



UNIVERSITÉ TOULOUSE
Jean Jaurès

GEODE
GÉOGRAPHIE DE L'ENVIRONNEMENT



MASTER **GÉOGRAPHIE**
DE L'ENVIRONNEMENT ET DU PAYSAGE

Université de Toulouse

MASTER 1

Mention **Géographie et
Aménagement**
Spécialité **Géographie de
l'Environnement et du
Paysage**

Etat d'avancement

**Changements d'occupation du sol dans
les Pyrénées 2001 – 2012 à partir de
données MODIS Landcover MCD12Q1**

PARIZEAU-PHILION Nicolas

Sous la direction de:
Martin Paegelow

Soutenu le **6 septembre**
2016

Stage GEODE : Evolution des données Landcover MODIS MCD12Q1

Analyse des usages du sol et des changements d'occupation sur la chaîne des Pyrénées à partir des images spatiales tirées de l'exploration de la qualité du produit « MODIS Land Cover Type Yearly L3 Global 500 m SIN Grid » de 2001- 2012 en utilisant le canal MCD12Q1.

Objectif (s) visé(s) :

Analyse temporelle de l'évolution de l'occupation du sol (Landcover : « Type 1 » (granules MCD12Q1 disponibles de 2001 à 2012: tuiles h17v04 et 18hv04)

Sommaire

Introduction

p.3

Partie I : Présentation de la zone d'étude : La chaîne des Pyrénées

I / Cadre de recherche

Sujet : Grâce au produit MODIS MCD12Q1, et à son exploration, nous pouvons aujourd'hui interpréter les modifications d'occupation du sol au cours du temps pour un site donné.

Problématique : Quelles sont les modifications d'occupation du sol durant la période 2001-2012 sur la chaîne de Pyrénées ?

II / Site d'étude

1. Etat de l'art sur la chaîne des Pyrénées et sur ses végétations.....p.4

Partie II : Les données MODIS Landcover, et les classes d'occupation du sol.

I / Méthodologie de traitement des données (TerrSet, Excel) p.14

1. Refonte de la légende.....p.14

2. Des erreurs dues à la légende et aux problèmes de réflectances.....p.14

3. Pourcentages annuels, et évolution de l'occupation générale de la chaîne des Pyrénées.....p.17

Partie III : Occupation /usage du sol et son évolution

I / Les changements de l'occupation du sol au cours du temps p.31

1. La région parisienne.....p.33

2. La chaîne des Pyrénées.....p.37

3. Comparaison des taux de changement undécennaux.....p.44

II / Les dynamiques Pyrénéennes p.46

1. Dynamiques..... p.46

2. Perturbations.....p.47

3. Conclusions.....p.49

Bibliographie.....p.50

Annexe des Figures.....p.51

Introduction

Partie I : Présentation de la zone d'étude : La chaîne des Pyrénées

I / Cadre de recherche

Sujet : Grâce au produit MODIS MCD12Q1, et à son exploration, nous pouvons aujourd'hui interpréter les modifications d'occupation du sol au cours du temps sur un site donné.

Notre étude se base sur les données d'imagerie spatiale après traitement du capteur MODIS, son utilisation a pour but, l'observation des surfaces terrestre depuis son lancement en 1999, ces images permettent de quantifier les changements d'occupation du sol, afin de caractériser les espèces végétales et d'analyser leur comportement annuel, saisonnier ou phénologique (*Reed et al. 1994*).

L'utilisation de l'imagerie provenant du capteur MODIS, est gratuite et permet à ce type d'étude d'avoir facilement accès à des images satellites couvrant de larges zones géographiques dont la récurrence permet différents types d'approches temporelles tout en gardant une résolution numérique acceptable (500m), ce qui justifie son utilisation.

C'est pourquoi notre étude a pour objectif, d'observer les changements d'occupation du sol dans les Pyrénées, en explorant le contenu du produit MODIS Landcover mais aussi en vérifiant sa qualité, en réalisant des comparaisons inter-annuelles sur le taux de changement de catégorie de pixels au cours du temps.

