre part, nous ont poussés à sensiblement modifier le processus de classification des images.

Texture

La première modification importante consiste à utiliser des indices de texture qui formalisent l'organisation spatiale des pixels. Ces indices sont des paramètres statistiques de matrice de cooccurrence (nombre de fois qu'une transition entre deux niveaux de gris apparaît dans une fenêtre glissante caractérisant le voisinage du pixel). Ces indices sont calculés sur les images RapidEye puis ajoutés dans le logiciel eCognition afin d'être utilisés dans la classification au même titre que les canaux des images. Ils sont utilisés pour extraire les zones artificialisées qu'ils mettent bien en évidence, comme l'illustre la figure suivante.

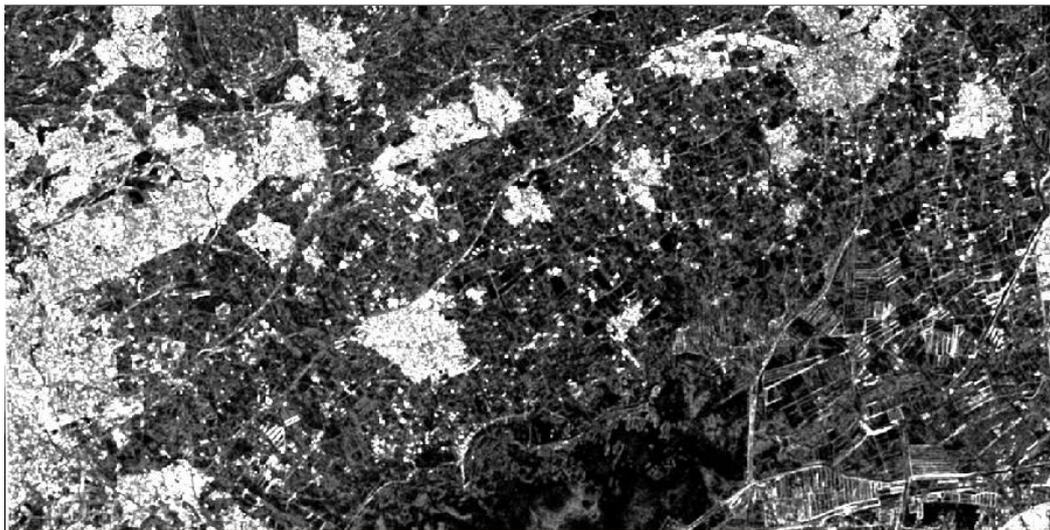


Figure n°12 : exemple de texture

Processus de classification

En télédétection l'extraction des espaces artificialisés pose souvent des problèmes car ils présentent une grande variété de réponses spectrales (toits en tuiles, en tôles, voiries...). De plus sur une image à haute résolution spatiale un seul bâtiment peut être composé de pixels de radiométries différentes. La classification par pixels n'est donc pas suffisamment efficace car on identifie des couleurs de pixels mais pas des objets. Comme lors de la phase 1 de cette étude, nous avons donc utilisé le logiciel eCognition Developer qui s'appuie sur une méthode de classification orientée objet. Le traitement se décompose en deux étapes : la segmentation de l'image en groupes de pixels homogènes (objets) puis la classification des objets.

Nous avons modifié le processus de classification en adoptant une approche descendante⁵, le premier niveau de segmentation étant utilisé pour faire un zonage grossier du paysage qui sera ensuite affiné pour retrouver tous les détails fournis par l'image. La figure ci dessous en schématise le principe.

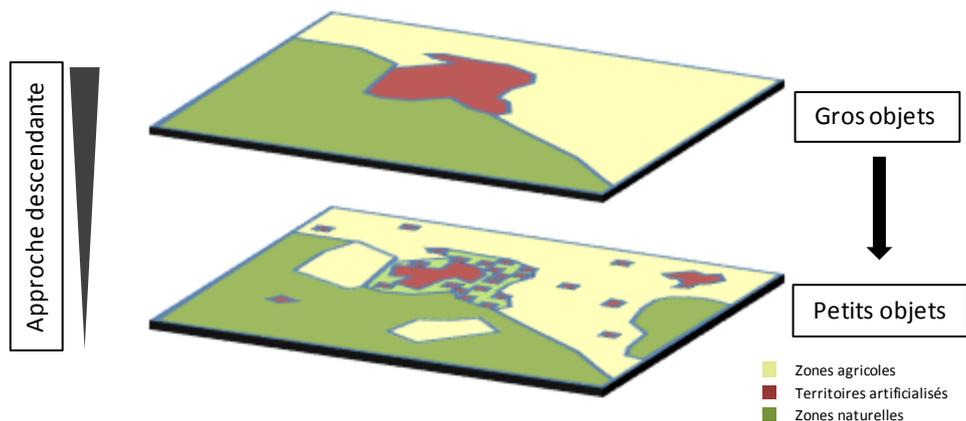


Figure n°13 : approche descendante

Cette méthode permet d'utiliser des paramètres de classification différents en fonction du zonage défini au départ. On va donc séparer le paysage en 5 classes (Cf. figure n°14) qui seront ensuite retravaillées dans le niveau de segmentation suivant. En effet, prenons l'exemple de la détection des zones artificialisées, le centre d'une ville (ou d'un village) est visuellement différent des zones périphériques. Si on choisit le même paramètre (ou le même seuillage) pour séparer ces deux comportements, nous serons confrontés à des confusions entre ces objets artificialisés et d'autres zones aux comportements (radiométriques ou texturaux) proches mais qui ne doivent pas être classés de la même façon (les sols nus agricoles notamment).

Comme indiqué au paragraphe 2.1.2 l'extraction des routes en télédétection et plus particulièrement avec des images d'une résolution spatiale de 5 mètres, est très difficile car elles peuvent être bordées d'arbres (dans ce cas seuls les arbres sont visibles sur l'image) ou d'une emprise au sol trop faible pour être identifiées. L'utilisation de la télédétection pour extraire cette classe ne nous aurait pas permis d'obtenir une information exhaustive. Nous avons donc utilisé la couche routes de la base de données de l'IGN « BD CARTO® » (2000) qui représente tout le réseau routier sous forme de lignes. Nous avons ensuite attribué une largeur à ces routes en fonction de leur nature (10m pour les routes à deux voies et 20 m pour les autres) afin de les représenter sous forme de polygones fidèles à leur emprise au sol.

Ces polygones ont été intégrés dès le départ dans le processus de classification. Les routes construites récemment et qui n'étaient donc pas référencées dans cette couche ont été extraites de façon automatique ou ajoutées manuellement.

⁵ Ecognition permet de travailler avec plusieurs niveaux de segmentation emboîtés. Chaque niveau est classé pour extraire les éléments du paysage à plusieurs échelles. Si on part d'un niveau grossier et qu'ensuite on travaille avec des objets plus fins on parle d'approche descendante. Dans le cas contraire, on parle d'approche ascendante.

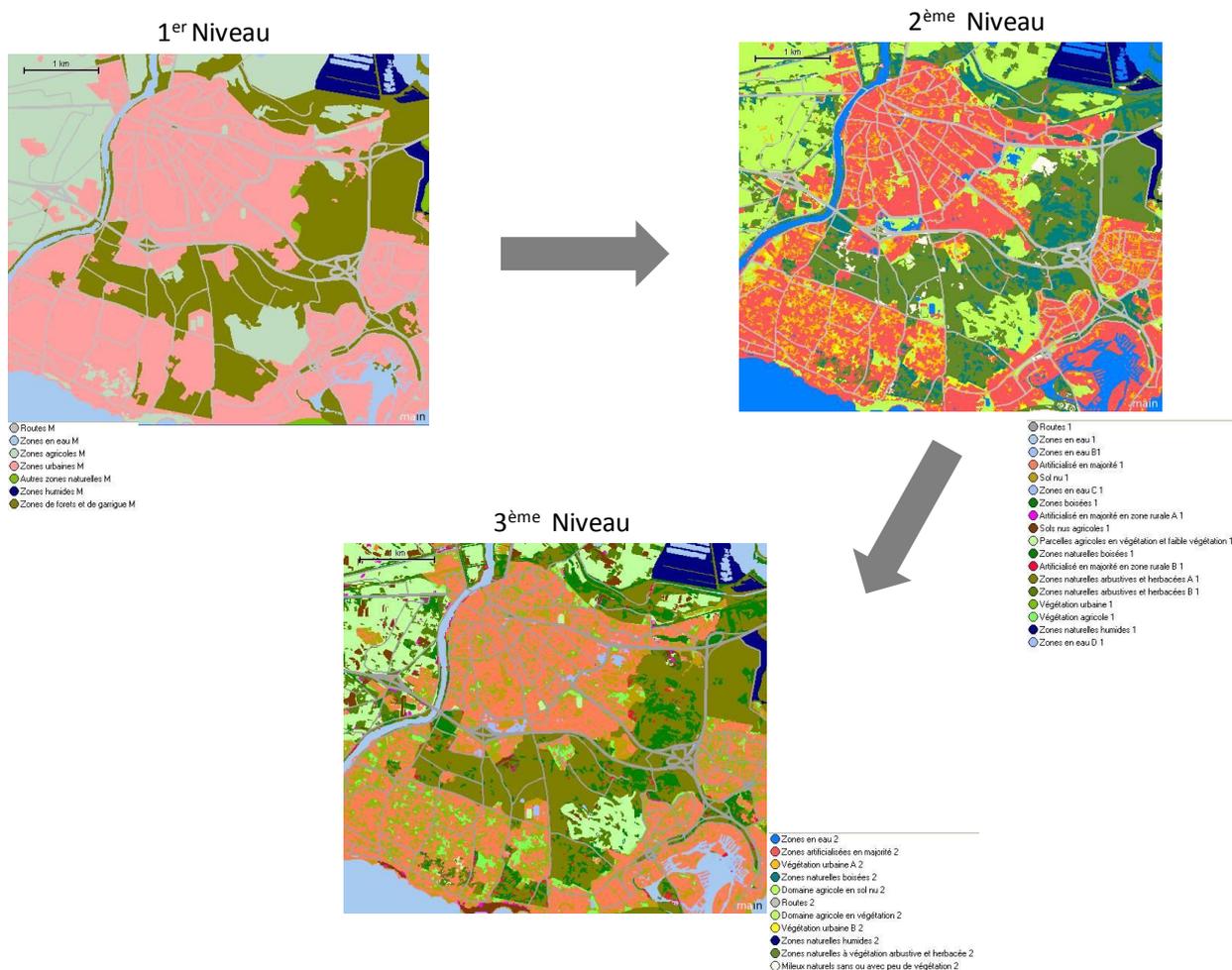


Figure n°14 : exemples de résultats obtenus pour chaque niveau de segmentation

2.2.5. Extraction des espaces artificialisés en 1997

Les images d'archive IRS dont nous disposons ont une résolution spatiale plus faible que les images RapidEye 2009. Afin de comparer les cartes d'occupation du sol et de mettre en évidence les évolutions entre chaque date nous avons utilisé la cartographie réalisée en 2009 comme un masque pour classer les images d'archive. Il s'agit de vérifier sur chaque image si les zones artificialisées en 2009 l'étaient déjà sur les images d'archive.

Ce plan est inséré dans le logiciel eCognition Developer avec les images et l'indice de texture calculé à partir de l'image panchromatique IRS (Cf. 2.2.3). La segmentation est ensuite suivie d'une classification qui détecte dans les zones construites en 2009 si sur l'image d'archive les bâtiments étaient déjà présents. Le résultat obtenu est ensuite croisé avec les couches routes de la base de données cartographique de l'IGN. Enfin un post traitement par photo-interprétation est effectué pour corriger les erreurs de classification.

On obtient donc une classification contenant deux classes :

- Les territoires artificialisés
- Les autres occupations

2.2.6. Validation

Il est nécessaire d'évaluer la qualité des résultats obtenus afin de connaître le degré de validité de l'information produite en vue de son utilisation. La méthode utilisée ici s'inspire d'un outil de validation mis en place par l'Inventaire Canadien des Terres Humides et présenté lors de la 12^{ème} conférence des utilisateurs des produits Esri à Montréal (Benoit et al. 2006), en particulier sur la construction du référentiel et la stratégie d'échantillonnage. Un descriptif plus détaillé de ce travail est disponible dans l'annexe n°2.

Données de référence

Il s'agit des données qui représentent la « vérité terrain ». Idéalement, elles sont acquises soit sur le terrain, soit à partir de photographies aériennes ou autres données de télédétection différentes de celles utilisées pour la classification (Girard et al., 2004). Pour des raisons de coût et de temps, comme dans la perspective globale de généralisation, il est impossible d'effectuer un échantillonnage terrain sur l'ensemble de la région Languedoc-Roussillon. Ce sont donc les images satellitaires utilisées pour les traitements qui ont également servi de données de référence pour valider les résultats (et éventuellement des données auxiliaires comme la BD Ortho® IGN par exemple).

Méthode

Un opérateur a pour mission d'interpréter visuellement l'occupation du sol des données de référence sur un jeu de polygones issus de la couche d'occupation du sol dont la classe d'appartenance (Cf. nomenclature 2.2.3) a été préalablement supprimée. Les résultats sont ensuite comparés aux résultats produits par le traitement automatique afin d'obtenir une matrice de confusion qui renseigne sur la cohérence des deux classifications.

Pour assurer l'indépendance entre la classification et la référence, l'analyste ne connaît pas les classes déterminées sous eCognition Developer.

Mode d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à sélectionner un certain nombre de polygones sur la couche d'occupation du sol. A l'instar des points de contrôle, ces polygones servent de données de référence dans la matrice de confusion. Pour être représentatif de l'ensemble de la classification, le mode d'échantillonnage est aléatoire et stratifié par type d'occupation du sol.

Sur les dix classes de la couche d'occupation du sol, trois sont de nature « exogènes ». En effet, les deux classes « route 10m » et « route 20m » sont issues des données IGN et la classe nuage résulte d'une photo-interprétation. En conséquence ces trois classes sont exclues et la validation porte uniquement sur les sept classes restantes. Pour chacune d'entre elles, 230 polygones sont sélectionnés au hasard, soit un échantillon total de 1610 polygones.

Évaluation de la qualité sémantique

Près des deux tiers des 1610 polygones sélectionnés sont photo-interprétés. Les échantillons étant indépendants, le nombre de « polygones de contrôle » bien classés à évaluer doit être compris entre 30 et 50 entités (Congalton 1991 ; Girard et al. 2004).

La matrice de confusion obtenue respecte ces critères (Cf. figure n°15) et se base sur 1071 entités de contrôle. Elle comprend en colonnes l'information thématique résultant de la classification, en lignes les données des classes de référence (photo-interprétation des images RapidEye 2009). Les valeurs de la diagonale de la matrice représentent le nombre d'entités correctement classifiées.

Référence	Classification								Total	Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
	Carrière, chantier, décharge	Espace agricole	Végétation urbaine	Zone artificialisée	Zone en eau	Zone naturelle	Zone naturelle humide				
Carrière- chantier- décharge	9,90	0,37	0,00	0,37	0,09	0,00	0,09	10,83	91,38%	8,62%	
Espace agricole	0,93	7,28	1,49	0,93	0,28	2,80	0,19	13,91	52,35%	47,65%	
Végétation urbaine	0,00	1,96	8,87	0,37	0,28	1,03	0,28	12,79	69,34%	30,66%	
Zone artificialisée	1,31	1,31	1,12	12,04	1,96	0,19	0,47	18,39	65,48%	34,52%	
Zone en eau	0,19	0,00	0,09	0,09	10,27	0,09	0,75	11,48	89,43%	10,57%	
Zone naturelle	0,75	3,92	2,24	0,28	0,56	11,02	0,19	18,95	58,13%	41,87%	
Zone naturelle humide	0,28	0,28	0,28	0,00	0,75	0,09	11,95	13,63	87,67%	12,33%	
Total	13,35	15,13	14,10	14,10	14,19	15,22	13,91	100,00			
Précision utilisateur (%)	74,13%	48,15%	62,91%	85,43%	72,37%	72,39%	85,91%				
Erreur de commission (%)	25,87%	51,85%	37,09%	14,57%	27,63%	27,61%	14,09%				
Précision globale	71,34%										
Précision moyenne	73,40%										

Figure n°15 : matrice de confusion détaillée exprimée en pourcentage

La précision globale (ou totale) désignant la proportion d'objets bien classés par rapport au nombre total d'individus, s'élève aux alentours de 71%. Dans son ensemble, la classification est jugée correcte. Néanmoins, la précision est très variable entre classes d'occupation du sol. En particulier la classe « espace agricole » qui cumule des erreurs d'omission (47.65%) et de commission (51.85%).

Les confusions sont très fortes avec la classe « zone naturelle ». Cette dernière reste néanmoins tout à fait exploitable puisque « la précision de l'utilisateur », qui mesure la probabilité d'une classification adéquate des entités, avoisine les 72%. Concernant la classe « végétation urbaine », une légère confusion ressort avec les classes « zone naturelle » et « espace agricole ». A priori, ces erreurs sont liées à la définition de la classe et aux procédures d'assignation automatique sous eCognition Developer, par exemple : la végétation urbaine est-elle incluse dans et/ou contiguë à l'urbain ?

Dans le cadre de cette étude nous nous intéressons prioritairement à la distinction entre les espaces artificialisés et les espaces non artificialisés. Pour ce faire nous avons donc regroupé la classification et les données terrain selon ces deux classes pour évaluer la précision résultante.

La matrice de confusion obtenue, construite à partir de ces classes (Cf. figure n°16), indique une **précision globale de 91%**, qui traduit un très bon résultat en termes de distinction entre les classes « artificialisée » et « non artificialisée ». **Cette évaluation confirme la pertinence de la méthode et la validité des produits obtenus.**

Référence	Classification			Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
	Zone artificialisée	Zone non artificialisée	Total		
Zone artificialisée	23,62	5,60	29,23	81%	19%
Zone non artificialisée	3,83	66,95	70,77	95%	5%
Total	27,45	72,55	1071		
Précision utilisateur (%)	86%	92%			
Erreur de commission (%)	14%	8%			
Précision globale	91%				
Précision moyenne	88%				

Figure n°16 : matrice de confusion exprimée en pourcentage

2.2.7. Temps de traitement

Les temps de traitements moyens observés pour adapter la méthode, l'appliquer et produire les taches artificialisées les plus récentes sont de l'ordre de 20 jours par département, dont 6 jours de post-classification.

Il faut ensuite compter 4 jours par département pour obtenir la tache artificialisée issue des données d'archive dont un jour de post classification.

2.3. Produits de la méthode de quantification des terres artificialisées

La méthode générale de quantification des terres artificialisées consiste à extraire des informations relatives à l'artificialisation des sols à partir d'images satellitaires puis à les traiter de manière à produire les taches artificialisées représentatives de l'emprise au sol de ces espaces artificialisés. Nous avons détaillé ces méthodes et argumenté leur adaptation au traitement à petite échelle que nécessitait le territoire des quatre départements littoraux de la région à couvrir. Nous présentons ci-dessous les produits résultants de ces travaux :

- une méthode de détermination des espaces artificialisés, reproductible sur un grand territoire, permettant d'obtenir une délimitation précise des espaces artificialisés
- une cartographie des zones artificialisées du Languedoc-Roussillon en 2009 (sous forme de couche SIG)
- une tache artificialisée de la région Languedoc-Roussillon en 2009 (couche SIG)
- une tache artificialisée des quatre départements côtiers du Languedoc-Roussillon et de la moitié sud de la Lozère en 1997 (couche SIG)

2.3.1. Une méthode de détermination des espaces artificialisés

La méthode élaborée et appliquée sur une zone limitée (103 communes) durant la première phase de l'étude a été améliorée, adaptée et appliquée avec succès à un territoire d'emprise régionale. Elle permet de produire de façon semi automatisée des taches artificialisées fidèles au territoire considéré et utilisables jusqu'à l'échelle du 1/15 000. Cette méthode peut désormais être transposée sur d'autres territoires, avec un temps moyen de traitement de l'ordre de 20 jours par département.

2.3.2. Une cartographie des zones artificialisées du Languedoc-Roussillon en 2009

La méthode de détermination des espaces artificialisés passe par la réalisation d'une carte d'occupation du sol en 10 classes qui constitue en soi un produit intermédiaire notable. Il s'agit d'une cartographie dont la finalité d'extraction des zones artificialisées détermine les limites. En effet, comme présenté en paragraphe 2.2.6, nous acceptons pour cette classification quelques confusions entre les seules classes « zone naturelle » et « zone agricole » Sous réserve des limites concernant ces deux classes, cette classification représente une couche d'information pertinente (Cf. annexe n°7).

2.3.3. Les taches artificialisées 1997 et 2009

Les taches artificialisées constituent les produits cibles de la méthode. Ce sont les couches d'information qui vont permettre de localiser les espaces artificialisés et d'analyser leur progression dans le temps. Pour affiner ces analyses et compte tenu de la part importante que représentent les infrastructures dans l'artificialisation du territoire, nous avons décliné ces taches artificialisées en trois versions intégrant plus ou moins les routes. Ainsi pour chaque année (1997 et 2009), nous avons obtenu les trois produits suivants :

- une tache artificialisée prenant en compte l'ensemble des routes,
- une tache artificialisée prenant en compte uniquement les grandes routes,
- une tache artificialisée sans route.

Au total ce sont donc six taches artificialisées qui ont été produites, les trois de l'année 2009 couvrant toute la région Languedoc-Roussillon et les trois de l'année 1997 couvrant les quatre départements littoraux et la moitié de la Lozère.

Les taches artificialisées du département de l'Hérault

Les figures n°17 à n°19 suivantes illustrent ces trois types de taches artificialisées sur le département de l'Hérault. Les illustrations représentant ces mêmes taches sur les départements de l'Aude, du Gard, de la Lozère et des Pyrénées Orientales sont présentées en annexe n°1.

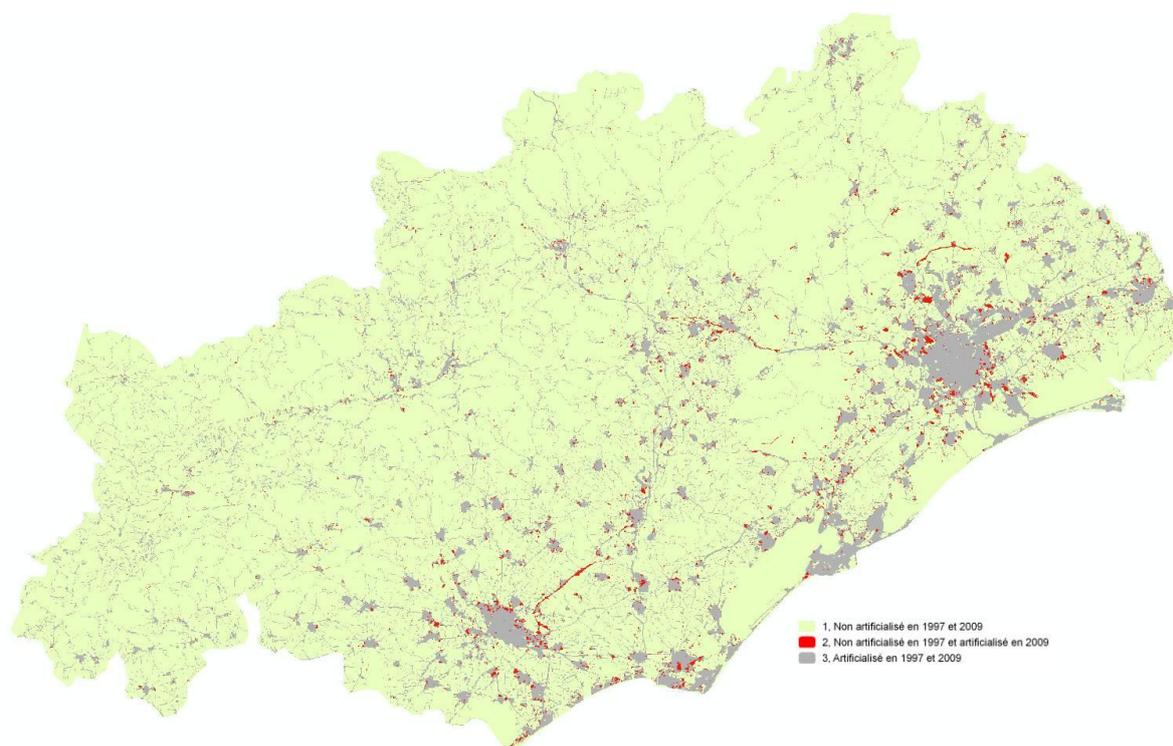


Figure n°17 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département de l'Hérault)

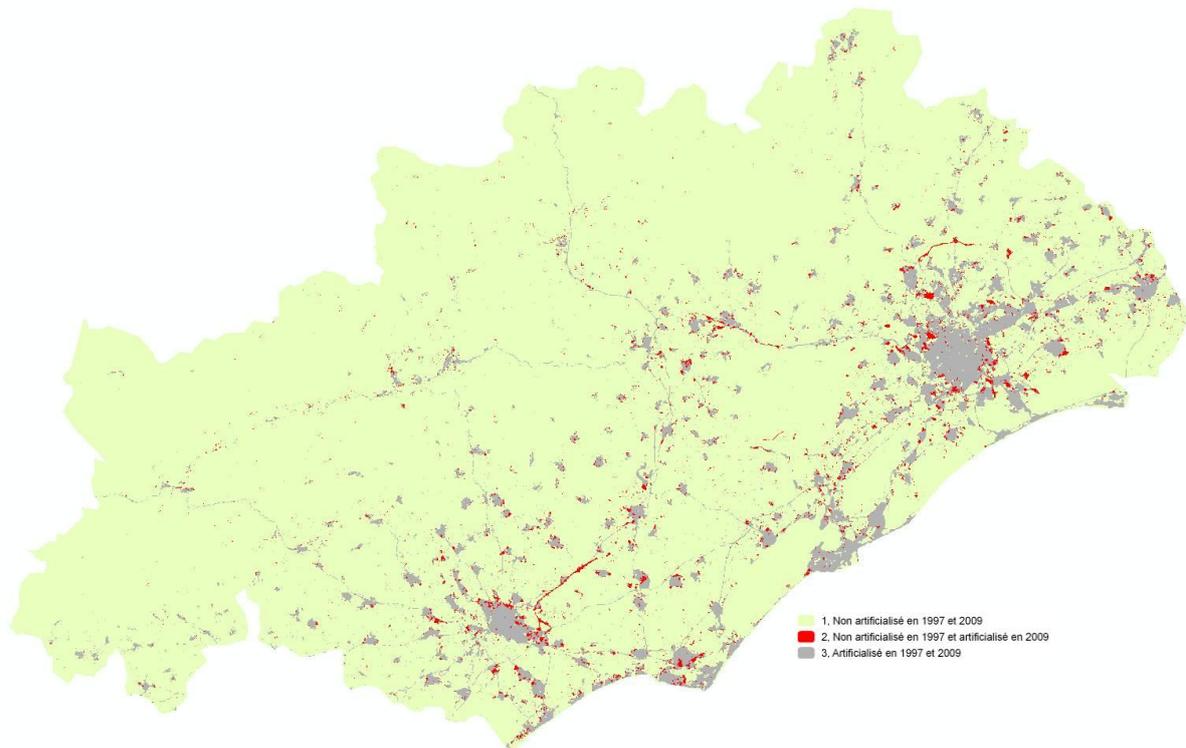


Figure n°18 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département de l'Hérault)

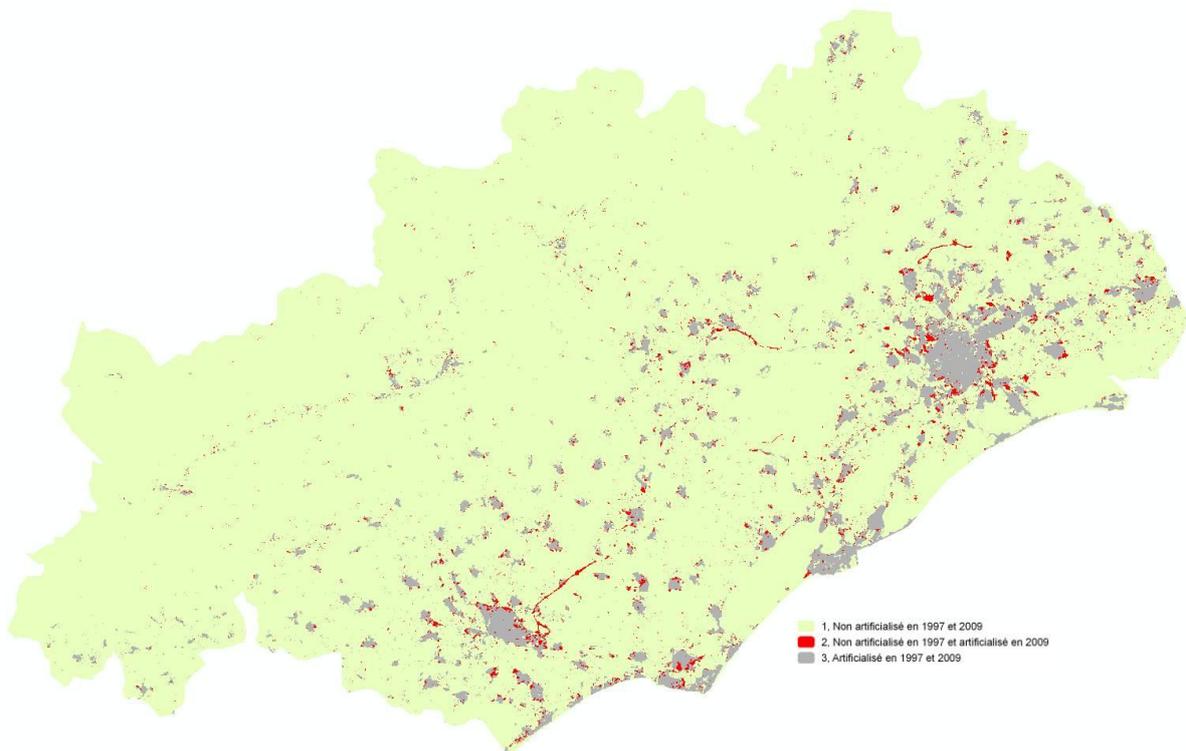


Figure n°19 : tache artificialisée sans routes (département de l'Hérault)

Les taches artificialisées à grande échelle

Les figures n°20 à n°22 suivantes illustrent la superposition des taches artificialisées toutes routes sur les images satellitaires à un niveau détaillé sur un secteur de la commune de Prades le Lez (département Hérault).



Images RE 2009 - secteur Prades le lez



Tache artificialisée 2009

Figure n°20 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 2009 et des images Rapide Eye (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez

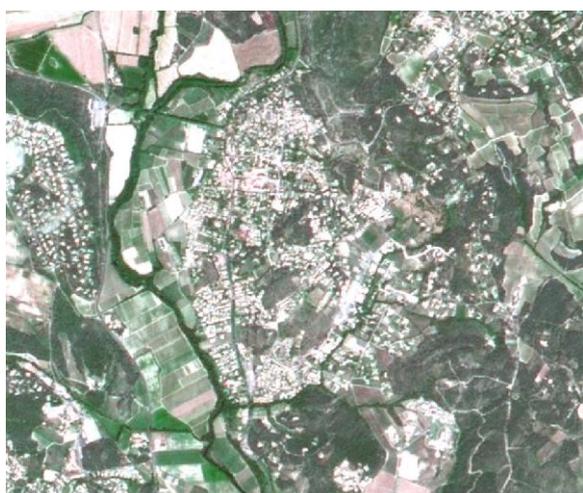
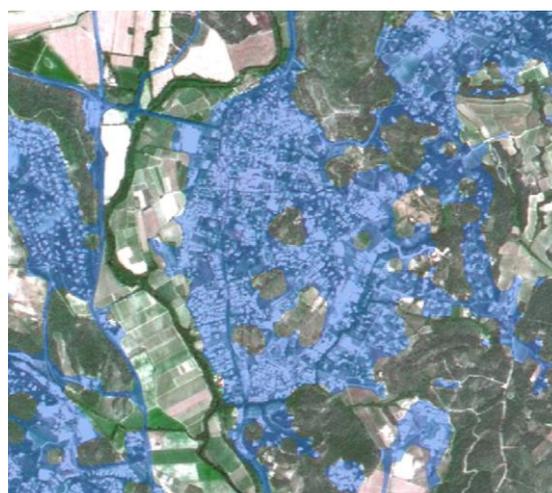


Image IRS 1997 (attention il s'agit ici de 2000)



Tache artificialisée 1997

Figure n°21 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 1997 et des images IRS (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez



Taches artificialisées 1997 et 2009

Figure n°22 : superposition des tache artificialisée toutes routes 1997 et 2009 – secteur Prades le Lez

3. Indicateurs – Analyse de la dynamique de consommation des terres à potentiel agronomique et de ses déterminants

3.1. Définitions et objectifs

3.1.1. Des indicateurs pour quoi faire ?

Depuis une cinquantaine d'années, l'utilisation d'indicateurs s'est généralisée à une grande partie de la société, tant dans le monde de la recherche et des politiques publiques que de la société civile. Ils sont désormais des outils de mesure, d'analyse et de suivi indispensables pour accompagner l'aide à la décision et appuyer la communication.

On retrouve souvent dans la littérature scientifique la définition donnée par l'OCDE (1990) selon laquelle **un indicateur** est « un paramètre, ou une valeur dérivée de paramètres, qui indique, fournit une information, décrit l'état d'un phénomène, d'un environnement, d'une zone, avec une signification qui s'étend au-delà de ce qui est directement associé à la valeur du paramètre ». La qualité première d'un indicateur est sa capacité à rendre compte de façon concise de phénomènes complexes. Il a une fonction de simplification et de quantification de la réalité pour la rendre compréhensible auprès d'un public ciblé. Les sources bibliographiques qui font références dans ce domaine (OCDE 1994, IFEN 1997, EEA 1999 cités par Salles 2001) insistent sur trois caractéristiques permettant de définir un indicateur : il constitue à la fois le produit d'un modèle (qui assure sa fiabilité, sa pertinence et sa mesurabilité), une synthèse explicite de l'information et un outil de communication.

Un **indicateur spatial** traduit un système géographique complexe en une information synthétique explicite, afin d'aider un utilisateur dans son action (prise de décision notamment). Il peut être restitué sous forme de valeurs chiffrées, de graphiques ou de cartes.

La demande initiale exprimée par la DRAAF comportait deux niveaux de préoccupations :

- un désir de **compréhension** pour contribuer à l'analyse globale des dynamiques à l'œuvre et sensibiliser à la perte d'un patrimoine agronomique ;
- une volonté d'**action** pour localiser rapidement les meilleures terres et conforter le discours des cadres locaux (Directions Départementales des Territoires et de la Mer) pour une meilleure prise en compte de la problématique agricole lors de l'élaboration des documents d'urbanisme.

La traduction de cette demande peut se résumer en trois types de besoins : approfondir les connaissances sur le patrimoine agronomique des sols à la fois qualitatives, quantitatives et spatiales ; identifier les facteurs d'artificialisation des terres et comprendre les processus en œuvre ; enfin, cibler les priorités pour aider la prise de décision mais également pour appuyer la communication et la sensibilisation en matière de perte d'un patrimoine agronomique.

Pour répondre aux besoins des acteurs il s'agissait de proposer des indicateurs permettant de mesurer et de suivre la consommation des sols par les espaces artificialisés, en fonction de leur potentiel agronomique à accueillir tous types de cultures. Cela passait au préalable par l'analyse et la compréhension des dynamiques territoriales à l'œuvre sur le territoire languedocien.

3.1.2. Produire un système d'indicateurs

Un système d'indicateurs regroupe un ensemble organisé d'indicateurs (Rondier, 2007). Comme le soulignent Joerin et al. (2005) « afin que les indicateurs puissent véritablement aider les décideurs dans la phase de formulation du problème, il semble nécessaire de passer d'un ensemble d'indicateurs, à un véritable système d'indicateurs, constituant en soi un modèle de la complexité territoriale ».

Ce type de méthode permet de dépasser l'approche classique des tableaux de bord et listes d'indicateurs sectoriels proposés par grandes thématiques. L'élaboration d'un système peut aussi permettre d'éviter les redondances et les lacunes en indicateurs. Une autre hypothèse est que la mise en place d'un système d'indicateurs peut permettre de gérer la pluralité des objectifs et les contradictions entre acteurs d'un projet d'aménagement territorial. Elle reprend notamment les travaux de Rondier qui proposent de développer ce type d'approche dans les démarches d'aide à la décision conduites avec des acteurs de terrain. « Le système d'indicateur constitue un outil qui favorise la négociation et doit donc tenir compte de la variété des points de vue des décideurs » (Rondier, 2007). La conséquence en est que le système d'indicateurs doit être conçu en reconnaissant non seulement les savoirs scientifiques mais également les savoirs véhiculés par les acteurs. Ainsi au cours de son élaboration, le système devient un objet intermédiaire, évoluant au fil de la construction d'une représentation globale et commune de la réalité du

système territorial. Il se trouve au cœur d'un processus d'apprentissage commun aux scientifiques et aux acteurs.

En résumé, le système d'indicateurs permet de conserver un certain niveau de complexité tout en offrant une représentation organisée et simplifiée de la réalité, accessible à l'ensemble des acteurs participants à son élaboration.

Nous ne détaillerons pas dans ce rapport la démarche conduite pour produire le système d'indicateurs. En effet il s'agit d'un travail plus conséquent mené en parallèle dans le cadre des travaux de recherches d'un doctorat⁶ de géographie qui a pour objectif de définir, d'expérimenter et d'évaluer une méthode de production d'un système d'indicateurs destiné à l'analyse des dynamiques de périurbanisation sur le littoral languedocien. Il s'agit d'une démarche conceptuelle qui ne présente pas d'intérêt à être présentée dans ce rapport à visée opérationnelle. En outre, le système élaboré dans le cadre du doctorat propose davantage d'indicateurs qui n'étaient pas tous spécifiquement destinés à répondre aux besoins des acteurs du projet. Nous explicitons tout de même de façon succincte la démarche entreprise puisqu'elle a influencé le choix des indicateurs délivrés aux acteurs. Le travail de concertation a permis d'enrichir les recherches de thèse par les connaissances et représentations du territoire languedocien véhiculées par les acteurs institutionnels.

3.2. Description de la démarche

3.2.1. Analyse des usages et besoins pour garantir la qualité des indicateurs

La qualité d'un indicateur fait appel, selon l'OCDE, à trois notions : la pertinence, la fiabilité et l'opérationnalité. Roth (Roth, 2002) parle d'acceptabilité. Ce dernier point nous rappelle que le choix d'un indicateur n'est pas neutre mais subjectif et que les indicateurs sont aussi des instruments politiques. Le système d'indicateurs ne sera utilisé et n'atteindra son but qu'à condition d'être accepté par l'ensemble des utilisateurs. Il doit d'abord être en adéquation avec la question que se posent les acteurs. L'acceptation dépend d'un processus d'appropriation qui naît d'un travail en partenariat (Offredi, 2005) qui va « construire » la pertinence du système d'indicateurs. Les acteurs vont réfléchir ensemble aux différentes dimensions du champ qu'implique la question, aux critères d'évaluation, donc de choix des indicateurs et à la pérennité de chaque indicateur. La légitimité d'un système d'indicateurs se construit ainsi au fur et à mesure du processus de conception où l'ensemble des parties concernées est impliqué.

Pour assurer la légitimité politique des indicateurs, et pour engager un processus de co-construction, nous avons pris l'option d'interroger les acteurs sur leurs pratiques au quotidien en termes d'indicateurs. Nous avons soumis, à différents utilisateurs⁷, une base de 21 indicateurs spatialisés développés dans la phase initiale du projet⁸. Cette base comprend des indicateurs d'état sur l'occupation et la qualité des sols et des indicateurs de pression sur la consommation des sols par les surfaces artificialisées. Chacun est décrit par une fiche synthétique (mode de calcul, détails techniques, analyse critique, interprétation, représentations).

La réflexion a porté sur la capacité de ces indicateurs à répondre aux besoins et usages en indicateurs des acteurs. Les enquêtes, ont pris la forme d'entretiens en groupes restreints (1 à 6 personnes). Ces entretiens ont permis de dresser un état de l'art des indicateurs utilisés et ont contribué à cibler les thématiques prioritaires pour les acteurs du monde agricole et du secteur de l'aménagement. Un autre produit a été d'identifier les critères d'évaluation des indicateurs, du point de vue des utilisateurs. Les résultats de ces entretiens individuels ont ensuite été rediscutés à l'occasion de tables rondes réunissant l'ensemble des acteurs. Cette discussion a également eu lieu lors d'une formation sur le développement territorial conduite auprès d'agents des services de l'Etat, où un atelier de travail sur l'élaboration d'indicateurs destinés au suivi du développement urbain a permis d'étoffer nos analyses.

⁶ Etude menée dans le cadre d'un doctorat en Géographie et Aménagement de l'Espace rattaché à l'école doctorale ED60 Territoires, Temps, Sociétés et Développement de l'Université Paul Valéry Montpellier III. Intitulé de la thèse : « Indicateurs spatiaux et changements d'occupation et d'utilisation du sol : application à la périurbanisation en zone méditerranéenne »

⁷ Agents des services Aménagement et gestion territoriale des DDTM des quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon, de la Direction des études territoriales du Conseil Général de l'Hérault et personnes œuvrant pour la planification territoriale au sein de plusieurs Établissement Public de Coopération Intercommunale (Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée, Communauté d'Agglomération de Montpellier, Syndicat Mixte du Bassin de Thau) et à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement du Languedoc-Roussillon.

⁸ Ces indicateurs ont été retenus à partir d'un inventaire bibliographique des indicateurs existants. Les données sources utilisées pour la production de ces indicateurs sont des données produites dans le cadre du projet (taches artificialisées, indice de qualité des sols) et des données complémentaires retenues comme pertinentes (statistiques sur le logement, la démographie, etc.).

3.2.2. Elaboration d'un modèle conceptuel systémique

Passer d'un ensemble d'indicateurs à un système d'indicateurs consiste à identifier les relations entre les indicateurs. Le modèle permet d'organiser les indicateurs dans un ensemble cohérent. La modélisation s'est donc révélée constituer une étape préalable indispensable à l'élaboration d'un système d'indicateurs.

Un modèle est « une représentation schématique de la réalité élaborée en vue d'une démonstration » (Hagget, 1977 in Ferras, 1993). Il permet de mettre en relief une logique d'organisation et constitue ainsi une aide à la lecture de la complexité des mécanismes qui produisent les territoires. En outre il permet de comparer des situations géographiques et historiques différenciées. Il permet donc a priori le changement d'échelle spatio-temporelle pour l'analyse des phénomènes. L'élaboration d'un modèle peut enfin être le support à des démarches "participatives" en étant un support à la co-construction d'une représentation partagée du système territorial.

Le modèle DPSIR, cadre d'analyse retenu

Pour bâtir le modèle conceptuel nous nous sommes appuyés sur un cadre d'analyse existant, le modèle DPSIR (*Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses* ; en français, FPEIR : Forces motrices, Pressions, Etats, Impacts, Réponses).

Le modèle DPSIR fixe un cadre à l'analyse des interactions entre la société et l'environnement. Proposé en 1998 par l'Agence Européenne de l'Environnement il a d'abord été développé pour répondre à des problématiques environnementales. Ce modèle est un développement du modèle PER (Pression, Etat, Réponse) de l'OCDE (1993).

Selon Tonneau et al. (Tonneau et al., 2009) un grand avantage du modèle DPSIR est de permettre de relier des indicateurs de natures différentes sans pour autant recourir à un système d'agrégation, ni disposer d'une connaissance parfaite des causalités à évaluer. Le modèle DPSIR organise la séquence suivante : les activités humaines (activités économiques, sociales, consommation, innovations technologies etc.) constituent les forces motrices du système étudié. Ces activités exercent des pressions notamment sur les compartiments environnementaux (Ex : en termes d'émissions de polluants). Par conséquent, l'état des compartiments environnementaux (l'air, l'eau, le sol, les habitats, les espèces) est affecté (Ex : en termes de concentrations de polluants). En aval, ces changements de l'état des compartiments environnementaux induisent des impacts sur la santé des êtres vivants (hommes, flore et faune) et des systèmes de ressources, ainsi que des impacts économiques. En considérant le profil de ces différentes catégories, et particulièrement celui des impacts, des réponses correctives de la société sont élaborées et mises en œuvre. Qu'elles soient de nature réglementaire, économique ou volontaire, elles influencent à leur tour la configuration du système.

Le modèle DPSIR n'est pas stabilisé et l'on retrouve dans la littérature de nombreux cas divers de son application. Nous disposons ainsi d'une marge de manœuvre relative pour son adaptation.

Adaptation du modèle DPSIR

Pour adapter ce cadre théorique nous nous sommes notamment appuyés sur des travaux réalisés par le CERTU (SESP, CERTU, 2006). Les **forces motrices** sont considérées comme les évolutions structurelles (économiques et sociales) extérieures au système mais influençant celui-ci dans ses évolutions dynamiques. Ces forces motrices produisent des **pressions**, c'est-à-dire un ensemble de transformations qui s'exercent directement sur le **système territorial**. En effet, plutôt que de parler d'état environnemental nous faisons le choix de considérer l'ensemble des dimensions (environnementales mais également sociales et économiques) qui caractérisent un système territorial. Ce dernier est décrit par un **capital** (niveau de ressources environnementales et foncières) mais également par un **système d'activités**, entendu comme les forces productives du système et des **impacts** (environnementaux, sociaux et économiques) qui sont les variations induites du capital et du système d'activités. Les **réponses** sont les mesures publiques ou comportements privés adoptés en réponse à la variation du système territorial. Elles se répercutent de façon positive ou négative en termes de pressions, directement ou indirectement sur le système territorial et dans une moindre mesure en termes de forces motrices.

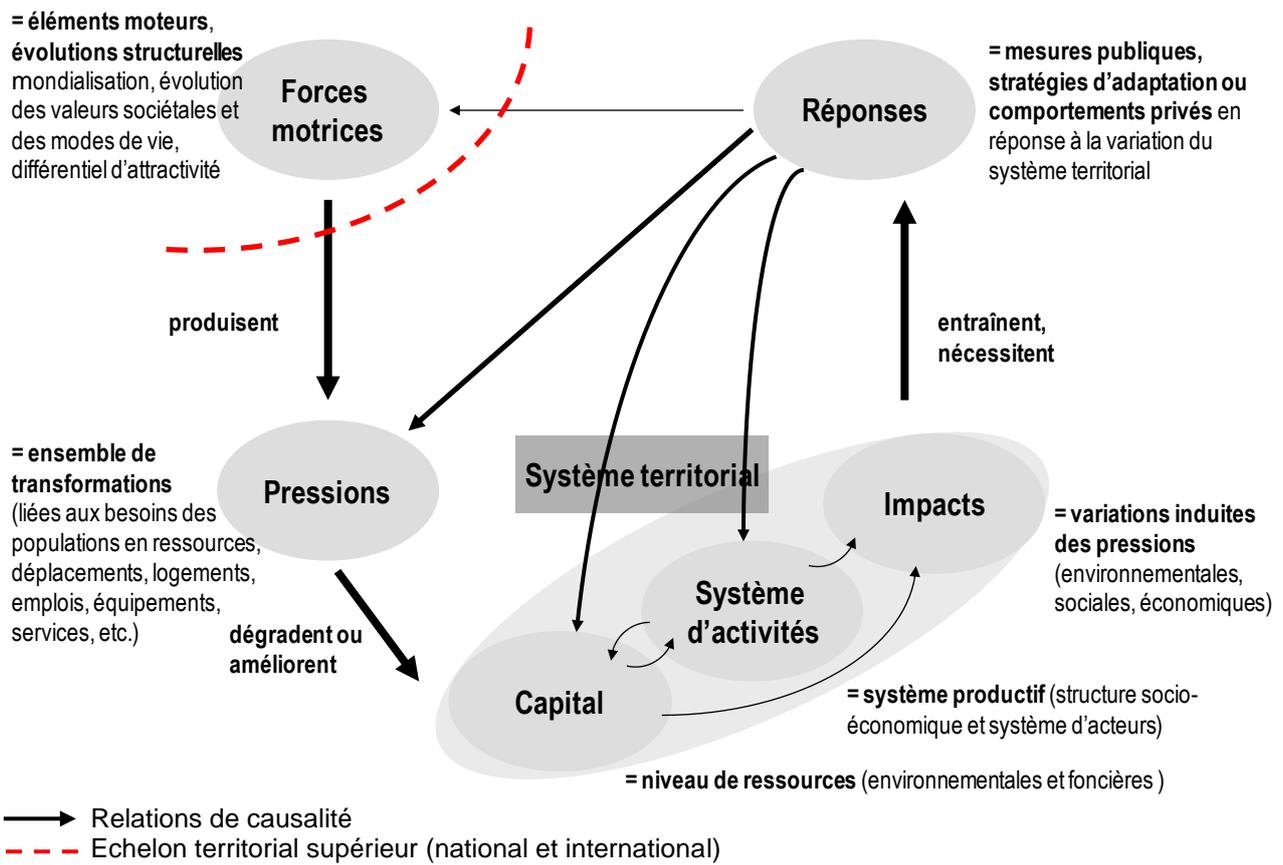


Figure n°23 : adaptation du cadre théorique DPSIR

Nous avons ensuite repris les principaux éléments du modèle pour décrire les dynamiques territoriales de distribution du peuplement et des activités à l'échelle du territoire languedocien, travail que nous avons choisi de ne pas présenter dans ce rapport. Acteurs et chercheurs se sont ensuite attachés à décliner le modèle pour analyser plus spécifiquement les dynamiques de consommation des terres par l'artificialisation.

3.2.3. Passage d'un modèle explicatif à un système d'indicateurs d'aide à la décision

Déclinaison des relations de causalité

Pour passer d'un modèle explicatif des dynamiques territoriales à un système d'indicateurs d'aide à la décision nous avons d'abord élaboré un graphe causal détaillé qui reprend les éléments du modèle conceptuel définis avec les acteurs. Chacune des relations de causalité ont ainsi été déclinées et explicitées. La figure ci-dessous reprend le graphe causal général appliqué à la problématique de l'étude objet de ce rapport.

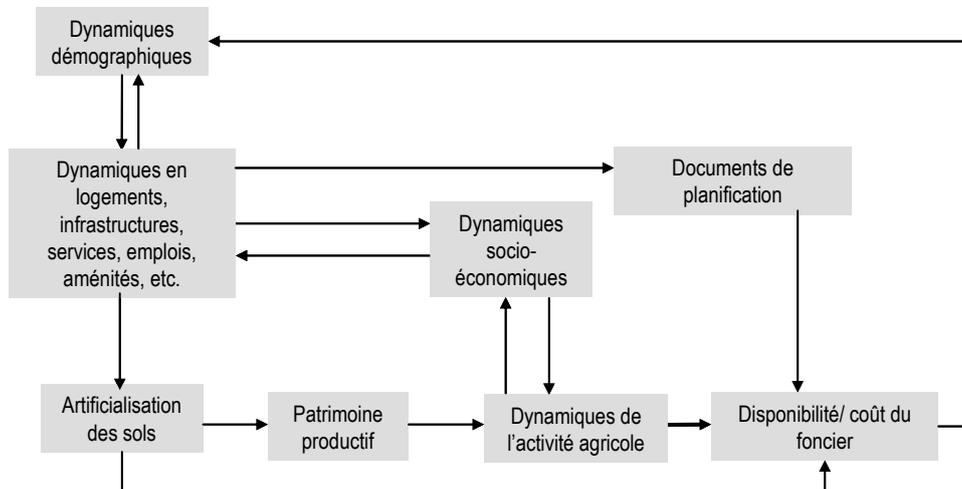


Figure n°24 : graphe causal général

En reprenant chacune des relations de causalité, acteurs et chercheurs se sont attachés à sélectionner un ensemble d'indicateurs les plus représentatifs pour les qualifier.

Choix des indicateurs

La sélection des indicateurs a pu être affinée à l'issue de la phase d'évaluation du premier jet d'indicateurs soumis aux utilisateurs potentiels, conduite de novembre 2008 à juillet 2009 (Cf. 3.2.1.). La contrainte des données disponibles a ensuite restreint le choix des indicateurs. Au final l'essentiel des indicateurs retenus se décline en indicateurs de pression, d'état et de variation du système territorial sous l'effet des transformations liées aux processus d'artificialisation des sols.

3.3. Indicateurs retenus (délivrés aux acteurs)

3.3.1. Informations techniques

Pour la production des indicateurs fournis aux acteurs trois types de données ont été mobilisés :

- l'Indice de Qualité des Sols couvrant le Languedoc-Roussillon produit par l'UMR LISAH,
- les taches artificialisées 1997 (couvrant les 4 départements littoraux du Languedoc-Roussillon et le sud de la Lozère) et 2009 (couvrant le Languedoc-Roussillon) produites par l'UMR TETIS,
- les recensements de population 1999 et 2007 du Languedoc-Roussillon produits par l'INSEE⁹.

Chaque indicateur peut être décliné à différentes mailles d'analyse (région, départements, cantons, zonage en aires urbaines et communes).

La carte ci-dessous illustre le découpage régional en fonction du zonage en aires urbaines de l'INSEE selon les résultats issus du recensement de 1999. Cette carte a valeur d'information pour permettre au lecteur de localiser les aires urbaines de la région auxquelles nous faisons référence par la suite. Les définitions des différentes catégories du zonage en aires urbaines sont les suivantes :

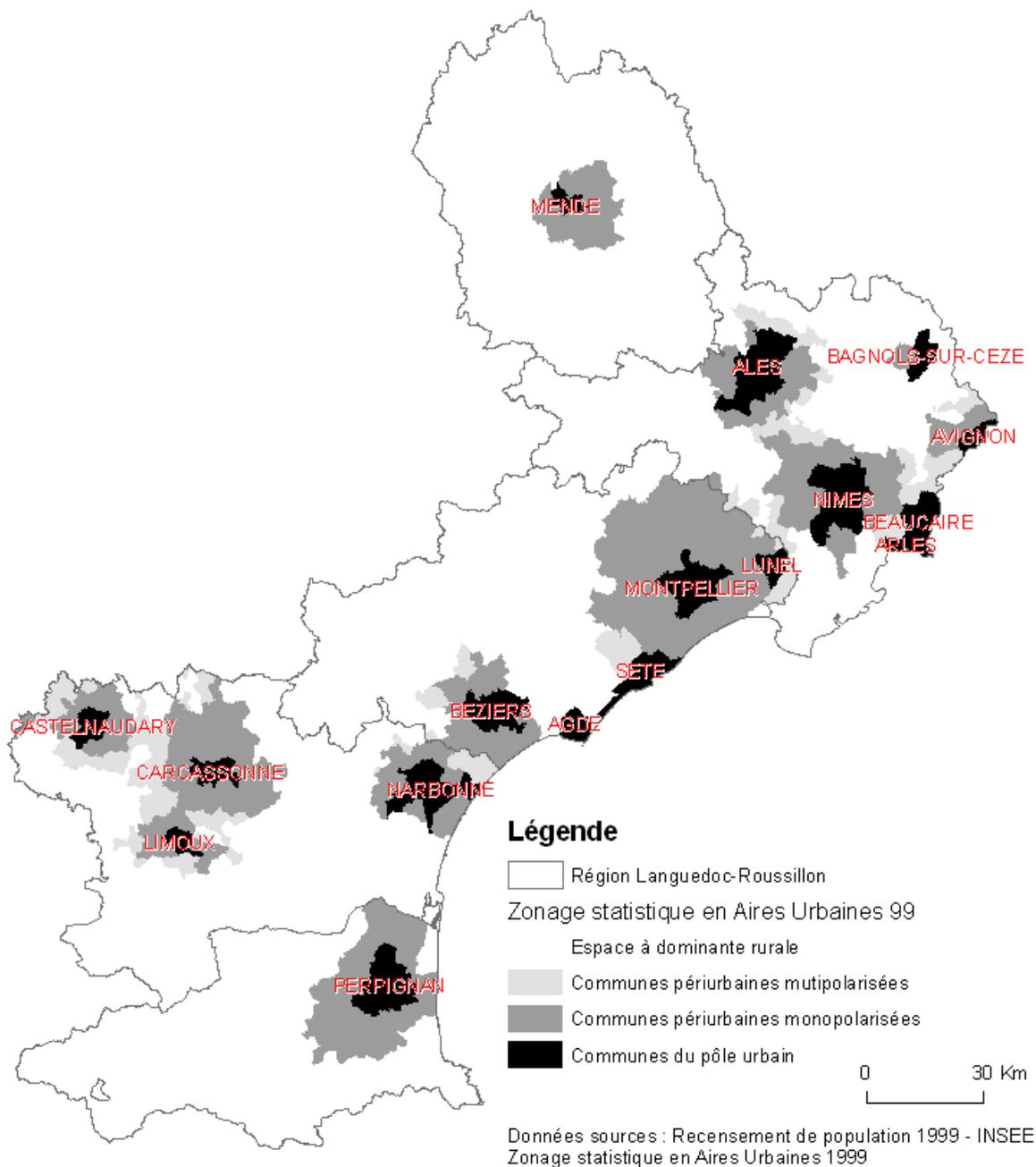
- espace à dominante rurale (ou espace rural) = ensemble des communes rurales et unités urbaines n'appartenant pas à l'espace à dominante urbaine,
- espace à dominante urbaine (ou espace urbain) = ensemble, d'un seul tenant, de plusieurs aires urbaines et des communes multipolarisées qui s'y rattachent. Dans l'espace à urbain multipolaire, les aires urbaines sont soit contiguës, soit reliées entre elles par des communes multipolarisées. Cet espace forme un ensemble connexe. Un espace urbain composé d'une seule aire urbaine est dit monopolaire.
- aire urbaine = ensemble de communes d'un seul tenant et sans enclave, constitué par un pôle urbain et par des communes rurales ou unités urbaines dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans le pôle urbain ou dans des communes attirées par celui-ci.
- pôle urbain = unité urbaine offrant 5000 emplois ou plus et n'appartenant pas à la couronne périurbaine d'un autre pôle urbain,
- couronnes périurbaines = ensemble des communes de l'aire urbaine à l'exclusion de son pôle urbain,
- communes multipolarisées = communes rurales et unités urbaines situées hors des aires urbaines dont au moins 40 % de la population résidente ayant un emploi travaille dans plusieurs aires urbaines, sans atteindre ce seuil avec une seule d'entre elles, et qui forment avec elles un ensemble d'un seul tenant.

⁹ INSEE Résultats du recensement de la population 2007

<http://www.recensement.insee.fr/home.action>

INSEE Recensement de la population Mars 1999 Les résultats

http://www.recensement-1999.insee.fr/RP99/rp99/page_accueil.paccueil



Carte n°1 : zonage en aires urbaines de l'INSEE du Languedoc-Roussillon en 1999

3.3.2. Synthèse des indicateurs spatiaux proposés

Les premiers indicateurs proposés se basent sur l'exploitation des données sources produites dans le cadre du projet, les taches artificialisées 1997 et 2009 et la qualification du potentiel agronomique des sols. Les taches artificialisées permettent de mesurer la superficie des espaces artificialisés à un instant t (1997 et 2009) en valeur absolue mais également en valeur relative pour considérer la part que représentent les espaces artificialisés par rapport à la superficie de la zone étudiée. Les taches artificialisées produites à deux dates suffisamment éloignées permettent également de suivre l'accroissement de l'artificialisation des sols dans le temps. A chaque fois ces indicateurs ont été calculés avec les trois types de taches (sans routes, grandes routes et toutes routes) afin de considérer l'influence des infrastructures routières dans la mesure et le suivi des espaces artificialisés. Le potentiel agronomique des sols permet de mesurer la superficie initiale des différentes Classes de Potentialité Agronomique des Sols (CPAS) avant toute artificialisation en valeur absolue mais également en valeur relative pour considérer la part qu'elles représentent par rapport à la superficie de la zone d'étude.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Artificialisation des sols					
Degré d'artificialisation des sols	Quantifier le phénomène d'artificialisation	Superficie (ha) des espaces artificialisés en 1997	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces artificialisés en 1997 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
		Superficie (ha) des espaces artificialisés en 2009		Région entière	Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces artificialisés en 2009 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
Variation du degré d'artificialisation des sols	Suivre le phénomène d'artificialisation	Variation de la superficie (ha) des espaces artificialisés entre 1997 et 2009	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Taches Artificialisées
		Evolution (%) de la superficie des espaces artificialisés entre 1997 et 2009			
Patrimoine agronomique des sols initial					
Potentiel agronomique des sols	Localiser et quantifier les sols en fonction de leur potentiel agronomique	Superficie (ha) des espaces par Classe de Potentiel Agronomique des Sol (CPAS)	Région, Départements, Cantons, Communes	Région entière	Potentiel Agronomique des Sols
		Part (%) des espaces par CPAS par rapport à la superficie totale de la zone d'étude			

Tableau n°1 : indicateurs d'artificialisation et de potentialité agronomiques des sols

Le croisement de ces deux informations de base permet de considérer l'état de la consommation des terres par les espaces artificialisés à un instant t en fonction de leur potentiel agronomique et l'évolution de cette superficie consommée entre deux dates. Les indicateurs proposés permettent donc de quantifier et de suivre, pour chaque classe de potentiel agronomique des sols, la superficie perdue par artificialisation et celle restante. A chaque date on peut mesurer ce que représentent ces superficies par rapport à la superficie de la zone d'étude mais également par rapport à l'ensemble des espaces artificialisés et par rapport à la superficie initiale des classes de potentiel agronomique des sols.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Patrimoine agronomique des sols non artificialisé					
Patrimoine agronomique des sols non artificialisé	Localiser et quantifier les sols non artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Superficie (ha) des espaces non artificialisés par CPAS en 1997	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols - Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie de la CPAS initiale			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces non artificialisés en 1997			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie totale de la zone d'étude			
		Superficie (ha) des espaces non artificialisés par CPAS en 2009		Région entière	Potentiel Agronomique des Sols - Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie de la classe de PAS initiale			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces non artificialisés en 2009			
		Part (%) des espaces non artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie totale de la zone d'étude			
Variation du patrimoine agronomique des sols non artificialisé	Suivre les sols non artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Variation de la superficie (ha) des espaces non artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols - Taches Artificialisées
		Evolution (%) des espaces non artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009			
Patrimoine agronomique des sols artificialisé					
Patrimoine agronomique des sols artificialisé	Localiser et quantifier les sols artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Superficie (ha) des espaces artificialisés par CPAS en 1997	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols + Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie de la CPAS initiale			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces artificialisés en 1997			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 1997 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
		Superficie (ha) des espaces artificialisés par CPAS en 2009		Région entière	Potentiel Agronomique des Sols + Taches Artificialisées
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie de la CPAS initiale			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS par rapport à la superficie totale des espaces artificialisés en 2009			
		Part (%) des espaces artificialisés par CPAS en 2009 par rapport à la superficie de la zone d'étude			
Variation du patrimoine agronomique des sols artificialisé	Suivre les sols artificialisés en fonction de leur potentiel agronomique	Variation de la superficie (ha) des espaces artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Potentiel Agronomique des Sols + Taches Artificialisées
		Evolution (%) des espaces artificialisés par CPAS entre 1997 et 2009			

Tableau n°2 : indicateurs de perte d'un potentiel agronomique des sols par artificialisation

L'importance des dynamiques démographiques permet de considérer l'attractivité du territoire et ainsi l'un des éléments moteurs favorisant l'accroissement des espaces artificialisés. Une augmentation de la population entraîne un accroissement des besoins en logements mais également en infrastructures routières, en zones de loisirs, en zones commerciales et en zones d'emplois. Les deux derniers

recensements de population produits par l'INSEE datent de 1999 et 2007. Les soldes migratoires et naturels entre les deux dates apportent des éléments de précision sur l'attractivité et la structure de population représentative de la zone étudiée. Un solde migratoire important révèle un flux de population entrant conséquent qui traduit une forte attractivité. Un solde naturel élevé indique une forte proportion de couples avec enfants, etc.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Dynamiques de population					
Démographie	Mesurer l'importance de la population	Nombre d'habitants en 1999	Région, Départements, Cantons, Communes	Région entière	Recensements de population 1999 et 2007
		Nombre d'habitants en 2007			
Dynamisme démographique	Suivre l'attractivité du territoire	Variation (nbre habt) du nombre d'habitants entre 1999 et 2007	Région, Départements, Cantons, Communes	Région entière	Recensements de population 1999 et 2007
		Evolution (%) du nombre d'habitants entre 1999 et 2007			
		Solde naturel entre 1999 et 2007			
		Solde migratoire entre 1999 et 2007			
		Taux de croissance démographique (%) lié au solde naturel entre 1999 et 2007			
		Taux de croissance démographique (%) lié au solde migratoire entre 1999 et 2007			

Tableau n°3 : indicateurs de dynamiques démographiques

Les dates des recensements de population (1999 et 2007) sont différentes de celles des taches artificialisées (1997 et 2009), cependant elles sont suffisamment rapprochées pour croiser les deux informations et en tirer des analyses. La densité nette constitue un indicateur pertinent pour considérer les dynamiques d'étalement des espaces artificialisés. Ce calcul porte sur le rapport de l'effectif de population non plus à la superficie totale de la zone étudiée, dite superficie brute, mais à la superficie artificialisée. Cela permet de considérer grossièrement la compacité des espaces artificialisés et leurs dynamiques d'étalement ou de densification entre deux dates.

Nom	Objectif poursuivi	Description	Maille d'analyse	Etendue	Données
Densité nette (habitants par ha artificialisé)					
Importance de la population par rapport aux espaces artificialisés	Mesurer le nombre d'habitant rapporté à la superficie artificialisée et de la zone d'étude	Densité brute de population (nbre d'habt par hectare de la zone d'étude) en 1999	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Densité nette de population (nbre d'habt par ha artificialisé) en 1999		Région entière	
		Densité brute de population (nbre d'habt par hectare de la zone d'étude) en 2007			
		Densité nette de population (nbre d'habt par ha artificialisé) en 2007			
Dynamiques démographiques et dynamiques d'artificialisation	Suivre le nombre d'habitant rapporté à la superficie artificialisée	Variation (nbre d'habt par ha artificialisé) de la densité nette de population entre 1999 et 2007	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Evolution (%) habt par ha artificialisé) de la densité nette de population entre 1999 et 2007			
Inverse de la densité nette (m² artificialisée par habitant)					
Importance de l'artificialisation par habitant	Mesurer la superficie artificialisée par habitant	Superficie artificialisée par habitant (m ² /habt) en 1999 (inverse de la densité nette)	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Superficie artificialisée par habitant (m ² /habt) en 2007 (inverse de la densité nette)		Région entière	
Dynamiques démographiques et dynamiques d'artificialisation	Suivre la superficie artificialisée par habitant	Variation (m ² par habt) superficie artificialisée entre deux dates par habitant supplémentaire entre 1999 et 2007	Région, Départements, Cantons, Communes	Départements littoraux + sud Lozère	Recensements de population 1999 et 2007 + Taches Artificialisées
		Evolution (% de m ² par habt) superficie artificialisée entre deux dates par habitant supplémentaire entre 1999 et 2007			

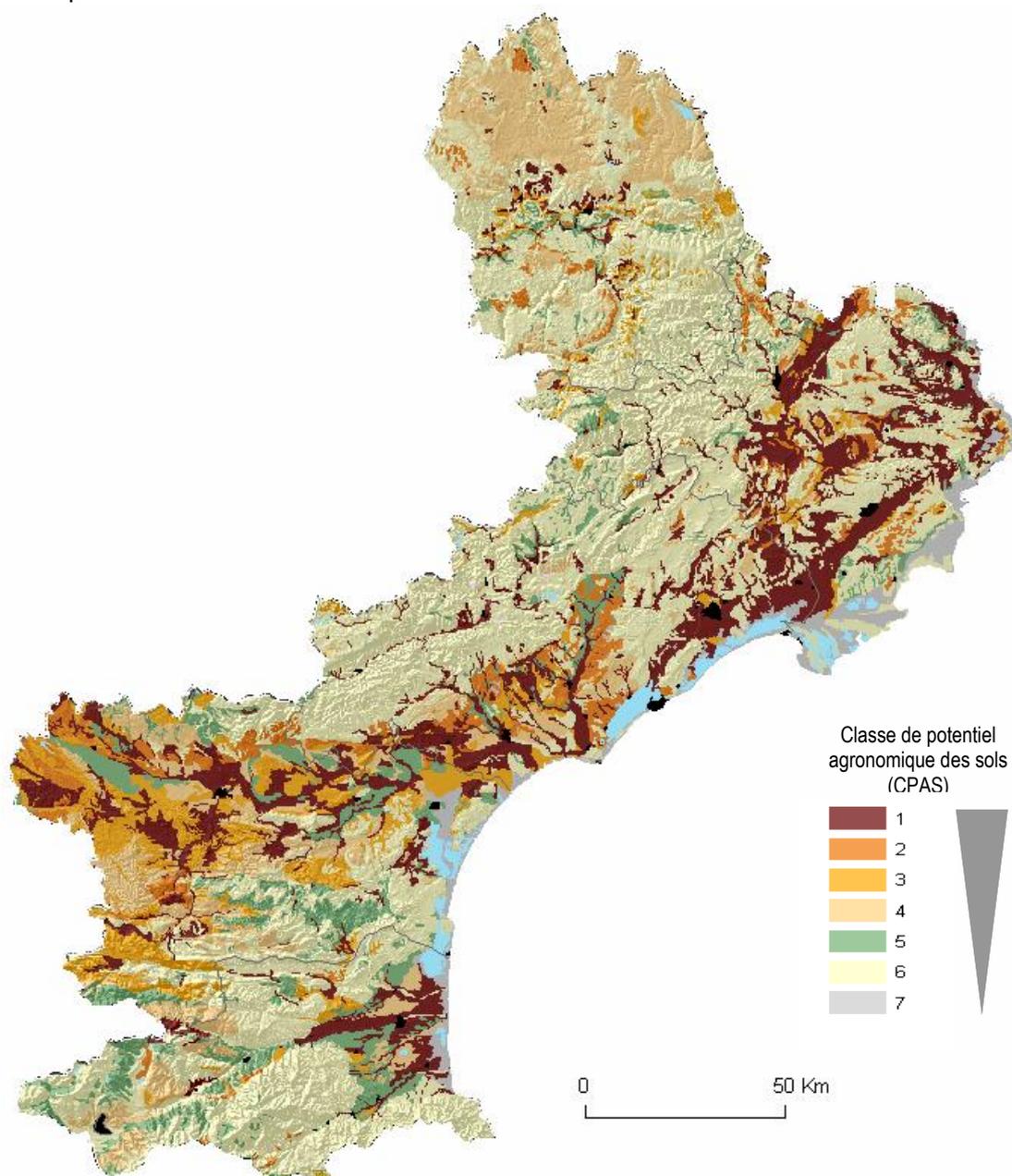
Tableau n°4 : indicateurs croisant dynamiques démographiques et artificialisation des sols

Albert et al. (2008) vont plus loin en proposant le calcul d'autres types de densités basées sur l'exploitation de données complémentaires (nombre de logements, nombre d'emploi, etc). Ils différencient ainsi par exemple la densité résidentielle qui correspond à la densité brute de logements (nombre de logements/superficie communale) et la densité d'habitat qui correspond à la densité nette de logements (nombre de logements/superficie artificialisée). Des indicateurs complémentaires de ce type ont été calculés dans les travaux conduits en parallèle dans le cadre du doctorat de géographie évoqués précédemment (Cf. 3.1.2). Ils se basent sur l'exploitation de la tache artificialisée et non de la tache urbaine comme c'est le cas dans la majorité des études existantes.

3.4. Principaux résultats à l'échelle régionale et départementale

3.4.1. Distribution des types de sols en fonction de leur potentiel agronomique

La figure ci-dessous présente une interprétation possible de l'Indice de Qualité des Sols à l'échelon régional (Cf. annexe n°4). Elle s'appuie sur un gradient numérique de 1 (sols de haute valeur agronomique) à 7 (sols de faible valeur agronomique). La réserve utile des sols a été considérée comme un critère déterminant du fait de l'irrégularité de l'approvisionnement en eau duquel dépend l'agriculture en Languedoc-Roussillon. C'est donc une classification essentiellement basée sur la capacité des sols à stocker l'eau qui a été retenue.



Carte n°2 : exemple de classification en classes de potentiel agronomique des sols (CPAS) selon un gradient de réserve utile dans les unités cartographiques des sols (par ordre décroissant)

Quelques éléments de lecture et d'interprétation de cette nomenclature

Les Unités Cartographiques de Sol (UCS) permettent de spatialiser l'IQS par agrégation. Une nomenclature simplifiée de la donnée produite par l'UMR LISAH a été proposée par l'équipe de l'UMR TETIS. Elle s'appuie sur une hiérarchisation en 7 classes de potentiel agronomique des sols qui se base sur un regroupement des UCS en fonction de leur proportion d'IQS 1.

- Les classes 1 et 2 regroupent les UCS qui ont une proportion de sols d'IQS 1 supérieure à 50% donc celles qui sont représentées par les meilleurs sols.
- Les classes 3 et 4 regroupent les UCS qui ont une proportion de sols d'IQS 1 supérieure à 10 % mais inférieure à 50%, donc celles représentées par une majorité de sols médiocres.
- Les classes 5 et 6 regroupent les UCS qui ont une proportion de sols d'IQS 1 très faible voir nulle (<10%), donc celles représentées par une majorité de sols à faibles potentialités agronomiques.
- La classe 7 regroupe les UCS dont les sols sont principalement salins donc impropres à tous types de culture.

Réserve utile en eau	Supérieure à 125 (mm)	Entre 75 et 125 (mm)	Inférieure à 75 (mm)	Sols salins
Classe de potentiel agronomique des sols	%surface IQS1 / UCS	%surface IQS 2 / UCS	%surface IQS 3 / UCS	%surface IQS 4 / UCS
0	Non déterminé	Non déterminé	Non déterminé	Non déterminé
1	70-100	0-30	0-30	0-5
2	50-70	0-50	0-50	0-50
3	30-50	0-70	0-70	0-60
4	10-30	0-90	0-90	0-90
5	0-10	50-100	0-50	0
6	0-10	0-50	50-100	0-20
7	0	0	0-35	65-100

Tableau n° 5 : composition des classes de potentiel agronomique

La hiérarchisation de l'Indice de Qualité des Sols en trois classes (IQS 1, 2 et 3) se base principalement sur l'importance de la réserve utile des sols. Une quatrième classe (IQS 4) représente une contrainte « absolue » qui discrédite entièrement le potentiel du sol lorsqu'elle existe. Il s'agit de la présence de salinité.

- L'IQS 1 concerne les sols qui ont une réserve utile supérieure à 125 mm considérés par ce classement comme les meilleurs sols pour accueillir tous types d'usages agricoles.
- L'IQS 2 concerne les sols qui ont une réserve utile inférieure à 125 mm mais supérieure à 75 mm considérés comme médiocres.
- L'IQS 3 concerne les sols qui ont une réserve utile inférieure à 75 mm considérés comme mauvais.
- L'IQS 4 concerne les sols salins considérés comme impropres à tous types d'usages agricoles.

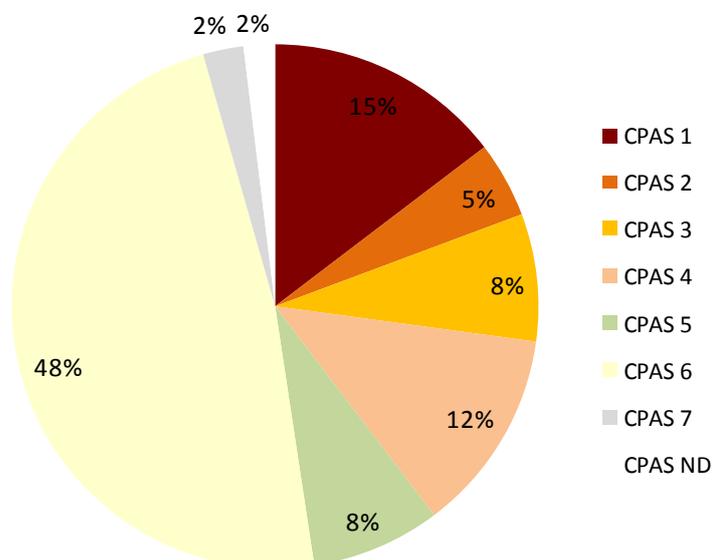


Figure n°25 : part initiale des classes de potentiel agronomique des sols par rapport à la superficie régionale

La figure 25 page précédente illustre la part de chacune des CPAS rapportée à la superficie de la région. Avant toute artificialisation la répartition des classes de potentiel agronomique des sols fait apparaître une forte proportion de sols à faibles potentialités agronomiques, 48 % des sols appartiennent à la classe 6, soit environ la moitié de la superficie régionale. Les sols à hautes potentialités agronomiques représentent respectivement 15 % et 5 % pour les classes 1 et 2, soit environ 1/5ème de la superficie régionale.

Départements	CPAS 1	CPAS 2	CPAS 3	CPAS 4	CPAS 5	CPAS 6	CPAS 7	CPAS ND
Aude	104966	36479	140928	109302	84014	135383	12017	9685
Gard	133378	32778	18613	9466	26972	318977	36290	9661
Hérault	112888	41788	24371	35415	24292	349500	11708	22822
Lozère	16680	13546	22923	152923	19354	289557	0	1679
Pyrénées-Orientales	37738	5244	11340	40440	65617	238059	8581	6474
Languedoc-Roussillon	405651	129835	218175	347546	220248	1331476	68596	50322

Tableau n°6 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département

Le schéma ci-dessous propose de restituer la distribution initiale de la superficie (en ha) des classes de potentiel agronomique des sols par département.

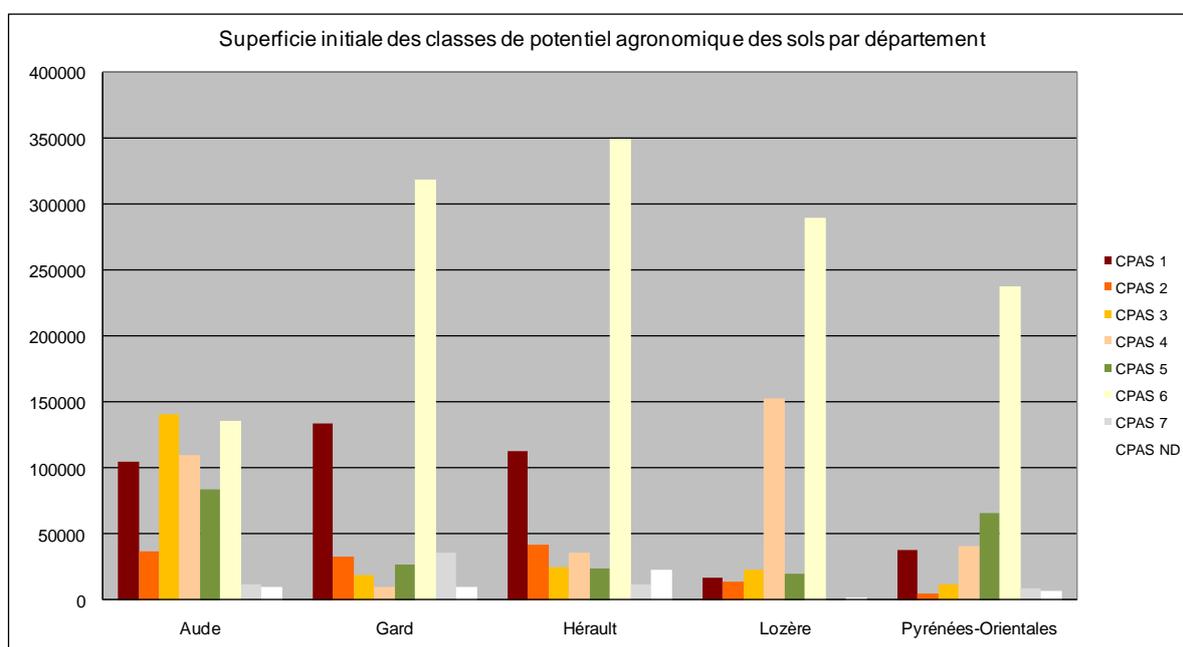
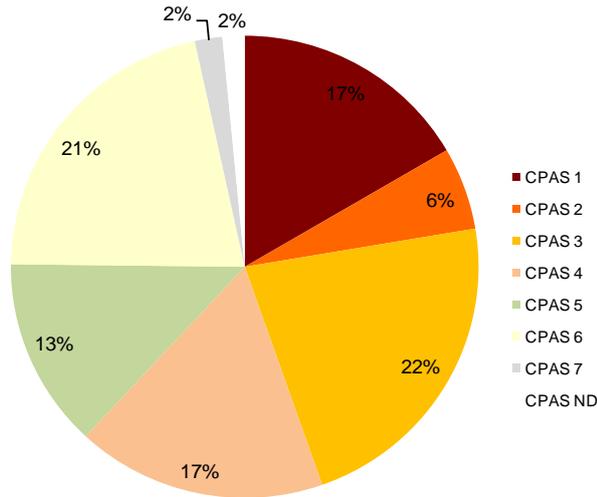


Figure n°26 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département

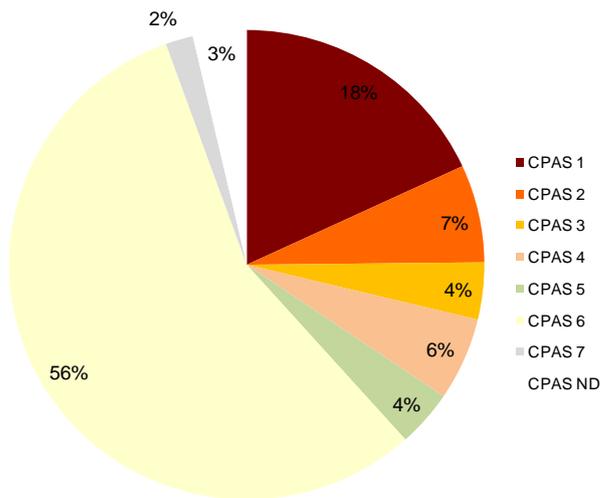
Le Gard, l'Hérault et l'Aude sont les mieux pourvus en sols de fortes potentialités agronomiques, environ 20 % de la superficie départementale. Pourtant nous verrons que ce sont le Gard et l'Hérault qui subissent les plus fortes dynamiques d'artificialisation entre 1997 et 2009. La Lozère et les Pyrénées-Orientales possèdent peu de bons sols, respectivement 3 % et 9 % de la superficie départementale. Les sols de faibles potentialités agronomiques occupent plus de 50 % de la superficie des départements du Gard, de l'Hérault, de la Lozère et des Pyrénées-Orientales. Ce dernier est particulièrement mal pourvu en bons sols, puisque les classes 5 et 6 représentent 74 % de la superficie départementale.

La figure 27 page suivante illustre ces mêmes résultats en valeurs relatives et sous forme de camemberts.

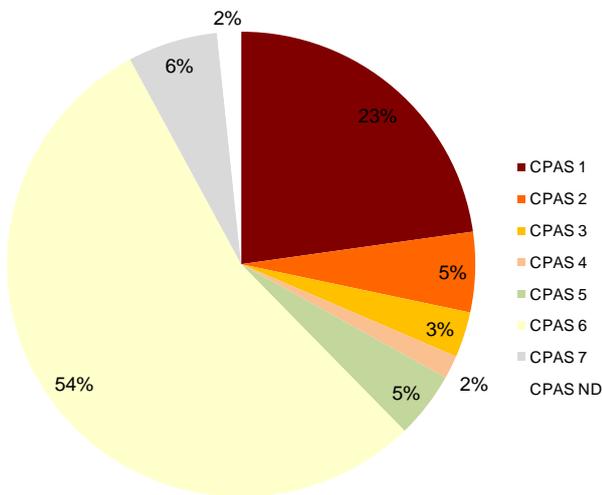
Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie de l'Aude



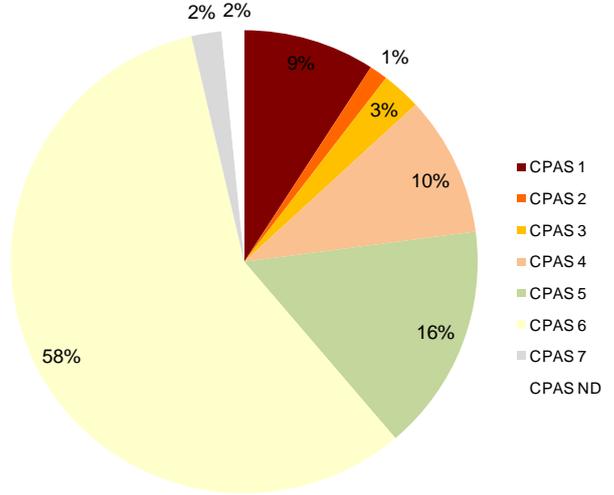
Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie de l'Hérault



Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie du Gard



Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie des Pyrénées-Orientales



Part initiale des groupes de sol par rapport à la superficie de la Lozère

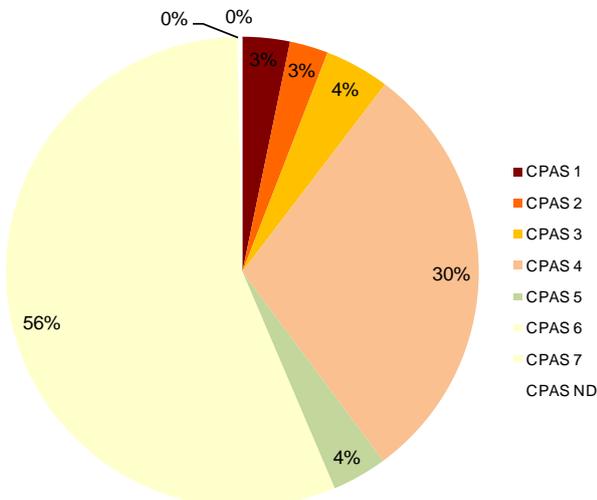
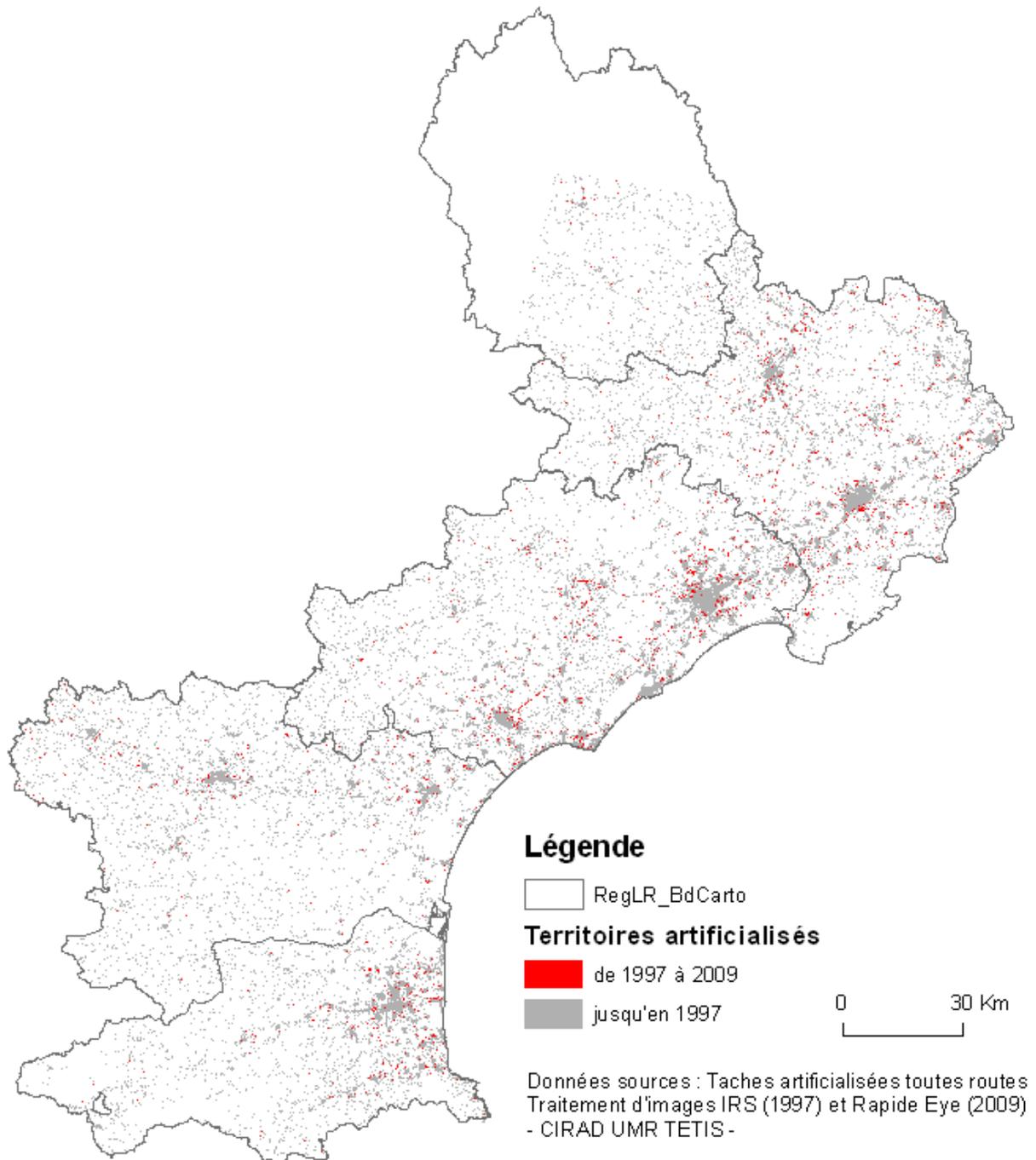


Figure n°27: part des CPAS / superficie départementale

3.4.2. Progression de l'artificialisation

La carte ci-dessous illustre la progression des taches artificialisées de 1997 à 2009 à l'échelle des 4 départements littoraux du Languedoc-Roussillon et du sud de la Lozère. Pour le calcul des indicateurs nous avons considéré uniquement les 4 départements littoraux afin de pouvoir fournir des éléments chiffrés de comparaison entre départements.



Carte n°3 : taches artificialisées toutes routes 1997 et 2009

	Superficie en ha			Part (%) / superficie de la zone d'étude		Taux d'évolution (%) 97-09
	1997	2009	Chgts 97-09	1997	2009	
Espaces artificialisés toutes routes	242396	261707	19311	10,7	11,6	8,0
Espaces artificialisés grandes routes	127017	146816	19800	5,6	6,5	15,6
Espaces artificialisés sans routes	113469	133280	19811	5,0	5,9	17,5

Superficie de la zone d'étude : 2 264 454 ha

Tableau n°7 : évolution des différents types de taches artificialisées de 1997 à 2009 à l'échelle des 4 départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)

Si l'on considère les trois types de taches artificialisées (Cf. 2.3.3.) les changements d'occupation du sol en faveur de l'artificialisation entre 1997 et 2009 représentent presque 20.000 hectares, soit 0,8.% de la superficie des 4 départements littoraux.

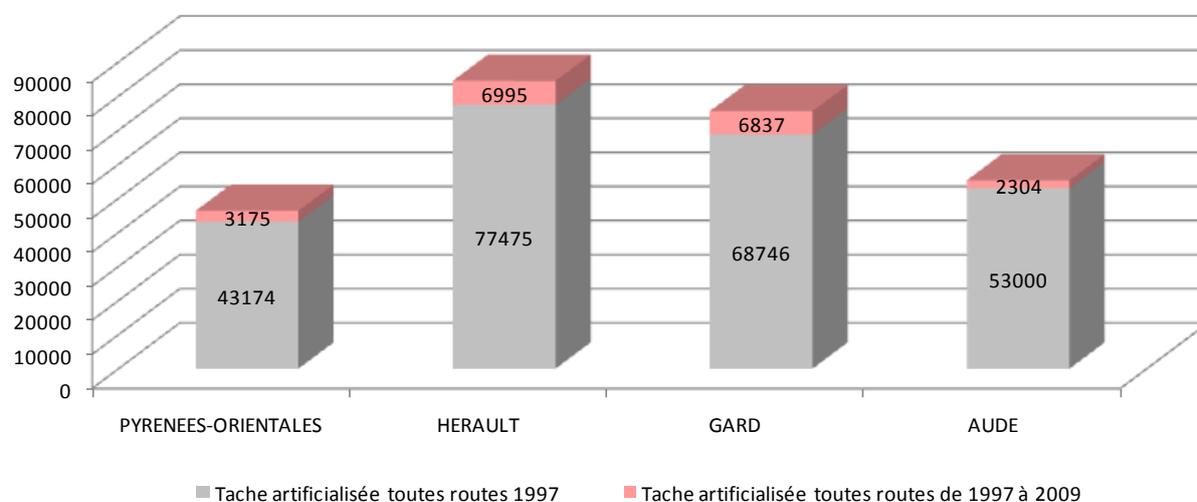
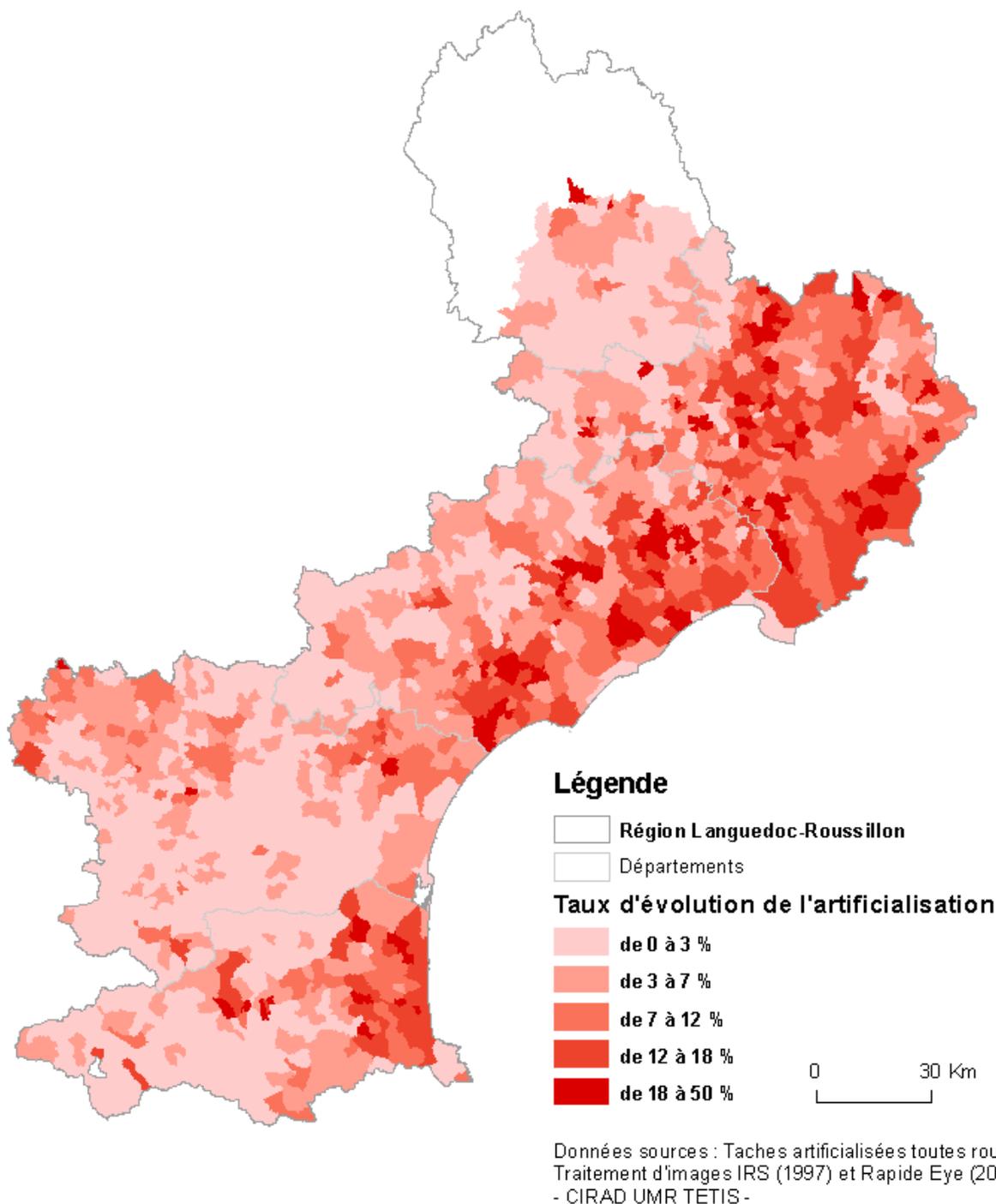


Figure n°28 : taches artificialisées toutes routes en 1997 et de 1997 à 2009 en hectares

Si l'on s'intéresse par exemple à la tache artificialisée toutes routes ce sont les départements de l'Hérault et du Gard qui sont les plus concernés par l'accroissement des superficies artificialisées entre 1997 et 2009 avec un taux d'évolution respectif de 9 et 10 %, soit environ 7000 hectares artificialisés en plus dans chacun des deux départements. Le département de l'Aude apparaît moins touché par ce phénomène avec un taux d'évolution de 4,3 % de la superficie artificialisée soit une perte de 2300 hectares. Quant au département des Pyrénées-Orientales il subit tout de même une évolution de 7,4 % des espaces artificialisés qui représentent 11 % de la surface départementale en 2009.

Départements	Superficie en ha				Part (%) / superficie de la zone d'étude		Taux d'évolution (%) 97-09
	1997	2009	chgts 97-09	1997	2009		
Pyrénées-Orientales	416139	43174	46349	3175	10,4	11,1	7,4
Hérault	624789	77475	84470	6995	12,4	13,5	9,0
Gard	588826	68746	75583	6837	11,7	12,8	9,9
Aude	634700	53000	55304	2304	8,4	8,7	4,3
4 départements littoraux	2264454	242396	261707	19311	10,7	11,6	8,0

Tableau n°8 : évolution de la tache artificialisée toutes routes de 1997 à 2009 pour chacun des départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)



Carte n°4 : évolution de l'artificialisation de 1997 à 2009

La carte ci-dessus permet d'observer une forte différenciation régionale. L'est et le littoral sont particulièrement dynamiques en termes d'artificialisation, l'ouest et l'arrière-pays connaissent des dynamiques plus modérées. Les plus forts taux d'artificialisation de 1997 à 2009 concernent les aires urbaines dynamiques de la région et le territoire en cours de métropolisation reliant Sète à Alès polarisé par la métropole montpelliéraine (Cf. Carte n°1). Le Gard et l'Hérault sont donc les départements les plus marqués par l'accroissement des superficies artificialisées. Comme nous l'avons vu (Cf. 3.4.1.) ce sont également ceux qui possèdent la plus forte proportion de sols de haute potentialité agronomique. Les résultats issus du croisement du potentiel agronomique avec les taches artificialisées décrits pages suivantes confirment cette tendance.

3.4.3. Artificialisation des sols par classe de potentiel agronomique des sols

Les résultats rapportés ci-dessous proposent de quantifier l'artificialisation des sols en fonction de leur potentiel agronomique pour les 4 départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard) selon trois approches différentes. La première approche propose une mesure de la part que représente l'artificialisation des différentes classes de sols par rapport à l'ensemble de la superficie de la zone d'étude. La deuxième approche apporte une information différente puisqu'elle s'intéresse à la répartition de l'artificialisation en fonction des classes de potentiel agronomique des sols. Enfin la dernière approche considère pour chaque classe de sol la part perdue par rapport à la superficie initiale de ces classes.