Problématique: Quelles sont les modifications d'occupation du sol durant la période 2001-2012 sur la chaîne de Pyrénées ?

Nous cernerons d'abord le site d'étude et ses caractéristiques géographiques propres, puis nous étudierons la méthodologie appropriée à l'utilisation quantitative et temporelle des données MODIS Landcover, et à sa classification, finalement nous tenterons d'appréhender les changements d'occupation du sol au cours du temps dans les Pyrénées tout en comparant deux zones d'études (Les Pyrénées et la région parisienne) afin de valider les résultats liés aux comportements des pixels et a leur taux de changement au sein des catégories, tout en concluant sur les conséquences des changements observés dans les Pyrénées de 2001 à 2012.

II / Site d'étude

1. Etat de l'art sur la chaîne des Pyrénées et sur ses végétations

La chaîne des Pyrénées est un massif assez jeune à l'échelle géologique, cette chaîne est caractérisé par ces vallées fortement encaissées mais somme toutes assez séparées les unes des autres, cependant elle représente une sorte de refuge pour les espèces végétales, ainsi qu'une barrière topographique.

Les Pyrénées dans leur ensemble, regroupent plusieurs départements français (Pyrénées Atlantique, Pyrénées orientale, Ariège, Haute-Garonne, Hautes Pyrénées, et une partie de l'Aude), des communautés autonomes Eepagnoles (La Navarre, Aragon, la Catalogne), ainsi que la principauté d'Andorre situé sur le Massif. Le recensement en 2012, comptait 510.230 habitants coté français.

Ce massif est généralement séparée en trois secteurs altimétriques et bioclimatiques distincts :

Premièrement, les Pyrénée Orientales, ou Catalane partant des plaines du Roussillon jusqu'au col du Puymorens, d'une hauteur relativement moyenne, généralement supérieure à 2000 mètres, cette zone est influencées par la chaleur et la sécheresse méditerranéenne, d'où la présence du chêne vert.

Ensuite vient, la partie centrale s'étendant du col de Puymorens en Ariège jusqu'au Pic d'Anie, cette partie possède des caractéristiques continentales avec un temps froid et sec propice au pin crochet, cette partie possède les plus grandes altitudes dépassant les 3000 mètres comme pour exemple parlant, le Vignemale (3404 mètres d'altitude).

Et finalement la partie Occidentale Atlantique ou Basque, région du Chêne tauzin, sous le régime de vents humides provenant de l'océan Atlantique, dont les sommets ne dépassent pas les 2000 mètres d'altitude.

Cette frontière géographique à héritée d'un bagage bioclimatique postglaciaire, en effet même aujourd'hui encore, le contexte végétal du système pyrénéen dans certaines zones, résulte d'une dynamique originaire de la dernière glaciation, propre à l'écozone paléarctique.

Cependant d'après Didier Galop¹, une grande partie de la végétation à été ensuite orienté par une anthropisation présente dès la fin du Néolithique (env. -3000 avant JC), et ce grâce à l'agropastoralisme.

¹*Histoire des forêts du versant nord des Pyrénées au cours des 30000 dernières années* : Guy Jalut Didier Galop Jean-Marc Belet Sandrine Aubert A. Esteban Amat A. Bouchette Jean-Jacques Dedoubat Michel Fontugne



Fig. 1 : Carte des Pyrénées et de ses environs

Le territoire Pyrénéen est modelé par différents paramètres, écologiques, climatiques, géologiques mais aussi anthropiques, et parmi les activités socio-économiques qui représentent un impact anthropique direct sur le territoire Pyrénéen, la principale reste l'agro-pastoralisme.

Une activité traditionnelle qui évolue constamment en fonction des flux de population. Depuis peu, ces régions agricoles ont connu une forte déprise, une dynamique qui a entraîné une évolution de l'occupation du sol, les anciennes parcelles agricoles ont été renouvelées par des prairies qui ont finies par être abandonnées, entraînant une reconquête de la forêt vers ces zones anciennement pastorales, et donc une dynamique de fermeture des milieux.