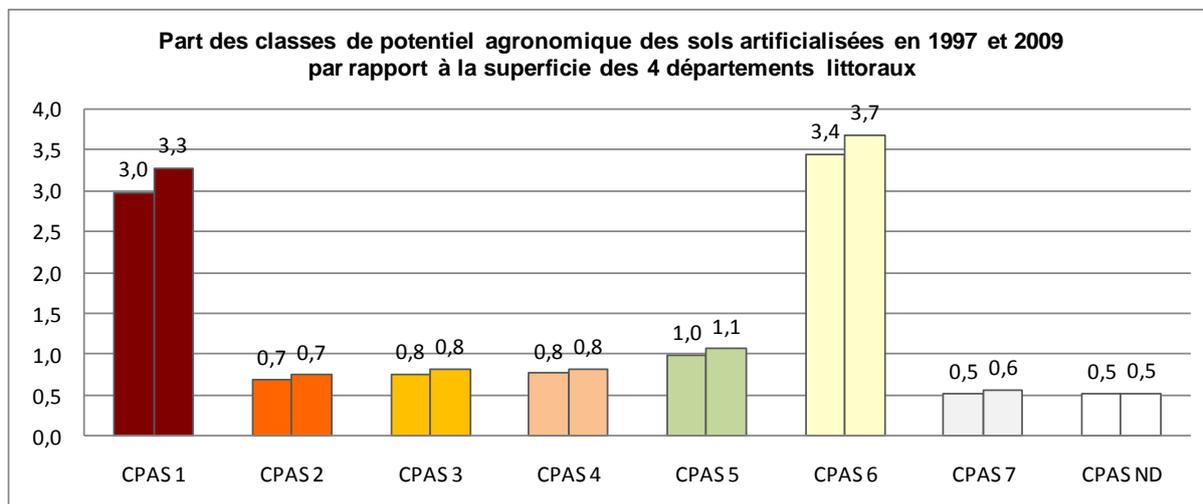


Figure n°29 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des 4 départements littoraux

A l'échelle des 4 départements littoraux la part des sols de classe 1 touchés par l'artificialisation représentait 3 % de la superficie totale de la zone d'étude en 1997 et 3,3 % en 2009 ; la part des sols de classe 6 touchés par l'artificialisation représentait 3,4 % de la superficie totale de la zone d'étude en 1997 et 3,7 % en 2009. Ainsi 0,3 % de la superficie des 4 départements littoraux a été artificialisée aux dépends des très bons sols et 0,3% aux dépends des sols de qualité médiocre. La part représentée par l'artificialisation des autres classes de sols n'a quasiment pas évolué. Pour une étude plus fine il apparaît plus pertinent de considérer comment se répartit l'artificialisation entre les différentes classes de sols dans un premier temps puis pour chacune d'entre elles.

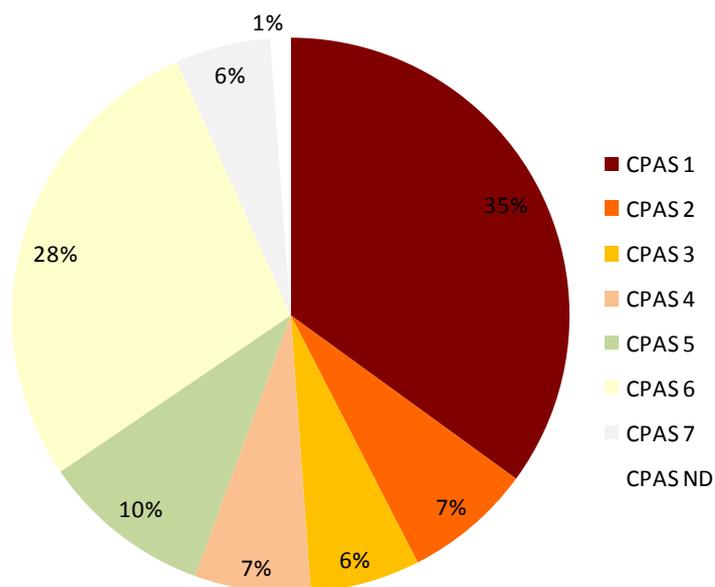
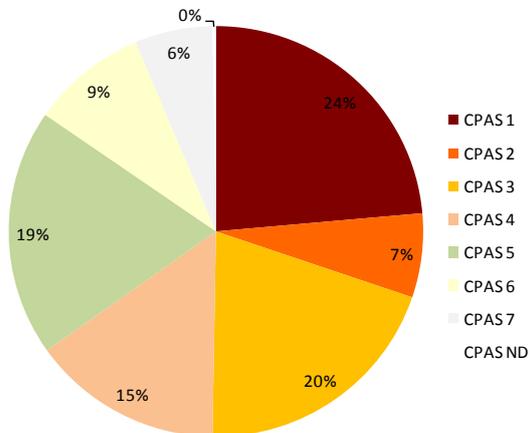


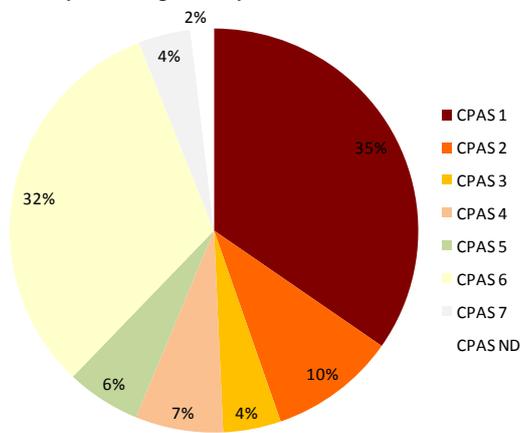
Figure n°30 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisés (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009

Entre 1997 et 2009 35 % de l'artificialisation s'est faite sur les sols de classe 1 soit de meilleure potentialité agronomique ; 28 % sur les sols de classe 6 de faible potentialité agronomique. Ce constat paraît inquiétant dans la mesure où 1/3 de l'accroissement des espaces artificialisés a touché directement les sols de haute potentialité agronomique qui ne représentaient initialement que 15% de la superficie régionale (Cf. figure n°25).

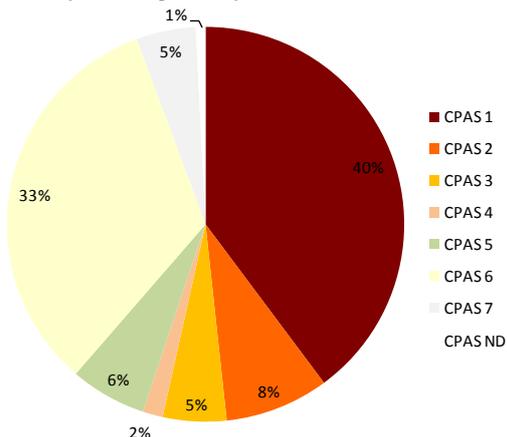
Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans l'Aude



Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans l'Hérault



Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans le Gard



Part (%) des sols artificialisée (toutes routes) entre 1997 et 2009 par classe de potentiel agronomique des sols dans les PO

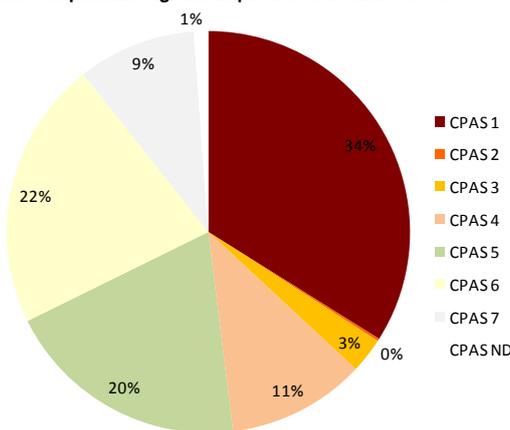


Figure n°31 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009

Une analyse par département permet d'observer des variations dans ces rapports d'une zone à l'autre. La situation est particulièrement préoccupante dans le Gard et dans l'Hérault. L'artificialisation entre 1997 et 2009 dans le département du Gard s'est faite à 48 % sur les classes 1 et 2 cumulées et à 45 % dans le département de l'Hérault. Pour ces deux départements quasiment la moitié des espaces nouvellement artificialisés entre 1997 et 2009 concernent des sols de haute potentialité agronomique qui couvrent, pour rappel, respectivement 28% et 25% seulement des superficies de ces départements (Cf. figure n°27).

Les départements de l'Aude et des Pyrénées-Orientales ne sont pas épargnés pour autant puisque l'artificialisation s'est faite respectivement à 31 % et à 34 % sur les classes 1 et 2. Or les Pyrénées-Orientales, en particulier, possèdent initialement une très faible proportion de sols de bon potentiel agronomique (10% de la superficie du département). Une dernière approche rapportant la part de l'artificialisation à la superficie initiale de chacune des classes de sols apparaît donc nécessaire.

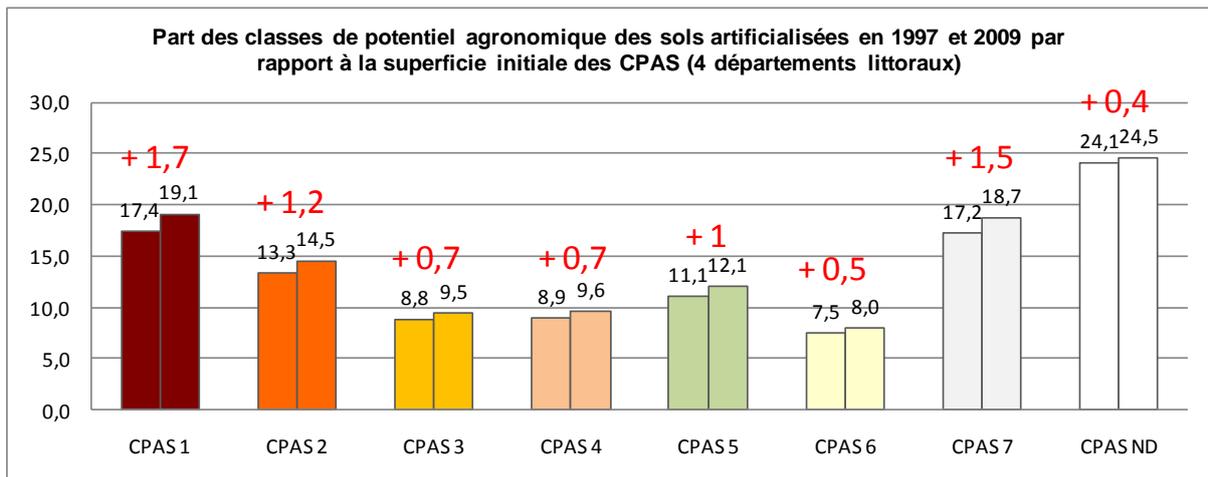
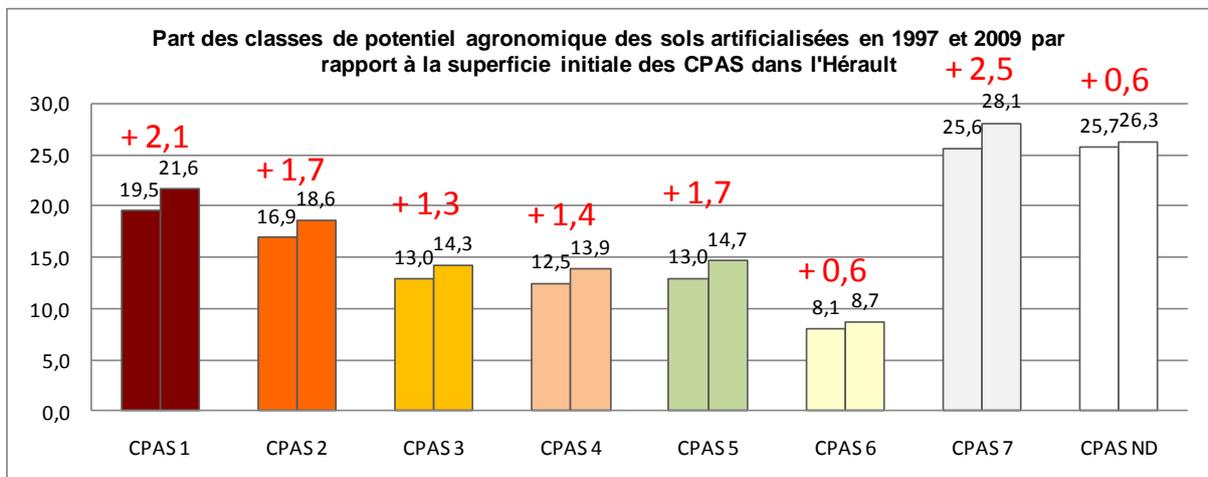
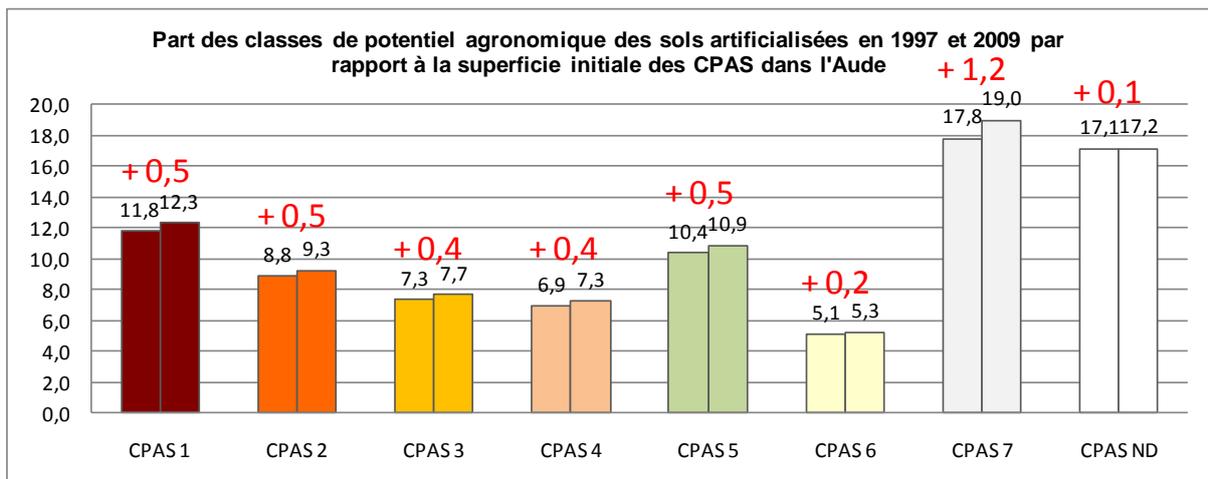


Figure n°32 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales

A l'échelle des 4 départements littoraux on constate que les sols qui ont perdu le plus de superficie par artificialisation entre 1997 et 2009 sont les sols appartenant aux classes 1, 7 et 2, qui ont perdu respectivement 1,7 %, 1,5 % et 1,2 % de leur superficie en 12 ans. Dès 1997 le constat est alarmant puisque presque 1/5ème des sols de classe 1 et 13 % des sols de classe 2 sont consommés par les espaces artificialisés. Les sols salins donc a très faible potentiel agronomique ont également subi une perte importante liée à l'artificialisation, presque 1/5ème de leur superficie. Pour une analyse plus fine l'idéal serait de disposer au minimum d'une troisième date à au moins dix ans d'intervalle pour comparer les rythmes d'artificialisation des sols à différentes périodes.



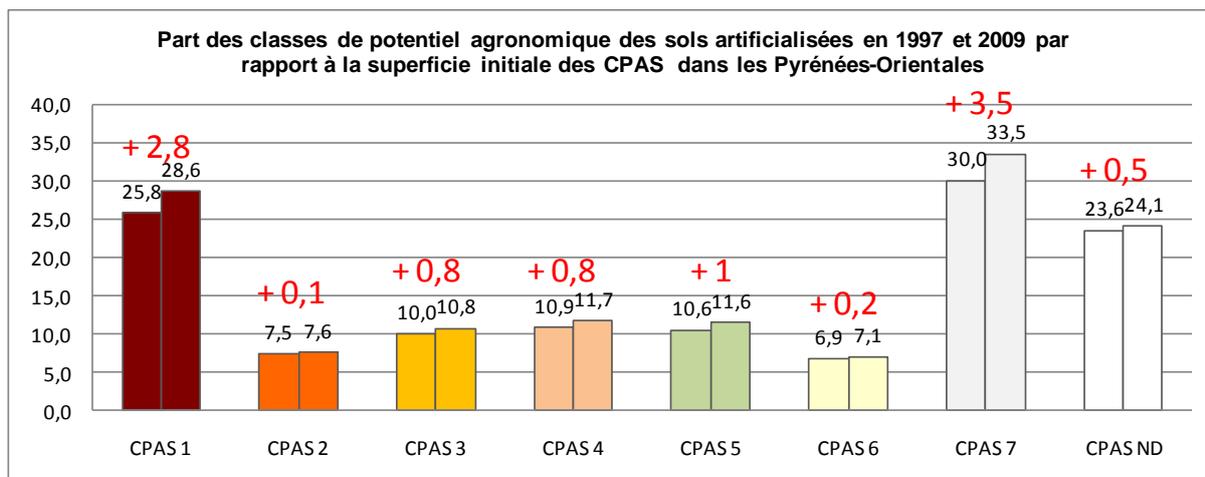
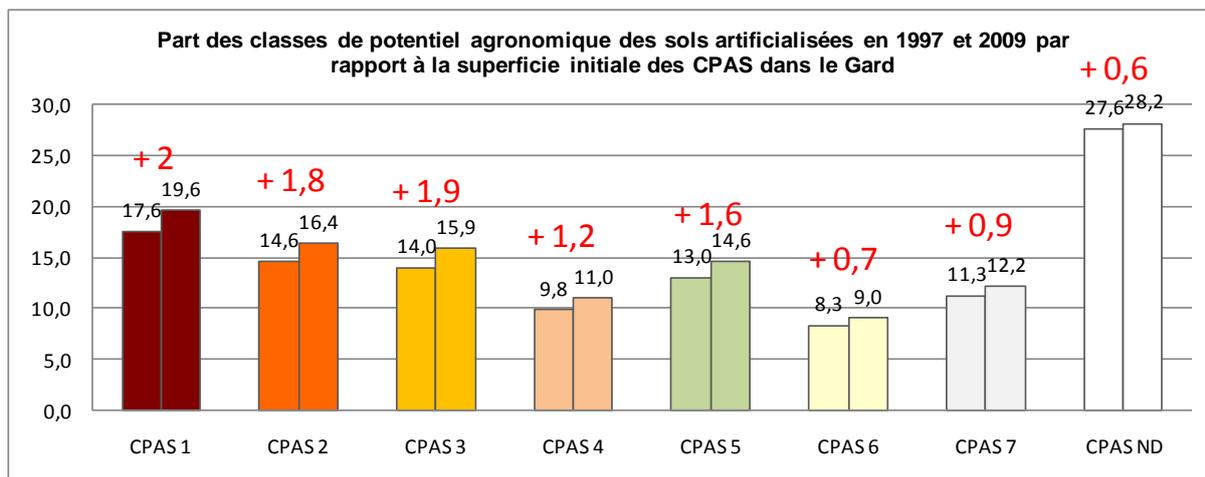


Figure n°33 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales, par département

Les figures 34 à 36 page suivante proposent une illustration de la superposition des taches artificialisées 1997 et 2009 avec la couche de potentiel agronomique des sols à l'échelle du canton des Matelles (Hérault), englobant des communes périurbaines de l'aire urbaine de Montpellier et situées au nord du pôle urbain montpelliérain.

Initialement ce canton était couvert à 30 % par des sols de classe 1 et à 65 % par des sols de classe 6. Ce canton a connu une augmentation d'environ 17 % des espaces artificialisés (toutes routes) de 1997 à 2009 notamment liée à la construction du LIEN¹⁰, soit environ 450 hectares supplémentaires. En 1997 environ 50 % des terres artificialisées, donc définitivement perdues, correspondaient à des sols de classe 1 soit de meilleure potentialité productive et 41 % à des sols de potentialité productive médiocre (classe 6) ; ce rapport est à peu près équivalent en 2009. En 2009, 27 % de la superficie initiale de la classe 1 est artificialisée donc impossible à remobiliser.

¹⁰ La liaison inter-cantonale d'évitement Nord (LIEN) a pour vocation de relier les autoroutes A750 et A9 et de fluidifier le trafic autour de l'agglomération montpelliéraine.

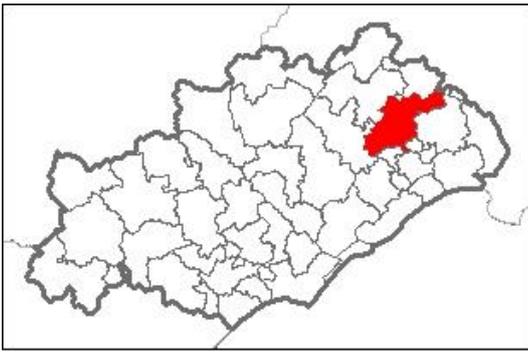


Figure n°34 : localisation du canton des Matelles

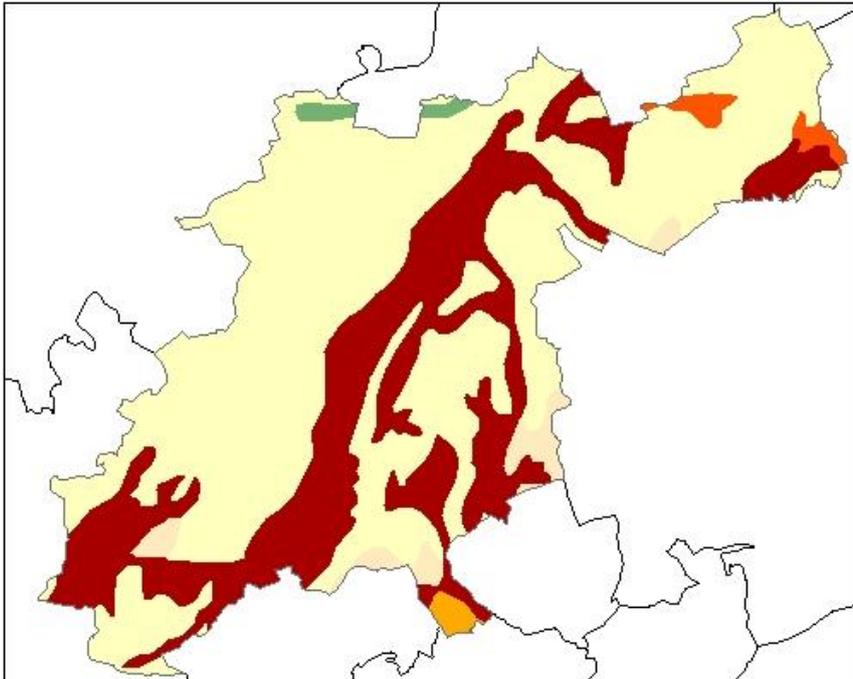


Figure n°35 : potentiel agronomique des sols (canton des Matelles)

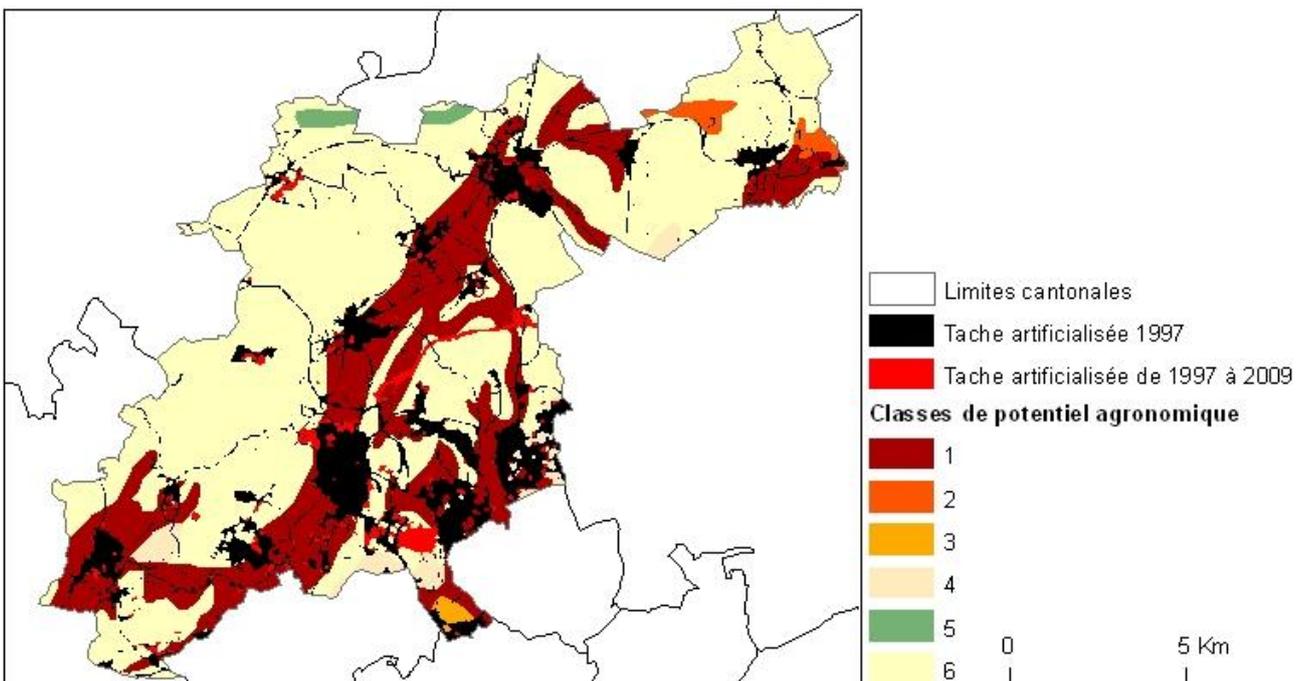
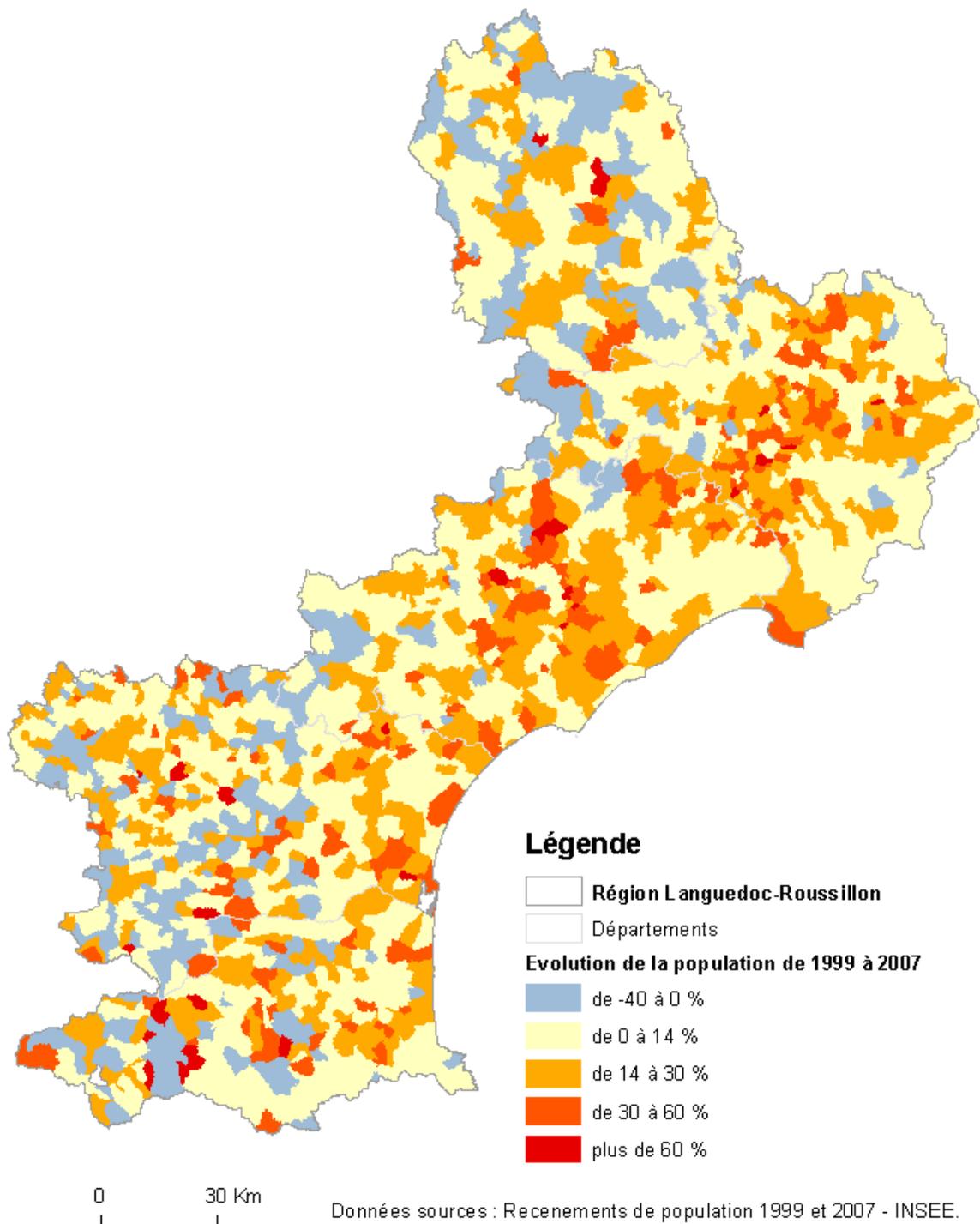


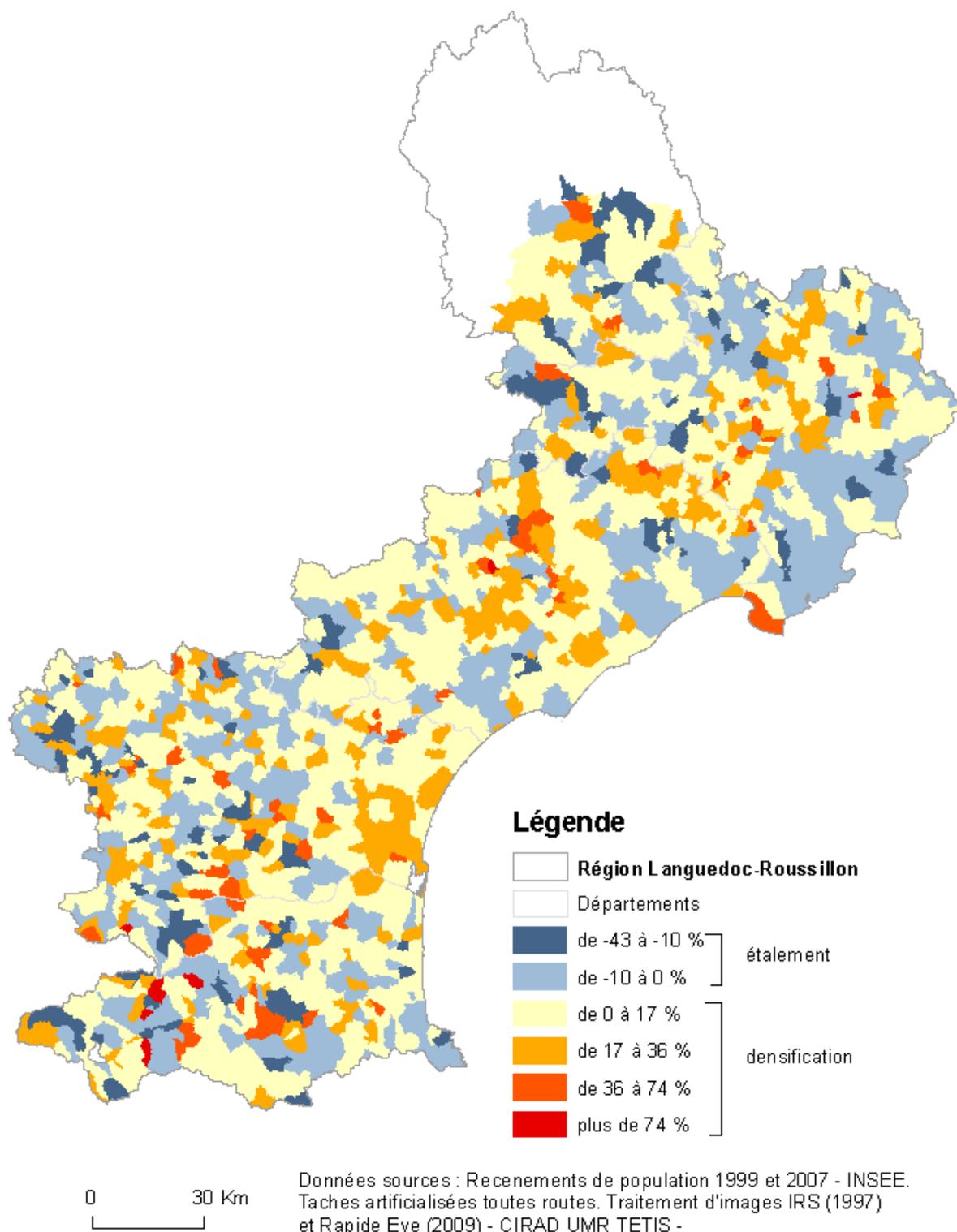
Figure n°36 : superposition des taches artificialisées toutes routes avec le potentiel agronomique des sols (canton des Matelles)

3.4.4. Dynamiques démographiques et artificialisation

L'évolution de la population entre 1997 et 2009 se fait de façon assez homogène sur le territoire régional. On note cependant une baisse de population dans de nombreuses communes de l'arrière-pays en particulier dans la Lozère, l'Aude et les Pyrénées Orientales. Le littoral reste très dynamique mais les communes périurbaines connaissent un taux de croissance plus fort que les communes des pôles urbains.



Le croisement des taches artificialisées avec les recensements de population permet de considérer de façon grossière la compacité des espaces artificialisés. La carte ci-dessous représente l'évolution de la densité nette à une maille communale c'est-à-dire l'évolution du nombre d'habitants rapporté au nombre d'hectares artificialisés et non à la superficie de la zone d'étude.



Carte n°6 : évolution de la densité nette de population de 1999 à 2007

Une évolution positive du nombre d'habitants par hectare artificialisé est synonyme d'une densification, inversement une évolution négative indique une tendance à l'étalement. On peut observer par exemple que les communes périphériques du pôle urbain montpellierain subissent une tendance à l'étalement. La période analysée (1999-2007) est encore trop récente pour considérer les effets du Schéma de COhérence Territoriale (SCOT) au sein du périmètre de l'agglomération mais également sur les dynamiques d'artificialisation des communes limitrophes.

3.5. Développement d'un outil de consultation en ligne

Une réflexion complémentaire a été conduite par le Cemagref sur la possibilité d'automatiser le calcul des indicateurs et de proposer un outil de restitution en ligne adapté spécifiquement aux besoins des utilisateurs, locaux, régionaux, voire inter-régionaux ou nationaux dans une perspective de généralisation de l'étude. Dans ce but nous nous sommes rapprochés de l'Unité de Recherche Développement des Territoires Montagnards (UR DTM) du Cemagref de Grenoble. Dans le cadre de ses activités de recherches (Indicateurs et diagnostic de la durabilité territoriale ; Systèmes d'Information territoriaux) une partie de l'équipe travaille depuis une dizaine d'année sur la réalisation pour les chercheurs du Cemagref, du Système d'Information Dédié aux Territoires (SIDDT).

Le portail SIDDT, mis en place par l'unité DTM, met à disposition des chercheurs du Cemagref différents outils d'extraction et de visualisation de données (tableaux, cartes et graphiques) pour deux grands types d'informations (Ancelet, 2009) :

- données communales et cantonales, grands fichiers statistiques (Recensement Général de la Population, UNEDIC, Base Communale de l'Equipement, SITADEL, etc.), à des mailles communales et supra communales,
- données géographiques, contours administratifs, réseaux et données environnementales.

Ces données sont documentées et disponibles sur toute la France métropolitaine.

De novembre 2010 à janvier 2011 les deux équipes TETIS et DTM ont étroitement collaboré pour adapter ce portail par la mise en place d'une interface web permettant de restituer le système d'indicateurs spatiaux développé dans le cadre du projet objet de ce rapport (Ancelet et al., 2011).

L'outil proposé a été élaboré spécifiquement pour répondre aux besoins des acteurs du projet. Il permet de combiner les données de SIDDT et les données d'artificialisation des sols et de potentiel agronomique des sols. Il propose de ce fait une large gamme d'indicateurs hiérarchisés selon une série de thématiques et sous-thématiques issues de la structuration proposée par le graphe causal général.

En pratique l'utilisateur choisit un fond cartographique puis une zone d'étude et la maille d'analyse avant de sélectionner l'indicateur dont il peut visualiser la représentation sous forme de cartographie, graphiques ou tableaux de données (Cf. figure n°37).

Une présentation détaillée de cet outil figure en annexe n°5 de ce rapport.

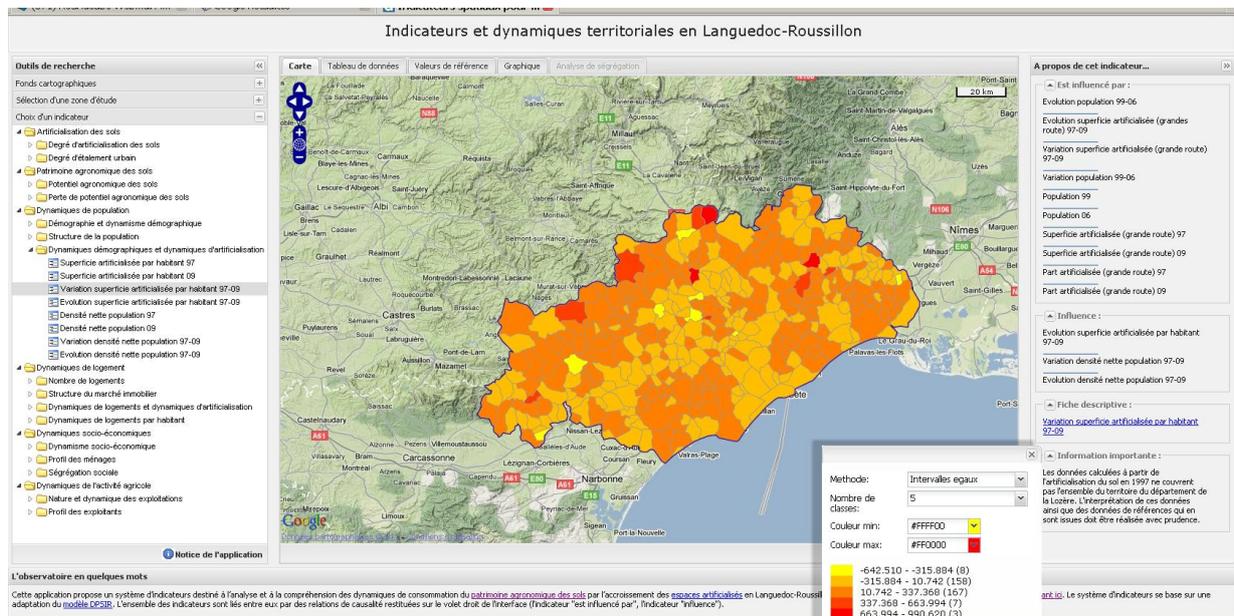


Figure n°37 : interface de l'outil de consultation en ligne

4. Synthèse et perspectives

La deuxième phase de l'étude a permis (i) de tester et valider la méthodologie de quantification des terres artificialisées élaborée en 2008 lors de la première phase et (ii) de produire deux taches artificialisées (1997 et 2009) couvrant les départements des Pyrénées Orientales, de l'Aude, de l'Hérault et du Gard déclinées en 3 variantes en fonction des types de routes considérées.

Enfin, (iii) ces données ont été valorisées sous forme d'indicateurs spatiaux rendant compte des dynamiques de consommation des terres agricoles.

La figure ci dessous présente une vue synthétique de la méthode

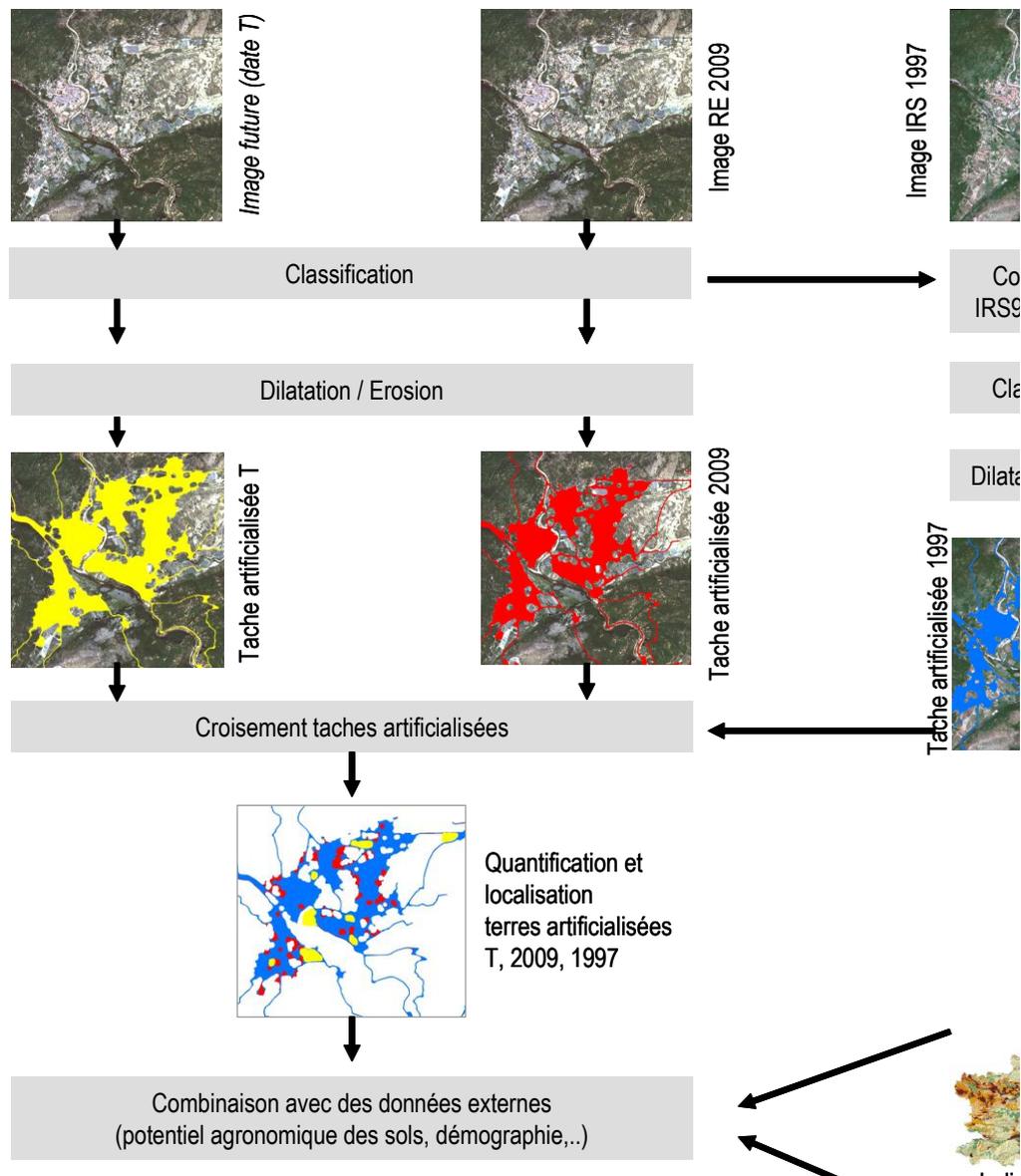


Figure n°38 : méthode générale

Au delà de ces résultats pratiques, la mise en œuvre et l'adaptation de la méthodologie à l'échelle des 4 départements et la valorisation des produits sous forme d'indicateurs ont permis de dégager de nouvelles perspectives.

En termes d'usage et de valorisation

- L'observatoire de la consommation des espaces agricoles instauré par la loi de l'agriculture et de la pêche du 27 juillet 2010 a pour mission d'élaborer des outils pertinents pour mesurer le changement de destination des espaces agricoles et homologuer des indicateurs d'évolution. La méthode générique de détermination de la tache artificialisée, transposable sur tout le territoire national et reproductible dans le temps constitue une réponse méthodologique adaptée pour mesurer ces changements d'usages. Par ailleurs les indicateurs spatiaux développés dans le cadre de ces travaux combinent avec originalité des informations de quantité et de qualité des terres consommées avec des informations socio économiques permettant d'analyser les dynamiques de consommation des terres à l'œuvre. Ils constituent également un élément de réponse potentiel aux missions de l'observatoire.
- Les taches artificialisées, la carte d'indice de potentiel agronomique des sols et les indicateurs spatiaux développés dans le cadre de l'étude constituent des outils d'analyse, de diagnostic et de porter à connaissance du territoire innovants. Leur appropriation par les acteurs et leur diffusion nécessitent des moyens de mise à disposition adaptés, simples et opérationnels. L'outil de consultation en ligne développé en marge de nos travaux et succinctement présenté dans ce document illustre ce que pourrait être une application à destination des acteurs territoriaux, voire une composante de l'observatoire.

En termes de généralisation de la méthode

L'application de la méthode sur les quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon a permis d'évaluer la pertinence de sa mise en œuvre à une échelle régionale dans un contexte méditerranéen et de l'adapter en conséquence pour obtenir des temps de traitement et des résultats pleinement satisfaisants. Il reste désormais à transposer la méthode à une plus petite échelle et / ou dans un contexte différent.

- L'application de la méthode sur une ou deux régions supplémentaires permettrait de valider définitivement sa transposabilité à petite échelle et dans un contexte différent tout en affinant les contraintes de généralisation.
- L'application de la méthode à tout le territoire national constitue la cible ultime de généralisation. Elle permettrait de produire un état de référence des espaces artificialisés, indispensable au suivi de leur évolution ultérieure.
- Enfin, la méthode pourrait être intégrée dans une approche globale de caractérisation des territoires à petite échelle (territoires régionaux ou national). Cette approche pourrait traiter de l'artificialisation, des paysages, de l'occupation du sol fine (ripisylves, habitats,...) de manière à produire des couches d'information thématiques de référence, parfaitement cohérentes entre elles et à disposition des acteurs publics.

A noter que le Cemagref dans le cadre de GEOSUD (www.geosud.teledection.fr) et en continuité avec la stratégie d'acquisition des images satellitaires initiée durant ce projet, développe une politique de mutualisation d'images. Durant les 6 prochaines années (2011-2016) une couverture satellitaire annuelle haute résolution (5m) d'été (mai-septembre) sera régulièrement acquise sur l'ensemble du territoire national et mise à la disposition gratuite de la sphère publique : services de l'Etat, établissements publics et collectivités territoriales.

En termes d'amélioration et de développement

- La méthode mise en œuvre durant cette deuxième phase de l'étude a permis de déterminer les espaces artificialisés du territoire considéré. Son application a également mis en valeur des voies d'amélioration des traitements pour augmenter encore la précision et l'exhaustivité des résultats tout en diminuant les temps de traitement.
 - o Par l'intégration de corrections radiométriques et le calcul de texture pour les zones naturelles.
 - o Par l'utilisation de données thématiques complémentaires :
 - le RGE ®IGN (Référentiel Grande Echelle) constitué de nombreuses couches de données décrivant l'occupation du sol de toute la France et mis à disposition

- gratuitement dans le cadre de missions de service public depuis le premier janvier 2011,
- le Registre Parcellaire Graphique (RPG), qui tend vers l'exhaustivité des parcelles agricoles relevant des exploitations tout ou partie subventionnées par la PAC.
- Enfin, d'un point de vue plus exploratoire, de nouvelles pistes de développement méthodologique sont apparues récemment, qui permettraient d'approfondir la réflexion sur la consommation des espaces agricoles.
- Les taches artificialisées pourraient, dans une démarche prospective, alimenter un logiciel de simulation par automate cellulaire, permettant d'élaborer des scénarios d'évolution de l'artificialisation des sols pour les prochaines décennies en fonction de règles et contraintes définies par l'utilisateur.
 - L'utilisation complémentaire de la télédétection laser type LIDAR (Light Detecting And Ranging) constitue une autre voie de développement. Ces outils produisent des modèles numériques de surface en trois dimensions permettant par exemple de déterminer la forme et la hauteur du bâti, dont on pourra extrapoler la nature (habitat individuel, immeuble,...) et la superficie développée. En combinant ces outils avec les taches artificialisées, il deviendrait possible d'évaluer et de suivre la densité du bâti. La densification urbaine constitue une problématique instaurée par la loi SRU et une contrainte centrale de la politique d'urbanisme renforcée par la loi Grenelle II.

Table des illustrations

Table des figures

Figure n°1 : méthode générale	6
Figure n°2 : exemple de classification (extrait).....	7
Figure n°3 : classification simplifiée.....	7
Figure n°4 : zone artificialisée (extrait)	8
Figure n°5 : étapes de création de la tache artificialisée à partir des objets de zone artificialisée	9
Figure n°6 : comparaison de la représentativité des taches artificialisées en fonction de la distance de continuité du bâti retenue	10
Figure n°7 : extrait de la tache artificialisée	10
Figure n°8 : suivi de l'évolution de l'artificialisation par superposition des taches artificialisées	10
Figure n°9 : tableau d'assemblage des images RapidEye	11
Figure n°10 : Tableau d'assemblage des images IRS	12
Figure n°11 : nomenclature retenue	13
Figure n°12 : exemple de texture	13
Figure n°13 : approche descendante	14
Figure n°14 : exemples de résultats obtenus pour chaque niveau de segmentation	15
Figure n°15 : matrice de confusion détaillée exprimée en pourcentage	16
Figure n°16 : matrice de confusion exprimée en pourcentage.....	17
Figure n°17 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département de l'Hérault)	18
Figure n°18 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département de l'Hérault)	19
Figure n°19 : tache artificialisée sans routes (département de l'Hérault).....	19
Figure n°20 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 2009 et des images Rapide Eye (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez.....	20
Figure n°21 : superposition de la tache artificialisée toutes routes 1997 et des images IRS (composition couleurs naturelles) – secteur Prades le Lez.....	20
Figure n°22 : superposition des tache artificialisée toutes routes 1997 et 2009 – secteur Prades le Lez	20
Figure n°23 : adaptation du cadre théorique DPSIR	24
Figure n°24 : graphe causal général	24
Figure n°25 : part initiale des classes de potentiel agronomique des sols par rapport à la superficie régionale	31
Figure n°26 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département.....	32
Figure n°27 : part des CPAS / superficie départementale.....	33
Figure n°28 : taches artificialisées toutes routes en 1997 et de 1997 à 2009 en hectares.....	35
Figure n°29 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des 4 départements littoraux	37
Figure n°30 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisés (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009	37
Figure n°31 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) par rapport à la superficie totale artificialisée entre 1997 et 2009	38
Figure n°32 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales	39

Figure n°33 : part (%) des classes de potentiel agronomique des sols artificialisée (toutes routes) en 1997 et 2009 par rapport à la superficie des CPAS initiales, par département	40
Figure n°34 : localisation du canton des Matelles	41
Figure n°35 : potentiel agronomique des sols (canton des Matelles)	41
Figure n°37 : interface de l'outil de consultation en ligne	44
Figure n°38 : méthode générale	45

Table des cartes

Carte n°1 : zonage en aires urbaines de l'INSEE du Languedoc-Roussillon en 1999	26
Carte n°2 : exemple de classification en classes de potentiel agronomique des sols (CPAS) selon un gradient de réserve utile dans les unités cartographiques des sols (par ordre décroissant)	30
Carte n°3 : taches artificialisées toutes routes 1997 et 2009	34
Carte n°4 : évolution de l'artificialisation de 1997 à 2009.....	36
Carte n°5 : évolution de la population de 1999 à 2007	42
Carte n°6 : évolution de la densité nette de population de 1999 à 2007.....	43

Table des tableaux

Tableau n°1 : indicateurs d'artificialisation et de potentialité agronomiques des sols	27
Tableau n°2 : indicateurs de perte d'un potentiel agronomique des sols par artificialisation.....	28
Tableau n°3 : indicateurs de dynamiques démographiques	29
Tableau n°4 : indicateurs croisant dynamiques démographiques et artificialisation des sols.....	29
Tableau n° 5 : composition des classes de potentiel agronomique	31
Tableau n°6 : distribution initiale en ha des classes de potentiel agronomique des sols par département.....	32
Tableau n°7 : évolution des différents types de taches artificialisées de 1997 à 2009 à l'échelle des 4 départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)	35
Tableau n°8 : évolution de la tache artificialisée toutes routes de 1997 à 2009 pour chacun des départements littoraux (Pyrénées-Orientales, Aude, Hérault, Gard)	35

Bibliographie

AGORAH, 2005. Densification et étalement urbain à la Réunion. Mesure, localisation et évolution, Agence pour l'observation de la Réunion l'aménagement et l'habitat. Sainte Marie, AGORAH. 6 p.

Albert P., 2007. L'apport des images satellites dans l'analyse comparée des espaces périurbains des métropoles du sud-ouest européen. Thèse de géographie et aménagement. Toulouse, Toulouse II Le Mirail, UMR 5193 CNRS-LISST, CIEU. 418 p.

Ancelet E., 2009. Elaboration d'un outil d'aide à la réalisation de diagnostics territoriaux. Rapport de stage, Master 2 SIGMA, Cemagref Grenoble, Toulouse. 42 p.

Ancelet E., Bray F., Torre A., 2011. Notice de l'utilisation de l'interface « Indicateurs et dynamiques territoriales en Languedoc-Roussillon ». Cemagref, Grenoble. 20 p.

Balestrat M., Barbe E., Dupuy S., Lagacherie P., Meynard T., 2008. Analyse du potentiel des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire. Etude méthodologique sur une zone pilote (département de l'Hérault - 34). Rapport d'étude, Cemagref, INRA, DRAAF LR. 56 p.

Benoit M., Grenier M., Labrecque S., Demers A.M., 2006. Inventaire canadien des terres humides, région du Québec : Outil de validation des résultats, 12ème conférence des utilisateurs des produits ESRI, Montréal, septembre 2006

CERTU, 2007. Méthodes pour réaliser un suivi de l'évolution du bâti. Utilisation de cartes anciennes, du cadastre et de photographies aériennes. CETE Normandie-Centre. 95 p.

Congalton R., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data. Remote Sensing of Environment, vol. 37, pp. 35-46

Cuniberti E., Frandon C., 2005. Les bases de données géographiques d'occupation du sol : volet tache urbaine. Descriptif et comparatif de 6 bases de données. Lyon, CETE de Lyon, CERTU. 53 p.

Girard M.C., Girard C.M., 2004. Traitement des données de télédétection. Dunod. pp. 303-335

Loi n°2010-874 du 27 juillet 2010 de modernisation de l'agriculture et de la pêche. Définir et mettre en œuvre une politique de l'alimentation (JORF n°0172 du 28 juillet 2010).
Article L. 112-1-1 du code rural et de la pêche maritime modifié.

Le Corre S., Guillaume R., Galaup, M., De Boissezon, H. 2000. Intérêts et limites de l'utilisation des images satellites en vue de la constitution d'un SIG pour la région urbaine d'Istanbul. Colloque « Représenter Istanbul hier et aujourd'hui », Istanbul, CIEU - SCOT. pp.3-23.

Ferras R., 1993. Les modèles graphiques en géographie, ECONOMICA / RECLUS, Paris, p. 112

INSEE Résultats du recensement de la population 2007

<http://www.recensement.insee.fr/home.action>

INSEE Recensement de la population Mars 1999 Les résultats

http://www.recensement-1999.insee.fr/RP99/rp99/page_accueil.paccueil

Joerin F., Lebreton M., Desthieux G., 2005, Des systèmes d'indicateurs pour aider les acteurs à manipuler les complexités territoriales, in Développement durable, gestion des ressources et gouvernance, Lausanne, p. 9

OCDE, 1993. Core set of indicators for environmental performance reviews. Paris, OCDE.

Rondier, P., 2007. Un système d'indicateurs d'étalement urbain : des enjeux d'utilité et de complexité, in 3è colloque des étudiants de l'IHQEDS. Différentes perspectives pour un même but : un meilleur environnement. Laval, Québec. pp. 45-49

Salles E. (2001). Définition d'indicateurs spatiaux pour le suivi de l'état de conservation des habitats naturels. Application à la Grandes Camargue. Strasbourg / Montpellier, Cemagref / Mémoire ENGEES. 123 p.

SESP, CERTU, 2006. *Economie urbaine. Rassemblement de la connaissance*. Chapitre 3 : Outils et méthodes. Paris, Ministère des Transports, de l'Équipement, du Tourisme et de la Mer. Service économique, statistiques et prospective, 89 p.

Tonneau J.P., Perret S., Loyat J., 2009. Indicateurs de performance Document de travail, Montpellier, CIRAD. 8 p.



Direction Régionale
de l'Alimentation,
de l'Agriculture
et de la Forêt
du Languedoc-Roussillon



ANALYSE DU POTENTIEL AGRONOMIQUE DES TERRES AFFECTÉES PAR L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE EN LANGUEDOC-ROUSSILLON

PHASE 2 – 2009 / 2010

**APPLICATION DES MÉTHODOLOGIES DE QUANTIFICATION DES TERRES ARTIFICIALISÉES
ET DE CARACTÉRISATION DES DYNAMIQUES DE CONSOMMATION DES TERRES SUR LES
DEPARTEMENTS LITTORAUX DU LANGUEDOC ROUSSILLON**



ANNEXES

MAUD BALESTRAT, ERIC BARBE, STÉPHANE DUPUY

Février 2011



Ce document regroupe toutes les annexes du rapport d'étude « Analyse du potentiel agronomique des terres affectées par l'aménagement du territoire en Languedoc-Roussillon » / Phase 2 (2009/2010) « Application des méthodologies de quantification des terres artificialisées et de caractérisation des dynamiques de consommation des terres sur les départements littoraux du Languedoc-Roussillon ».

Sommaire

Annexe 1- Illustration des taches artificialisées des départements de l'Aude, du Gard, de la Lozère et des Pyrénées Orientales.....	5
Annexe 2- Occupation du sol 2009 du Languedoc-Roussillon – évaluation de la qualité	15
Annexe 3- Traitements spécifiques pour le département de la Lozère.....	23
Annexe 4- Rappel de la méthode de qualification - construction et mise en œuvre d'un indice de qualité des sols (UMR LISAH)	29
Annexe 5- Notice d'utilisation de l'interface (outil de consultation en ligne).....	35
Annexe 6- Articles et communications scientifiques en lien avec le projet	55
Annexe 6- Carte des zones artificialisées en Languedoc Roussillon (2009)	89

Annexe 1

Illustration des taches artificialisées des départements de l'Aude, du Gard, de la Lozère et des Pyrénées Orientales



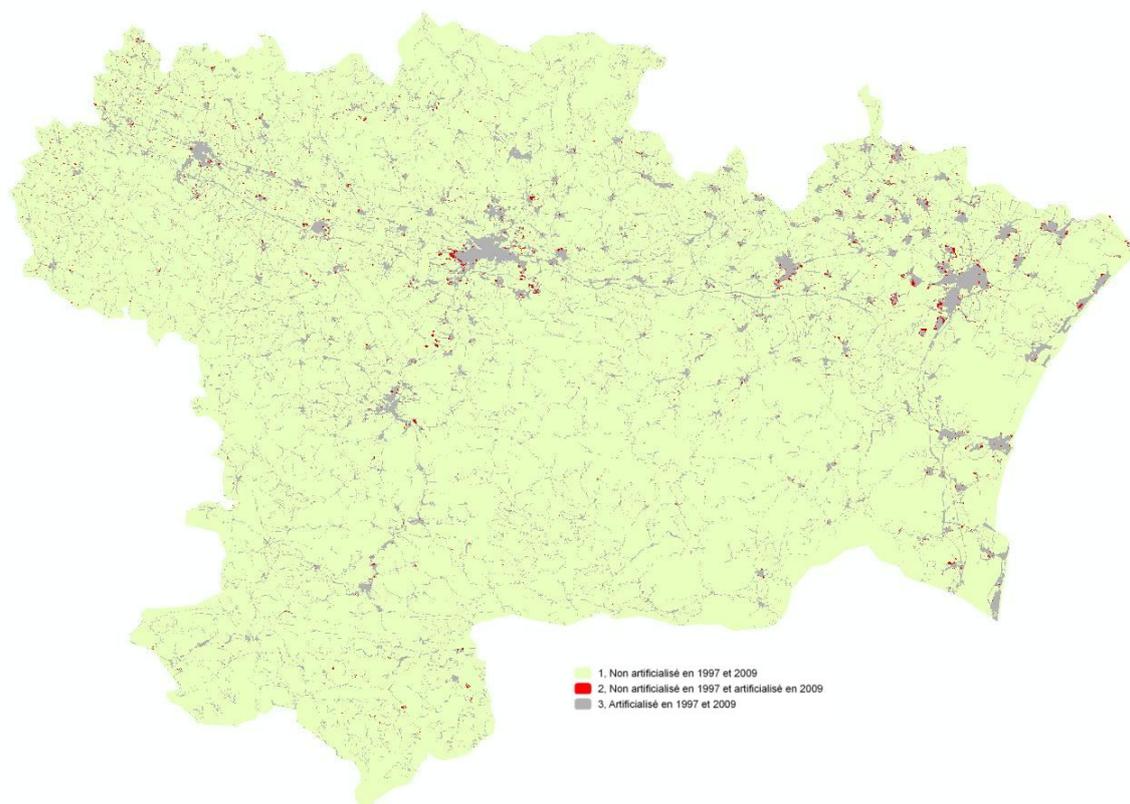


Figure 1 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département de l'Aude)

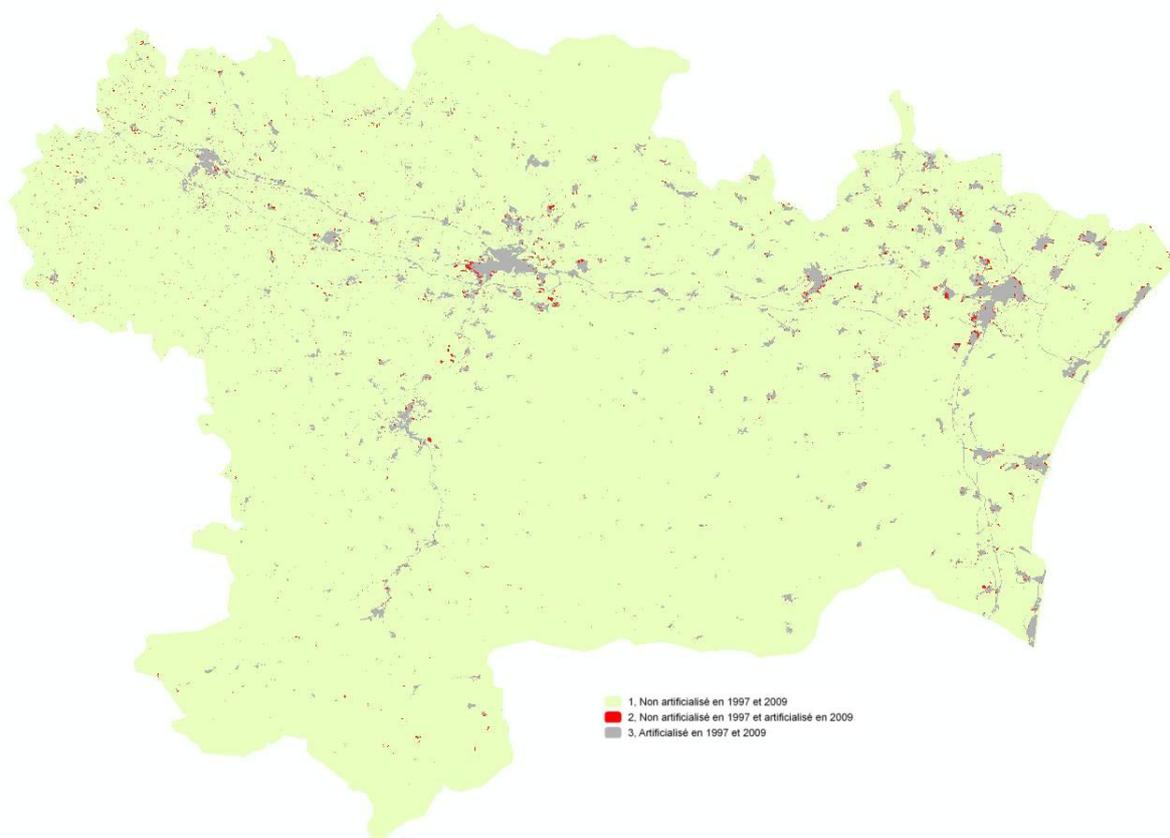


Figure 2 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département de l'Aude)

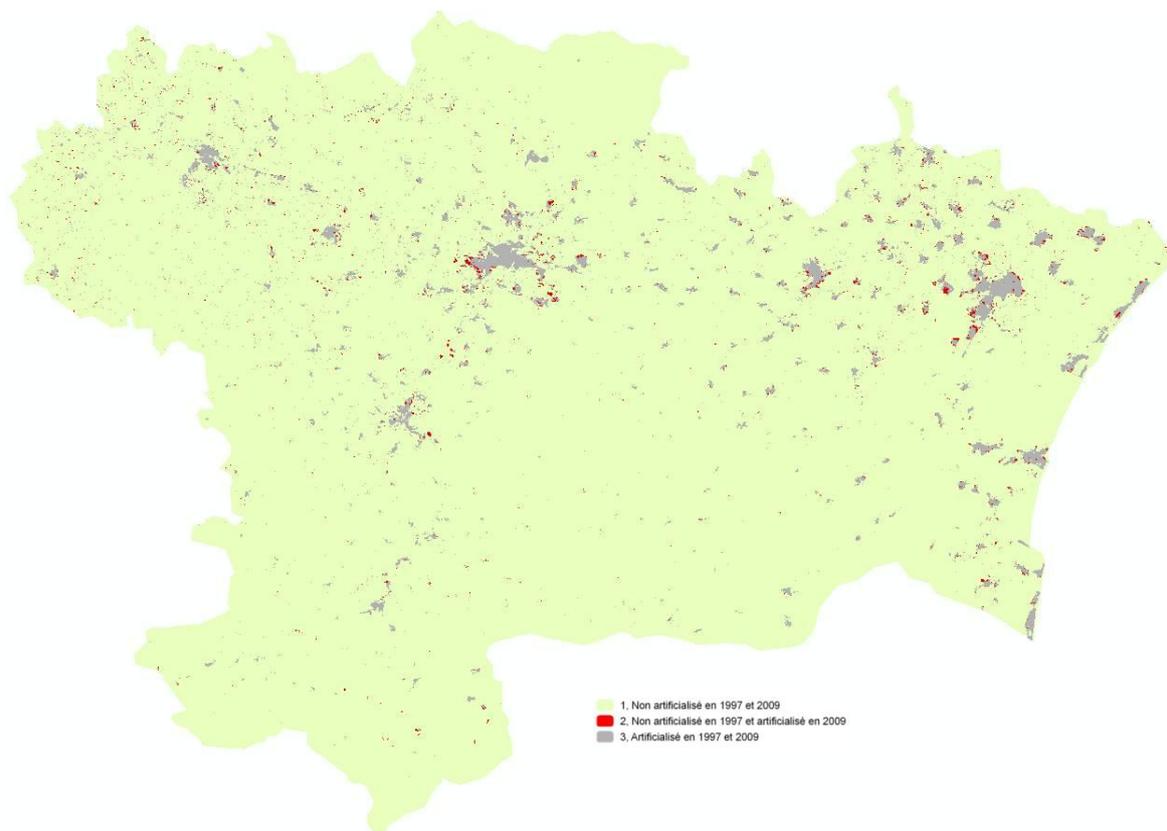


Figure 3 : tache artificialisée sans routes (département de l'Aude)

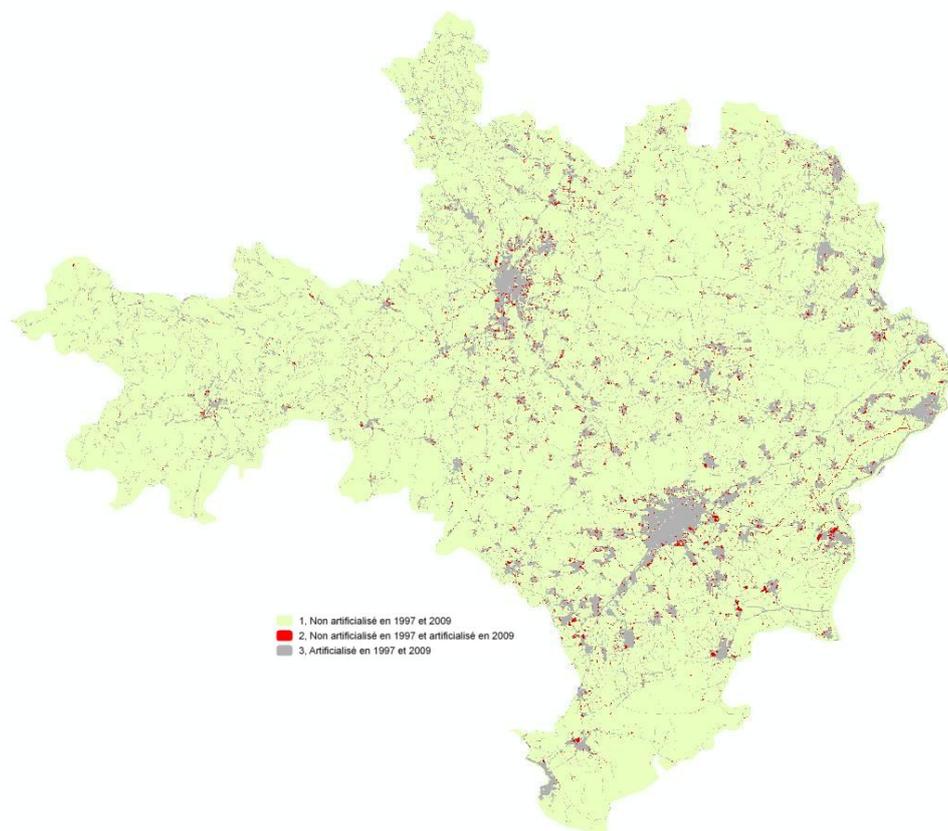


Figure 4 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département du Gard)

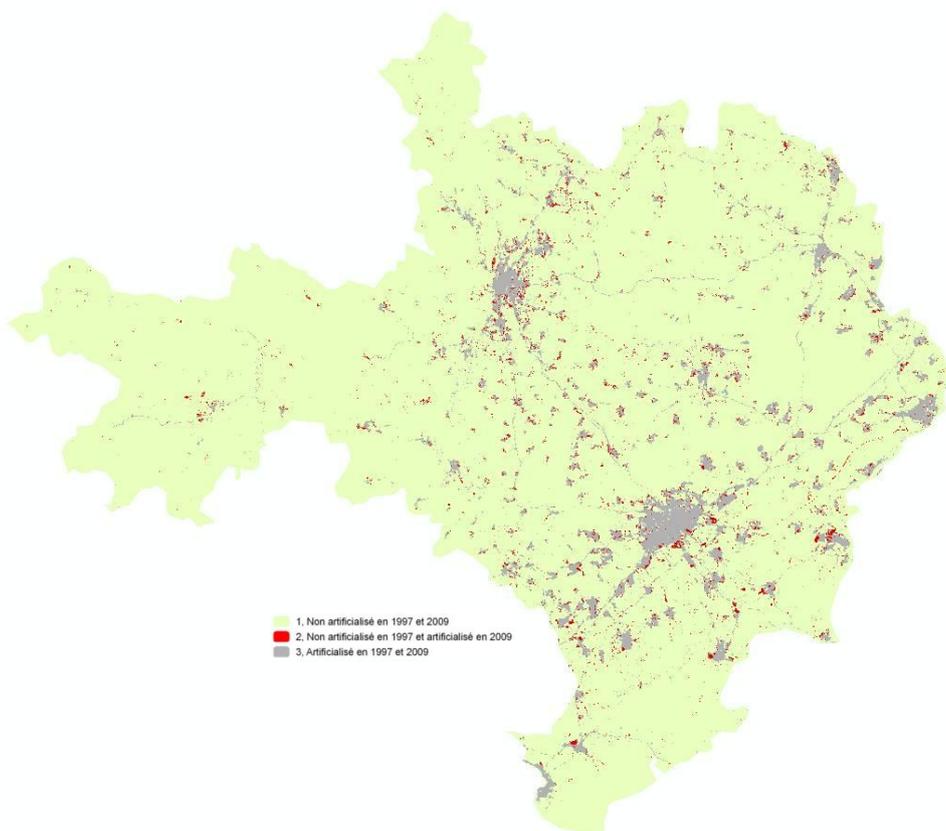


Figure 5 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département du Gard)

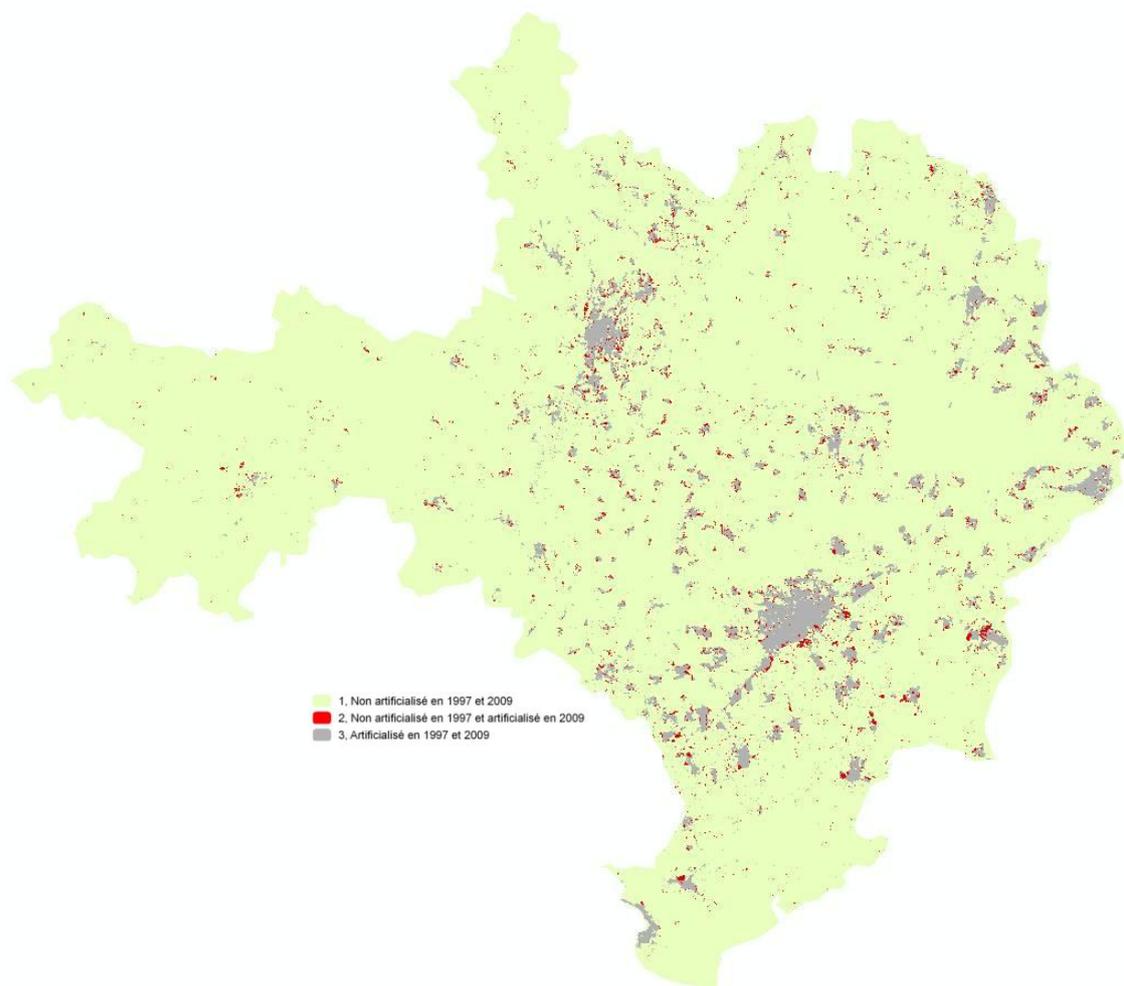


Figure 6 : tache artificialisée sans routes (département du Gard)

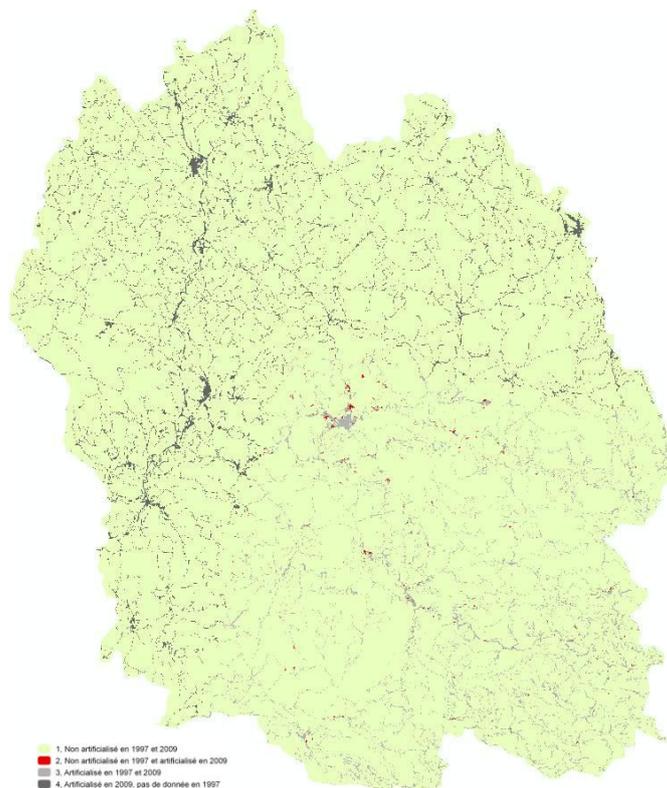


Figure 7 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département de la Lozère)

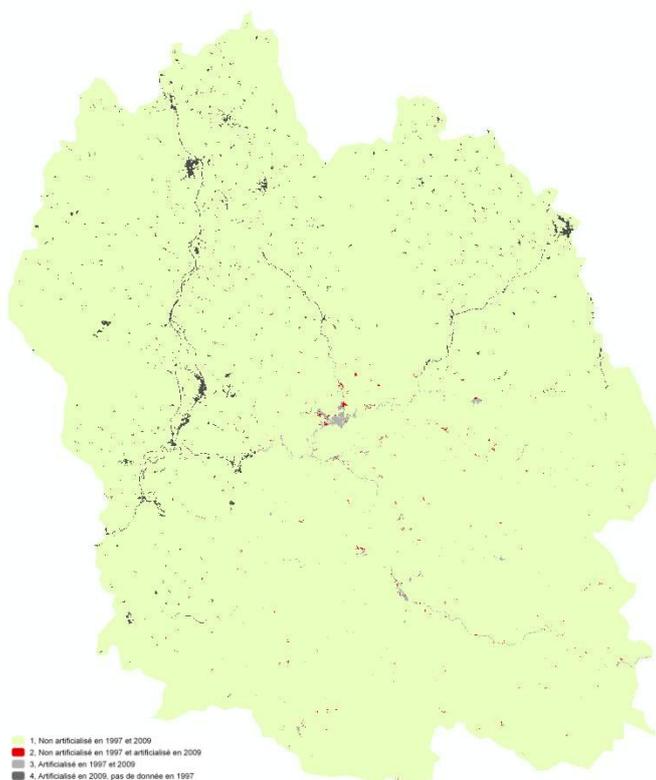


Figure 8 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département de la Lozère)

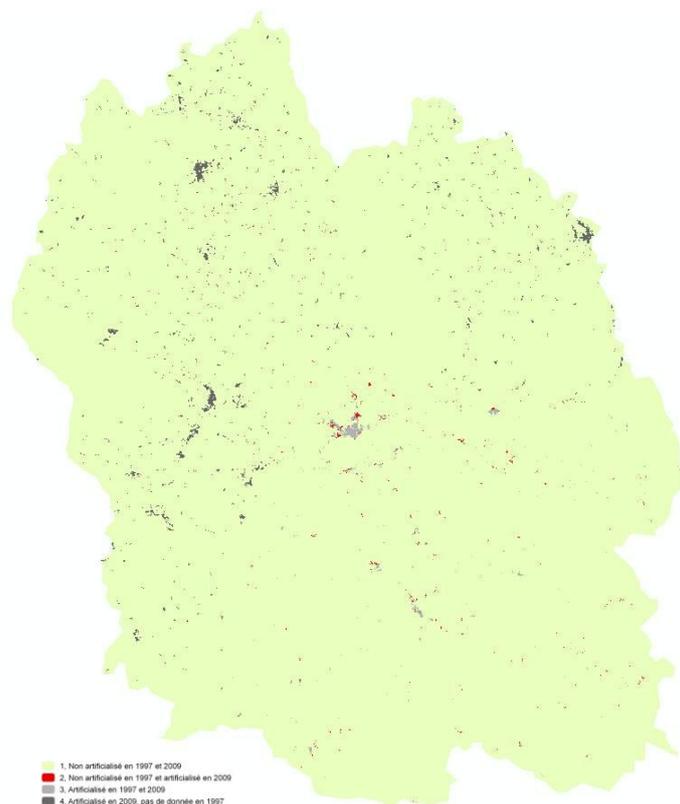


Figure 9 : tache artificialisée sans routes (département de la Lozère)

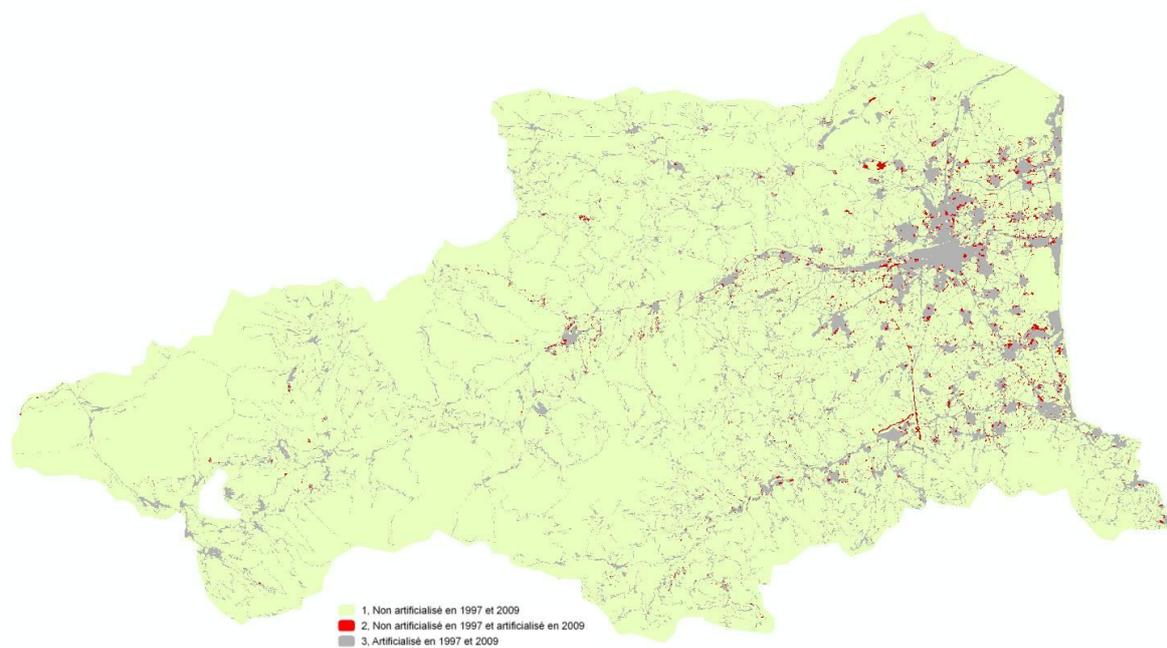


Figure 10 : tache artificialisée intégrant toutes les routes (département des Pyrénées Orientales)

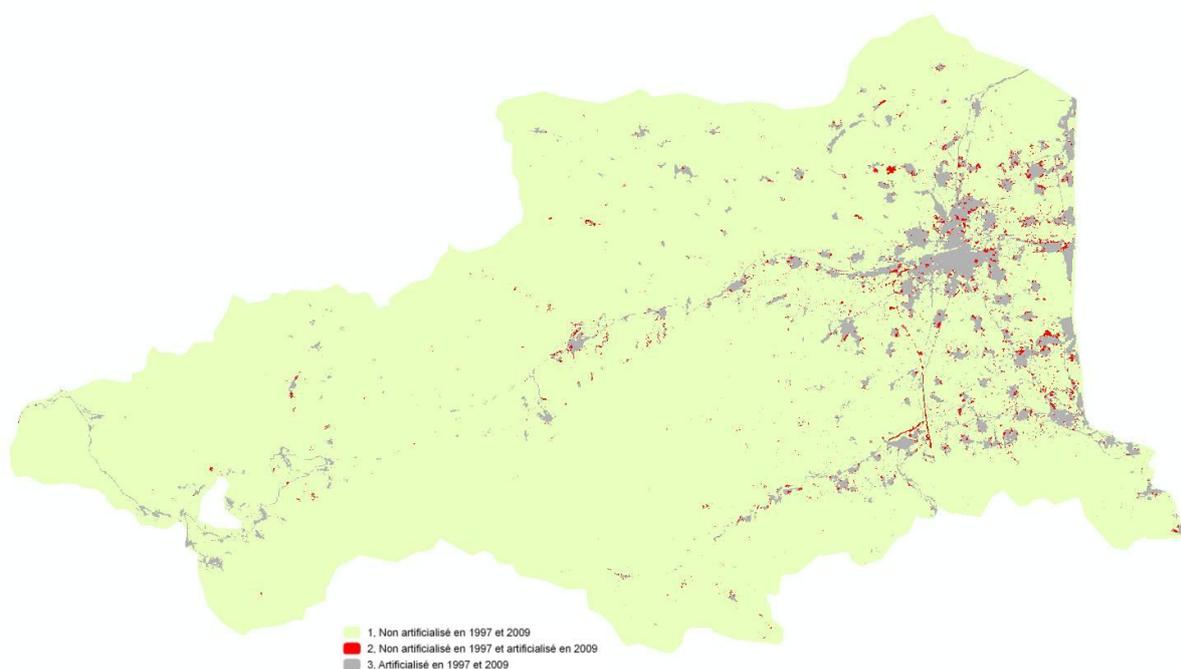


Figure 11 : tache artificialisée intégrant les grandes routes (département des Pyrénées Orientales)

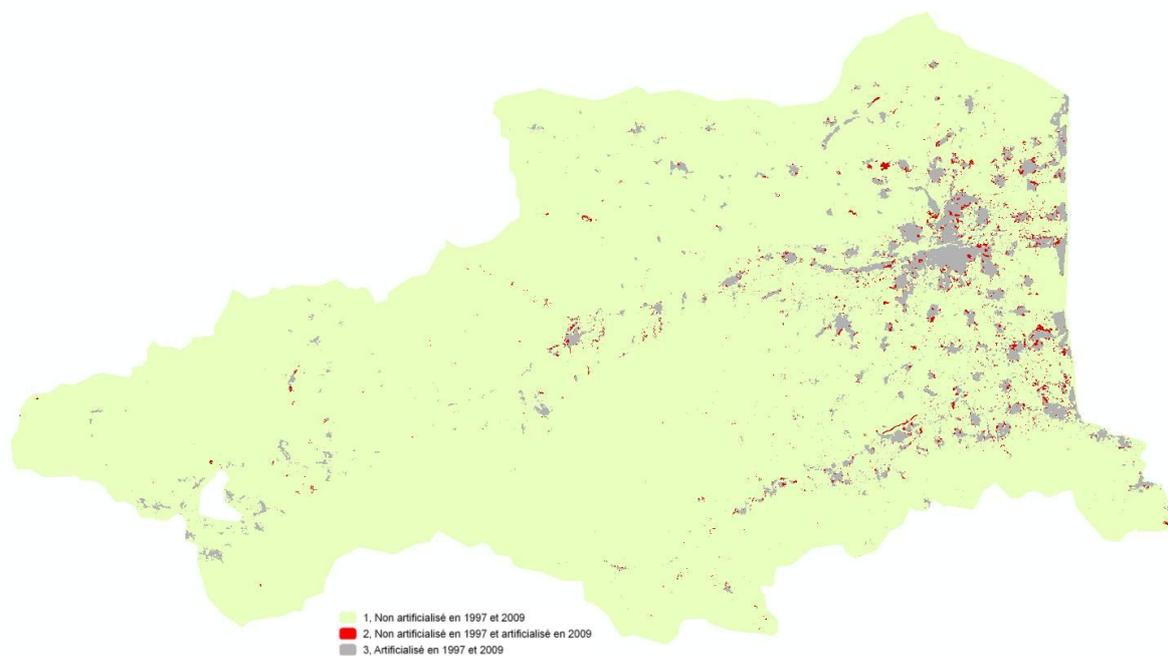
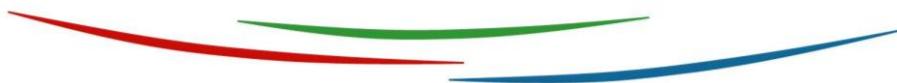


Figure 12 : tache artificialisée sans routes (département des Pyrénées Orientales)

Annexe 2

Occupation du sol 2009 du Languedoc-Roussillon – évaluation de la qualité



Occupation du sol du Languedoc-Roussillon Evaluation de la qualité

Kenji OSE –Cemagref UMR TETIS

1. Contexte et objectifs

Afin de mieux prendre en compte l'agriculture dans la planification des espaces urbains, la DRAAF¹ du Languedoc-Roussillon exprime un besoin en outils d'aide à la décision et en indicateurs spatiaux pour suivre précisément les dynamiques d'utilisation du sol dans la région. L'UMR TETIS élabore des méthodologies, basées sur le traitement de l'information spatiale, adaptées aux problématiques périurbaines.

Pour l'année 2009, l'UMR TETIS dispose d'un jeu de scènes RapidEye (5m multispectral) acquises entre les mois de mai et août. Une méthodologie de traitement d'images a été mise en place pour extraire les tâches artificialisées. Une couche d'occupation du sol, obtenue par classification orientée objet (cf. Figure 1), a été produite sur l'ensemble de la région. Toutefois, avant d'être diffusée, la qualité de cette donnée a été contrôlée. Le document présente la méthode d'évaluation utilisée, ses avantages, ses limites ainsi que les résultats obtenus.

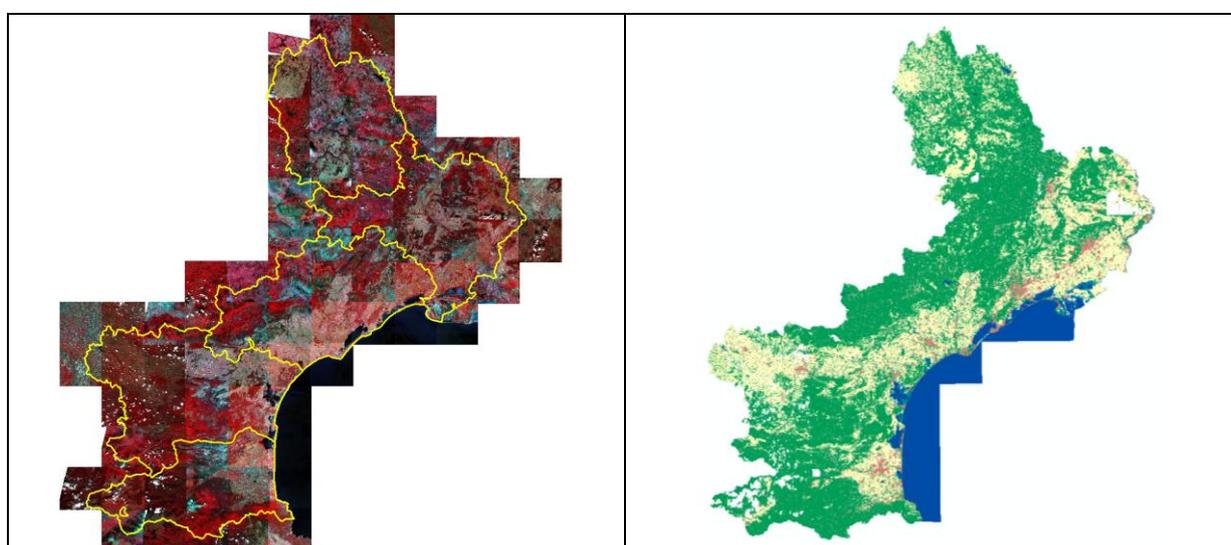


Figure 2. Classification de l'occupation du sol (à droite) à partir d'images RapidEye 2009 (à gauche).

2. Description de la couche d'occupation du sol

La couche d'occupation du sol produite par l'UMR Tetis sur l'ensemble de la région Languedoc-Roussillon est disponible en modes raster (Imagine Erdas, geoTiff) et vectoriel (Shapefile Esri). Extraite par approche orientée objet sur le logiciel Definiens eCognition, cette donnée est classifiée suivant une nomenclature à dix postes (cf. Tableau 1). Les deux postes correspondant aux routes proviennent de la BD Carto® IGN.

Tableau 1. Nomenclature d'occupation du sol

poste	code	couleur
zone artificialisée	1	
route 10m	2	
route 20m	3	

¹ Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt

végétation urbaine	4	
espace agricole	5	
zone naturelle	6	
zone en eau	7	
zone naturelle humide	8	
nuage	9	
carrière, chantier, décharge.	10	

3. Méthode d'évaluation

Contrairement à l'approche par pixel, la validation des classifications issues de l'approche orientée objet est encore peu traitée dans la littérature scientifique. Ce type de traitement repose sur une segmentation préalable des images. Ainsi l'évaluation de la qualité devrait tenir compte non seulement de la sémantique des objets géographiques mais aussi de leur géométrie : un objet appartient-il bien à telle classe d'occupation du sol ? Sa forme, ses contours sont-ils représentatifs de la réalité ?

La méthode utilisée ici s'inspire d'un outil de validation, mis en place par l'Inventaire Canadien des Terres Humides et présenté lors de la 12^{ème} conférence des utilisateurs des produits Esri à Montréal (Benoit et al. 2006), en particulier sur la construction du référentiel et la stratégie d'échantillonnage.

3.1. Données de référence et procédure d'échantillonnage

3.1.1. Données de référence

Idéalement, les données de référence sont acquises soit sur le terrain, soit à partir des photographies aériennes ou d'autres données de télédétection différentes de celles utilisées pour la classification (Girard et al., 2004). Pour des raisons de coût et de temps, il est impossible d'effectuer un échantillonnage terrain sur l'ensemble de la région Languedoc-Roussillon. L'interprétation de données exogènes pose des problèmes d'incompatibilité temporelle. En effet, l'occupation du sol peut avoir évolué entre la date d'acquisition d'une photographie aérienne et celle d'une image satellite classifiée. Ainsi, pour cette étude, les données de référence sont interprétées sur les mêmes images RapidEye de 2009.

Sur un jeu de polygones issus de la couche d'occupation du sol, l'analyste assigne manuellement les classes aux entités sélectionnées à l'aide d'un formulaire implémenté dans le logiciel SIG ArcGIS 9.x. La photo-interprétation utilise les images satellites et éventuellement des données auxiliaires (par exemple, la BD Ortho® IGN diffusée sur le Géoportail). Pour assurer l'indépendance entre la classification et la référence, l'analyste ne connaît pas les classes déterminées sous Definiens eCognition.

3.1.2. Mode d'échantillonnage

L'échantillonnage consiste à sélectionner un certain nombre de polygones sur la couche d'occupation du sol. A l'instar des points de contrôle, ces polygones servent de données de référence (*cf.* 3.1.1.) dans la matrice de confusion. Pour être représentatif de l'ensemble de la classification, le mode d'échantillonnage est aléatoire et stratifié par type d'occupation du sol.

Sur les dix classes de la couche d'occupation du sol, trois sont de nature « exogènes ». En effet, les deux classes « route 10m » et « route 20m » sont une conversion en raster des données IGN, la classe nuage résulte d'une photo-interprétation. La validation porte donc uniquement sur les sept classes restantes. Pour chacune d'entre elles, 230 polygones sont sélectionnés au hasard, soit un échantillon total de 1610 polygones. Cette couche vectorielle est exportée et la table attributaire enrichie de trois nouveaux champs :

- *occsol_pi* : occupation du sol photo-interprétée ;
- *qual_geom* : qualité géométrique des entités sélectionnées ;
- *comments* : commentaires éventuels.

3.2. Evaluation de la qualité sémantique

Près de deux tiers des 1610 polygones sélectionnés sont photo-interprétés. Les échantillons étant indépendants, le nombre de « polygones de contrôle » bien classés à évaluer doit être compris entre 30 et 50 entités (Congalton 1991 ; Girard et al. 2004). La matrice de confusion obtenue respecte ces critères.

3.2.1. Matrice de confusion

La matrice de confusion (*cf. Tableaux 2 et 3-1*) se base sur 1071 entités de contrôle. Elle comprend en colonnes l'information thématique résultant de la classification, en lignes les données des classes de référence (photo-interprétation des images RapidEye 2009). Les valeurs de la diagonale de la matrice représentent le nombre d'entités correctement classifiées.

Tableau 2. Matrice de confusion

		Classification							Total	Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
		Carriere, chantier, decharge	Espace agricole	Vegetation urbaine	Zone artificialisee	Zone en eau	Zone naturelle	Zone naturelle humide			
Référence	Carriere- chantier- decharge	106	4	0	4	1	0	1	116	91,38%	8,62%
	Espace agricole	10	78	16	10	3	30	2	149	52,35%	47,65%
	Vegetation urbaine	0	21	95	4	3	11	3	137	69,34%	30,66%
	Zone artificialisee	14	14	12	129	21	2	5	197	65,48%	34,52%
	Zone en eau	2	0	1	1	110	1	8	123	89,43%	10,57%
	Zone naturelle	8	42	24	3	6	118	2	203	58,13%	41,87%
	Zone naturelle humide	3	3	3	0	8	1	128	146	87,67%	12,33%
	Total	143	162	151	151	152	163	149	1071		
Précision utilisateur (%)		74,13%	48,15%	62,91%	85,43%	72,37%	72,39%	85,91%			
Erreur de commission (%)		25,87%	51,85%	37,09%	14,57%	27,63%	27,61%	14,09%			
Précision globale		71,34%									
Précision moyenne		73,40%									

Tableau 3-1. Matrice de confusion détaillée exprimée en pourcentage

		Classification							Total	Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
		Carriere, chantier, decharge	Espace agricole	Vegetation urbaine	Zone artificialisee	Zone en eau	Zone naturelle	Zone naturelle humide			
Référence	Carriere- chantier- decharge	9,90	0,37	0,00	0,37	0,09	0,00	0,09	10,83	91,38%	8,62%
	Espace agricole	0,93	7,28	1,49	0,93	0,28	2,80	0,19	13,91	52,35%	47,65%
	Vegetation urbaine	0,00	1,96	8,87	0,37	0,28	1,03	0,28	12,79	69,34%	30,66%
	Zone artificialisee	1,31	1,31	1,12	12,04	1,96	0,19	0,47	18,39	65,48%	34,52%
	Zone en eau	0,19	0,00	0,09	0,09	10,27	0,09	0,75	11,48	89,43%	10,57%
	Zone naturelle	0,75	3,92	2,24	0,28	0,56	11,02	0,19	18,95	58,13%	41,87%
	Zone naturelle humide	0,28	0,28	0,28	0,00	0,75	0,09	11,95	13,63	87,67%	12,33%
	Total	13,35	15,13	14,10	14,10	14,19	15,22	13,91	100,00		
Précision utilisateur (%)		74,13%	48,15%	62,91%	85,43%	72,37%	72,39%	85,91%			
Erreur de commission (%)		25,87%	51,85%	37,09%	14,57%	27,63%	27,61%	14,09%			
Précision globale		71,34%									
Précision moyenne		73,40%									

La précision globale (ou totale), désignant la proportion d'objets bien classés par rapport au nombre total d'individus, s'élève aux alentours de 71%. Dans son ensemble, la classification est jugée correcte. Néanmoins, la précision est très variable entre classes d'occupation du sol. En particulier la classe « espace agricole » qui cumule des erreurs d'omission (47.65%) et de commission (51.85%). Les confusions sont très fortes avec la classe « zone naturelle ». Cette dernière reste néanmoins tout à fait exploitable puisque « la précision de l'utilisateur », qui mesure la probabilité d'une classification adéquate des entités, avoisine les 72%. Concernant la classe « végétation urbaine », une légère confusion ressort avec les classes « zone naturelle » et « espace agricole ». A priori, ces erreurs sont liées à la définition de la classe et aux procédures d'assignation automatique sous Definiens eCognition, par exemple : la végétation urbaine est-elle incluse dans et/ou contiguë à l'urbain ?