La grande partie des activités pastorales françaises se situe vers les extrémités du massif montagnard dans les régions Catalane et Basque ces régions possèdent généralement moins de 25 % de taux de boisement, à contrario, l'Espagne a entrepris une politique de reboisement des régions Basques et Catalanes ce qui augmente leur taux de boisement, qui dépasse là-bas les 75%.

La région agricole espagnole se trouve au Sud du centre du massif vers les « Prepireneo » espagnols, ces zones agricoles ou de pâturages provenant de l'agropastoralisme tendent généralement à reculer doucement, suite à la déprise agricole et à l'abandon des pratiques pastorales traditionnelles. Ceci implique une augmentation des surfaces forestières, liée au recul des cultures et du pastoralisme.

Ce phénomène de déprise touche principalement les versants et les plateaux espagnols et français et un peu moins les fonds de vallées.

2. Le découpage de la zone d'étude

Notre zone d'étude est donc la zone du massif Pyrénéen d'une étendue moyenne de 64700 km², dont 14700 km² pour la zone tampon de piémont Espagnol, afin de rassembler de telles étendues, il a fallu récupérer les tuiles géographiques h17v04 et 18hv04 (Annexe 7) couvrant respectivement, l'Europe de l'Est et l'Europe de l'Ouest dans le but de rassembler l'ensemble des Pyrénées, j'ai volontairement laissé une zone tampon coté espagnol, ce sont les piémonts Pyrénéen Sud (méridional), ces piémonts nommés «*Prepirineo*» sont des zones de transitions entre l'étage collinéen et les zones agricoles de plateaux et de vallées afin d'observer les interrelations entre ces zones agricoles et le massif Pyrénéen.