Dans le cadre de cette étude, ce qui nous intéresse c'est que la séparation entre les espaces artificialisés et les espaces non artificialisés soit correcte. Pour vérifier cela, nous avons donc regroupé la classification et les données terrain selon ces deux classes pour évaluer la précision de la classification avec ce regroupement. La matrice de confusion construite à partir de ces classes (*cf. Tableaux 3-2*) donne une précision globale de 91%. On peut donc considérer que l'objectif visé est atteint et que le produit obtenu est conforme aux objectifs que nous nous étions fixés.

Tableau 3-2 : Matrice de confusion exprimée en pourcentage

	Classification			Précision producteur (%)	Erreur d'omission (%)
	Zone artificialisée	Zone non artificialisée	Total		
Référence					
Zone artificialisée	23,62	5,60	29,23	81%	19%
Zone non artificialisée	3,83	66,95	70,77	95%	5%
Total	27,45	72,55	1071		
Précision utilisateur (%)	86%	92%			
Erreur de commission (%)	14%	8%			
Précision globale	91%				
Précision moyenne	88%				

3.2.2. Coefficient Kappa

Le coefficient Kappa K (Cohen, 1960) mesure l'intensité ou la qualité de l'accord réel entre deux jugements qualitatifs appariés. L'accord est défini comme la conformité de deux (ou plusieurs) informations qui se rapportent au même objet. Le coefficient Kappa varie entre 0 et 1. La concordance est parfaite pour $K = 1$, aléatoire pour $K \leq 0$. Sous l'hypothèse d'indépendance des jugements, il s'écrit :

$$K = (Po - Pe) / (1 - (Pe))$$

Avec Po : proportion d'accords observés
Pe : proportion d'accords aléatoires

La précision de la matrice de confusion est estimée comme suit :

proportion d'accord observée Po	0,713
proportion d'accord aléatoire Pe	0,144
coefficient Kappa K	0,665

Le coefficient Kappa global est égal à 0.665, soit un degré d'accord relativement bon (selon la le classement de l'accord proposé par Landis et Koch, 1977) entre la classification et la référence. Le calcul des Kappa catégoriels (cf. *Tableau 4*) permet une étude plus fine des éventuelles discordances entre les deux jugements. Les confusions observées dans la matrice de confusion se retrouvent ainsi dans les Kappa catégoriels des classes « espace agricole » et « zone naturelle », respectivement égaux à 0.417 et 0.573.

Tableau 4. Coefficients Kappa catégoriels

	Po	Pe	Kappa	Pi	Qi	Pi.Qi	Pi.Qi.Ki
Carrière- chantier- décharge	0,956	0,787	0,794	0,121	0,879	0,106	0,084
Espace agricole	0,855	0,752	0,417	0,145	0,855	0,124	0,052
Vegetation urbaine	0,908	0,767	0,607	0,134	0,866	0,116	0,071
Zone artificialisee	0,916	0,727	0,692	0,162	0,838	0,136	0,094
Zone en eau	0,949	0,776	0,771	0,128	0,872	0,112	0,086
Zone naturelle	0,879	0,716	0,573	0,171	0,829	0,142	0,081
Zone naturelle humide	0,964	0,762	0,847	0,138	0,862	0,119	0,101
Global	0,713	0,144	0,665	#	#	0,855	0,569

4. Discussion

La classification par approche orientée objet procède suivant deux principales étapes : la segmentation puis l'identification des entités. Or en télédétection, la matrice de confusion traite de pixels et non d'objets. Pour cette étude, afin de garantir des échantillons indépendants, l'objet est donc assimilé à un pixel.

4.1. Critique de la méthode d'évaluation

4.1.1. Qualité géométrique

La méthode d'évaluation prévoit à l'origine une estimation de la qualité sémantique mais aussi géométrique. Parmi les attributs de l'échantillon, le champ « *qual_geom* » doit indiquer le degré de conformité entre les contours de l'objet géographique (référentiel) et ceux de l'entité vectorielle (classification). Il s'avère que la segmentation opérée sous Definiens eCognition et les fusions post-traitements des polygones proposent en sortie une couche vectorielle qui ne respecte pas la forme des objets observés. Impossible donc d'estimer la qualité géométrique des différentes classes d'occupation du sol.

4.1.2. Limites de la photo-interprétation

Sur les 1610 polygones sélectionnés pour l'échantillon, 539 ne sont pas identifiés et ce pour deux raisons au moins :

- Taille des polygones : en deçà d'une certaine taille, il est difficile voire impossible d'assigner une classe à un polygone.
- Définition/identification : l'analyste peut hésiter parfois quant à l'assignation d'une classe à un polygone. Ce problème résulte de l'absence de définition pour chaque classe d'occupation du sol.

4.2. Recommandations pour la classification d'occupation du sol

4.2.1. Variabilité de la qualité sémantique

Pour construire la matrice de confusion, de nombreux échantillons sont pris au hasard. Or la précision globale est nettement inférieure lorsque l'échantillonnage tient compte des plus petits polygones. Concernant les résultats présentés ci-dessus, la couche d'occupation du sol a subi un prétraitement, avant la sélection aléatoire stratifiée. Les entités dont la surface est inférieure à 400m² sont éliminées. La couche d'occupation du sol en mode vectoriel comporte 39479 entités dont la surface est inférieure ou égale à 25m². La classification étant réalisée sur des images à 5m de résolution spatiale, ces objets géographiques ne peuvent exister. Ils résultent pour la plupart d'artefacts produits lors du croisement des couches routières avec la classification et/ou lors de la vectorisation. D'autres sont des pixels isolés. Leur signification sémantique est quasi-nulle.

Enfin, les superficies des entités vectorielles présentent une très forte variance intra-classes (cf. *Tableaux 5 et 6*). Cette analyse n'est pas surprenante et ce, quelle que soit la classe étudiée. Par exemple une zone naturelle peut caractériser un bosquet tout comme une vaste forêt. Toutefois, il semble qu'une grande partie des « petits polygones » (en dehors des zones artificialisées) soient des erreurs de classification.

Tableau 5. Récapitulatif des surfaces de polygones en fonction des classes

	Effectif	Aire min	Aire max	Aire_moyenne	Aire_total	Aire écart-type
Carriere, chantier, decharge	1225	16,02	988789,09	36542,90	44765049,83	99041,58
Espace agricole	108258	16,01	38334498,93	76747,93	8308576958,37	378359,02
Nuage	5197	16,01	64661817,10	174426,98	906497015,39	1310246,59
Route 10m	49358	16,01	265769357,87	19685,80	971651703,41	1779671,49
Route 20m	520	16,02	98011599,69	262360,82	136427627,18	4300597,04
Vegetation urbaine	122923	16,01	180723,74	2066,22	253986318,40	3876,32
Zone artificialisee	140097	16,01	1592943,71	6037,75	845870196,88	22801,80
Zone en eau	11911	16,01	2846973358,69	275452,81	3280918426,66	26102359,62
Zone naturelle	84053	16,01	234854737,45	187092,93	15725722016,16	1696281,32
Zone naturelle humide	1916	16,02	12144465,47	86934,73	166566937,51	597434,94
Total	525458	#	#	#	30640982249,80	#

Tableau 6. Récapitulatif des surfaces des polygones (>25m²) en fonction des classes

	Effectif	Aire min	Aire max	Aire_moyenne	Aire_total	Aire écart-type
Carriere, chantier, decharge	1008	29,05	988789,09	44404,94	44760178,67	107581,41
Espace agricole	103880	29,05	38334498,93	79981,51	8308478879,29	385914,90
Nuage	4635	29,05	64661817,10	195573,88	906484944,85	1385933,84
Route 10m	25159	29,05	265769357,87	38596,42	971047204,73	2492588,99
Route 20m	416	33,75	98011599,69	327945,05	136425141,05	4807130,32
Vegetation urbaine	121127	29,05	180723,74	2096,53	253946020,34	3896,90
Zone artificialisee	137298	29,05	1592943,71	6160,37	845806799,50	23016,71
Zone en eau	11182	29,05	2846973358,69	293409,27	3280902417,00	26939761,68
Zone naturelle	79894	29,05	234854737,45	196831,24	15725634791,05	1739322,09
Zone naturelle humide	1380	29,05	12144465,47	120691,36	166554071,95	701131,85
Total	485979	#	#	#	30640040448,44	#

4.2.2. Préconisations

Un post-traitement sur la classification d'occupation du sol pourrait améliorer les résultats de l'évaluation sémantique. Il paraît nécessaire de supprimer les pixels isolés sur les couches raster au moyen d'un filtre majoritaire ou d'une fermeture (dilatation, érosion) par exemple. De même sur la couche vectorielle, tout objet dont la superficie est inférieure à 25m² (voire beaucoup plus selon les classes) pourrait être fusionné avec les polygones voisins comportant la bordure partagée la plus longue ou la surface la plus grande.

5. Références

BENOIT M., GRENIER M., LABRECQUE S., DEMERS A.M. : 2006, *Inventaire canadien des terres humides, région du Québec : Outil de validation des résultats*, 12^{ème} conférence des utilisateurs des produits ESRI, Montréal, septembre 2006.

COHEN J., 1960 : "A coefficient of agreement for nominal scales.", *Educ. Psychol. Meas.*, vol. 20, pp. 27-46.

CONGALTON R.: 1991, "A Review of Assessing the Accuracy of Classifications of Remotely Sensed Data", *Remote Sensing of Environment*, vol. 37, pp. 35-46.

GIRARD M.C., GIRARD C.M : 2004, *Traitement des données de télédétection*, Dunod, pp. 303-335.

LANDIS J.R., KOCH G.G. 1977 : "The measurement of observer agreement for categorical Data, *Biometrics*, 1977a, vol. 33, pp. 159-174.

Annexe 3

Traitements spécifiques pour le département de la Lozère



TRAITEMENTS SPECIFIQUES POUR LE DEPARTEMENT DE LA LOZERE Annie DESBROSSES (Cirad, UMR TETIS)

Les images IRS ne couvrant pas tout le département de la Lozère pour l'année 1997, un traitement particulier a dû être mis au point pour la détection des changements de la tache artificialisée intervenus entre cette période et 2009.

1. Données utilisées :

1) Corine Land Cover (CLC)

Pour palier le manque d'images, nous avons choisi d'utiliser des données extraites de la Base De Données (BDD) géographique européenne Corine Land Cover (CLC). Cette information géographique présente l'avantage d'être une référence à l'échelle de l'Union Européenne. Elle est en outre en libre accès et facilement téléchargeable et utilisable.

Les données CLC suivantes ont été utilisées :

- occupation des sols de 2000 et 2006 (données vecteur),
- changements de l'occupation du sol entre 2000 et 2006 (données vecteur).

2) Cartographie des zones artificialisées LR en 2009

Pour l'année 2009, nous avons utilisé la cartographie des zones artificialisées 2009 couvrant la Lozère réalisée dans le cadre de l'étude à partir d'images satellitaires RapidEye.

3) Donnée de référence :

Le Scan25 de l'IGN (2006) a été utilisé comme donnée de référence.

NB : La contrainte de disponibilité des données, nous a conduits à effectuer le travail comparatif entre les années 2000 et 2009 et non pas 1997 et 2009 comme pour les autres départements régionaux.

2. Méthodologie :

Rappel méthodologique de constitution de la base CLC :

« L'unité spatiale au sens de CORINE Land Cover est une zone dont la couverture peut être considérée comme homogène, ou être perçue comme une combinaison de zones élémentaires qui représente une structure d'occupation. Elle doit présenter une surface significative sur le terrain et se distinguer nettement des unités qui l'entourent. De plus, sa structure doit être suffisamment stable pour servir d'unité de collecte pour des informations plus précises. **La surface de la plus petite unité cartographiée (seuil de description) est de 25 hectares pour les bases complètes et de 5 hectares pour les bases de changements.** Ce choix a été fait pour faciliter la digitalisation des documents d'auteur et l'impression de cartes lisibles, pouvoir représenter les éléments essentiels de la réalité du terrain et conduire à un rapport coût du projet / satisfaction des besoins compatible avec les contraintes financières du projet. » (*CORINE Land Cover France – Guide d'utilisation*)

Dans la mesure où ce travail avait pour base la BDD CLC, nous avons choisi de conserver ses principes méthodologiques de création de données. Ainsi, nous avons retenu comme base du changement, dans l'accroissement de l'artificialisé, une surface minimale de 5 ha.

Définition d'une nomenclature commune :

Afin de mettre en cohérence les classifications de la base CLC 2006 et de la cartographie des zones artificialisées 2009 pour pouvoir ultérieurement les comparer, la première tâche a été d'étudier les nomenclatures relatives à l'artificialisation des terres et d'établir les correspondances.

Globalement, les légendes des classes relatives à l'artificialisé se recouvraient. Cependant, les remarques suivantes sont à noter :

- la définition de la classe 112 (Tissu urbain discontinu) de CLC était la suivante : «Espaces structurés par des bâtiments. Les bâtiments, la voirie et les surfaces artificiellement recouvertes coexistent avec des surfaces végétalisées et du sol nu, qui occupent de manière discontinue des surfaces non négligeables. » Cette définition comprenait donc la « Végétation urbaine » de la cartographie des zones artificialisées, classe qui n'était pas retenue dans la notion d'artificialisation. Cependant, un contrôle visuel nous a permis de constater que cette classe 112 était généralement incluse de facto dans la cartographie des zones artificialisées. Nous l'avons donc retenue comme classe pertinente pour la carte de l'artificialisé de CLC ;
- faisant l'hypothèse que le réseau routier n'a pas subi de modification majeure, les classes 122 de CLC (Réseaux routiers et ferroviaires et espaces associés) et Routes 10 et 20 m de la classification Cirad n'ont pas été prises en compte.

Les classes retenues pour la comparaison ont donc été les suivantes :

Nomenclature Cirad		Nomenclature CLC	
<i>N° classe</i>	<i>Légende</i>	<i>N° classe</i>	<i>Légende</i>
1	Zone artificialisée	111	Tissu urbain
		112	Tissu urbain discontinu
		121	Zones industrielles et commerciales
		124	Aéroports
		142	Equipements sportifs et de loisirs
12	Carrière, chantier, décharge	131	Extraction de matériaux
		132	Décharges
		133	Chantiers

3. Traitement des données

La méthodologie suivante a été appliquée aux données :



4. Remarques sur le résultat

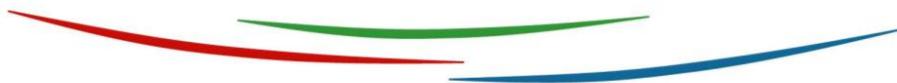
Une visualisation des premiers résultats (polygones correspondant à une augmentation de surface artificialisée entre 2006 et 2009) sur le Scan25 a tout de suite permis de voir que la plupart des polygones correspondaient à des villages déjà existants. Ceci s'explique par le fait que la carte de CLC n'avait recensé que les taches artificialisées supérieures à 25 hectares. Ces villages avaient cependant été retenus par le traitement de l'image de 2009.

Les polygones obtenus (au nombre de 88) ont été examinés un par un. Dans l'optique de recenser effectivement l'**accroissement** des surfaces artificialisées (hors systèmes routier et autoroutier) entre 2006 et 2009, les polygones qui correspondaient à des éléments (villages, carrières) déjà existants en 2006 et dont l'éventuelle extension ne présentait pas une superficie supérieure à 5 hectares (taille de référence) ont été supprimés.

Nous avons, à la fin des traitements, obtenu un fichier vecteur de 54 polygones correspondant aux espaces supérieurs à 5 ha (à l'échelle d'une commune) ayant été artificialisés entre 2000 et 2009.

Annexe 4

Rappel de la méthode de qualification - construction et mise en œuvre d'un indice de qualité des sols (UMR LISAH)



Rappel méthode de qualification - construction et mise en œuvre d'un indice de qualité des sols (UMR LISAH)

L'analyse uniquement quantitative des surfaces consommées par le développement de l'habitat ne saurait à elle seule constituer une base suffisante pour orienter les décisions en matière de préservation d'un patrimoine agronomique des sols. Les sols sont en effet extrêmement variables dans l'espace compte tenu de la multiplicité et de la variabilité des facteurs du paysage qui interagissent à leur formation (relief, géologie, occupation du sol, etc.).

Exploration des méthodes et données mobilisables pour construire un indice de qualité des sols

Objectif

L'objectif consistait à caractériser chaque surface perdue à cause de l'extension de l'urbanisation ou susceptible de l'être par un degré de qualité qui permette aux décideurs de mieux apprécier le préjudice que cette perte fait subir à la collectivité.

Deux problèmes successifs doivent être résolus pour répondre à cet objectif :

- définir un indicateur de qualité des sols qui réponde aux préoccupations des décideurs et qui soit adapté au contexte régional ;
- mettre en œuvre cet indicateur sur une région donnée en utilisant les données spatiales sur les sols disponibles.

Dans cette étude, un indicateur de qualité spécifique au problème posé, adapté à l'agriculture régionale et aux données pédologiques disponibles a été proposé. Nous avons testé sa mise en œuvre à l'échelle du Languedoc-Roussillon en utilisant comme données sources le référentiel Pédologique Régional (Bornand et al, 1994).

L'indicateur de qualité des sols devait remplir les conditions suivantes :

- permettre d'apprécier le potentiel d'utilisation globale d'un sol à long terme ou très long terme. A ce titre aucune aptitude particulière à une culture ou aucune fonction du sol n'était à privilégier par rapport à une autre. S'agissant d'un impact s'exerçant au delà de plusieurs dizaines d'années, il est en effet impossible de se référer à tel ou tel agro système de référence ou usage agricole et/ou environnemental du sol ;
- proposer des modalités permettant de comparer un maximum de sols du Languedoc-Roussillon entre eux tout en restant simple. Il s'agissait pour cela de proposer une classification avec un nombre limité de modalités, ces modalités ayant des effectifs comparables entre elles ;
- être facilement mis en œuvre dans un délai très court. Il s'agissait de privilégier un indicateur utilisant des données spatiales pédologiques déjà disponibles sur l'ensemble du Languedoc-Roussillon.

Les méthodes d'évaluation de la qualité des sols (d'après Rémy, 2005)

L'évaluation des terres consiste en un classement ordonné de la qualité des sols en vue d'un usage donné. Elle est donc une démarche contingente qui s'inscrit dans un contexte d'utilisateurs, pour comparer des aptitudes à une utilisation donnée, pour évaluer la pertinence et le coût d'amélioration structurelle en vue d'un usage donné ou pour surveiller globalement et protéger les sols et les autres ressources naturelles. Il est donc illusoire de rechercher une méthode de classement universelle qui s'appliquerait à tous les contextes pédologiques et tous les problèmes posés. Il est cependant possible de classer ces méthodes en deux grands groupes : 1) Combinaison logique de classe de sol et 2) approches quantitatives.

La combinaison logique de classe de sol répartit les critères pédologiques en classes sur lesquelles on applique des combinaisons logiques et hiérarchisées, élaborées le plus souvent par dire d'expert. Les exemples les plus aboutis de ces classifications sont la classification USDA (Klingebiel, 1958) et la classification FAO (FAO, 1986). Ces classifications sont le plus souvent élaborées en référence à l'aptitude à plusieurs cultures identifiées et à des fonctions du sol précises. Récemment, des

améliorations de ce type de classification utilisant la logique floue ont été proposées (Groenemans et al, 1997) pour rendre compte des imprécisions de classement des critères de sol.

Les approches quantitatives évaluent les sols sur une échelle numérique continue soit en construisant des relations empiriques par dire d'expert (ex: l'équation universelle de perte en sol de Wisheier, 1958), soit en élaborant des relations statistiques à partir de larges enquêtes régionales (Olson, 1986) soit par construction mécaniste à partir des paramètres du milieu et des caractéristiques des cultures (Van Diepen et al, 1991). Les fonctions construites prennent la forme soit de modèles multiplicatifs, soit de modèles additifs ou combinaisons linéaires. Ces approches concernent plutôt des évaluations plus spécifiques à un risque (ex: érosion) ou à l'aptitude à une culture donnée. Elles nécessitent généralement plus de données que les approches précédente ce qui rend leur généralisation plus difficile.

Méthode retenue pour la définition d'un indice de qualité des sols

Après examen de la bibliographie et des objectifs spécifiques rappelés ci-dessus, il est proposé d'évaluer une qualité « globale » du sol pour un usage futur d'ici à un siècle en privilégiant le potentiel agronomique du sol et la capacité maximum de diversification des usages du sol.

L'approche retenue est une approche par combinaison logique de classes de sol qui prend en compte les contraintes rencontrées en milieu méditerranéen. L'indicateur est présenté dans la figure suivante sous forme d'un arbre de décision avec trois niveaux hiérarchisés de classification.

- La contrainte « absolue » qui discrédite systématiquement et entièrement le potentiel du sol lorsqu'elle existe (classe 4). Il s'agit de la présence de salinité ;
- La réserve utile qui constitue le paramètre principal de hiérarchisation, représentée en trois classes (classes 1,2 et 3) ;
- Les contraintes « secondaires » (battance, hydromorphie, pierrosité ou abondance des éléments grossiers et pH) dont la prise en compte permet de moduler la qualité des sols au sein de chaque classe de réserve utile. Ainsi, la présence de n (n = 0 à 4) contraintes sur un sol de classe de réserve utile p (p=1 à 3), permet de classer le sol en classe n.p avec n.p. d'autant plus défavorable que n (le nombre de contraintes secondaires) est grand et que p est

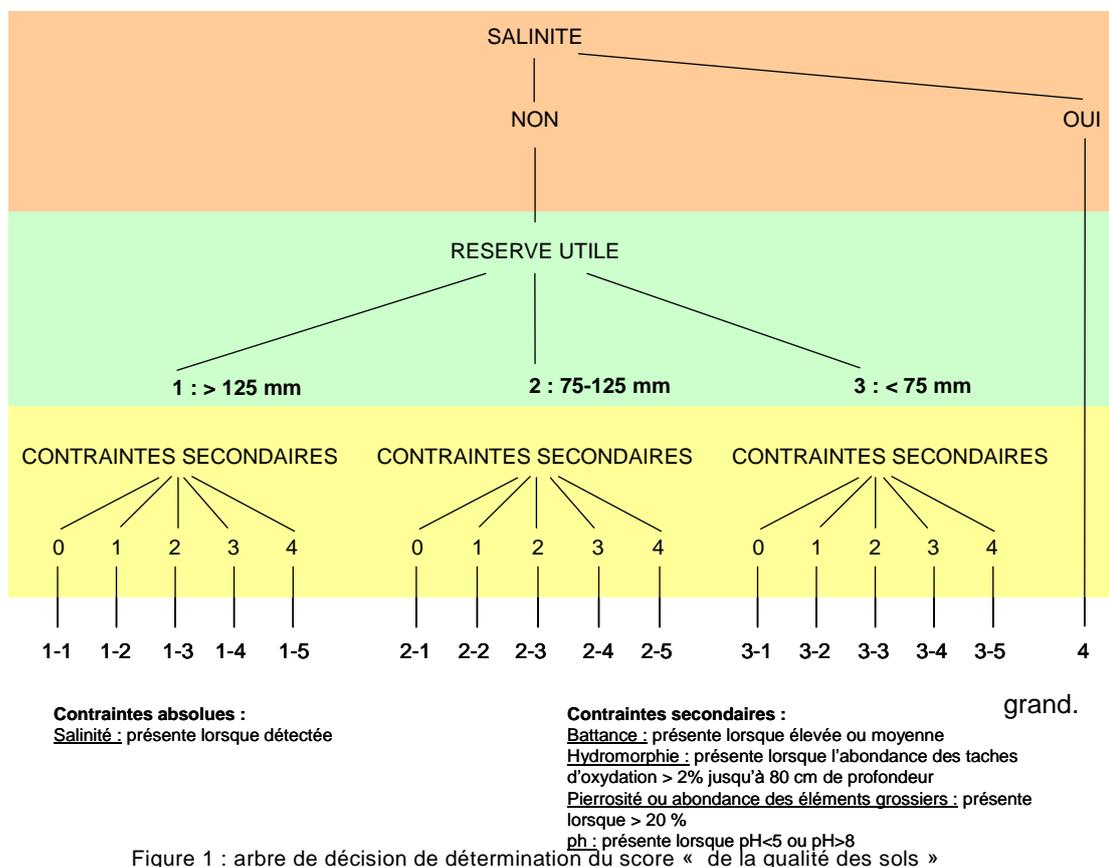


Figure 1 : arbre de décision de détermination du score « de la qualité des sols »

Méthode de calcul de la réserve utile des sols du Languedoc-Roussillon

La carte des réserves utiles du Languedoc-Roussillon a été produite à partir des données de la BdSol LR dont on trouvera une description sur le site <http://sol.ensam.inra.fr/BdSolLR>. Nous résumons ici brièvement la procédure utilisée pour obtenir cette carte.

Deux étapes sont distinguées :

- le calcul de RU pour les Unités Typologiques de Sol (UTS) de la Bdsol LR ;
- l'agrégation spatiale des RU au niveau des Unités Cartographiques de sol de la Bdsol LR.

Calcul de RU pour les Unités Typologiques de Sol (UTS) de la Bdsol LR

La formule utilisée pour calculer la réserve utile est la suivante :

$$RU = H \times TE \times (1-(EG/100))$$

RU : réserve utile exprimée en millimètres

H : épaisseur du sol exprimée en centimètres

TE : facteur ou indice de texture déterminé à partir de la classe de texture

EG : éléments grossiers exprimés en pourcentage

AISNE	TE
A	1,75
ALO	1,7
AL	1,8
AS	1,7
LAS	1,75
LA	1,95
SA	1,35
LSA	1,65
S	0,69999
SL	1
LLS	1,2
LL	1,3
LS	1,45
LMS	1,6
LM	1,75
R	0
null	0

Tableau1 : détermination du facteur de texture (TE) par classe de texture (d'après Jamagne et Betremieux, in Lemonier, 1992)

La réserve utile est calculée par unités typologiques de sol (UTS). Elle correspond à la somme des réserves utiles des strates correspondant de l'UTS concernée :

$$RU(uts) = \sum RU(strates)$$

Pour éviter des biais liés à des profondeurs de description différentes des UTS, les RU sont calculées pour une profondeur de références données. Trois profondeurs sont considérées : 100 cm, 150 cm, 200 cm. Lorsque les profondeurs sur lesquelles les UTS sont décrites (sans mention d'apparition de la fin de la zone exploitable par les racines) sont inférieures à ces profondeurs de référence, la valeur de la strate de sol la plus profonde est extrapolée jusqu'à la profondeur de référence. En conséquence, plus la profondeur de référence est grande, plus le risque d'erreur liée à cette extrapolation est grand.

Les données granulométriques des strates sont transposées dans le triangle de texture de l'Aisne. On attribut à chaque strate l'indice de texture en relation avec la classe de texture correspondante (tableau 1).

Agrégation spatiale des RU au niveau des Unités Cartographiques de sol de la Bdsol LR

Les Unités Typologiques de Sol traitées précédemment n'ont pas de contours géographiques propres mais sont regroupées dans des Unités Cartographique de sol (ou unités de pédopaysage) dont on connaît la liste des UTS qu'elles englobent avec leur proportion respective. Pour spatialiser la réserve utile, on calcule donc, pour chaque UCS, une moyenne des RU calculées par UTS pondérées par les proportions de chaque UTS (Bornand, et al., 1994).

Soit une UCS composée des UTS $u_1, u_2, \dots, u_i, \dots, u_n$ avec les RU $r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_n$ et des proportions respectives $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n$

$$RU_{UCS} = \sum p_i * r_i$$

Bibliographie - Qualification

Antoni, V., Le Bissonnais, Thorette, J., Zaidi, N., Laroche, B., Barthès, S., Daroussin, J.

Arrouays, D., Modélisation de l'aléa érosif des sols en contexte méditerranéen à l'aide d'un référentiel pédologique régional au 1/250 000 et confrontation aux enjeux locaux. *Etude et Gestion des Sols* 13 (3). 201-22

Bornand, M., Legros, J. P., and Rouzet, C. (1994). Les banques régionales de données-sols. Exemple du Languedoc-Roussillon. *Etude et Gestion des Sols*, 1, 67-82.

FAO, 1986. Agro-Ecological Zoning System, Sales and marketing group FAO, Viale delle Terme di Caracalla, Roma Italy. System.

Groenemans, R., Van Ranst, E., Kerre, E., 1997. Fuzzy relational calculus in Land Evaluation. *Geoderma* 77, 3. 283-298

Klingebiel, A.A., 1958. Soil Survey Interpretation. Capability grouping. *Soils Sci. Soc. Am. Proc.*, 22, 160-163

Olson, K.R. And Olson, G.W., 1986. Use of multiple regression analysis to estimate average corn yields using selected soil and climate data. *Agric. Syst.*, 20, 105-120

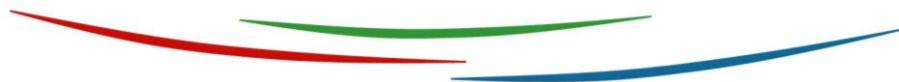
Rémy, 2005. Méthodologie pour l'évaluation des terres: contraintes pédologiques et facteurs limitant d'utilisation des sols. *Sols et environnement. Cours, exercices et études de cas*. M. C. Girard, C.

Walter, J. C. Remy, J. Berthelin and J.-L. Morel. Paris, Dunod: 694-714 (chapter 31).

Van Diepen C.A., van Keulen, H., Wolf, J., Berkhout, J.A.A., 1991. Land evaluation. From intuition to quantification. *Advances in Soil Sciences*, 15, 139-204

Annexe 5

Notice d'utilisation de l'interface (outil de consultation en ligne)



NOTICE D'UTILISATION DE L'INTERFACE
« Indicateurs et dynamiques territoriales en Languedoc-Roussillon »
(Estelle Ancelet, André Torre, Frédéric Bray, Cemagref UR DTM, Grenoble)

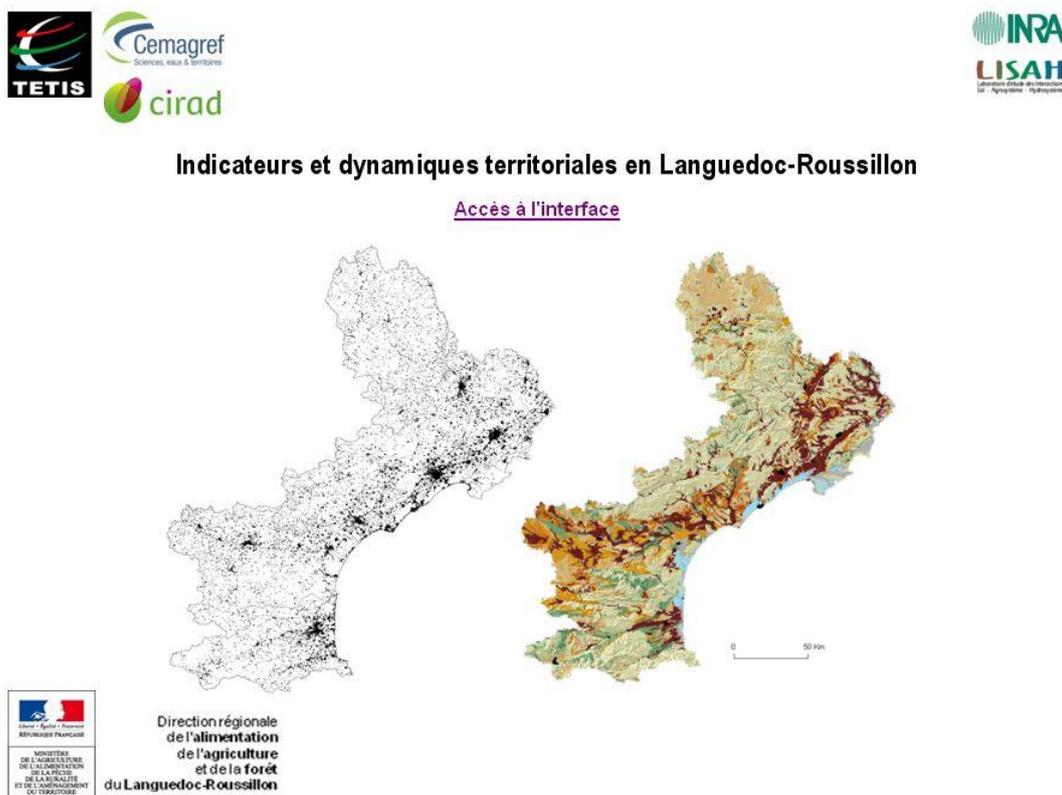
1. Vérification du navigateur Internet	38
2. Familiarisation avec l'interface	40
2.1. Descriptif de l'observatoire	40
2.2. Fonds cartographiques et informations diverses	41
2.3. Première étape – Choix d'un indicateur	42
2.4. Deuxième étape – Choix d'une zone d'étude	42
2.5. Troisième étape – Choix d'un mode de restitution	43
2.6. Métadonnées et liaisons entre indicateurs	50
3. Erreurs et bugs récurrents	51
3.1. Fonctionnement général	51
3.2. Cartographie en plages de couleur	51
3.3. Fonds de carte	52
3.4. Déplacements dans l'interface	52
3.5. Décalage des zones cartographiées par rapport au fond	52

Date de rédaction de la notice : février 2011

Auteurs : estelle.ancelet@cemagref.fr
andre.torre@cemagref.fr
frederic.bray@cemagref.fr

1. Vérification du navigateur Internet

La copie d'écran ci-dessous illustre la page d'accueil de l'interface.



Pour accéder à l'interface cliquer sur le lien « [Accès à l'interface](#) »

Si la fenêtre ne s'affiche pas correctement il faut s'assurer d'avoir le bon navigateur et sous sa bonne version.

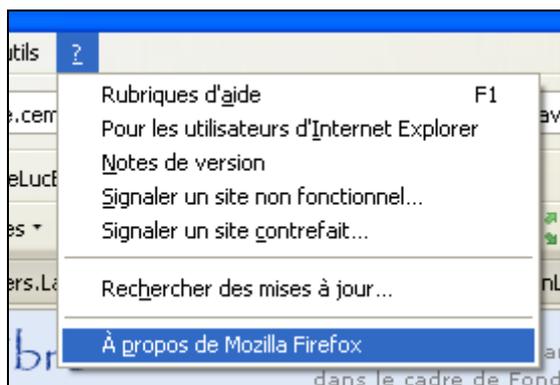
En effet, l'outil demande de posséder le navigateur Mozilla Firefox (**version 3 et postérieures**, ex : 3.0.8 ou 3.5) ou Internet Explorer (**version 7 et postérieures**).

Pour télécharger Mozilla Firefox : <http://www.mozilla-europe.org/fr/firefox>.

Pour télécharger Internet Explorer :

<http://www.microsoft.com/switzerland/windows/fr/internet-explorer/default.aspx>

Pour connaître la version du navigateur de votre ordinateur :



Aller dans le menu aide (représenté par un ?) du navigateur et cliquer sur « A propos de Mozilla Firefox » ou « A propos de Internet Explorer ». Une fenêtre apparaît donnant la version du navigateur.

Pour Mozilla Firefox, si le navigateur est d'une version antérieure à la version 3, la mettre à jour (cliquer sur « Rechercher des mise à jour » dans le menu aide).

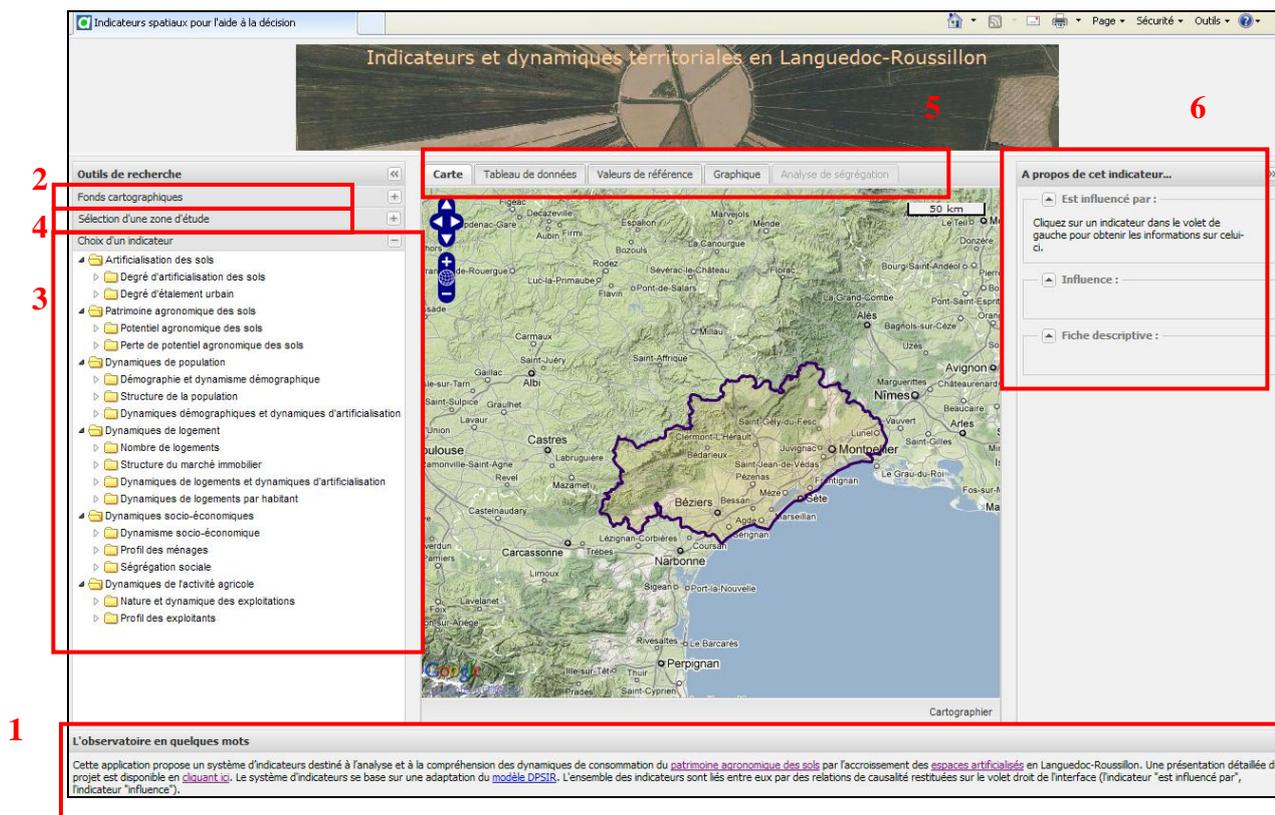


Pour mettre à jour Internet Explorer cliquer sur le lien de la page précédente (pour télécharger ce navigateur).



Une fois le navigateur téléchargé, relancer l'application.

2. Familiarisation avec l'interface



L'interface est divisée en 6 parties correspondant aux 6 cadres de l'image ci-dessus. Chaque partie est détaillée dans les chapitres qui suivent.

2.1. Descriptif de l'observatoire

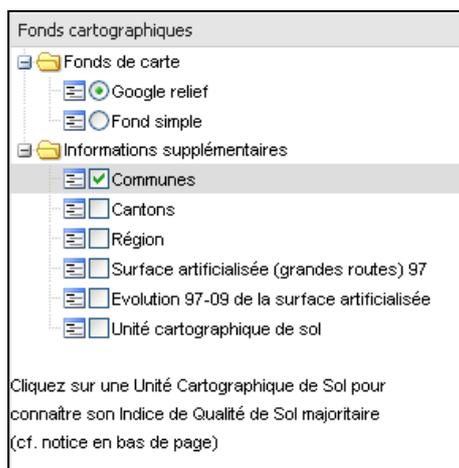
L'observatoire en quelques mots

Cette application propose un système d'indicateurs destiné à l'analyse et à la compréhension des dynamiques de consommation du patrimoine agricole des sols par l'accroissement des espaces artificialisés en Languedoc-Roussillon. Une présentation détaillée du projet est disponible en [clicquant ici](#). Le système d'indicateurs se base sur une adaptation du modèle DPSIR. L'ensemble des indicateurs sont liés entre eux par des relations de causalité restituées sur le volet droit de l'interface ("l'indicateur "est influencé par", l'indicateur "influence").

Les principes de l'étude présentée dans l'interface sont résumés en bas de page dans le cadre 1. L'utilisateur peut cliquer sur les liens pour avoir de plus amples informations sur les thèmes suivants :

- descriptif du projet ;
- patrimoine agricole des sols ;
- espaces artificialisés ;
- modèle DPSIR et liaison entre indicateurs.

2.2. Fonds cartographiques et informations diverses



Cadre 2 : ce volet permet de choisir un fond de carte. Il se divise en deux parties : on distingue les fonds de cartes de couches supplémentaires pouvant se superposer.

Fonds de carte :

- fond relief avec les noms des principales communes ;
- fond simple.

Informations supplémentaires :

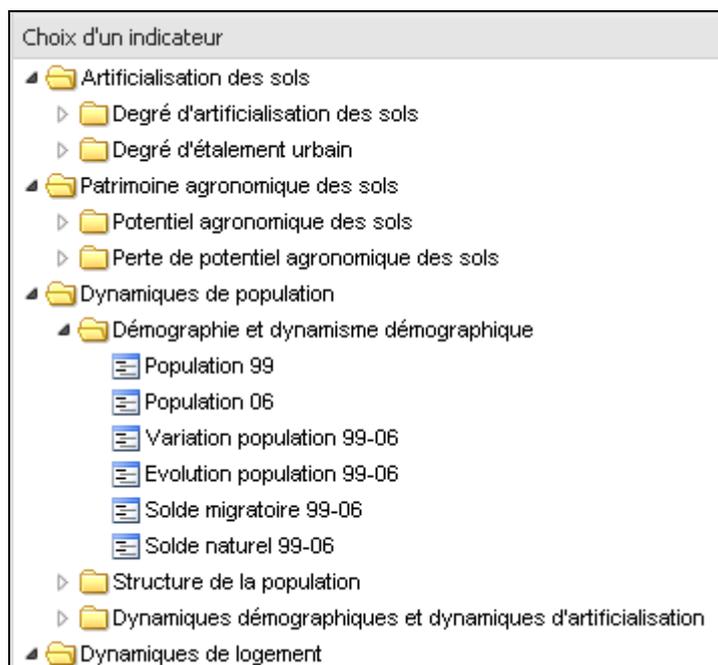
- contour administratif des communes ;
- contour des cantons ;
- contour de la région Languedoc-Roussillon ;
- surfaces artificialisées en 1997 (couche très longue à charger) ;
- évolution de la surface artificialisées entre 1997 et 2009 (couche très longue à charger) ;
- unités cartographique de sol. Cette dernière couche est interrogeable avec le click de la souris.

Ainsi, l'utilisateur peut cliquer à l'endroit désiré et obtenir les informations relatives au potentiel agronomique du sol sur ce point à l'aide d'une fenêtre comme celle ci-dessous.



Pour interpréter ces données, télécharger la notice explicative en bas de page (lien « potentiel agronomique des sols »).

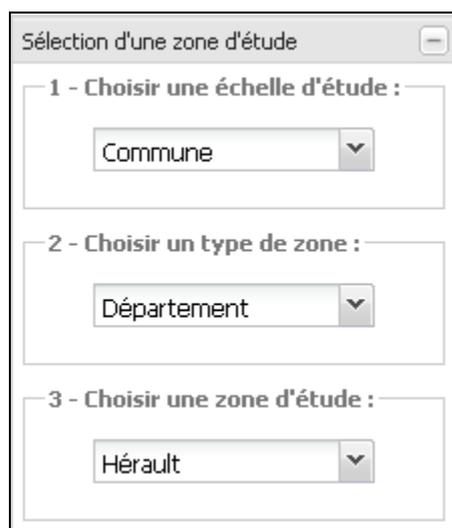
2.3. Première étape – Choix d'un indicateur



Cadre 3 : un système de dossier et de sous dossiers permet de mener l'utilisateur au choix d'un indicateur.

Les données calculées à partir de l'artificialisation du sol en 1997 ne couvrent pas l'ensemble du territoire du département de la Lozère. L'interprétation de ces données ainsi que des valeurs de références issues doit être réalisée avec prudence

2.4. Deuxième étape – Choix d'une zone d'étude



Cadre 4 : le choix d'une zone d'étude se déroule en trois temps :

- 1 - Choix d'une échelle d'agrégation des données.
C'est l'unité spatiale de base de représentation des données. On peut choisir d'utiliser des données de base au niveau communal ou cantonal.
- 2 - Choix d'un type de zone d'étude.

C'est le type de territoire choisi comme zone d'étude. Au moment de la rédaction de ce rapport, la zone d'étude ne peut-être qu'un département.

Le tableau ci-dessous indique les types de territoire disponibles en fonction de l'échelle d'agrégation de données choisie.

Echelle d'agrégation de la donnée	Types de zones d'étude associées
Commune	Département
Canton	Département

D'autres échelles et zones d'études pourront être envisagées lors de versions postérieures de l'interface.

Rappel : les données calculées à partir de l'artificialisation du sol en 1997 ne couvrent pas l'ensemble du territoire du département de la Lozère. L'interprétation de ces données ainsi que des valeurs de références issues doit être réalisée avec prudence.

- 3 - Choix d'un site d'étude.
C'est le territoire d'étude en lui même.

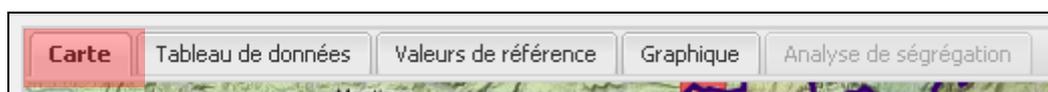
Une fois la zone d'étude choisie, celle-ci s'affiche à l'écran.

Par défaut, l'étude est centrée sur l'Hérault avec une maille d'étude communale.

2.5. Troisième étape – Choix d'un mode de restitution

Cadre 5 : l'utilisateur peut à présent choisir un mode de restitution pour l'indicateur et la zone d'étude choisis. **Il est conseillé de ne pas sortir de l'application pendant les temps de chargement des données (risque d'erreur).**

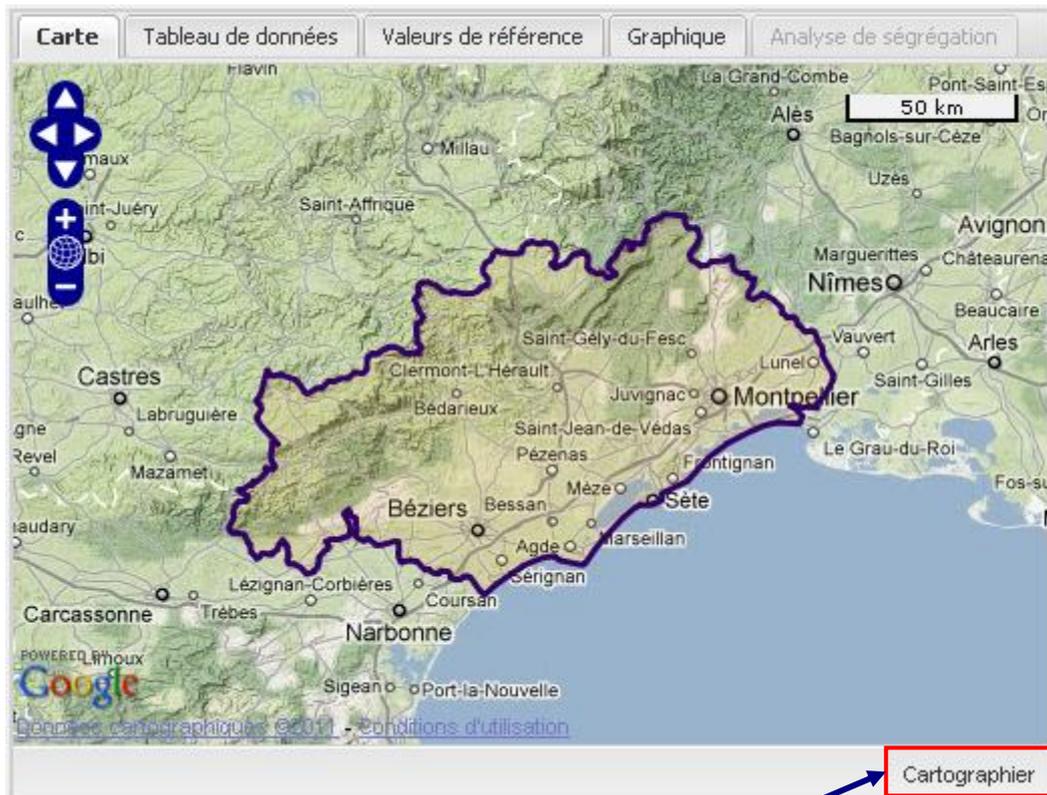
Cartes



Les règles applicables en cartographie (constituant la sémiologie graphique) imposent :

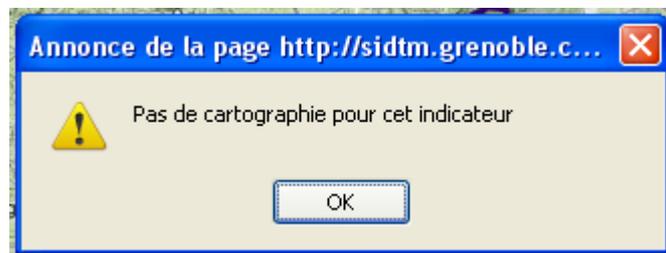
- des cartes en cercles proportionnels pour les valeurs absolues ;
- des cartes en plages de couleurs pour les valeurs relatives (issues d'un calcul).

Le choix entre ces deux méthodes de cartographie n'est pas laissé à l'utilisateur pour une question de simplification de l'utilisation de l'outil. Cependant il résulte de cela deux types de manipulation. Celles-ci vont être illustrées par deux exemples.



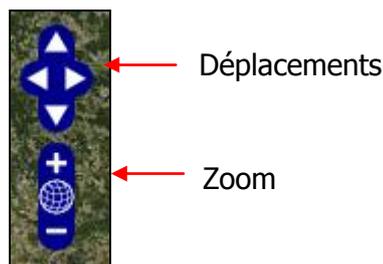
Dans tous les cas, l'utilisateur va cliquer sur le bouton « cartographe » pour obtenir une cartographie de l'indicateur désiré.

Si l'indicateur n'est pas cartographiable (en général les indicateurs composés de plusieurs classes), une fenêtre d'alerte s'affiche alors.



Déplacements dans l'onglet carte :

L'utilisateur peut se déplacer en utilisant uniquement à l'aide de la souris en saisissant la carte pour la déplacer à gauche ou à droite ou avec la molette pour zoomer et dé-zoomer. Il peut également utiliser les outils prévus à cet effet :



Cartographie de la part de superficie artificialisée (sans route) en 1997

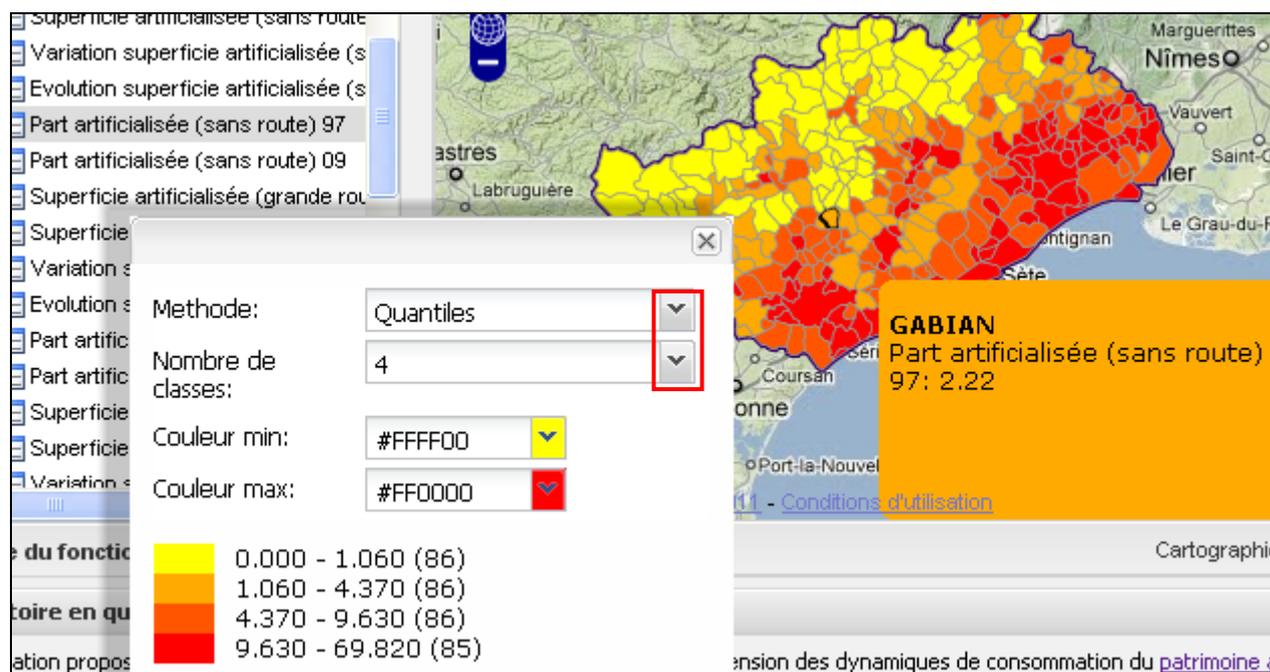


Figure : Cartographie de la part de superficie artificialisée (%) en 1997 sur le département de l'Hérault

En cliquant sur le bouton « Cartographie », une fenêtre d'analyse thématique apparaît. Celle-ci permet de choisir une méthode de discrétisation² (quantiles, intervalles égaux ou Jenks), un nombre de classes (de 1 à 6) et les couleurs des bornes extrêmes. Cette fenêtre peut être déplacée à l'aide de la souris.

En même temps que la fenêtre d'analyse, une cartographie par défaut s'affiche en quantiles avec 4 classes.

Le choix de la méthode de discrétisation influe grandement sur l'information qui va être délivrée par la carte. Quelques précisions à ce sujet sont présentées en annexe. Plusieurs tests en faisant varier la méthode, l'indicateur choisi et le nombre de classes permettront à l'utilisateur de constater les différences de représentation.

La méthode la plus pertinente à utiliser sans connaissances particulière en cartographie est la méthode de Jenks.

Le survol des entités (communes) avec la souris provoque l'affichage d'une fenêtre colorée en bas à droite de l'écran indiquant la commune concernées et la valeur de l'indicateur choisi pour cette commune.

Pour réaliser une nouvelle carte en plages de couleurs, il est nécessaire de fermer la fenêtre d'analyse thématique avec le bouton . La carte s'efface alors et on peut changer de zone d'étude et/ou d'indicateur et recommencer.

² Méthode de discrétisation : voir en annexe pour plus de précisions.

Cartographie de la répartition de la population en 1999

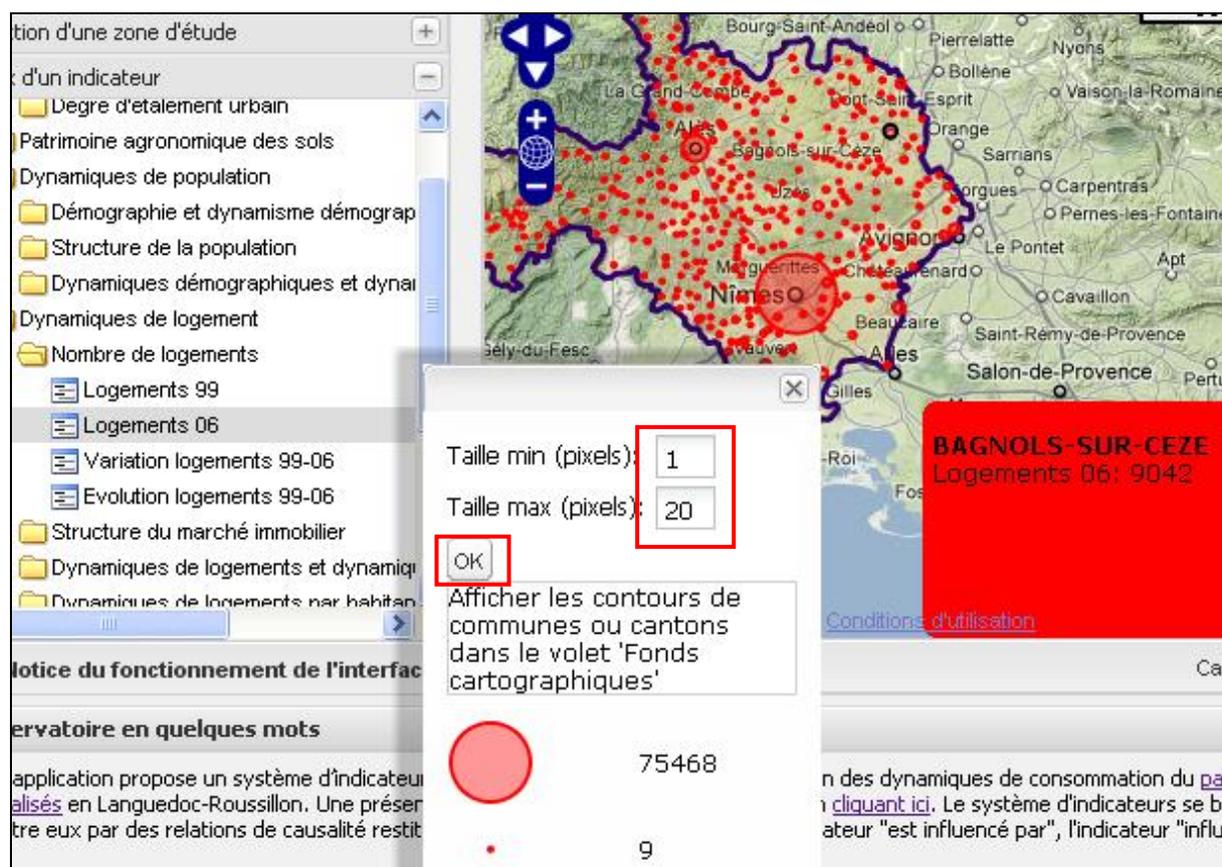


Figure : Cartographie du nombre de logements en 2006 sur le département du Gard

En cliquant sur le bouton « Cartographie » une fenêtre de paramétrage des cercles proportionnels s'affiche en même temps que la cartographie par défaut. Elle permet de fixer la taille (en pixels) des cercles attribués à la plus petite et à la plus grande valeur.

L'utilisateur peut améliorer la lisibilité de la carte en faisant varier la taille du plus gros et/ou du plus petit cercle (en tapant les valeurs à la main dans l'espace prévu à cet effet puis en cliquant sur).

Pour réaliser une nouvelle analyse en cercles proportionnels il faut fermer la fenêtre de légende grâce au bouton . La carte s'efface alors et on peut changer de zone d'étude et/ou d'indicateur et recommencer.

Pour éviter tout bug dans l'application il vaut mieux effacer chaque carte avant d'en créer une nouvelle.

Cependant, une carte en cercles proportionnels peut être superposée à une carte en plages de couleurs. Pour cela il est nécessaire de réaliser d'abord l'analyse en plages de couleurs puis faire une carte avec des cercles proportionnels sans fermer les fenêtres de légende.

Bien entendu, cela suppose de savoir au préalable les représentations graphiques induites par chaque donnée !

Tableaux de données

Carte **Tableau de données** Valeurs de référence Graphique Analyse de ségrégation

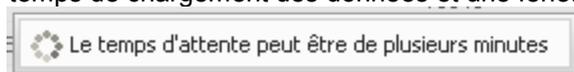
Les données calculées à partir de l'artificialisation du sol en 1997 ne couvre pas l'ensemble du territoire du département de la Lozère. Leur interprétation doit être réalisée avec prudence.

Identifiant	Zone concernée	Indicateur
-------------	----------------	------------

Export en Excel Afficher les données

L'application permet d'obtenir les valeurs de l'indicateur pour la zone et l'échelle choisies en allant dans l'onglet « Tableau de données » et en cliquant sur « Afficher les données ». Ce tableau peut-être agrandi par la droite afin d'afficher la totalité des champs.

L'interface est « gelée » le temps de chargement des données et une fenêtre d'information s'affiche :



Il est conseillé de ne pas sortir de l'application pendant les temps de chargement des données (risque d'erreurs).

Identifiant	Zone concernée	pop_sdc_99	
34001	ABELHAN	979	
34002	ADISSAN	736	
34003	AGDE	19988	
34004	AGEL	167	
34005	AGONES	179	
34006	AIGNE	234	
34007	AIGUES-VIVES	354	
34008	AIRES	544	
34009	ALIGNAN-DU-VENT	1134	

Une fois affiché, le tableau peut être trié selon chaque colonne grâce à un bouton apparaissant au survol de la souris à droite des intitulés de colonnes.

Le bouton **Export en Excel** en bas à gauche de cette fenêtre permet d'obtenir le tableau au format Excel.

L'utilisateur doit penser à cliquer de nouveau sur **Afficher les données pour actualiser les valeurs du tableau lors du changement de choix d'un indicateur.**

Valeurs de références

Les valeurs de références de l'indicateur sélectionné pour la région sur la région Languedoc-Roussillon peuvent être affichées. L'utilisateur peut ainsi obtenir les valeurs de la région Languedoc-Roussillon, des 5 départements et de chaque type de ZAUER.

Le fonctionnement de l'onglet de « Valeurs de référence » est le même que celui du tableau de données (cf. partie précédente).

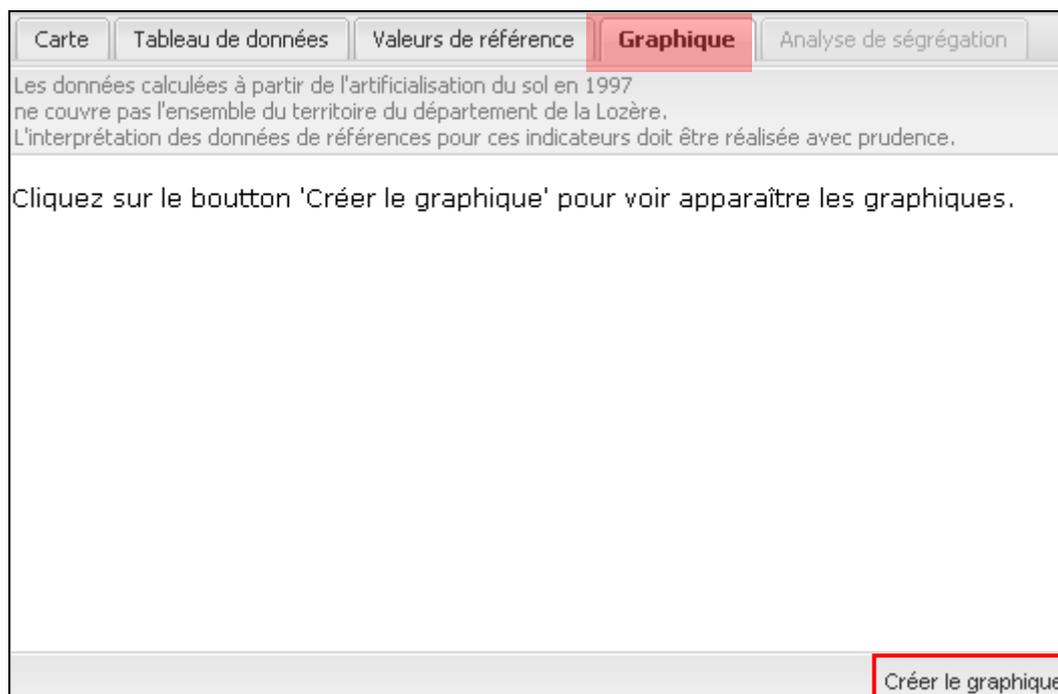
Penser à cliquer de nouveau sur **Afficher les données pour actualiser les valeurs du tableau lors du changement de choix d'un indicateur.**

Identifiant	Zone concernée	classepa_initial_code_1	classepa_initial_code_2
91	LANGUEDOC-ROUSSILLON	404376	128595
11	AUDE	104714	35630.2
30	GARD	132803	32503.1
34	HERAULT	112567	41704
48	LOZERE	16640	13521.7
66	PYRENEES-ORIENTALES	37653.2	5235.85
1	pôle urbain	49456.2	8560.66
2	monopolarisé	121796	23687.3
3	mutipolarisé	37054.7	17449.4
4	pôle d'emploi de l'espace rural	19251.9	5501.05
5	couronne de pôle d'emploi de l'espace rural	5683.35	2116.49
6	autres communes de l'espace à dominante rurale	171135	71279.9

Les données calculées à partir de l'artificialisation du sol en 1997 ne couvre pas l'ensemble du territoire du département de la Lozère. L'interprétation des données de références pour ces indicateurs doit être réalisée avec prudence.

Export en Excel **Afficher les données**

Graphiques

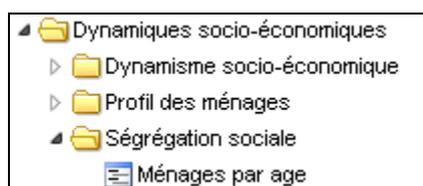


Les graphiques des valeurs de références peuvent être obtenues dans l'onglet « Graphique » en cliquant sur « Créer le graphique ».

Le graphique affiché sera différent suivant l'indicateur représenté.

Analyses de ségrégation

Le développement de l'interface a été l'occasion de tester la mise en place d'indicateurs de ségrégation. Ils ont été mis en place uniquement pour l'indicateur « Ménages par âge ».



Lors de la sélection de cet indicateur, l'application verrouille certaines fonctionnalités :



Remarque : cet onglet est bloqué pour tous les autres indicateurs sélectionnés.

2.6. Métadonnées et liaisons entre indicateurs

A propos de cet indicateur... >>
▲ Est influencé par :
Part artificialisée (sans route) 97
[Superficie artificialisée \(sans route\) 97](#)
Part artificialisée (sans route) 09
[Superficie artificialisée \(sans route\) 09](#)
Variation superficie artificialisée (sans route) 97-09
[Evolution superficie artificialisée \(sans route\) 97-09](#)
Part artificialisée (sans route) sans continuité avec l'existant 97-09
▲ Influence :
▲ Fiche descriptive :
[Superficie artificialisée \(sans route\) sans continuité avec l'existant 97-09](#)

Le volet de droite (cadre 6) se complète lors du choix d'un indicateur. Il permet de connaître les indicateurs liés à l'indicateur sélectionné et d'accéder à une fiche descriptive de l'indicateur si celle-ci existe.

3. Erreurs et bugs récurrents

3.1. Fonctionnement général

L'application demande à être relancée si vous avez laissé la page Internet ouverte plusieurs dizaines de minutes sans l'utiliser ou si vous travaillez dessus sur de longues durées. Pour cela appuyer sur la touche F5.

De même, si vous rencontrez des difficultés à évoluer dans l'application (lenteur importante, impossibilité de réaliser des cartes, fenêtre de réalisation de cartes se dédoublant, messages d'erreur de script...) vous pouvez relancer l'application en appuyant sur la touche F5.

3.2. Cartographie en plages de couleur

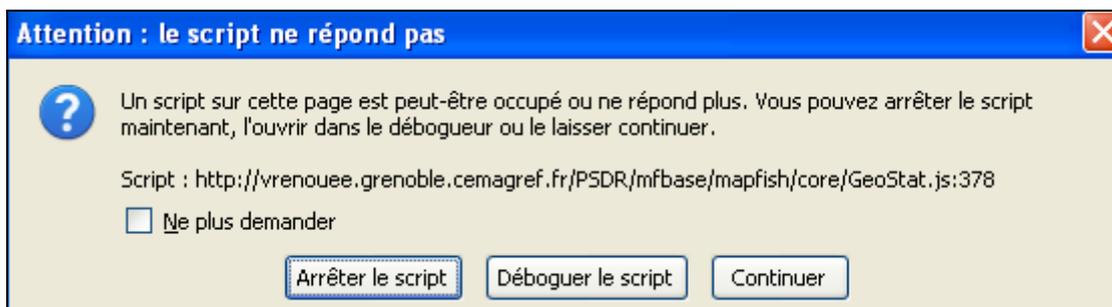
Certaines discrétisations ne conviennent pas pour un nombre de classes données.

Par lorsque le jeu de données ne comprend que 6 valeurs qui sont alors impossibles à répartir dans 4 classes ayant le même nombre d'individus.

Un autre exemple de ce genre serait de choisir un nombre de classes supérieur au nombre de valeurs dans le jeu de données.

Dans ces 2 cas (et pour bien d'autres cas) aucune carte n'est affichée à l'écran. Pour remédier à cela il faut procéder par tâtonnement en changeant le nombre de classes demandées et/ou la méthode de discrétisation. Vous pouvez également ouvrir le tableau de valeurs pour rechercher la raison de non ouverture d'une carte (donne une indication sur les valeurs utilisées et leur nombre).

Dans certains cas (rares heureusement), la méthode de Jenks n'est pas adaptée et elle produit un message d'erreur indiquant que le serveur met trop de temps à donner une réponse. La fenêtre qui s'ouvre alors vous donne le choix entre « Arrêter le script », « Continuer » ou « Debuguer ». Choisir « Arrêter le script » et prendre alors une autre méthode ou changer le nombre de classes.



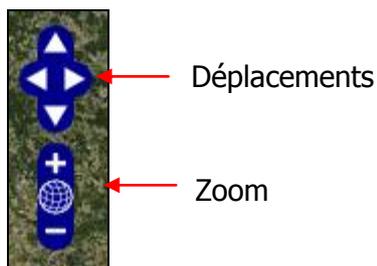
Ce bug est dû au fait que la répartition des valeurs est telle que le serveur n'arrive pas à déterminer clairement les bornes des classes avec la discrétisation de Jenks.

3.3. Fonds de carte

Les fonds (relief ou simple) peuvent ne pas apparaître ou apparaître partiellement par moment. Ce phénomène provient de pannes ou des travaux chez les fournisseurs de ce type de couches d'information (Google et OpenLayers). La meilleure chose à faire est d'attendre que le service revienne à la normale.

3.4. Déplacements dans l'interface

Par moment, il devient impossible de déplacer la carte étudiée avec la souris. Dans ces cas là, l'utilisateur peut se servir des outils suivants :



3.5. Décalage des zones cartographiées par rapport au fond

Si le volet carte reste longtemps inactif, il peut apparaître un décalage entre la cartographie réalisée ou le contour de la zone d'étude et le fond cartographique (relief ou simple). Dans ces cas là. Relancer l'application (F5) est la solution la plus adéquate.

Précisions sur les méthodes de discrétisation

Eléments tirés du cours de cartographie de Laurent Jégou et Joseph Buosi (Département de Géographie et Aménagement de l'Université Toulouse le Mirail).
http://www.geotests.net/cours/carto/cours_ccao_2007_2008.pdf

Qu'est-ce qu'une discrétisation ?

L'objectif d'une discrétisation est de ramener à au maximum six classes (voire sept ou huit si l'on a deux progressions de couleur) une variable dont le nombre d'individus est continu. Les principes qui doivent guider la discrétisation visent à poursuivre les principes de la représentation graphique d'une variable statistique :

- Respect de l'information d'origine : la proportion des couleurs sur la carte doit être fortement liée à la répartition des individus dans la variable. L'image colorée que représente la carte doit donner une idée de l'information géographique contenue dans la variable.
- Il ne doit pas y avoir de classe vide.
- Il ne doit pas y avoir de classes non jointives (trou de valeurs entre deux classes successives).
- Les classes ne doivent pas se chevaucher (un individu ne peut appartenir qu'à une classe à la fois).

Il faut donc arriver à couvrir complètement la variable avec des classes jointives, tout en essayant de préserver la "forme" de l'information de départ.

Afin de respecter ces principes, plusieurs méthodes de discrétisation ont été mises au point. Ces méthodes se basent sur l'observation de la courbe de fréquence des variables (= courbe de répartition des valeurs parmi les bornes de la variables).

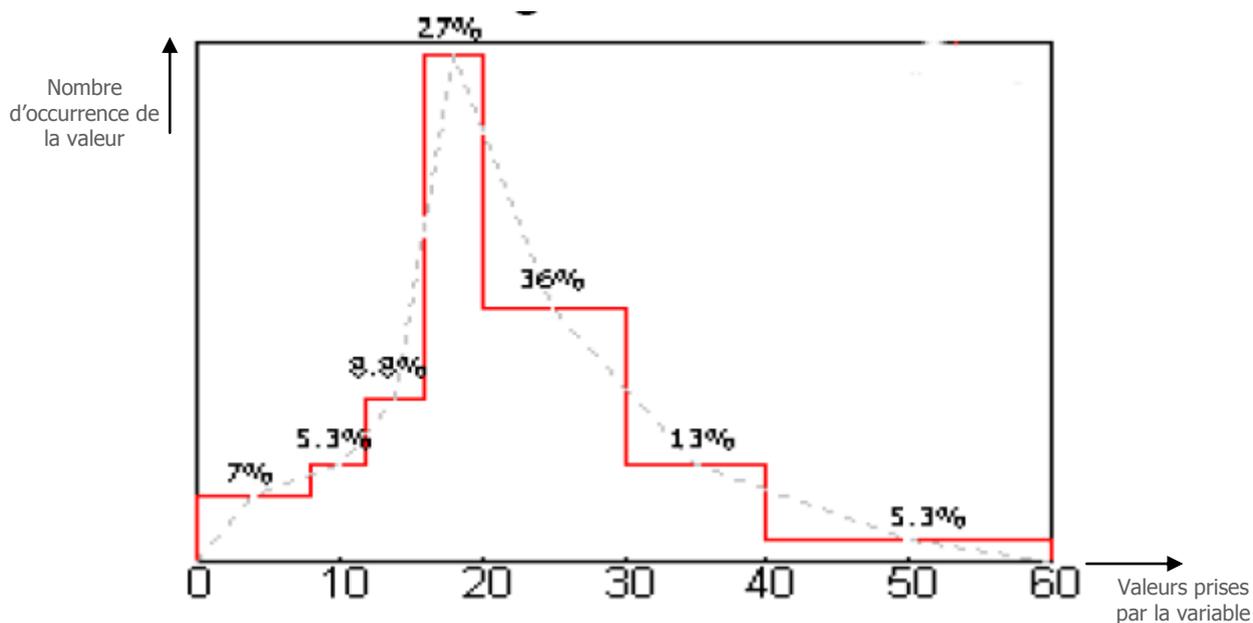


Figure : Exemple de courbes de fréquence

L'outil d'extraction libre présente deux méthodes de discrétisation : intervalles égaux et quantiles.

Méthode des quantiles

La méthode des quantiles consiste tout simplement à utiliser le même nombre de valeurs par classe, ce qui produit donc des quantiles (4 classes : quartiles, 5 classes : quintiles, etc.)

Calcul :

Pour calculer le nombre de valeurs par classe, il suffit de diviser le nombre total de valeurs par le nombre de classes désiré. Ensuite on réalise les classes par comptage. On trie la variable dans l'ordre croissant et on « range » les individus dans les classes en fonction de leur rang.

Objectif :

Cette méthode permet d'obtenir une carte dans laquelle les couleurs de la légende se répartissent à parts égales : donc une carte harmonieuse et facile à lire, si les polygones du fond de carte ne sont pas de tailles trop disparates. Dans le cas de séries de cartes sur le même fond, donc avec le même nombre de valeurs, les classes auront le même poids d'une carte à l'autre, ce qui facilite les comparaisons (chaque classe représente le même pourcentage de la variable totale).

Limites :

Cette méthode de discrétisation n'est pas liée à la variable cartographiée elle-même (la taille des classes n'est pas liée aux valeurs des individus mais uniquement à leur nombre), donc elle ne s'applique correctement qu'aux variables dont la forme de graphique des fréquences n'est pas trop tordue.

Méthode des intervalles égaux

Les équivalences consistent à déterminer des classes de taille égale, du point de vue de l'intervalle de valeurs. Ainsi, chaque classe couvrira une portion identique de l'étendue totale de la variable.

Calcul :

On calcule d'abord l'étendue totale de la variable (maximum-minimum), puis on divise cette étendue par le nombre de classes voulu. La valeur obtenue est l'intervalle de chacune des classes : la première classe ira du minimum à ce minimum plus l'étendue, etc. jusqu'au maximum de la variable.

Objectif :

Cette méthode de discrétisation n'est pas liée à la variable, donc on peut l'utiliser pour comparer des variables distinctes, des phénomènes différents. On peut aussi y voir un moyen de mesure de la distorsion par rapport à une distribution uniforme.

Limites :

Cette méthode est peu utilisée à cause de limites importantes. La plus grave est qu'il arrive souvent qu'une classe ainsi définie ne comprenne aucune valeur, ce qui fausse la discrétisation. Ce problème se pose notamment lorsque l'étendue de la variable est tirée par des valeurs extrêmes, atypiques. Dans des cas moins graves, cette discrétisation a tendance à produire des classes de poids très inégal, et donc des cartes relativement hétérogènes.

Méthode des nuages de points (dite Jenks)

La méthode des nuages de points est l'une des plus intéressantes pour l'analyse spatiale, car elle permet d'obtenir des classes très proches des formes de la distribution de la variable, en créant des classes de valeurs homogènes mais les classes les plus hétérogènes entre elles.

Calcul :

Le calcul de cette discrétisation est particulier : le logiciel part d'une discrétisation en quantiles pour le nombre de classes spécifié par l'utilisateur, et va faire varier les bornes de ces classes incrémentiellement pour s'approcher de l'objectif.

Objectif :

De par sa méthode de calcul, elle est mieux adaptée aux variables multimodales (plusieurs groupes), et possédant un nombre d'individus assez important pour pouvoir faire ressortir des seuils.

Limites :

Cette méthode est gourmande en calcul et donc en puissance processeur. Elle fait partie des discrétisations statistiques liées à la variable, donc si elle est très performante sur les cartes uniques, elle n'est pas très utile pour une série de cartes.

C'est la méthode à utiliser si vous n'avez pas le temps ou les compétences pour choisir la méthode de discrétisation la plus adaptée.

Annexe 6

Articles et communications scientifiques en lien avec le projet



Article soumis ou en cours

Balestrat M., Barbe E., Chéry J.P., Tonneau J.P. Une démarche novatrice en faveur de la reconnaissance et de la préservation d'un patrimoine agronomique des sols. Le cas de l'agriculture périurbaine en zone languedocienne. Soumis pour publication à la revue *Norois*. Numéro spécial sur le périurbain

Balestrat M., Chéry J.P., Tonneau J.P. Construction d'un système d'indicateurs spatiaux pour l'aide à la décision : comment impliquer les acteurs ? Le cas du périurbain languedocien. En cours pour parution dans un ouvrage aux éditions QUAE - Géogouvernance Utilité sociale de l'analyse spatiale

Communications

- Journées Informations Géographiques et Observation de la Terre - JIGOT – du 6 au 7 octobre 2010 à Montpellier

Construction d'indicateurs pour la compréhension des dynamiques de consommation des terres agricoles par l'urbanisation

- Colloque International ISDA – du 28 juin au 1^{er} juillet 2010 à Montpellier

Construction d'indicateurs spatiaux pour l'aide à la décision : intérêt d'une démarche participative. Le cas du périurbain languedocien.

- Colloque International ERSA – du 25 au 29 août 2009 à Lodz en Pologne

Spatial Indicators for analysis peri-urban dynamics in the Languedoc Mediterranean area



CONSTRUCTION D'INDICATEURS SPATIAUX POUR L'AIDE À LA DÉCISION : INTÉRÊT D'UNE DÉMARCHE PARTICIPATIVE LE CAS DU PÉRIURBAIN LANGUEDOCIEN

Maud BALESTRAT *, Jean Pierre CHERY **, Jean Philippe TONNEAU ***

* Cemargef, UMR TETIS
500 rue Jean-François Breton 34093
Montpellier Cedex 5 FRANCE
maud.balestrat@teledetection.fr

** AgroParisTech, UMR TETIS
500 rue Jean-François Breton
34093 Montpellier Cedex 5 FRANCE
chery@teledetection.fr

*** CIRAD, UMR TETIS
Cirad - Environnements et Sociétés
Campus international de Baillarguet TA C-91/F
34398 Montpellier Cedex 5 France
jean-philippe.tonneau@cirad.fr

Abstract - Population growth in the Languedoc coastal region is very high since few decades. This phenomenon produces a rapid and uncontrolled urban sprawl at agricultural lands expense. While these lands are often high agronomical potential, they are most often permanently lost. To better understand the dynamics of consumption of these agricultural lands by artificial surfaces and to have spatial tools to argue the risk of permanent loss of agronomical potential heritage, the Regional Direction of Food, Agriculture and Forestry of Languedoc-Roussillon has commissioned a study from research institutions: INRA for the agronomical theme and Cemagref for the spatial information and analysis. In order to quantify and qualify agricultural land changes, a methodology intended to build a system of spatial and spatialized indicators is being developed. The appropriation of indicators by users is the guarantee of their use. Research has therefore relied on an iterative participatory approach for the co-construction and the co-evaluation of indicators by stakeholders. The paper aims to present and discuss the approach and methods used for the production of indicators. More generally, it's a contribution to analyze process of consultation intended to develop measurement and decision-making tools.

Key words: sustainable development, land settlement, urbanization, agronomical patrimony, participative approach, modelling, DPSIR, indicators system, evaluation

Résumé - Sur le littoral languedocien la croissance démographique, entre 1999 et 2006 (INSEE, 2006), est plus forte que partout ailleurs en France. Cela se traduit par une urbanisation rapide et mal maîtrisée de la plaine littorale, aux dépens des terres dont le potentiel agronomique est généralement le plus riche. Préoccupée par le phénomène, et pour mieux comprendre les dynamiques de consommation de terres agricoles par les surfaces artificialisées, la Direction Régionale de l'Alimentation de l'Agriculture et de la

Forêt Languedoc-Roussillon a commandité une étude méthodologique auprès de l'UMR TETIS (Cemagref) et de l'UMR LISAH (INRA). Pour quantifier les évolutions en surfaces et en qualité des terres agricoles, une méthodologie de construction d'un système d'indicateurs spatialisés et spatiaux est en cours d'élaboration. L'appropriation des indicateurs par les utilisateurs est le gage de leur utilisation. Les travaux se sont donc appuyés sur une démarche participative itérative pour la co-construction et la co-évaluation des indicateurs par les acteurs de terrain. La communication a pour objectif de présenter et discuter cette démarche et les méthodes retenues pour la production d'indicateurs. Plus généralement, il s'agit d'une contribution à l'analyse de l'apport de la concertation dans les démarches d'élaboration d'instruments de mesure et d'aide à la décision.

Mots clés : développement durable, aménagement du territoire, urbanisation, patrimoine agronomique, démarche participative, modélisation, DPSIR, système d'indicateurs, évaluation

INTRODUCTION

La pression démographique dans le Languedoc-Roussillon se traduit par une urbanisation rapide et mal maîtrisée de la plaine littorale, sur les terres les plus productives de la région. La perte de ces terres, considérées comme un patrimoine productif stratégique à long terme, préoccupe les institutions et acteurs du monde agricole, en particulier la Direction Régionale de l'Agriculture de l'Alimentation et de la Forêt Languedoc-Roussillon (DRAAF LR) qui a commandité une étude auprès de l'UMR TETIS (Cemagref) et de l'UMR LISAH (INRA).

Pour quantifier les évolutions en surfaces et en qualité des terres agricoles, une méthodologie de construction d'un système d'indicateurs³ spatialisés et spatiaux⁴ est en cours d'élaboration. Les travaux se sont appuyés sur une démarche participative itérative pour la co-construction et la co-évaluation des indicateurs par les acteurs de terrain. La communication présente et évalue la démarche et les méthodes retenues pour la production d'indicateurs. En quoi la concertation contribue-t-elle à la qualité des indicateurs ? Au delà de leur pertinence et opérationnalité, un autre critère a été retenu : celui de leur utilisation et de leur appropriation par les acteurs.

Dans une première partie, nous décrivons le contexte d'urbanisation en zone languedocienne et la demande en méthodes et outils, notamment en indicateurs, pour appuyer la décision à un niveau local. La deuxième partie propose une approche théorique des concepts de patrimoine agronomique et de modélisation systémique comme outils d'une démarche participative pour impliquer les acteurs et élaborer un système d'indicateurs. Dans une troisième partie nous explicitons comment la démarche participative a été mise en œuvre. Dans une quatrième partie, les premiers résultats sont présentés. Enfin dans une dernière partie nous discutons l'apport des interactions entre chercheurs et acteurs et les perspectives des travaux de recherche en court concernant l'élaboration d'un système d'indicateurs.

1. CONTEXTE ET PROBLÉMATIQUE

1.1. Une agriculture fragile qui résiste mal à la pression urbaine

1.1.1. Une accélération du rythme d'urbanisation

Le phénomène de littoralisation est défini comme la « concentration des hommes et des activités sur les littoraux » [3]. Il est particulièrement intense en zone méditerranéenne. Depuis 1999, le Languedoc-Roussillon est la région française qui connaît la plus forte

³ Un système d'indicateurs regroupe un ensemble organisé d'indicateurs [1]

⁴ Nous distinguons la notion d'indicateurs spatialisés qui associent à un objet géographique un ensemble de valeurs et se rapportent ainsi à une unité territoriale de référence (région, commune, etc.) ; de celle d'indicateurs spatiaux qui cherchent un sens, des facteurs explicatifs, des liens de causalité à travers l'organisation et la localisation des objets géographiques dans l'espace (distribution, discontinuité, distance...) [2]

croissance démographique (1,4 % par an). L'Hérault accueille en moyenne 15000 nouveaux habitants par an [4]. En 40 ans, la population des communes qui constituent l'actuelle Communauté d'Agglomération de Montpellier a été multipliée par 2 et la surface couverte par les espaces urbanisés par 10 [5]. La bande littorale en cours de métropolisation est devenue un « couloir urbain ». La proximité urbaine y entraîne une concurrence sur le foncier entre usages agricoles et usages urbains et se traduit par d'importants enjeux d'aménagement.

1.1.2. Une agriculture fragile qui résiste mal

L'importance et l'efficacité des zonages de protection des espaces naturels fait que la seule réserve foncière disponible pour l'urbanisation est constituée des espaces agricoles. Or l'agriculture, dans les zones de piémonts et de plaines languedociennes qui nous intéressent ici, est historiquement dominée par le vignoble. Les crises viticoles successives et les politiques d'arrachage et de reconversion qui les ont accompagnées ont fragilisé l'activité agricole. La majeure partie des friches issues de l'arrachage de la vigne, à proximité des zones urbanisées est vendue et urbanisée. Le solde est consacré à des activités de reconversion agricole ou à la replantation en vignoble de qualité [6]. Une forte spéculation foncière joue à proximité des pôles dynamiques de la région. L'installation agricole devient de plus en plus difficile, voire quasiment impossible en zone périurbaine sans disposer d'un patrimoine familial ou d'une ressource financière extra-agricole [7]. On assiste à un mitage progressif de l'espace qui préoccupe les acteurs de l'aménagement.

1.1.3. Des impératifs de préservation d'un « patrimoine productif »

Cette modification de l'espace et des ses possibilités en termes de productions agricoles se produit au moment même où une crise alimentaire est annoncée d'ici 2050 [8]. Une réglementation plus rigoureuse pour les terres agricoles à haute potentialité agronomique se met en place. Le troisième titre de la Loi de Modernisation Agricole lancée en septembre 2009 fixe un objectif de réduction de moitié du rythme de consommation d'ici 2020. Il prévoit la création d'un observatoire national des terres agricoles, de plans régionaux d'agriculture durable et d'une commission départementale de la consommation des espaces agricoles. Une taxe sur les plus values générées par la vente de terres destinées à la construction est également à l'ordre du jour. En parallèle, le projet de Loi du Grenelle 2, en cours de discussion, envisage de nouveaux dispositifs destinés à freiner la consommation des terres agricoles (renforcement des Schémas de Cohérence Territoriaux (SCOT) et possibilité d'établir des Plans Locaux d'Urbanisme intercommunaux).

Mais ces réglementations ne font que renforcer les nombreuses mesures prises depuis une dizaine d'années, avec la création en 1999 des Zones Agricoles Protégées, des SCOT par la loi Solidarité et Renouvellement Urbain (SRU) de 2000, puis en 2005 des périmètres de protection et de mise en valeur des espaces agricoles et naturels périurbains (PAEN), permettant aux départements de faire jouer leur droit de préemption. Ces mesures de zonages et de réglementations n'ont pas prouvé leur efficacité. Les élus continuent à délivrer des permis de construire. Ce fait est critiqué par les acteurs du secteur agricole. Mais la croissance urbaine apparaît trop souvent comme la seule alternative économique. L'enjeu au-delà de la réglementation semble être de convaincre, non seulement les élus mais l'ensemble de la société, de l'intérêt de maintenir un patrimoine agronomique. Il s'agit de préserver à long terme et dans chaque commune, autant que possible, les sols de meilleures potentialités productives, même s'ils ne trouvent pas à court terme de preneur agricole pour les valoriser et les entretenir. C'est une logique de préservation et de précaution. Deux questions se posent alors pour les acteurs locaux, auxquels la décentralisation et les principes de gouvernance laissent une place de plus en plus importante dans la décision. Comment justifier et convaincre de l'intérêt de la préservation de ce patrimoine agronomique ? Comment choisir les terres à préserver ?

1.2. Des besoins en outils et méthodes pour quantifier, spatialiser et qualifier la perte d'un « patrimoine agricole productif »

C'est dans ce contexte que s'inscrit l'étude méthodologique « Analyse du potentiel des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire ». La demande initiale de la DRAAF LR exprimait deux besoins :

- un besoin en outils pour quantifier et spatialiser la perte de terres agricoles afin de contribuer à l'analyse globale des dynamiques à l'œuvre et de sensibiliser à l'importance de la perte d'un patrimoine productif ;
- un besoin en outils pour qualifier la valeur agronomique des sols afin de conforter le discours des cadres locaux lors de l'élaboration des documents d'urbanisme.

L'enjeu est de mieux prendre en compte les terres agricoles pour initier un dialogue entre urbanistes et monde professionnel agricole, en modifiant la perspective habituelle des documents de planification et en considérant d'abord les espaces non-bâties agricoles et naturels [9]. Nous avons donc voulu favoriser un processus de concertation en mettant en place des outils de travail permettant des interactions régulières entre acteurs et chercheurs, interactions dont le Rapport Brundtland souligne l'importance afin de garantir l'implication des populations pour la mise en œuvre du développement durable [10]. En France, la loi SRU a permis l'émergence de nouveaux outils de planification territoriale et exige la concertation entre les collectivités territoriales et les acteurs économiques et sociaux [11]. L'étude que nous discutons ici s'inscrit dans ce contexte de « gouvernance territoriale émergente » [6].

2. DES ENJEUX METHOLOGIQUES

2.1. Caractériser la notion de patrimoine agricole des sols

Pour répondre à la demande de la DRAAF LR de qualification de la valeur agronomique des sols une méthode destinée à mesurer et spatialiser le patrimoine agricole productif régional a été élaborée. Dans un souci de sensibilisation, l'objectif est que chaque surface agricole touchée par l'extension de l'urbanisation ou susceptible de l'être soit caractérisée par un niveau de qualité qui permette aux décideurs de mieux apprécier le préjudice que cette perte fait subir à la collectivité. Il est difficile d'attribuer à un sol un indice de qualité. Il dépend de nombreux facteurs : relief, géologie, occupation du sol. Mais la valeur des sols varie selon leurs usages et leurs fonctions (valeur foncière, valeur agronomique, valeur écologique, valeur paysagère, valeur récréative, etc.). Nous avons retenu uniquement des critères permettant de caractériser la valeur intrinsèque d'un sol agricole, c'est-à-dire sa valeur agronomique. Cela s'est fait à travers la mise en place d'un Indice spatialisé de Qualité des Sols (IQS), qui pourra par la suite être enrichi par le croisement avec d'autres indicateurs influant également sur la valeur productive des sols. La définition des classes de sol représente un fort enjeu politique. La qualification des sols a des conséquences importantes pour les propriétaires et le zonage doit être accepté et légitime aux yeux du plus grand nombre, ce qui impose une vision partagée.

2.2. Garantir la qualité des indicateurs

La qualité d'un indicateur fait appel, selon l'OCDE, à trois notions : la pertinence, la fiabilité et l'opérationnalité [12]. Roth [13] parle d'acceptabilité. Ce dernier point nous rappelle que le choix d'un indicateur n'est pas neutre mais subjectif et que les indicateurs sont aussi des instruments politiques. La question de l'évaluation d'un indicateur peut être abordée sous deux angles :

- celui de la validité scientifique (ou fiabilité) : l'indicateur doit être scientifiquement fondé et se baser sur des données sûres et représentatives ;

- celui de la légitimité politique (ou acceptabilité) : l'indicateur doit répondre à des besoins précis (pertinence initiale) et être facilement utilisable (opérationnalité) cela va conditionner son appropriation par les acteurs (pertinence finale).

Le second point est essentiel. Le système d'indicateurs ne sera utilisé et n'atteindra son but qu'à condition d'être accepté par l'ensemble des utilisateurs. Il doit d'abord être en adéquation avec la question que se posent les acteurs. L'acceptation dépend d'un processus d'appropriation qui naît d'un travail en partenariat [14] qui va « construire » la pertinence du système d'indicateurs. Les acteurs vont réfléchir ensemble aux différentes dimensions du champ qu'implique la question, aux critères d'évaluation, donc de choix des indicateurs, au niveau d'agrégation requis et à la pérennité de chaque indicateur. La légitimité d'un système d'indicateurs se construit ainsi au fur et à mesure du processus de conception où l'ensemble des parties concernées est impliquée.

2.3. Une approche modélisatrice comme support à la discussion...

2.3.1. ...pour construire une vision partagée...

Un modèle est « une représentation schématique de la réalité élaborée en vue d'une démonstration » (Hagget, 1977 in [15]). Il permet de mettre en relief une logique d'organisation et constitue ainsi une aide à la lecture de la complexité des mécanismes qui produisent les territoires. En outre il permet de comparer des situations géographiques et historiques différenciées. Il permet donc *a priori* le changement d'échelle spatio-temporelle pour l'analyse des phénomènes. L'élaboration d'un modèle peut enfin être le support à des démarches "participatives" en étant un support à la confrontation de représentations. C'est cette fonction que nous souhaitons développer.

La notion de processus participatif en aménagement du territoire est apparue dans les pays anglo-saxons sous le terme d'« *advocacy planning* ». Davidoff (1965, in [16]) décrit des méthodes destinées à la résolution de conflits. La notion a évolué ensuite vers les méthodes de « *consensus building* » (Forester, 1999 in [16]) qui se fondent sur la construction de consensus. Selon Rey-Valette et al. [17], la co-construction suppose la conception d'un référentiel commun qui peut se matérialiser dans un modèle. Dans ce cas, le but du processus participatif va au-delà de la recherche d'un compromis. Il tend à faire évoluer la façon de penser des différents acteurs dans la conception du problème. Comme le soulignent Joerin et Rondier [16], chaque individu est influencé par un système de valeurs qui définit sa vision personnelle du territoire.

Partant de l'hypothèse que des visions distinctes ne contribuent pas à la construction d'un consensus, nous avons favorisé la confrontation entre les différentes représentations territoriales. Selon Maurel (2001, in [16]) cette confrontation, outre l'enrichissement des perceptions de chacun, permet de valider le modèle construit. Pour bâtir le modèle conceptuel nous nous sommes appuyé sur un cadre d'analyse existant, le modèle DPSIR (*Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses* ; en français, Forces motrices, Pressions, Etats, Impacts, Réponses).

2.3.2. ...et dans la perspective de bâtir un système d'indicateurs

La modélisation s'est révélée nécessaire également pour construire un système d'indicateurs. Le modèle permet d'organiser les indicateurs dans un ensemble cohérent. Comme le soulignent Joerin et al. [18] « afin que les indicateurs puissent véritablement aider les décideurs dans la phase de formulation du problème, il semble nécessaire de passer d'un ensemble d'indicateurs, à un véritable système d'indicateurs, constituant en soi un modèle de la complexité territoriale ». Passer d'un ensemble d'indicateurs à un système

d'indicateurs consiste à identifier les relations entre les indicateurs. Ce type de méthode permet de dépasser l'approche classique des tableaux de bord et listes d'indicateurs sectoriels proposés par grandes thématiques. L'élaboration d'un système peut aussi permettre d'éviter les redondances et les lacunes en indicateurs.

Une autre hypothèse est que la mise en place d'un système d'indicateurs peut permettre de gérer la pluralité des objectifs et les contradictions entre acteurs d'un projet d'aménagement territorial. Elle reprend notamment les travaux de Joerin et Rondier qui proposent de développer ce type d'approche dans les démarches d'aide à la décision conduites avec des acteurs de terrain. « Le système d'indicateur constitue un outil qui favorise la négociation et doit donc tenir compte de la variété des points de vu des décideurs » [1]. La conséquence en est que le système d'indicateurs doit être conçu en reconnaissant non seulement les savoirs scientifiques mais également les savoirs véhiculés par les acteurs. Ainsi au cours de son élaboration, le système devient un élément à part entière du processus de planification participative, un objet intermédiaire, évoluant au fil de la construction d'une représentation globale et commune de la réalité du système territorial. Il se trouve au cœur d'un processus d'apprentissage commun aux scientifiques et aux acteurs.

En résumé, le système d'indicateurs permet de conserver un certains niveau de complexité tout en offrant une représentation organisée et simplifiée de la réalité, accessible à l'ensemble des acteurs participants à son élaboration.

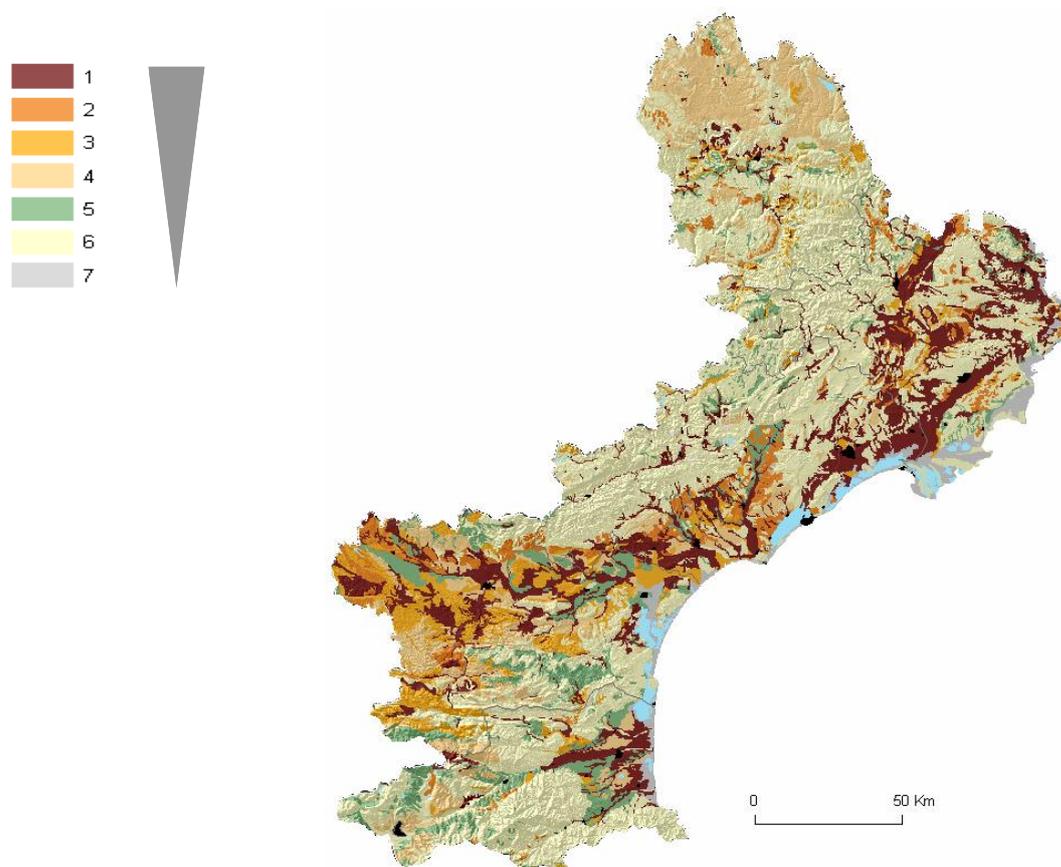
3. MISE EN ŒUVRE DE LA DEMARCHE PARTICIPATIVE

3.1. L'indice de qualité des sols

L'UMR LISAH a proposé une classification des sols répondant aux préoccupations des décideurs et adaptée au contexte agricole régional. Les données sources utilisent le référentiel Pédologique Régional du Languedoc Roussillon [19]. Les critères retenus pour qualifier les sols (salinité, pente, réserve utile, etc.) ont été pondérés afin de proposer une classification de ces sols. Chacun des critères ainsi que leur poids dans la production de l'indice ont été discutés avec les acteurs qui ont pu enrichir les réflexions par leur expérience de terrain quant à la qualité productive des différents terroirs. A l'issue de ces travaux, l'Indice de Qualité des Sols a été repris par l'équipe de pédologues pour en affiner la validité scientifique et l'étayer par les savoirs locaux.

La définition de seuils pour déterminer une nomenclature de classification des sols a également fait l'objet de nombreuses interactions avec les acteurs. Outre les enjeux politiques, d'importantes superficies représentant des sols de faible valeur agronomique à un échelon territorial régional ou départemental s'avèrent être les seules présentes à l'échelon de certaines communes. Ici, les données pouvaient conduire à ne rien préserver. Le groupe d'acteurs/chercheurs a donc choisi de retenir une nomenclature « neutre » basée sur un gradient numérique et non des qualificatifs (Ex : bon, médiocre, mauvais, etc.) pour déterminer des groupes de sol. La figure ci-dessous présente l'une des nomenclatures retenues pour la représentation de l'IQS à l'échelon régional.

Figure 1. Exemple de classification en groupes de qualités des sols selon un gradient de réserve utile dans les unités cartographiques des sols (par ordre décroissant)



Réserve utile en eau	Supérieur à 125 (mm)	Entre 75 et 125 (mm)	Inférieur à 75 (mm)	Sols salins
Groupes de sol	%surface IQS1 / UCS	%surface IQS 2 / UCS	%surface IQS 3 / UCS	%surface IQS 4 / UCS
0	ND	ND	ND	ND
1	70-100	0-30	0-30	
2	50-70	0-50	0-50	
3	30-50	0-70	0-70	
4	10-30	0-90	0-90	
5	0-10	50-100		
6	0-10		50-100	
7	0-10			50-100

ND = Non déclaré

IQS = Indice de qualité des sols (calcul basé sur une pondération des critères : salinité, pente, réserve utile, battance, hydromorphie, granulométrie, PH)

UCS = Unité cartographique de sol (permet de spatialiser l'IQS par agrégation)

3.2. L'analyse des usages et besoins pour le choix des indicateurs et leur évaluation

Pour assurer la légitimité politique des indicateurs, et pour engager un processus de co-construction, nous avons pris l'option d'interroger les acteurs sur leurs pratiques au quotidien en termes d'indicateurs. Nous avons soumis, à différents utilisateurs⁵, une base de 21 indicateurs spatialisés développés dans la phase initiale du projet⁶. Cette base comprend des indicateurs d'état sur l'occupation et la qualité des sols et des indicateurs de pression sur la consommation des sols par les surfaces artificialisées. Chacun est décrit par une fiche synthétique (mode de calcul, détails techniques, analyse critique, interprétation, représentations).

La réflexion a porté sur la capacité de ces indicateurs à répondre aux besoins et usages en indicateurs des acteurs, en les comparant à ceux utilisés. Les enquêtes, ont pris la forme d'entretiens en groupes restreints (1 à 6 personnes). Ces entretiens ont permis de dresser un état de l'art des indicateurs utilisés et ont contribué à cibler les thématiques prioritaires pour les acteurs du monde agricole et du secteur de l'aménagement. Nous avons pu ainsi définir le champ et le domaine à couvrir par des indicateurs. Un autre produit a été l'identification des critères d'évaluation des indicateurs, du point de vue des utilisateurs. Les résultats de ces entretiens individuels ont ensuite été rediscutés à l'occasion de tables rondes réunissant l'ensemble des acteurs. Cette discussion a également eu lieu lors d'une formation sur le développement territorial auprès d'agents des services de l'Etat, où un atelier de travail sur l'élaboration d'indicateurs destinés au suivi du développement urbain a permis d'étoffer nos analyses.

3.3. Le modèle DPSIR, cadre d'analyse retenu

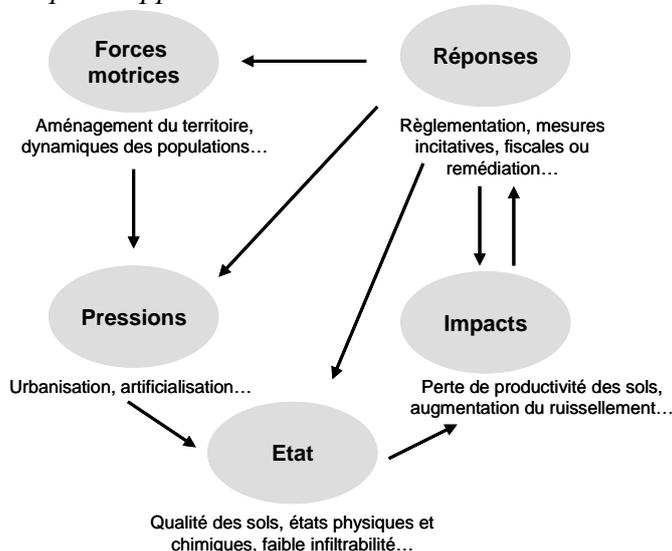
Le modèle DPSIR fixe un cadre à l'analyse des interactions entre la société et l'environnement. Proposé en 1998 par l'Agence Européenne de l'Environnement il a d'abord été développé pour répondre à des problématiques environnementales. Ce modèle est un développement du modèle PER (Pression, Etat, Réponse) de l'OCDE (1993). Selon Tonneau et al. [20] un grand avantage du modèle DPSIR est de permettre de relier des indicateurs de natures différentes sans pour autant recourir à un système d'agrégation, ni disposer d'une connaissance parfaite des causalités à évaluer. Le modèle DPSIR organise la séquence suivante : les activités humaines - les secteurs économiques, la consommation, la démographie, les technologies, ... - constituent les **forces motrices** du système représenté. Ces activités exercent des **pressions** notamment sur les compartiments environnementaux (Ex : en terme d'émissions de polluants). Par conséquent, l'**état** des compartiments environnementaux (l'air, l'eau, le sol, les habitats, les espèces) est affecté (Ex : en terme de concentrations de polluants). En aval, ces changements de l'état des compartiments environnementaux induisent des **impacts** sur la santé des êtres vivants (hommes, flore et faune) et des systèmes de ressources, ainsi que des impacts économiques. En considérant le profil de ces différentes catégories, et particulièrement celui des impacts, des **réponses** correctives de la société sont élaborées et mises en œuvre. Qu'elles soient de natures réglementaires, économiques ou volontaires, elles influencent à leur tour la configuration du système.

⁵ Agents des services Aménagement et gestion territoriale des DDTM des quatre départements littoraux du Languedoc-Roussillon, de la Direction des études territoriales du Conseil Général de l'Hérault et personnes œuvrant pour la planification territoriale, dans plusieurs Établissement Public de Coopération Intercommunale (Communauté d'Agglomération Hérault Méditerranée, Communauté d'Agglomération de Montpellier, Syndicat Mixte du Bassin de Thau) et à la Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement.

⁶ Ces indicateurs ont été retenus à partir d'un inventaire bibliographique des indicateurs existants. Les données sources utilisées pour la production de ces indicateurs sont des données produites dans le cadre du projet (taches artificialisées, indice de qualité des sols) et des données complémentaires retenues comme pertinentes lors (statistiques sur le logement, la démographie, zonages statistiques, urbanistiques).

Le modèle DPSIR n'est pas stabilisé et l'on retrouve dans la littérature de nombreux cas divers de son application. Nous disposons ainsi d'une marge de manœuvre relative pour son adaptation. Le schéma 2 ci-dessous propose un exemple de représentation appliquée à la problématique d'urbanisation des sols.

Schéma 2. Exemple d'application du modèle DPSIR à l'urbanisation des sols



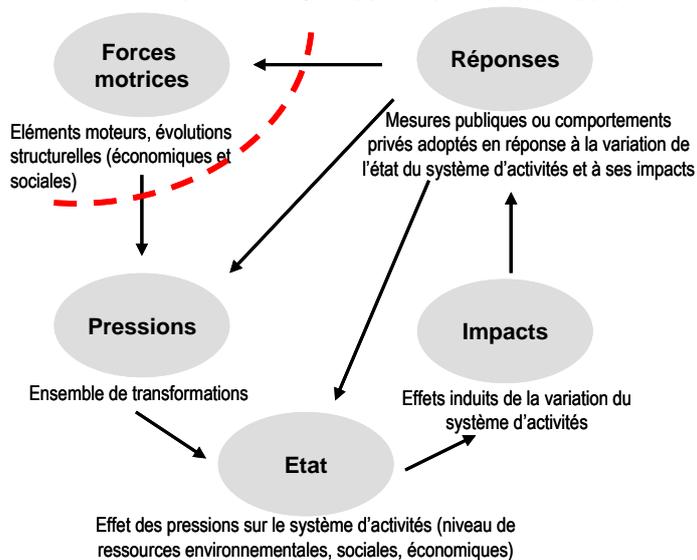
Source : [21] Laroche B., Thorette J., and Lacassin J.C., 2006.

L'artificialisation des sols : pressions urbaines et inventaire des sols, vol. 13, n°3, pp. 223-235

3.4. Adaptation du modèle DPSIR pour la modélisation des dynamiques de périurbanisation en zone languedocienne

Pour adapter ce cadre théorique nous nous sommes notamment appuyés sur des travaux réalisés par le CERTU [22]. Nous avons élargi la thématique environnementale en tenant également compte des dimensions sociales et économiques. Enfin, plutôt que d'état environnemental, nous avons préféré parler d'état d'un système d'activités, c'est-à-dire de l'ensemble des forces productives du système. L'adaptation du cadre théorique DPSIR est présentée dans le schéma 3 ci-dessous.

Schéma 3. Structure du modèle DPSIR soumis à la discussion avec les acteurs



Légende —> Relation de causalité - - - Echelon territorial supérieur (national et international)

Les **forces motrices** sont considérées comme les évolutions structurelles (économiques et sociales) extérieures au système mais influençant celui-ci dans ses évolutions dynamiques. Les autres éléments (Pressions, Etat, Impacts, Réponses) sont considérés comme des éléments internes au système, appréhendés aux niveaux régional et infrarégional dans le cas de notre étude. Les **pressions** sont les pressions directes exercées sur le capital (économique, environnemental, social, humain) ; l'**état** subit l'effet des pressions en termes de niveau (volume, qualité) de capital qui se traduit par un niveau de ressources environnementales, sociales et économiques ; le changement de cet état du système d'activités se répercute en termes d'**impacts** (économiques, sociaux, sanitaires, environnementaux) de la variation du capital ; les **réponses** sont les mesures publiques ou comportements privés adoptés en réponse à la variation de l'état du capital et à ses impacts.

Nous avons élaboré un premier modèle des dynamiques de périurbanisation⁷ en zone languedocienne que nous avons soumis à validation par les acteurs à l'occasion d'une table ronde. Chaque élément du modèle a pu être rediscuté selon la vision des acteurs confrontée à celle des chercheurs. Cependant nous avons choisi ici de présenter uniquement les résultats en termes d'apports et limites de la démarche participative et non le modèle qui n'est qu'une étape de travaux en cours de construction d'un système d'indicateurs.

4. PREMIERS RÉSULTATS

Le travail conduit pour la définition d'un Indice de Qualité des Sols a révélé l'importance de l'implication des acteurs dès le stade de définition des besoins et objectifs. Les premiers retours d'expérience ont mis en avant le besoin de préciser l'IQS à dire d'experts de terrains. Les acteurs ont également souligné d'importantes difficultés d'appréhender les notions complexes de pédologie. Cela a fait émerger la nécessité d'accompagner la diffusion de la donnée d'une documentation précise et adaptée en fonction des utilisateurs potentiels (bureaux d'étude, agents des DDTM⁸, etc.) et d'une formation pour les utilisateurs ne disposant pas dans leur formation initiale de compétences sur les notions de pédologie.

Le premier constat tiré des entretiens conduits auprès des acteurs est que les besoins en indicateurs évoluent en fonction de leur utilisation. Les structures régionales insistent sur un besoin en indicateurs pour communiquer et sensibiliser les élus, la société ainsi que les tutelles étatiques à un niveau national. Les structures départementales et EPCI insistent d'avantage sur des besoins en indicateurs répondant à des enjeux spécifiques à un territoire et permettant de prioriser les opérations d'aménagement. Mais tous les acteurs interrogés se retrouvent sur le manque d'opérationnalité des indicateurs actuels et des besoins en indicateurs de suivi qui puissent être produits à différents échelons d'analyse. Ils expriment également d'importantes difficultés de mutualisation des expériences et d'harmonisation des discours. Cela passe par des efforts d'homogénéisation et d'actualisation des données sources, en particulier celles portant sur la thématique agricole et la nécessité d'accompagner les indicateurs de formations et de documentations. Enfin, l'analyse des résultats révèle l'intérêt de multiplier les démarches de concertation pour proposer des indicateurs adaptés aux besoins des utilisateurs et mettre en cohérence les discours des différents acteurs.

⁷ Ces travaux sont menés dans le cadre d'un doctorat de Géographie et Aménagement de l'Espace rattaché à l'école doctorale ED60 Territoires, Temps, Sociétés et Développement de l'Université Paul Valéry Montpellier III. Ils s'intéressent à une problématique plus large, que celle de la consommation des terres agricoles, de compréhension et d'analyse des processus de périurbanisation. Intitulé de la thèse : « Indicateurs spatiaux et changements d'occupation et d'utilisation du sol : application à la périurbanisation en zone languedocienne ».

⁸ Directions Départementales des Territoires et de la Mer

Les différentes rencontres avec les acteurs sur la question du modèle nous ont permis d'enrichir le modèle et de révéler des lacunes du cadre conceptuel retenu (DPSIR). Dans les éléments à reprendre est apparue en particulier la notion de temporalité. Concrètement, des faits s'avérant être des pressions à un temps donné peuvent être vu comme des impacts ou des réponses à une autre période. Pour l'application du modèle dans un cas concret, celui de la périurbanisation en zone languedocienne, nous avons donc choisi de retenir deux périodes clés. Elles doivent être relativement éloignées pour traduire une évolution dans les dynamiques périurbaines mais suffisamment récentes pour répondre à un souci de disponibilité des données. Le modèle proposé aux acteurs offre un niveau d'appréhension global des dynamiques périurbaines en zone languedocienne. A l'issue de cette rencontre il est apparu indispensable, dans la logique du travail entrepris, de décliner ce niveau d'analyse. Il a été décidé que le modèle serait appliqué à un niveau infrarégional. Les zones retenues sont celles des aires urbaines élargies de Montpellier et de Béziers qui présentent deux profils de changements d'occupation du sol suffisamment différents pour intéresser les comparaisons (dynamiques de peuplement, poids de l'activité agricoles, héritage historique, etc.).

La principale difficulté à l'issue de ce travail de participation est la gestion de la diversité des points de vue des acteurs souvent intrinsèquement liés à leur statut et à leur expérience en matière d'application des politiques d'aménagement. La démarche participative s'appuie sur la modélisation et l'itération pour tenter de produire une vision partagée qui permette à l'ensemble des acteurs d'enrichir leurs connaissances respectives des enjeux territoriaux et de s'accorder sur le choix des indicateurs qui alimenteront le système d'indicateurs.

5. DISCUSSION ET PERSPECTIVES

5.1. Les apports et limites des interactions chercheurs / acteurs

Les interactions entre acteurs et chercheurs ont mis en avant le décalage entre le discours scientifique et le travail de terrain. Comment faire passer l'idée de l'utilité d'un modèle pour répondre à des besoins pratiques au quotidien ? Comment diffuser l'indice de qualité des sols qui se base sur de lourdes connaissances théoriques pour qu'il puisse être approprié par l'ensemble des acteurs ? Les temps courts de l'action et les contraintes de productivité en matière d'aménagement s'opposent aux temps longs propres au travail de recherche et de conceptualisation. La pédagogie apparaît donc comme un facteur essentiel de la réussite d'une telle démarche.

La modélisation est apparue comme un moyen de travailler la diversité des connaissances et points de vue des acteurs, mais la méthode a ses limites : celles de se restreindre à un cadre théorique pour son application dans des cas concrets. Le chercheur doit gérer à la fois la possibilité pour chaque acteur de faire partager ses connaissances de terrains, indispensables à l'enrichissement des connaissances de chacun (acteurs et chercheurs) et la nécessité de rattacher les discussions à un cadre d'analyse rigoureux pour ne pas perdre des éléments essentiels à la compréhension du système.

En ce sens, l'itération est apparue comme une clé essentielle de l'implication des acteurs et de la construction d'une vision partagée. La définition d'un patrimoine agronomique, la modélisation des enjeux liés au développement urbain, la sélection d'indicateurs et leur évaluation ont nécessité de nombreux allers retours entre chaque étape de la démarche de construction du système d'indicateurs.

5.2. Vers la co-construction et la co-évaluation d'un système d'indicateurs

La modélisation n'est qu'une étape préalable à l'élaboration du système d'indicateurs. Il reste désormais à passer d'un modèle explicatif à un modèle d'aide à la décision. Pour se faire il existe différentes méthodes, notamment la méthode « Principes, Critères et Indicateurs » [23] que nous avons reprise et adaptée. Le modèle traduit les **principes** défendus par les acteurs, c'est à dire les enjeux de durabilité qui sont l'expression des valeurs défendues par les acteurs et plus largement celles véhiculées par la société. Ils peuvent ensuite être traduits en **objectifs** à atteindre, c'est-à-dire en actions concrètes pour y répondre. Dans le cas de cette étude, le discours véhiculé par les acteurs du monde agricole est celui de la perte d'un patrimoine productif. L'objectif serait dans ce cas de ralentir le rythme d'artificialisation des sols à forte potentialité agronomique. Il s'agit ensuite de choisir les **critères** qui permettent de vérifier si le fonctionnement actuel du système permet de répondre à cet objectif c'est à dire choisir des variables aptes à rendre compte de ces principes, par exemple, dans notre cas des changements d'occupation du sol liés à l'urbanisation. Ces critères ou variables peuvent être mesurés sous formes d'**indicateurs**, c'est-à-dire sous formes d'indices et de valeurs seuils. Il peut s'agir ici d'un indicateur portant sur l'évolution des surfaces agricoles en qualité et en quantité.

Un dernier temps consistera à évaluer la validité scientifique du système d'indicateurs et à vérifier sa légitimité auprès des utilisateurs en s'appuyant sur les critères retenus. Il s'agira notamment d'évaluer la robustesse, l'opérationnalité des indicateurs et leur pertinence à répondre aux problèmes posés par les acteurs. Plus généralement nous nous intéresserons à la capacité du système d'indicateurs d'aider à la compréhension des dynamiques de périurbanisation.

CONCLUSION

Les services de l'Etat en région Languedoc-Roussillon ont engagé en 2007, avec l'appui du Cemagref (UMR TETIS) et de l'INRA (UMR LISAH), une étude destinée à quantifier et à qualifier le potentiel agronomiques des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire. Cette étude a permis la mise en place d'une démarche participative itérative destinée à l'élaboration d'un système d'indicateurs spatialisés et spatiaux, basé sur des techniques de modélisation systémique. Chaque étape d'élaboration des indicateurs se construit pas à pas avec les utilisateurs.

La démarche participative et itérative retenue pose comme principes que le débat à chaque étape de l'élaboration d'un système d'indicateurs permet de résoudre un certain nombre d'exigences qui sont la définition d'objectifs communs ou complémentaires, l'utilisation de concepts partagés (périurbanisation et patrimoine productif), la gestion et la généralisation des indicateurs aux niveaux régional et national, etc.

Les premiers résultats des travaux de recherche en cours confirment l'intérêt d'une démarche concertée. Cependant l'utilisation de supports, pour cadrer de façon rigoureuse les échanges, ainsi que l'itération et les efforts de pédagogie, apparaissent comme des conditions indispensables à la réussite d'une telle démarche. Ces premiers résultats méritent d'être vérifiés à la lumière, à la fin des travaux, de l'utilisation effective des indicateurs qui auront été produits.

BIBLIOGRAPHIE

1. Rondier, P., 2007. Un système d'indicateurs d'étalement urbain : des enjeux d'utilité et de complexité, in 3^e colloque des étudiants de l'IHQEDS. Différentes perspectives pour un même but : un meilleur environnement. Laval, Québec. pp. 45-49
2. Maby, J., 2003. Approche conceptuelle et pratique des indicateurs en géographie, in Maby Jacques (dir.) Objets et indicateurs géographiques, Avignon, A. Barthélémy, pp. 16-41
3. Baud, P., Bourgeat, S., Bras, C., 1997. Dictionnaire de la géographie. (2^e éd.), Paris, Hatier, p. 509
4. Audric, S., 2009. La population légale du Languedoc-Roussillon s'établit à 2 534 144 habitants. INSEE Repères, *Chiffres pour l'économie du Languedoc Roussillon*, n°1, p. 3
5. Chevalier, D., 2008. Montpellier-Agglomération : entre développement métropolitain et métropole multipolaire, in Les périphéries urbaines entre normes et innovations ; les villes du sud de l'Europe, Bordeaux, UMR ADES, SET Société Environnement Territoire, CNRS, p. 26
6. Jarrige F., et al., 2009. Mutation du foncier agricole en frange urbaine. Elaboration et mise à l'épreuve d'une politique de régulation territoriale, Clermont-Ferrand, XLVI^e colloque de l'ASRDLF, p.21
7. Tribout X., 2006. Les exploitation agricoles se concentrent et se professionnalisent, *Agreste Languedoc Roussillon*, p. 4
8. ONU, 2006. ONU World urbanization prospects : the 2005 revision. New-York, ONU, p. 210
9. Jarrige F., Thinon P., and Nougaredes B., 2006. La prise en compte de l'agriculture dans les nouveaux projets de territoires urbains : Exemple d'une recherche en partenariat avec la Communauté d'Agglomération de Montpellier. pp. 393-414
10. Brundtland G.H., 1987. Notre avenir à tous, rapport de la Commission mondiale sur l'environnement et le développement, Genève, ONU, p. 458
11. Guigou J.L., et al., 2001. Aménagement du territoire, Paris, La Documentation française, p. 249
12. Pingault N., Préault B., 2007. Indicateurs de développement durable : un outil de diagnostic et d'aide à la décision. *Notes et études économiques*, n°28, p. 43
13. Roth I., 2002. Mesurer le développement durable. Bulletin SVU ASEP ASAP, n° 8, p. 8
14. Offredi C., 2005. Introduction générale. In La dynamique de l'évaluation face au développement durable, Paris, L'Harmattan Sté Française d'évaluation, pp.11-20
15. Ferras R., 1993. Les modèles graphiques en géographie, *ECONOMICA / RECLUS*, Paris, p. 112
16. Joerin F., Rondier P., 2007. Chapitre 1. Les indicateurs et la décision territoriale. Pourquoi ? Quand ? Comment ?, in Sénécal, Gilles (Dir.) Les indicateurs socioterritoriaux. Perspectives et renouvellement, Laval, PUL, pp. 9-36
17. Rey-Valette H., et al., 2006. Usages des Indicateurs de Développement Durable : entre Offre et Demande d'indicateurs, in GECOREV: Gestion concertée des ressources naturelles et de l'environnement, du local au mondial, St-Quentin-en-Yvelines, p. 15
18. Joerin F., Lebreton M., Desthieux G., 2005, Des systèmes d'indicateurs pour aider les acteurs à manipuler les complexités territoriales, in Développement durable, gestion des ressources et gouvernance, Lausanne, p. 9
19. Bornand M., Legros J.P., Rouzet C., 1994. Les banques régionales de données-sols. Exemple du Languedoc-Roussillon. *Etude et Gestion des Sols*, n°1, pp. 67-82
20. Tonneau J.P., Perret S., Loyat J., 2009. Indicateurs de performance Document de travail, Montpellier, CIRAD, p. 8
21. Laroche B., Thorette J., Lacassin J.C., 2006. L'artificialisation des sols : pressions urbaines et inventaire des sols, vol. 13, n°3, pp. 223-235
22. SESP, CERTU, 2006. Economie urbaine. Rassemblement de la connaissance. Chapitre 3 : Outils et méthodes, Paris, Ministère des Transports, de l'Equipement, du Tourisme et de la Mer. Service économique, statistiques et prospective, p. 89
23. Rey Valette H., et al., 2008. Guide de co-construction d'indicateurs de développement durable en aquaculture, Montpellier, Cirad, Ifremer, INRA, IRD, UM1, projet de recherche EVAD. p. 144

ERSA 2009 TERRITORIAL COHESION OF EUROPE AND INTEGRATIVE PLANNING 25th - 29th August 2009 – Lodz Poland

Title: Spatial indicators for the analysis of peri-urban dynamics in the Languedoc Mediterranean area

Abstract: France set up new regional development and urbanism rules with national laws: Voynet Law (1999) which gives sustainable development tools like SRADDT (regional scheme for territorial planning and sustainable development) for the level of Regions, “urban solidarity and renewal law” (2000) which gives new planning tools like SCOT (scheme for territorial coherence) and PLU (Local Urbanism Plan) at the inter-communal cooperation level. A law on the “Development of rural areas” (2006) gives Departements new ways to develop a policy for the protection and enhancement of agricultural, forest and peri-urban spaces (protected area, pre-emptive right...). These planning policies now move towards the principles of sustainable territorial systems. To accompany these policies, the actors of the local and regional development and planning need indicators about the state of land cover and dynamic changes in terms of quantity and quality. In the context of the Mediterranean area of Languedoc, urban sprawl dynamics are particularly intense with a massive population growth and land crisis. Increase and dispersion of built-up areas from city centre towards periphery are made at the expense of natural and agricultural spaces. After a methodological study about monitoring of agricultural land urbanisation command by DRAF Languedoc Roussillon, to the UMR TETIS (Cemagref) and the UMR LISAH (INRA), a series of spatial indicators have been developed. The communication presents the thought which has been conducted for the production of these indicators. These are intended to provide a decision, communication and awareness help on issues of loss of the agricultural soil potential. Indeed, availability of adapted tools and methods is a very important stake for actors of the agricultural sector with the application of the local planning tools (PLU, SCOT). The main objective of this research is to evaluate the relevance of these spatial indicators to show explicitly specificities of current dynamics and to throw light on challenges of sustainable planning of the Mediterranean peri-urban spaces.

Introduction

Pour la première fois dans l'histoire de l'humanité, en 2008, la population urbaine a dépassé la population rurale. Les conséquences de cet accroissement de l'urbain sont bien connues (ONU, 2006). Pour faire face à cette explosion, la multiplication des échelons de décision, issue de la décentralisation, le « mille feuilles institutionnel », est une contrainte importante à la planification. Des logiques de compétitivité aussi qualifiées de « benchmarking territorial »⁹ sont constatées : chaque instance décisionnelle tente de repousser les impacts négatifs de l'étalement urbain hors des limites de son territoire de gestion. En France, la loi Chevènement (1999) a promu les Etablissements Publics de Coopération Intercommunale (EPCI)¹⁰ qui traduisent la volonté de garantir une meilleure coordination des politiques d'aménagement. Dans ce cadre, de nouveaux dispositifs de gestion sont mis en place, en particulier les Schémas de COhérence Territoriale (SCOT). Ces schémas s'accompagnent d'études prospectives (scénarios...) et d'outils de mesure (indicateurs de suivi, d'évaluation...) destinés à appuyer les diagnostics territoriaux.

La question de la place de l'agriculture se pose dans l'aménagement des régions urbaines (Bertrand et al. 2006). Le desserrement et la délocalisation des populations des villes-centres vers les périphéries (« étalement urbain ») se traduisent par l'accroissement et la dispersion des surfaces bâties aux dépens des espaces naturels et agricoles, en particulier les terres dont le potentiel

⁹ Benchmarking territorial : « Évaluation comparative des états de développement de territoires aux contextes proches, sur base d'indicateurs intégrés dans un système conceptuel de représentation des dynamiques territoriales étudiées » (CPDT, 2000).

¹⁰ L'ensemble des sigles et abréviations utilisés dans cette communication sont définis dans l'Annexe 1.

agronomique est le plus riche. Leur préservation ne tient généralement qu'à la prise en compte des enjeux environnementaux. Ceux liés à la production agricole sont rarement évoqués. Les logiques urbaines et le modèle d'utilisation de l'espace naturel pour des activités récréatives dominent dans les politiques d'urbanisme. La production agricole est de plus en plus acceptée seulement dans une perspective "écologique" (ferme pédagogique, alimentation naturelle...).

Cette situation apparaît plus aiguë sur le littoral méditerranéen et en région Languedoc Roussillon. La croissance urbaine est plus forte que partout ailleurs en France. Le recensement de 2006 fait envisager une augmentation de la population dans le Languedoc Roussillon de 32 % à l'horizon 2030 (INSEE, 2008). Pour les institutions et acteurs du monde agricole, la perte d'un patrimoine agricole stratégique à long terme pour un intérêt économique immédiat pose aujourd'hui la problématique des modes de gestion effectifs pour sa préservation. Préoccupée par le phénomène, et pour mieux comprendre la consommation de terres agricoles par les surfaces artificialisées, la Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt¹¹ Languedoc Roussillon a commandité une étude méthodologique auprès de l'UMR TETIS (Cemagref) et de l'UMR LISAH (INRA) : quelles sont, en effet, les méthodes d'analyse spatiale adaptées et généralisables qui permettent de disposer de données chiffrées, objectives, sur la perte de terres agricoles à la fois en surfaces et en qualité ?

Pour répondre à cette demande une méthodologie d'élaboration d'indicateurs spatiaux liés aux dynamiques d'urbanisation en zone méditerranéenne est en cours d'élaboration. Cette réflexion a pour ambition d'étudier l'apport de la dimension spatiale dans les démarches de construction d'indicateurs d'aide à la décision en matière d'aménagement de l'espace. En quoi dans son association à l'adjectif spatial, l'indicateur favorise-t-il une approche transversale et systémique indispensable pour aborder la complexité territoriale et les enjeux de développement durable qui y sont liés ? En quoi l'outil spatial peut-il permettre de travailler à l'appropriation (et au travers elle à la légitimation) de l'outil par les acteurs ?

La communication présente les premiers résultats de ce travail. Dans un premier temps nous rappelons le contexte de renouvellement des outils de mesure dans lequel s'inscrit la demande de la DRAF. Nous verrons, dans un deuxième temps, que l'exploitation des potentialités offertes par la dimension spatiale reste limitée malgré la généralisation de l'emploi de l'information géographique dans les outils d'aide à la décision. Après avoir clarifié le concept d'indicateur spatial nous défendons l'idée qu'il constitue un outil adapté pour traduire la complexité systémique d'un territoire et ainsi pallier les limites des outils de mesure actuels. Pour appuyer nos propos nous présentons, dans un troisième temps, une démarche itérative de production d'indicateurs spatiaux destinés à l'analyse quantitative et qualitative de la consommation des terres agricoles par les surfaces artificialisées. Enfin, nous discutons les perspectives d'amélioration de cette méthode en cours d'élaboration.

1. Un contexte de renouvellement des outils de mesure d'aide à la décision

1.1. Des besoins en outils et méthodes pour une meilleure prise en compte des terres agricoles dans les politiques de planification

En zone méditerranéenne les dynamiques démographiques et foncières sont particulièrement intenses et se traduisent par la littoralisation définie comme la « concentration des hommes et des activités sur les littoraux » (Baud, 1997). Les villes et les activités s'étendent sur la plaine littorale où, dans le contexte méditerranéen, le potentiel agronomique des terres est généralement le plus riche et les ressources naturelles les plus importantes. Ce phénomène se traduit par une forte concurrence sur les ressources en terres et en eau. Les constructions pavillonnaires, l'implantation d'infrastructures, le développement de zones d'activité économique soumettent le foncier à une pression et à un mitage de l'espace agricole. La logique locale et l'intérêt des propriétaires fonciers amènent systématiquement à entériner la perte de terres agricoles. Cette dynamique, jugée marginale à l'échelle locale, devient préoccupante à l'échelle régionale. On peut en effet craindre que la disparition de terres agricoles soit irréversible. C'est donc un patrimoine qui semble condamné (impossible à remobiliser) pour un intérêt économique immédiat sans réflexion sur son utilité à moyen et long terme.

La perte de ce potentiel de production agricole conduit à poser la question de la place de l'agriculture dans les politiques de planification urbaine : « Comment s'exerce la représentation des « intérêts

¹¹ Les DRAF sont des services déconcentrés du Ministère de l'Agriculture et de la Pêche créés en 1984, suite aux lois de décentralisation, qui ont pour mission de mettre en œuvre au niveau de la région la politique nationale en matière d'alimentation, d'agriculture et de forêt.

agricoles » face aux « intérêts urbains » dans les instances de décision ? » (Jarrige et al., 2003). La loi Solidarité et Renouvellement Urbain (SRU) instaurée en 2000 dans le cadre de la Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire (LOADDT, 1999), dite loi « Voynet », a placé le développement durable au cœur de la démarche de planification. Dans ce cadre, de nouveaux outils de planification territoriale émergent. Le Schéma de Cohérence Territoriale (SCOT) remplace le Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme (SDAU) et devient le principal outil d'aménagement à l'échelle des intercommunalités. Outre la mise en cohérence de leurs politiques d'aménagement à l'échelle d'un territoire (des Plans Locaux d'Urbanisme (PLU) en particulier), cette nouvelle procédure préconise une gestion équilibrée des espaces urbanisés, naturels et ruraux notamment à travers la mise en place de Plan d'Aménagement et de Développement Durable (PADD). Ce dernier représente l'expression du projet de territoire et permet de spatialiser les problématiques transversales d'aménagement (Cete-Méditerranée, 2007). Pour appuyer les nouveaux dispositifs d'action et développer des politiques d'aménagement cohérentes à l'échelle d'un territoire, notamment en termes de préservation d'un patrimoine agricole, les acteurs de l'aménagement ont besoin de disposer d'une connaissance fine de celui-ci. Ces acteurs expriment une demande forte en outils spatiaux pour le suivi des changements d'occupation et d'utilisation du sol liés aux dynamiques d'étalement urbain.

Mais il existe encore peu de méthodes généralisables et reproductibles destinées spécifiquement au suivi quantitatif et qualitatif des terres agricoles consommées par les surfaces bâties. Les outils développés sont généralement confrontés à des contraintes de disponibilité et d'hétérogénéité des données qui limitent les possibilités de reproductibilité. En outre, ils sont principalement développés au travers des approches urbanistiques, considérant souvent l'espace rural en termes de réserve de terre à bâtir et non en termes de patrimoine agricole ou environnemental à préserver. C'est dans cette problématique que s'inscrit l'étude méthodologique « Analyse du potentiel des terres agricoles affectées par l'aménagement du territoire » commanditée par la DRAF Languedoc-Roussillon. Cette demande s'inscrit dans un contexte de renouvellement des outils de mesure destinés à appuyer la prise de décision. Dans ce cadre, on assiste à une généralisation des indicateurs.

1.2. Généralisation de l'emploi d'indicateurs, outils plurifonctionnels d'aide à la décision

Le concept d'indicateur est un terme polysémique, qui se traduit par différentes approches et définitions. Dans les dictionnaires généralistes, l'indicateur est défini étymologiquement au travers de sa fonction indicatrice « qui porte une indication, qui apporte une information » (Encyclopédie Universalis, 2009). Le terme se décline ensuite différemment en fonction des domaines d'utilisation (langage courant, économie, statistique, chimie...). On retrouve souvent dans la littérature scientifique la définition donnée par l'OCDE (1990) selon laquelle un indicateur est « un paramètre, ou une valeur dérivée de paramètres, qui indique, fournit une information, décrit l'état d'un phénomène, d'un environnement, d'une zone, avec une signification qui s'étend au-delà de ce qui est directement associé à la valeur du paramètre ». Cependant cette définition ne recouvre pas l'ensemble des finalités de l'indicateur, comme par exemple celle d'outil d'aide à la communication. La bibliographie (OCDE, 1994 ; IFEN, 1997 ; EEA, 1999 ; cités par Salles (2001); Bockstaller, 2008) insiste sur trois caractéristiques permettant de définir un indicateur. Il constitue à la fois le produit d'un modèle (qui assure sa fiabilité, sa pertinence et sa mesurabilité), une synthèse explicite de l'information et un outil de communication. Rey-Valette et Chia (2007) affirment que l'indicateur se caractérise par une pluralité de fonctions. Il permet de « faire exister » un problème et possède à ce titre une fonction d'inventaire. Il possède également une fonction de médiation en ce qu'il aide à faire converger les représentations des acteurs. Joerin et Rondier (2007) différencient les indicateurs « révélateurs » des indicateurs « d'évaluation », les premiers permettant de décrire un phénomène et les seconds s'inscrivant plus directement dans un processus décisionnel. Dans le prolongement de la réflexion menée par ces auteurs, nous nous intéressons ici particulièrement au premier groupe d'indicateurs, au travers une méthode de conception d'un système d'indicateurs spatiaux d'aide à la décision.

C'est dans le contexte des trente glorieuses que s'est installée l'idée d'accompagner les politiques publiques d'instruments de mesure et d'évaluation (Sénécal, 2007). A partir du milieu des années 1980, des modèles de production d'indicateurs sur la biodiversité sont proposés par les grands organismes internationaux. Le plus connu, le modèle Pression/Etat/Réponse (PER) de l'OCDE, distingue trois grandes catégories. « Les activités humaines exercent des pressions sur l'environnement (Pression) et affectent sa qualité et la quantité des ressources naturelles (Etat) ; la société répond à ces changements en adoptant des politiques environnementales, économiques et

sectorielles, en prenant conscience des changements intervenus et en adaptant ses comportements (Réponse) » (OCDE, 1993). Depuis 1998, l'Agence Européenne de l'Environnement utilise quant à elle un modèle en cinq compartiments : DPSIR (pour Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses ; EEA, 1998). En 1992, avec l'officialisation de la notion de développement durable au sommet de Rio, on voit affirmée « la nécessité de disposer d'une information quantitative pour mesurer les progrès vers la voie de la durabilité » (Bovar, 2008). Dès lors, les grilles et tableaux de bord d'indicateurs de développement durable (IDD) se sont généralisés (Zuñten, 2004 ; Eurostat, 2005 ; Lavoux, 2006 cités par Rey-Valette et al., 2006). Cependant, les limites à leur applicabilité et la difficulté de proposer des approches intégrées et concertées demeurent nombreuses. La multiplication des initiatives de construction d'indicateurs à toutes les échelles de territoire se caractérise par une grande hétérogénéité et une absence de fondement théorique clair. Comme le précise Lazzeri (2006) « L'intégration des différentes dimensions du développement durable, l'ouverture vers le futur et l'articulation des échelles spatiales, imposent de renouveler l'expertise territoriale et d'inventer de nouveaux outils de mesure. Or, si les initiatives se multiplient depuis Rio, il n'y a, à ce jour, pas de cadre acceptable et partagé sur ce sujet ».

1.3. Les limites des méthodes d'élaboration d'Indicateurs de Développement Durable

En l'absence d'un consensus sur des méthodes de construction d'indicateurs, les approches développées par les institutions publiques et laboratoires de recherches sont diverses. Les échelles de production varient également. Généralement, on différencie les démarches globales de production d'indicateurs génériques (niveaux international, national, régional) des méthodes locales de production d'indicateurs adaptés aux enjeux spécifiques d'un territoire. Lazzeri et Moustier (2006) distinguent ainsi les grilles d'indicateurs de « diagnostic » (Ex : IFEN, ARPE, INTERREG), les indicateurs de processus destinés à accompagner l'évaluation de projet urbains (Ex : Agenda 21, SCOT) et les indicateurs synthétiques (Ex : IDH¹²). En France, la généralisation des IDD a accompagné la mise en place des dispositifs de gestion décentralisée. La traduction de batterie d'IDD à l'échelle internationale (Ex : 134 indicateurs de l'ONU en 1995), à des enjeux nationaux puis régionaux fait apparaître les limites de tels outils. Outre l'effet répulsif des listes (Lavoux, 2006) ces indicateurs sont souvent sectoriels et proposés par piliers du développement durable (social, environnemental, économique) avec un poids majoritaire pour l'environnement, quand l'application du DD semble appeler à une approche transversale. Comme le soulignent Deprez et Bourcier (2003) « Les initiatives menées à ce jour au niveau mondial (OCDE, Nations Unies, Communauté Européenne) comme à l'échelle nationale (IFEN) sur les thèmes des IDD ont dans les faits abouti à la définition d'indicateurs dits environnementaux plus que de véritables outils d'évaluation de la durabilité du système actuel ». Enfin les indicateurs produits à l'échelle internationale apparaissent souvent trop généraux pour cerner de façon pertinente une problématique de développement durable à une échelle régionale ou locale. Par conséquent ce type d'initiative est souvent voué à l'échec et ces listes d'indicateurs sont peu utilisées, par manque de légitimité sociale et d'application (Chamaret, 2006).

Ces questions méthodologiques (intégration, spécificité et appropriation) posent avant tout celle du choix de l'échelle d'analyse. Il semble en effet que les initiatives répondant à des problématiques territoriales locales soient plus appropriées au développement d'une approche intégrée et concertée. Mais l'opposition entre les démarches dites Top/Down (initiatives internationales) ou Bottom/Up (concertations d'acteurs) ne peut dominer le débat : chacune présente ses limites. Chamaret (2006) souligne que si les premières manquent souvent de légitimité sociale et d'appropriation par les acteurs, les secondes manquent de « transférabilité ». En effet, la faculté d'adaptation d'un indicateur constitue le gage de sa transférabilité effective dans des contextes économiques, politiques et sociaux différents (Deprez et Bourcier, 2003). Les méthodes apparaissent complémentaires (Lazzeri et Moustier, 2006). Il semble cependant que les besoins en indicateurs locaux, sur des enjeux d'aménagement spécifiques à un territoire, soient plus importants. En effet, selon Audouit, Puech, Honegger (2006) « Malgré l'intérêt que suscitent les IDD, ces outils restent encore peu développés à l'échelle locale ».

On assiste, malgré tout, à une évolution récente des pratiques vers des méthodes d'élaboration d'IDD privilégiant une approche intégrée et concertée au niveau territorial. Selon Rey-Valette et al. (2008)

¹² Indice de Développement Humain : « Indicateur composite le plus ancien élaboré par le PNUD en 1990, il combine trois indicateurs de base qui correspondent à l'espérance de vie à la naissance, le revenu moyen et le niveau d'éducation » (Germaneau, 2008)

cette orientation accompagne l'évolution qu'a connue l'action publique depuis trente ans : planification centralisée, décentralisation et participation, processus de co-élaboration. L'approche intégrée s'intéresse aux interactions entre les piliers de DD. A titre d'exemples, les démarches de l'IFEN et d'Eurostat qui travaillent sur une dizaine d'IDD phares ont cherché à lier les dimensions économiques, environnementales et sociales (Lavoux, 2006). Depuis 2003, l'ARPE et la DIACT ont décliné territorialement les indicateurs nationaux en les adaptant aux problématiques locales (INSEE, 2008). Le colloque qui a eu lieu à Montpellier en 2006, portant sur les usages des IDD, témoigne d'un accroissement des démarches concertées (Maurel et Roussillon, 2007 ; Desthieux, 2004 ; Roussel 2007). Selon Rey-Valette et al. (2006), la co-construction suppose la conception d'un référentiel commun pour identifier les enjeux de durabilité. L'intégration de la dimension spatiale dans ce type d'approches semble favoriser une représentation transversale et partagée des enjeux de développement durable.

2. Les indicateurs spatiaux : des outils adaptés pour accompagner la décision ?

Nous faisons ici deux hypothèses sur le recours à la dimension spatiale dans les démarches de construction d'indicateurs d'aide à la décision. D'une part, ce type d'approche favorise une vision transversale et systémique, indispensable pour aborder la complexité territoriale et les enjeux de développement durable qui y sont liés (en particulier pour pallier aux contraintes du choix d'une échelle d'analyse et d'action). Elle permet une vision simplifiée de la réalité d'un système géographique complexe en donnant du sens à l'organisation des objets dans l'espace. D'autre part, la dimension spatiale peut être un outil d'aide à la concertation pour traduire les enjeux de développement d'un territoire. Elle contribue à l'appropriation (et au travers elle à la légitimation) de l'outil par les acteurs.

Ce sont les hypothèses fondatrices de notre travail que nous tenterons de justifier. Ce choix nous obligera à préciser ce que nous entendons par indicateur géographique qui, selon Maby (2003), reste à élucider. La littérature fait en effet apparaître une confusion dans l'emploi des terminologies caractérisant ce type d'indicateurs. Il nous semble donc important de préciser ce que nous entendons par indicateur territorial et indicateur spatial. Dans un contexte de foisonnement des initiatives d'élaboration d'indicateurs d'aide à la décision, nous verrons que ces outils spatiaux offrent des potentialités encore peu ou mal explorées.

2.1. L'apport de la dimension spatiale : une approche adaptée à la traduction de la complexité du territoire

Nous défendons l'idée qu'une approche spatiale permet d'offrir une vision systémique des enjeux de développement d'un territoire. Joerin et Rondier (2007) rappellent que le territoire est un système complexe et qu'en conséquence sa représentation appelle à l'élaboration d'un modèle. Un système est « un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but » (De Rosnay, 1975). Pour Deprez et Bourcier (2003), l'un des objectifs majeurs des indicateurs repose dans leur aptitude à considérer simultanément et non isolément tout un ensemble de paramètres représentatifs d'une situation. Selon Maby (2003), « la fonction explicative de l'indicateur géographique consiste à identifier les mécanismes qui lient les objets entre eux, ou en eux, pour en dégager une rationalité ». Les Systèmes d'Information Géographique peuvent s'avérer des outils appropriés à la construction d'une représentation systémique. Ainsi, Deprez et Bourcier (2003) relèvent plusieurs arguments en faveur d'un recours croissant à l'outil SIG pour la création des indicateurs de développement durable :

- les possibilités de réaliser des analyses multicritères (croisement de données, approche intégrée, indicateurs composites) ;
- retenir l'espace comme support d'étude permet de rapprocher des phénomènes complexes et le plus souvent abstraits d'une réalité forte, celle du terrain ;
- leur caractère opérationnel et leurs finalités (outil de gestion, aménagement, planification ; outil de communication, d'information).

L'intérêt de bâtir un modèle des dynamiques spatiales se trouve dans la possibilité de proposer une approche intégrée mais également de construire une représentation spatiale partagée. Un système d'indicateurs constitue en lui-même un outil directement exploitable pour l'aide à la décision et à la sensibilisation. Les travaux menés dans le cadre de l'élaboration du SCOT du Territoire de Thau, par le Cemagref en collaboration avec le SMBT, illustrent l'apport de la dimension spatiale dans une démarche participative de diagnostic territorial. « L'information géographique tient une place importante dans l'élaboration du SCOT. Elle sert à produire et à représenter des connaissances sur le

territoire mais également à accompagner un processus d'apprentissage collectif multi-acteurs. Enfin elle est aussi utilisée dans un rôle d'information et de consultation du public » (Maurel, Roussillon, 2007). Différents outils géographiques sont mobilisés (cartographie participative, plans-reliefs, catalogage, recueil d'avis, ...) et un protocole d'évaluation de ces outils, de leurs usages et de leurs effets dans le processus participatif est proposé. Desthieux (2004) démontre lui aussi l'intérêt de l'utilisation d'indicateurs spatiaux dans un processus participatif de diagnostic de quartier. Selon lui la fonction de l'indicateur géographique est de « représenter l'hétérogénéité et la variabilité spatiale des phénomènes sur le territoire ». Il fait une distinction entre les indicateurs thématiques qui associent à un objet géographique un ensemble de valeurs et les indicateurs spatiaux qui informent sur la forme, la structure et l'organisation de l'objet dans l'espace. Il démontre ainsi l'intérêt de développer des outils d'information basés sur les indicateurs spatiaux pour soutenir la participation en amont des processus de décision.

2.2. Qu'est ce qu'un indicateur spatial ?

Weber et Hall (2001) illustrent ces enjeux de définition des concepts relatifs aux indicateurs géographiques à travers la distinction entre les expressions « indicateurs spatiaux » et « indicateurs territoriaux ». Il paraît pourtant pertinent d'essayer de clarifier l'emploi de ces deux notions pour justifier notre choix quant à l'utilisation d'indicateur spatial. La distinction entre ces deux concepts tient dans leur rapport à l'objet géographique¹³. Di Méo (1998) propose la distinction suivante entre les concepts géographiques d'espace et de territoire. Le premier exprime l'unité initiale du monde tandis que le second traduit sa diversité sociale et humaine. Le territoire peut être ainsi défini comme un espace approprié (au sens d'espace vécu et d'espace social ; Baud, 1997). Decroly et Grasland (1996) distinguent deux principes d'organisation géographique :

- le principe d'organisation spatiale, lié à la notion de distance et plus généralement de proximité ;
- le principe d'organisation territoriale, lié à l'existence de partitions de l'espace en sous-ensembles disjoints ou en sous-ensemble flous.

L'approche territoriale apparaît donc plus limitée car liée à une échelle d'analyse et de restitution (partition de l'espace). Au contraire, l'approche spatiale cherche un sens, des facteurs explicatifs, des liens de causalité à travers l'organisation et la localisation des objets géographiques dans l'espace (distribution, discontinuité, distance...). C'est dans cette perspective que Maby (2003) propose des éléments de définition de l'indicateur spatial : « L'indicateur spatial définit la position de l'objet géographique et permet la recherche de l'auto-corrélation spatiale ». Il semble cependant que l'approche territoriale soit encore dominante dans les démarches d'élaboration d'outils de mesure en général et d'indicateurs en particulier. Grasland et Hamez (2005) soulignent que jusqu'à une date récente, l'écrasante majorité des travaux publiés sur la mesure de la cohésion sociale ou le développement économique négligeait totalement la prise en compte de la dimension spatiale. Ce fait est lié à la contrainte de la production de la donnée source à un niveau d'organisation territoriale (région, commune, parcelle...).

2.3. Un emploi de l'information géographique limité à sa dimension territoriale ?

Ce problème de la production de données limite l'emploi de l'information géographique, eu égard aux nouvelles potentialités offertes dans les domaines de l'analyse et de la modélisation spatiales. Chéry (2003) identifie deux problèmes qui pèsent sur l'utilisation des méthodes d'analyse et de modélisation spatiale, par conséquent, sur la construction d'indicateurs : l'échelle et l'effet de bord. La problématique du changement d'échelle reste une contrainte importante et non résolue. La production des données sources se fait à une échelle territoriale ce qui empêche de restituer les indicateurs à d'autres niveaux géographique. Les effets de bord sont les conséquences directes et non prévues des choix de délimitation territoriale du système informé au stade de production de la donnée. Ce sont les effets secondaires (traduction de l'expression anglaise « side effect ») liés à la production de l'information géographique aux niveaux d'organisation de l'espace géographique inférieurs à l'étendue du globe terrestre. Ils contraignent les traitements en analyse spatiale en exprimant les limites de l'interaction spatiale alors que les phénomènes qu'ils soient environnementaux, sociaux (...) sont généralement continus et non limités au sein d'un espace discret. L'usage de l'information géographique reste pauvre et souvent limité à sa représentation par l'intermédiaire de cartes de

¹³ Maby (2003) retient trois caractères fondamentaux constituant l'essence de l'objet géographique : la spatialité (c'est un lieu ou ensemble de lieux, il est situé et cartographiable), la constructivité (création des procédures cognitives) et la complexité systémique.

localisation, de situation et d'emprise au sol. Ainsi la grande majorité des indicateurs habituellement proposés pour qualifier l'étalement urbain ne tient pas compte des relations causales qui peuvent être établies du fait de l'organisation des objets géographiques dans l'espace. Nous avons retenu, ci-dessous, deux exemples d'indicateurs illustrant cette difficulté à dépasser les contraintes liées au choix d'une échelle d'analyse : Nombre de logements sur des périodes données par commune (Cete-Méditerranée, 2007) ; Superficie moyenne annuelle artificialisée depuis 1977 dans les communes littorales maritimes (DRE, 2007). Les phénomènes restent réduits à la localisation et l'expression de leur emprise au sol sans être rapporté à leur fonction dans un système géographique. Pourtant, la localisation peut aussi constituer un facteur explicatif de l'organisation des objets géographiques dans l'espace et aider ainsi à la compréhension des interactions (hommes, ressources, activités) qui structurent et font le territoire. C'est ce que nous tentons de démontrer à travers la mise en place d'une méthode itérative de co-construction d'indicateurs spatiaux développés en réponse à la demande de la DRAF. Nous avons pour ambition de proposer une approche à la fois systémique et concertée destinée à dépasser les faiblesses des outils de mesure actuels accompagnant les processus décisionnels.

3. Méthode et résultats

Notre choix méthodologique a porté sur la production d'une tache artificialisée et d'un indice de qualité des sols, informations continues, comme données de base à l'élaboration des indicateurs. Cela nous a permis d'envisager une approche spatiale et systémique non contrainte par les problématiques d'échelles et d'effets de bord. En outre, la démarche adoptée pour la production d'indicateurs s'appuie sur un processus itératif de co-construction avec les utilisateurs. Elle offre ainsi des perspectives intéressantes pour dépasser les limites des outils de mesure actuels.

3.1. Proposition d'une méthode de production de données continues

En matière de quantification, l'étude méthodologique a voulu recenser les méthodes spatiales généralisables permettant la mesure de l'emprise au sol des territoires artificialisés et son suivi dans le temps (passé et futur). Trois types d'éléments sont directement liés à l'accroissement des villes dans l'espace et sont ainsi facteurs de l'artificialisation des sols : les zones d'habitats, les zones d'activités et les infrastructures de transport. Le terme de tache artificialisée a été privilégié à celui de tache urbaine, l'une des contraintes de production de cette information étant de répondre à un souci d'exhaustivité. Une nomenclature commune à l'ensemble des méthodes envisagées a été définie afin de caractériser les éléments de la tache artificialisée (tissu urbain, zones industrielles et commerciales, infrastructures de communication, chantiers et décharges) et ainsi de permettre la comparaison des résultats potentiels. La méthode retenue pour la détermination de cette forme d'occupation du sol est une opération de morphologie mathématique communément appelée « fermeture à la tache urbaine ». Elle consiste à appliquer aux données étudiées des opérations successives d'érosion / dilatation caractérisées par le critère de continuité du bâti. Ce dernier est lié à la distance entre les bâtiments et aménagements à prendre en compte pour considérer qu'ils appartiennent ou non à la même zone. La figure ci-dessous illustre cette opération d'agrégation des éléments composant la tache artificialisée.

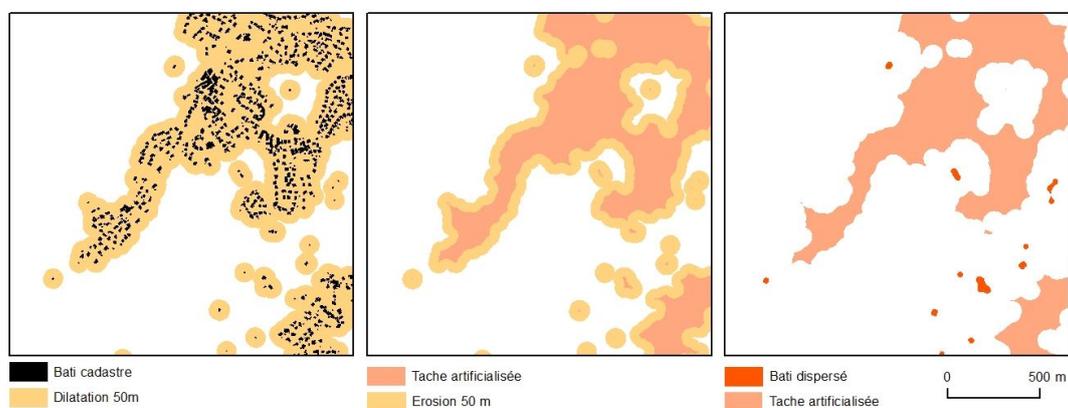


Figure 1 : Etapes de création d'une tache artificialisée à partir des objets bâtis issus du cadastre numérique (2007, Commune de Vailhauques, source DGI)

Un inventaire des données géographiques vectorielles et images disponibles pour la production et le suivi de cette tache artificialisée a ensuite été réalisé. Compte tenu de la contrainte de généralisation potentielle de la méthode, quatre types de traitements avec leurs données associées ont été retenus :

- L'exploitation des taches artificialisées livrées par la **BD Corine Land Cover** utilisable en première approche, mais trop imprécise (maille de 25 Ha) ;
- La production de tâches artificialisées à partir d'**images satellites** (SPOT 1, 3, 5 et IRS) qui a permis d'obtenir de bons résultats (exhaustivité et précision géographique). Cette méthode est également celle qui permet de remonter le plus loin dans le temps (1989) mais la qualité et la date d'acquisition des images utilisées sont déterminantes. Il s'agit de plus, d'une méthode nécessitant d'importants moyens techniques et humains, notamment dans le cadre d'un suivi périodique ;
- La production de tâches artificialisées à partir de **données vectorielles** précises sur le bâti (BD Topo®, cadastre numérique). Comparativement aux autres, cette méthode est facile à reproduire mais pose des problèmes de mise à jour et d'exhaustivité de l'information représentée ;
- La **combinaison de données vectorielles et d'images satellites** qui permet de produire un historique de l'évolution de la tache artificialisée (exploitation des images satellites) et de proposer une méthode de suivi périodique (données vectorielles) facile à mettre en œuvre mais non exhaustive. En outre, cette méthode comporte d'importantes limites liées à l'hétérogénéité des sources de données.

En matière de qualification, un indice de qualité des sols du Languedoc-Roussillon a été développé et mis en œuvre pour apprécier le potentiel à long terme et à très long terme des sols languedociens. A partir des références d'indicateurs de qualité des sols existant dans la littérature, un indice permettant de définir 4 grandes classes de qualité subdivisées en 16 sous classes a été construit. Celui-ci utilise une combinaison logique de propriétés de sol « diagnostic » (arbre de décision) intervenant à trois niveaux : définitions de contraintes absolues pour la production agricole (pente et salinité) ; classement des unités typologiques de sol sans contraintes absolues en trois classes de qualité à partir de leur réserve utile ; subdivision de ces trois classes en considérant des contraintes mineures pour la production agricole (hydromorphie, pierrosité, risque de battance ou pH déséquilibré). L'indice ainsi produit a été spatialisé sur la zone test en utilisant les données du Référentiel Régional Pédologique du Languedoc-Roussillon.

Dans la poursuite de l'étude méthodologique, il est apparu nécessaire de proposer une méthode de production d'indicateurs spatiaux pour la traduction et l'appréhension des résultats.

3.2. Une démarche itérative de co-construction d'indicateurs spatiaux

Pour une appropriation maximale des IDD, Audouit et al. (2006) préconisent une démarche interactive et itérative entre scientifiques et utilisateurs. C'est ce type d'approche concertée que nous avons adopté. Nous nous sommes donc attachés à travailler de façon régulière avec les utilisateurs auxquels les indicateurs sont destinés (DRAF et DDAF). La question centrale des démarches d'élaboration de systèmes d'indicateurs est celle du choix des indicateurs. Cependant comme le souligne Joerin et Rondier (2007), il s'agit plus de concevoir un système que de choisir des indicateurs. La démarche de co-construction doit aboutir à l'élaboration d'un modèle systémique des dynamiques d'urbanisation en zone méditerranéenne. Il s'agit ainsi de pallier les limites de transversalité et d'applicabilité des indicateurs existants en élaborant une vision systémique et partagée avec les utilisateurs. La figure ci-dessous illustre les grandes étapes de ce processus itératif.

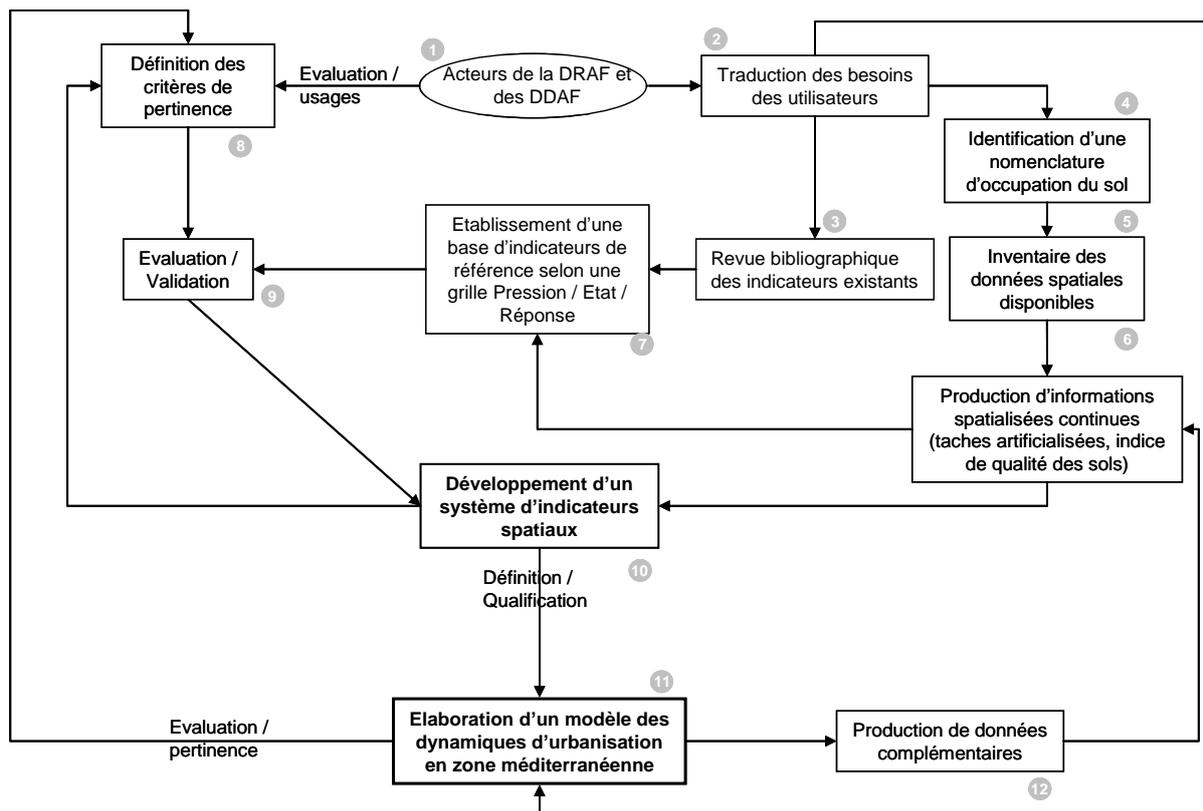


Figure 2 : Démarche itérative de co-construction d'indicateurs spatiaux

Comme le fait apparaître le schéma, l'étape préalable à ce type de démarche consiste en une analyse approfondie des besoins des utilisateurs. La demande initiale exprimée par la DRAF comportait deux niveaux de préoccupations :

- un désir de compréhension pour contribuer à l'analyse globale des dynamiques à l'œuvre et sensibiliser à la perte d'un patrimoine agricole.
- une volonté d'action pour localiser rapidement les meilleures terres et conforter le discours des cadres locaux (DDAF...) pour une meilleure prise en compte des terres agricoles lors de l'élaboration des documents d'urbanisme.

La traduction de cette demande peut se résumer en trois types de besoins : approfondir les connaissances sur le patrimoine agricole à la fois qualitatives, quantitatives et spatiales ; Identifier, les facteurs d'artificialisation des terres agricoles et comprendre les processus en œuvre (interactions) ; enfin, cibler les priorités pour aider la prise de décision mais également pour appuyer la communication et la sensibilisation en matière de perte d'un patrimoine agricole. Pour répondre à ces besoins nous avons cherché à bâtir une base d'indicateurs de référence à partir d'un inventaire bibliographique des indicateurs existants. Nous avons ensuite procédé à un classement de ces indicateurs selon la grille Pression/Etat/Réponses proposée par l'OCDE. Le schéma ci-dessous présente une adaptation du modèle PER à notre objet d'étude.

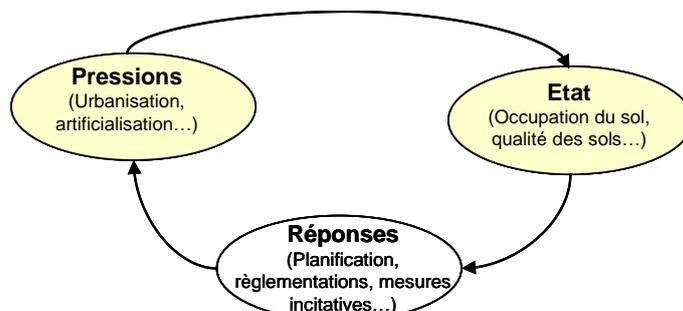


Figure 3 : Modèle Pression Etat Réponse adapté à l'objet d'étude

Cette base d'indicateurs de référence a ensuite été soumise aux utilisateurs en vue de leur évaluation. Joerin et Rondier (2007) affirment que la recherche du consensus sur la conception et le contenu favorise l'appropriation par les acteurs. Ils insistent également sur le caractère enrichissant de ce processus d'apprentissage. En parallèle, nous avons évalué ces indicateurs en vérifiant également leur capacité à décrire et qualifier notre modèle systémique. Cette étape doit permettre de dégager des critères de pertinence sur lesquels nous baser pour co-construire les indicateurs spatiaux à partir desquels nous finaliserons le modèle systémique.

3.3. Production d'une première série d'Indicateurs de référence

Il s'agissait, dans le cadre de notre étude, de proposer d'une part, des indicateurs d'état sur l'occupation du sol et la qualité des sols et, d'autre part, des indicateurs de pression sur la consommation des sols par les surfaces artificialisées. Ces indicateurs de référence ont pu être développés à partir des données produites (taches artificialisées, indice de qualité des sols) et de données complémentaires retenues comme pertinentes lors de la phase d'inventaire (statistiques sur le logement, la démographie, zonages...). Une base de 21 indicateurs de référence ont été identifiés, classés en sept catégories. Ils se déclinent en deux grands thèmes : 13 indicateurs concernent des aspects quantitatifs d'occupation et d'artificialisation du sol et 8 indicateurs illustrent des aspects quantitatifs et qualitatifs de potentialité agronomique des sols. Des d'indicateurs composites croisant les informations quantitatives et qualitatives (Ex : degré d'artificialisation en fonction de la qualité des sols) sont proposés. D'autres intègrent des données externes (démographie, zonages statistiques, urbanistiques). La disponibilité des données a conditionné le choix de la méthode spatiale et ainsi les caractéristiques techniques (échelle spatiale, échelle temporelle, fréquence de mise à jour...) des indicateurs en sortie.

La méthode de qualification agronomique des sols proposée par l'équipe de l'UMR LISAH développée à partir de la BD Sol (1/250 000e) a conditionné le choix de l'échelle de précision. Ce sont les échelles communale et intercommunale qui ont été retenues comme niveau de restitution des indicateurs, seuil au-delà duquel la qualification en terme agronomique n'offrait plus une information « lisible ». Or, comme nous l'avons vu, le développement d'une approche spatiale doit permettre de dépasser ces contraintes techniques du choix d'une échelle territoriale de représentation. C'est pourquoi dans les perspectives d'amélioration des indicateurs nous envisageons de développer une approche spatiale pour dépasser ce type de limite. De plus, en fonction des données utilisées l'emprise de la zone d'étude couverte varie de 3 communes (3670 ha) à 103 communes (172056 ha). Par exemple les indicateurs issus du traitement des données de la BD TOPO® 2001 sont limités à une couverture de 18 communes (34345 ha), tandis que ceux élaborés à partir du traitement d'images satellites couvrent entièrement la zone. Dans la poursuite de l'étude, il est prévu d'homogénéiser l'emprise de l'ensemble des indicateurs en exploitant des données disponibles à l'échelle des quatre départements littoraux du Languedoc Roussillon soit 1361 communes (22670 km² environ).

Les périodes de référence présentent également une grande hétérogénéité. Celles fournies par la série temporelle d'images satellites sont les années 1989, 1996, 2000 et 2005. Les données issues des différentes versions de la BD TOPO® correspondent respectivement aux campagnes de prises de vue aérienne de 2001 et de 2005, mais cette base est mise à jour en continu. Les recensements démographiques datent de 1999 et 2000, le nouveau mode de recensement effectué sur la période 2004-2009 offre une estimation de la population en 2006. Enfin la carte pédologique date d'un inventaire des sols effectué en 1992 et les documents d'urbanisme ont des dates de mise à jour qui vont de 1987 à 2005. Dans la même logique que pour l'échelle de restitution spatiale, il est prévu une homogénéisation des dates de fourniture des données. L'idéal pour croiser les données et permettre la comparaison des résultats serait une fréquence de mise à jour par tranches de 5 ou 10 ans (1990, 1995, 2000, 2005...).

L'ensemble des couches spatiales utilisées pour le calcul des indicateurs sont des fichiers au format vectoriel exploités à partir du logiciel ArcGis 9.2., à l'exception des recensements démographiques traités à partir d'un tableur. Les résultats sont présentés sous forme d'un tableau de bord. Chaque indicateur est décrit par une fiche synthétique (mode de calcul, détails techniques, analyse critique, interprétation) et accompagné de représentations (cartes, tableaux et graphiques). La liste de l'ensemble des indicateurs spatiaux retenus est proposée en annexe (Cf. Annexes 2 et 3) ainsi qu'un extrait du tableau de bord présentant l'indicateur 1.1. (Emprise des thèmes d'occupation du sol à une

date récente en pourcentage). Sur ce point aussi il est envisagé d'affiner la méthode en transformant le tableau de bord produit en un système d'indicateurs.

4. Perspectives : adaptation de la méthode de production d'indicateurs spatiaux

4.1. Dépasser les contraintes techniques pour proposer une approche spatiale

C'est la question de l'étendue spatiale de la zone à considérer qui apparaît la plus difficile à résoudre. Comment s'affranchir par exemple, du choix d'une échelle de restitution (découpage administratif...) ? L'un des objectifs de notre méthode est de générer des indicateurs spatiaux qui permettent de dépasser cette limite. Pour ce faire, ils doivent exprimer les caractéristiques des formes spatiales et les positionnements relatifs des objets dans l'espace. La démarche d'analyse spatiale proposée pour produire les taches artificialisées est basée sur la morphologie mathématique. A partir de ces données continues, nous pouvons proposer différents niveaux de construction d'indicateurs spatiaux (inspirés de l'écologie du paysage et adaptés de Chéry, 2003) qui se basent également sur ce type de traitements morphologiques:

- au niveau d'une tache artificialisée : apparition, disparition, maintien, déplacement, complexification, simplification, déformation et orientation ;
- au niveau d'un ensemble fragmenté en plusieurs taches : fragmentation, coalescence et orientation ;
- au niveau de plusieurs ensembles : progression et régression conditionnelles (d'un habitat au dépend d'un autre), pression à distance.

Pour une tache artificialisée on peut appliquer des indicateurs d'orientation « préférentielle » et de filiation de forme dans le temps. Avec la granulométrie il est possible de reconnaître des indicateurs de surface moyenne d'emprise du bâti au sol, de morcellement, d'orientation autour d'une tache artificialisée et d'un ensemble de taches. Au niveau de plusieurs ensembles on peut mesurer la densité spatiale. Outre les limites imposées par le choix d'une échelle territoriale, l'expérience en cours est également confrontée au choix de modes d'expression des indicateurs spatiaux. Joerin et Rondier (2007) distinguent en ce sens le tableau de bord, qui n'offre qu'une vision sectorielle, du système d'indicateurs qui semble plus adapté à traduire la complexité de la réalité d'un territoire.

4.2. Passer du tableau de bord au système d'indicateurs

Le diagnostic d'un territoire et la compréhension des dynamiques qui le constituent passent par l'appréhension des interactions et processus en œuvre. Pour proposer des indicateurs qui offrent une vision intégrée des enjeux de développement territoriaux, le modèle doit être adapté sous la forme d'un système d'indicateurs. Comme le souligne Joerin et al. (2005) « afin que les indicateurs puissent véritablement aider les décideurs dans la phase de formulation du problème, il semble nécessaire de passer d'un ensemble d'indicateurs, à un véritable système d'indicateurs, constituant en soi un modèle de la complexité territoriale ». Les indicateurs sont associés à des objets géographiques qui sont liés entre eux par des relations sémantiques ou causales. Les tableaux de bord classiques offrent une information sectorielle où les indicateurs sont considérés comme indépendants. C'est le cas de nos résultats tels qu'ils sont restitués actuellement (Cf. Annexe 3). L'enjeu consiste donc désormais à définir les interactions pour traduire ce tableau en un système d'indicateurs. Comme pour la définition des objectifs, l'élaboration du schéma des relations causales peut procéder d'une série d'entretiens ou d'ateliers. Nous avons mis en place un premier atelier réunissant chercheurs et acteurs du secteur agricole. Une première série d'indicateurs spatiaux ont été étudiés, à titre d'exemple : le mitage des terres agricoles par l'habitat dispersé et isolé ; l'évolution des densités (croisant les données d'artificialisation des sols et de croissance démographique) ; le classement des exploitations en vue de compléter l'information de qualification des sols (croisant la taille du parcellaire, l'accès à l'irrigation, le remembrement). En outre, Joerin et Rondier (2007) démontrent que l'analyse du schéma causal peut permettre d'identifier des indicateurs « tête de réseau » (qui influencent d'autres indicateurs mais qui ne peuvent être influencés par aucun) et des indicateurs « finaux » (qui peuvent être influencés par d'autres indicateurs mais n'en influencent aucun). Par conséquent le schéma relationnel liant les indicateurs apporte un éclairage sur l'importance de chaque indicateur dans le fonctionnement du système. Dans le cas de notre étude, il s'agit d'établir les liens de causalité entre les 21 indicateurs proposés, ce qui permettra de cibler des interactions liées à la spatialité des phénomènes. L'objectif étant d'exploiter les potentialités offertes par la modélisation spatiale en cherchant un sens à l'organisation des objets dans l'espace, il sera également nécessaire d'évaluer ce système d'indicateurs en termes de cohérence et d'opérationnalité.

4.3. Elaborer une méthode de co-évaluation

L'évaluation sera basée sur une définition des critères de pertinence des indicateurs avec les acteurs du secteur agricole (Cf. Figure 2). Les critères de pertinence sont liés d'une part à leur capacité à décrire et qualifier le modèle et d'autre part à leur utilité au travers l'usage qu'en ont les utilisateurs. Leur retour sur l'intérêt de ces outils de mesure (transférabilité, applicabilité, méthode de calcul, restitution,...) est une phase importante de la démarche d'évaluation. Il est prévu d'élaborer un itinéraire d'entretiens auprès des acteurs du secteur agricole. En effet, c'est l'usage que les acteurs auront de l'indicateur qui va déterminer en grande partie sa pertinence. Cela explique l'importance de l'implication des acteurs dans le processus d'élaboration des indicateurs puisqu'elle va conditionner leur appropriation. Cette implication renforce l'évaluation des politiques publiques tant du point de vue de la légitimité des référentiels que par rapport à la pertinence des mesures et dispositifs mis en place. Rey-Valette et Chia (2007) citent Offredi (2006) qui affirme que la légitimité d'un système d'indicateurs se construit au fur et à mesure de la légitimité des acteurs qui le portent, dans une conception constructiviste et réflexive. Plusieurs systèmes d'évaluation destinés à valider la qualité et la pertinence des indicateurs d'aide à la décision existent. Nous pourrions ainsi nous inspirer des critères de qualité d'un indicateur selon l'OCDE (Germaneau, 2008). Ce sont la précision, l'actualité et la ponctualité, l'accessibilité des données, la clarté de leur forme, la comparabilité des données et la cohérence.

Conclusion

On assiste à l'intégration croissante de l'information géographique comme outil d'accompagnement des politiques publiques par le recours croissant aux SIG et aux méthodes d'analyse et de modélisation spatiales. Verburg (2008) affirme qu'en 1995 il existait encore peu de modèles opérationnels alors qu'en 2008 on peut désormais en compter plus d'une centaine (Ex : MOLAND, CLUE, Eururalis). Nous avons pu démontrer, au travers nos propos, l'apport de la dimension spatiale dans les démarches de construction d'indicateurs d'aide à la décision. Les indicateurs spatiaux permettent d'une part d'offrir une représentation simplifiée et intégrée de la complexité d'un système territorial. D'autre part, l'espace peut constituer un support adéquat à la construction d'une représentation partagée des enjeux de durabilité, à l'occasion de l'élaboration de ce type d'outils de mesure, à condition de ne pas se limiter à sa dimension de localisation. Plusieurs auteurs ont démontré que la spatialisation des enjeux offre une opportunité de démarche concertée et d'une représentation commune et partagée. Il reste cependant à s'affranchir des contraintes des échelles d'analyse et d'action et d'effet de bord imposées par la production de données au niveau d'un territoire. On peut s'interroger sur la capacité de la carte à constituer un modèle adéquat de représentation des interactions spatiales. Cela pose donc la question de la restitution de ces indicateurs et du choix de la représentation pour permettre une approche intégrée. Les systèmes d'indicateur tels que le définissent Joerin et al. (2005 et 2007) semblent être une voie possible. De plus, nous envisageons dans la poursuite de l'étude de proposer des supports de concertations qui offrent une vision systémique des enjeux territoriaux. Nous pourrions nous inspirer de méthodes mises en œuvre dans ce sens. Par exemple les travaux de Maurel (2007) sur l'utilisation de support spatial comme la maquette dans une vision intégrée des différentes dimensions d'un territoire. La démarche itérative de co-construction d'indicateurs spatiaux avec les acteurs de la DRAF et des DDAF est une expérience propice à l'exploration des potentialités offertes par la géomatique. Il faut cependant nuancer nos propos, à côté des indicateurs spatiaux, il reste nécessaire d'intégrer d'autres types d'indicateurs. Comme le précise Tanet (2003), le phénomène territorial ne se réduit pas à cette unique dimension spatiale.

Annexe 1 : Sigles et abréviations

ARPE : Agence Régionale Pour l'Environnement
BD : Base de Données
Cete : Centre d'Études Techniques de l'Équipement
CLUE : Conversion of Land Use Change
CPDT : Conférence Permanente du Développement Territorial
DD : Développement Durable
DDAF : Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt
DIACT : Délégation Interministérielle à l'Aménagement et à la Compétitivité des Territoires
DGI : Direction Générale des Impôts
DPSIR : Driving forces, Pressures, State, Impact, Responses
DRAF : Direction Régionale de l'Agriculture et de la Forêt
DRE : Direction Régionale de l'Équipement
EEA : European Environment Agency's (AEE : Agence Européenne pour l'Environnement)
EPCI : Etablissement Public de Coopération Intercommunale
IDD : Indicateur de Développement Durable
IDH : Indicateur de Développement Humain
IFEN : Institut Français pour l'ENVironnement
INSEE : Institut national de la Statistique et des Etudes Economiques
LISAH : Laboratoire d'étude des Interactions Sol Agrosystème Hydrosystème
LOADDT : Loi d'Orientation pour l'Aménagement et le Développement Durable du Territoire
LR : Languedoc Roussillon
Moland : Monitoring Land Use / Cover Dynamics
OCDE : Organisation de Coopération et de Développement Economiques
ONU : Organisation des Nation Unies
PADD : Plan d'Aménagement et de Développement Durable
PER : Pression Etat Réponse
PLU : Plan Local d'Urbanisme
PNUD : Programme National des Nations Unies pour le Développement
SCOT : Schéma de COhérence Territoriale
SDAU : Schéma Directeur d'Aménagement et d'Urbanisme
SIG : Système d'Information Géographique
SMBT : Syndicat Mixte du Bassin de Thau
SRU : Solidarité et Renouvellement Urbain
TETIS : Territoire Environnement Télédétection et Information Spatiale
UMR : Unité Mixte de Recherche

Annexe 2 : Liste des indicateurs de référence

A l'issue de la première phase de l'étude méthodologique commanditée par la DRAF LR, portant sur le suivi de l'artificialisation des terres agricoles et leur qualification en terme de potentiel agronomique, une base de 21 indicateurs de référence ont été proposés.

13 indicateurs sur des aspects quantitatifs d'occupation et d'artificialisation du sol

- 1- Occupation du sol détaillée à une date récente
 - 1-1 Occupation du sol (ha)
 - 1-2 Occupation du sol (%)

- 2- Emprise des territoires artificialisés à une date donnée
 - 2-1 Emprise des territoires artificialisés (ha)
 - 2-2 Emprise des territoires artificialisés (%)

- 3- Evolution des territoires artificialisés entre deux dates
 - 3-1 Taux d'évolution de l'artificialisation (%)
 - 3-2 Superficies annuelles moyennes artificialisées (ha/an)
 - 3-3 Taux d'étalement des surfaces artificialisées entre deux dates (%)

- 4- Artificialisation des sols par catégorie d'espace
 - 4-1 Zonages en aire urbaine (%)
 - 4-2-1 Zonages POS et PLU (ha)
 - 4-2-2 Zonages POS et PLU (%)

- 5- Pression démographique
 - 5-1-1 Accroissement démographique (%)
 - 5-1-2 Accroissement démographique (nbre Habts)
 - 5-2 Surface moyenne artificialisée par habitant (ha/1 habt)

8 indicateurs sur des aspects quantitatifs et qualitatifs de potentialité agronomique des sols

- 6- Perte d'un potentiel agronomique par Unité Typologique des Sols détaillée par pourcentage d'Indice de Qualité des Sols (non spatialisée)
 - 6-1-1 Emprise des territoires non artificialisés par UTS (ha)
 - 6-1-2 Emprise des territoires non artificialisés par UTS (%)
 - 6-2-1 Artificialisation des sols par UTS (ha)
 - 6-2-2 Artificialisation des sols par UTS (%)

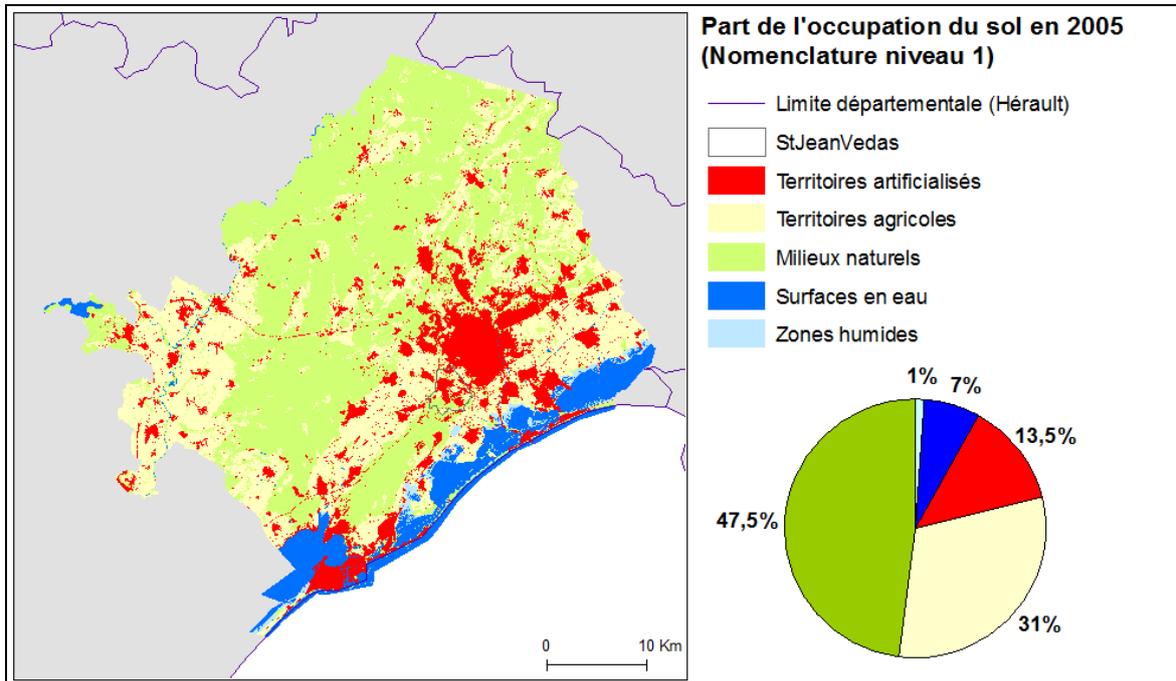
- 7- Perte d'un potentiel agronomique par Unité Cartographique des Sols agrégée par Indice de Qualité des Sols majoritaire (spatialisée)
 - 7-1-1 Emprise des territoires non artificialisés par UCS (ha)
 - 7-1-2 Emprise des territoires non artificialisés par UCS (%)
 - 7-2-1 Artificialisation des sols par UCS (ha)
 - 7-2-2 Artificialisation des sols par UCS (%)

Annexe 3 : Extrait du tableau de bord présentant l'indicateur 1.1. (Emprise des thèmes d'occupation du sol à une date récente en pourcentage)

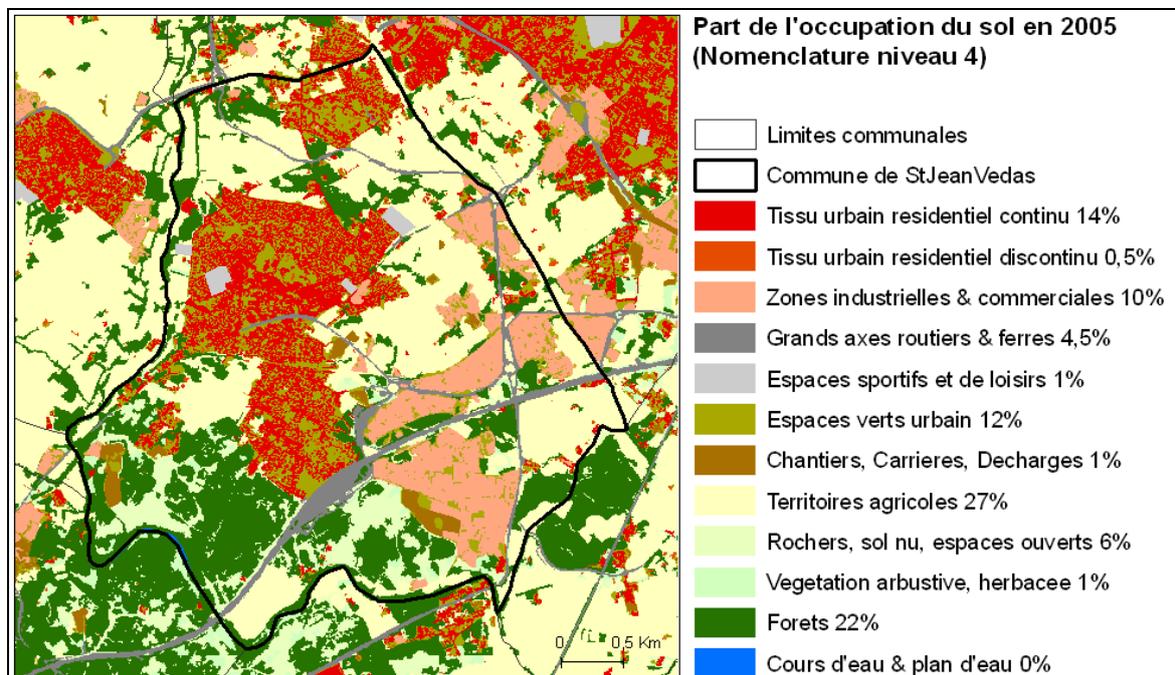
Nom de l'indicateur	1. Occupation du sol
Définition	1.1. Emprise des thèmes d'occupation du sol (détaillés) à une date récente
Nature	Etat
Informations techniques	
Description de la donnée	Classification orientée objet d'une image satellite Spot 5 du 27/04/2005 (résolution 2,5 mètres)
Couverture	103 communes soit 172056 ha dont 99 communes entièrement couvertes soit 167364 ha
Unité	%
Date	2005
Nomenclature restitution	Nomenclature d'occupation du sol à 4 niveaux de précision comprenant respectivement 4, 8, 14 et 19 thèmes
Echelle restitution	Inter communale ou communale
Méthode de calcul	Calcul d'un champ surface puis calcul de la part de cette superficie par rapport à la superficie de la zone d'étude, fusion sur le champ de la nomenclature de restitution (1, 2, 3, 4) avec somme des superficies.
Fréquence de production	Annuelle
Evaluation de l'information	
Pertinence des données par rapport à l'objectif de l'indicateur	L'objectif de l'indicateur est d'offrir un état de l'occupation du sol à une date récente, en particulier des territoires artificialisés, fiable et adapté au calcul des évolutions passées et futures. La haute résolution de l'image satellite et la méthode de classification orientée objet semi automatisée offrent une précision qui permet de livrer une information pertinente sur les territoires artificialisés.
Comparabilité temporelle	Cet indicateur n'est pas comparable dans le temps puisque l'occupation du sol à ce niveau de détail n'est réalisée que pour la date la plus récente. Aux dates antérieures les images satellites sont traitées à partir du plan thématique de la tâche artificialisée obtenue à partir de cette classification et la nomenclature en sortie ne permet de distinguer que deux thèmes, les territoires artificialisés des territoires non artificialisés. Au dates postérieures seules les nouvelles surfaces artificialisées sont détectées, cependant il peut être envisagé de reproduire une classification à une date ultérieure à condition d'opter pour une méthode par traitement d'image satellite.
Comparabilité spatiale	Les résultats sont comparables entre les communes
Limites d'utilisation	Cet indicateur ne permet pas un suivi dans le temps
Aide à l'interprétation	Cet indicateur offre l'information détaillée de l'occupation du sol à une date de référence, il faut se référer au niveau 4 de la nomenclature pour connaître avec précision les objets composant les principales classes (territoires agricoles, naturels et artificialisés). Cet indicateur offre notamment un niveau de détail sur les types d'habitat (continu, discontinu, dispersé).
Interprétation proposée	Les 103 communes (172056 ha) de la zone d'étude présentent une empreinte agricole et naturelle forte, ces espaces occupent 78 % du territoire soit 31 % classés en territoires agricoles et 47 % en milieux naturels. Les territoires artificialisés représentent 13 % dont 5 % sont classés comme espaces non bâtis et 8 % comme espaces bâtis. Au sein de ces espaces bâtis la classe majoritaire est le tissu urbain (5,8 %), le reste est équitablement réparti entre grandes infrastructures (1,2 %), zones industrielles et commerciales (1,3 %). Sur l'ensemble de la zone d'étude 35 communes ont un taux d'artificialisation supérieur à 13 %, les communes les plus urbanisées sont rattachées aux pôles urbains de Montpellier et Sète, elles se concentrent également, dans une moindre mesure, au nord ouest de la zone (Clermont l'Hérault). La carte fait ressortir une urbanisation en continue qui s'étend d'est en ouest le long du littoral ainsi que le long des axes de communication principaux structurant le territoire. A titre d'exemple la commune urbaine de St Jean de Védas rattachée au pôle urbain de Montpellier compte 29 % de Territoires artificialisés dont 13 % d'habitat résidentiel continu et 10 % de zones industrielles et commerciales, les Territoires agricoles représentent 27 % et les forêts 22 %.

Représentations proposées

Emprise des thèmes d'occupation du sol agrégée à l'échelle de la zone d'étude :



Emprise des thèmes d'occupation du sol détaillée à l'échelle de la commune de Saint Jean de Védas :



Bibliographie

- ARPE (2001). Diagnostic développement durable urbain. Tome 1 - Le questionnaire. Toulouse, ARPE Midi-Pyrénées. 76 p.
- Baud P., et al. (1997). Dictionnaire de la géographie. Paris, Hatier. 509 p.
- Bockstaller C. (2008). Les indicateurs de durabilité, du choix au tableau de bord. Colloque de restitution du projet OPA, Lyon, 5 mai 2008. 18 p.
- Bovar O., et al. (2008). Les indicateurs de développement durable. Paris, INSEE. 23 p.
- Cete-Méditerranée (2007). Les évolutions des territoires littoraux 1986-2006. Annexe 2, index méthodologique. Lyon, DGUHC-PA, Cete Méditerranée, Cete Sud Ouest, Cete Ouest, Cete Nord-Picardie, Cete Normandie-Centre. 68 p.
- Cete-Méditerranée (2007). SCoT et développement durable. Lyon, Certu, Collections du Certu, Dossiers 189. 92 p.
- Chamaret A., et al. (2006). Approche top-down / bottom-up pour l'élaboration d'indicateurs de développement durable applicables au secteur minier. L'exemple des mines d'uranium du Niger. Colloque international : Usages des indicateurs de développement durable - Mise en relation des pratiques et savoirs pour les ressources marines et les territoires littoraux avec les acquis d'autres domaines et espaces, Montpellier, 3 et 4 avril 2006. 15 p.
- Chéry J.P. (2003). Réflexion sur une expérience de construction d'indicateurs spatiaux pour l'environnement. pp.10.
- CPDT (2000). Chapitre V : Indicateurs de développement territorial. In: Rapport d'activité de la subvention 1999. Cellule "Base de données". Liège, CREAT/LEPUR. pp. 9.
- Deprez S., Bourcier A. (2004). Vers des indicateurs de développement durable pour connaître, informer et décider : réflexion méthodologique appliquée à l'étude des effets environnementaux du transport de marchandises en ville. Colloque développement durable. Leçons et perspectives, Ouagadougou, 1 au 4 juin 2004. 10 p.
- Desthieux G. (2004). Utilisation d'indicateurs spatiaux dans un processus participatif de diagnostic de quartier à Saint-Jean. EPLF, Genève. 28 p.
- Di Méo G., (1998). De l'espace aux territoires. In: L'information Géographique, n°3, Ed. SEDES. pp.99-110.
- Decroly J.-M., Grasland C. (1997). Organisation spatiale et organisation territoriale des comportements démographiques : une approche subjective. In: Bocquet, J.P. (Ed.). Analyse spatiale des données biodémographiques : approches récentes. Paris, John Libbey/INED. pp. 131-156.
- DRE des Pays de la Loire (2007). Caractérisation du développement urbain dans les Pays de la Loire. Fiche n°7 : La progression des surfaces artificialisées dans les communes littorales maritimes. Nantes, Cete-Ouest. 8 p.
- EEA (1998). Guidelines for Data Collection and Processing. EU State of the Environment Report, Annex 3. Copenhagen, EEA.
- Germaneau C. (2008). Les indicateurs du développement durable : Pour qui ? Sous quelle forme ? Et quel degré de pertinence ? (Article 1/1). Synerblog Association Synergiz.
- Grasland C., Hamez G. (2005). Vers la construction d'un indicateur de cohésion territoriale européen ? L'espace Géographique, v.2. pp.97-116.
- IFEN (1997). Indicateurs de développement durable - Bilan des travaux étrangers et éléments de réflexion. Orléans, IFEN, Collection Notes de méthode n°8. 72.
- IFEN (2003). L'étalement urbain. 45 indicateurs de développement durable : une contribution de l'Ifen. Etudes et travaux, n° 41. pp.78-79.
- Jarrige F., Jouve A. M., et al. (2003). Et si le capitalisme patrimonial foncier changeait nos paysages quotidiens ? Courrier de l'environnement, n°49. pp.13-28
- Joerin F., et al. (2005). Des systèmes d'indicateurs pour aider les acteurs à manipuler les complexités territoriales. Colloque Développement durable, gestion des ressources et gouvernance, Lausanne, 21-23 septembre. 9 p
- Joerin F., Rondier P. (2007). Chapitre 1. Les indicateurs et la décision territoriale. Pourquoi ? Quand ? Comment ? In: Sénécal, Gilles (Dir.) Les indicateurs socioterritoriaux. Perspectives et renouvellement. Laval, PUL (Les Presses de l'Université de Laval). pp. 9-36.
- Lavoux T. (2006). L'offre et la demande d'indicateurs : les leçons des expériences internationales, nationales et locales. Colloque international : Usages des indicateurs de développement durable - Mise en relation des pratiques et savoirs pour les ressources marines et les territoires littoraux avec les acquis d'autres domaines et espaces, Montpellier, 3 et 4 avril 2006.

- Lazzeri Y. (2006). Introduction générale. In: Lazzeri, Yvette (Dir.) Les indicateurs territoriaux de développement durable. Questionnements et expériences. Aix en Provence, L'Harmattan. pp. 21-26.
- Lazzeri Y., Moustier E. (2006). Chapitre 4. Les expériences territoriales d'élaboration d'indicateurs de développement durable : un tour d'horizon. In: Lazzeri, Yvette (Dir.) Les indicateurs territoriaux de développement durable. Questionnements et expériences. Aix en Provence, L'Harmattan. pp. 77-103.
- Maby J. (2003). Approche conceptuelle et pratique des indicateurs en géographie. In: Maby Jacques (dir.) Objets et indicateurs géographiques. . Avignon, A. Barthélémy. pp. 16-41.
- Maurel P., Roussillon J. P. (2007). Usages de l'Information Géographique pour l'élaboration du SCOT de Thau : premiers retours d'expérience. GéoEvènement 2007, Paris, 3-5 avril 2007. 11 p.
- OCDE (1990). Environmental Policies for Cities in the 1990s. Paris, OCDE. 92 p.
- OCDE (1993). Core set of indicators for environmental performance reviews. Paris, OCDE.
- ONU, (2006). World Urbanization Prospects 2006 ONU World urbanization prospects : the 2005 revision. New-York, ONU. 210 p.
- Rey-Valette H., Chia E. (2007). Modes et conditions d'appropriation du concept de développement durable. Education à l'environnement pour un développement durable. Informer, former ou éduquer ?, Montpellier, 7-8 Juin 2007 Montpellier. 10 p.
- Rey-Valette H., et al. (2008). Les usages des indicateurs de développement durable. Compte rendu de colloque (Montpellier, 3-4 avril 2006). Natures Sciences Sociétés, v. 16, n° 1. pp.73-75.
- Rey-Valette H., et al. (2006). Usages des Indicateurs de Développement Durable : entre Offre et Demande d'indicateurs. GECOREV: Gestion concertée des ressources naturelles et de l'environnement, du local au mondial, St-Quentin-en-Yvelines, 26-27-28 juin 2006. 15 p.
- Roussel S., (2007). Efficacité d'une Gestion Intégrée de la Zone Côtière (GIZC). Montpellier 1, thèse d'économie. 264 p.
- Salles E. (2001). Définition d'indicateurs spatiaux pour le suivi de l'état de conservation des habitats naturels. Application à la Grandes Camargue. Strasbourg / Montpellier, Cemagref / Mémoire ENGEES. 123 p.
- Sénécal G. (2007). L'esprit de la mesure et l'incertitude métropolitaine. In: Sénécal, Gilles (Dir.) Les indicateurs socioterritoriaux. Perspectives et renouvellement. Laval, PUL (Les Presses de l'Université de Laval). pp. 1-6.
- Tanet P. (2003). Les indicateurs géographiques pour l'évaluation des mesures agri-environnementales. In: Maby Jacques (dir.) Objets et indicateurs géographiques. Collection Actes d'Avignon n°5. Avignon, UMR Espace Université d'Avignon CNRS, A. Barthélémy. pp. 269-281.
- Verburg P. (2008). Perspectives on multi-scale modelling of European Land Use. Symposium "Spatial landscape modelling: from dynamic approaches to functional evaluations", Toulouse, 3 au 5 juin 2008.

Sites Internet

- ARPE : <http://www.arpe-mip.com/html/index.php>
- Cete-Méditerranée : <http://www.cete-mediterranee.fr/>
- Certu : <http://www.certu.fr/>
- CLUE : <http://www.cluemodel.nl/>
- Indicateur de l'environnement en Europe (EEA) : <http://themes.eea.europa.eu/indicators/>
- INSEE Languedoc Roussillon : <http://www.insee.fr/fr/regions/languedoc/>
- Dictionnaire Encyclopédie Universalis : http://www.universalis.fr/test_lexique.php?mots=indicateur
- Programme INTERREG : <http://www.interreg3.com/FR/homepage.asp>
- Ministère de l'Agriculture et de la Pêche : <http://agriculture.gouv.fr/>
- Moland : <http://moland.jrc.ec.europa.eu/>
- Eururalis <http://www.eururalis.eu/>
- Observatoire des territoires de la DIACT :
http://www.territoires.gouv.fr/indicateurs/portail_fr/index_fr.php
- Observatoire du littoral de l'IFEN <http://www.littoral.ifen.fr/>
- Observatoire du bassin de Thau (SMBT) :
http://smbt.teledetection.fr/index.php?option=com_content&task=view&id=49&Itemid=180
- UMR LISAH : <http://www.umar-lisah.fr/>
- UMR TETIS : <http://tetis.teledetection.fr/>

Annexe 7

Carte des zones artificialisées en Languedoc Roussillon (2009)



Cartographie des zones artificialisées en Languedoc-Roussillon Situation en 2009