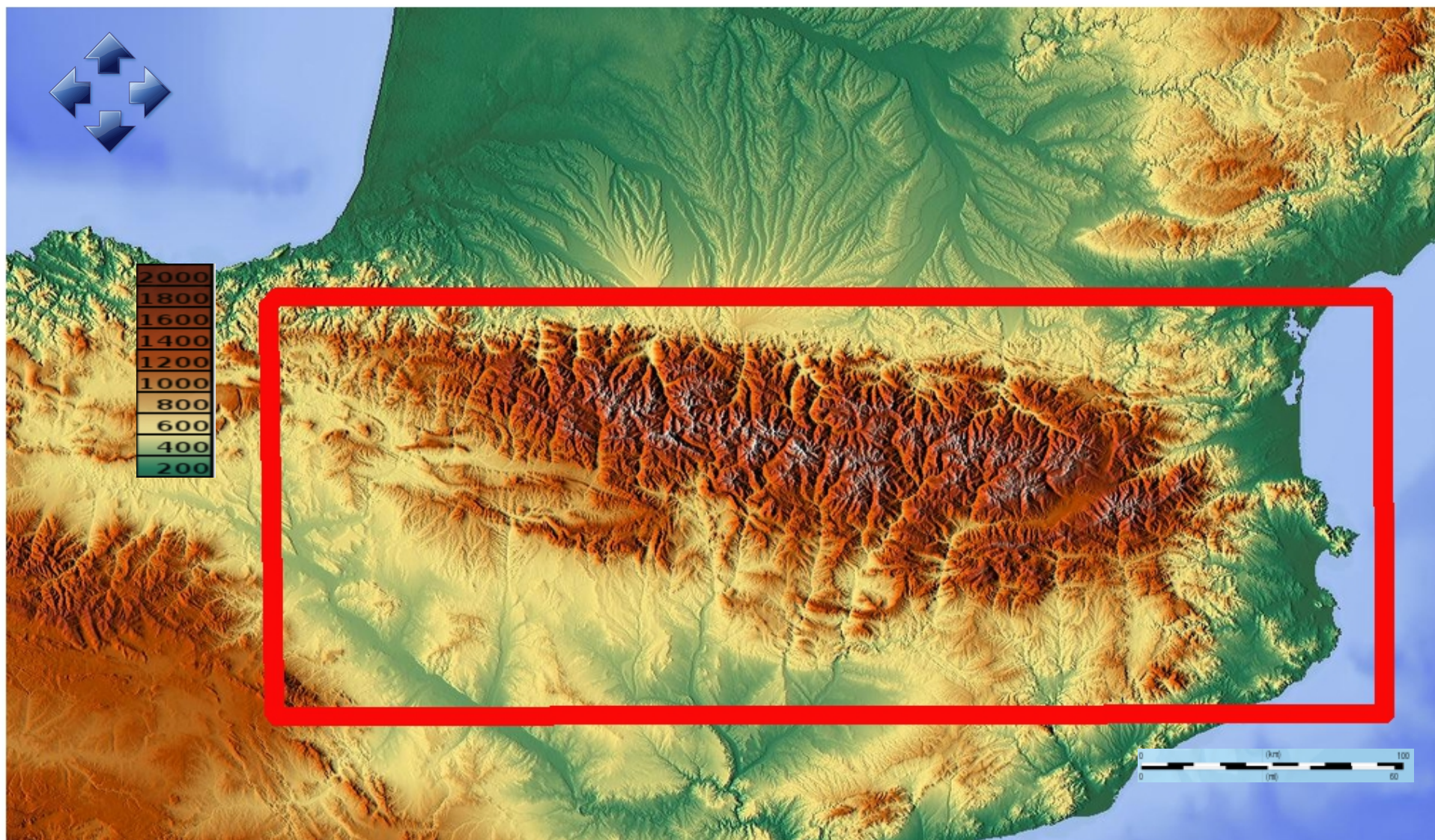


Fig. 2 : Zone d'étude : le relief massif Pyrénéen. (maps-for-free.com) Réf : MN

3. Qualification de la végétation en fonction de la répartition géographique.

Grâce aux statistiques issues des pourcentages de pixels, on remarque que les catégories « Forêts » et les « Forêts parsemées » (alias savanes arborées) » recouvrent moins de la moitié du massif, généralement entre 40 et 50% de la surface totale.

On remarque qu'une différence forte est présente entre les deux versants français et espagnol.

La couverture forestière des Pyrénées est répartie de la façon suivante, on retrouve en moyenne 29% de cette couverture en France soit environ 6 075 km² et 70 % de cette même couverture forestière en Espagne soit 14 610 km², le reste appartenant à la principauté d'Andorre.

La majorité de cette couverture forestière est nettement située entre 600 et 2000 mètres d'altitude.

Cette répartition étant inégale, j'ai décidé de réaliser une étude comprenant les deux versants, français et espagnol (Fig.3).

On note qu'on retrouve en France, les parties les plus boisées vers le centre du massif, cette zone possédant les températures les plus fraîches, et où le taux de boisement est de 70%, contrairement à l'Espagne dont les parties les plus boisées se situent aux extrémités du massif en territoire Basque et Catalan.

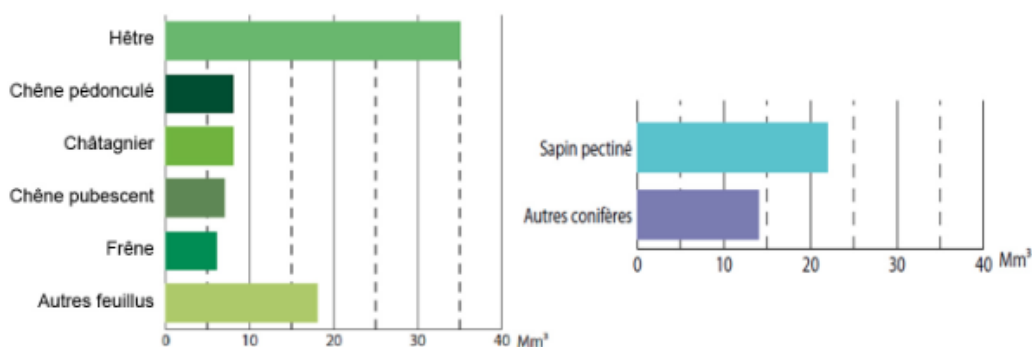


Fig.3 : Ortho photo de la chaîne des Pyrénées Géoportail.fr

La répartition des essences

Le massif compte une grande variété de peuplements. Le paysage forestier de la montagne pyrénéenne reflète de façon évidente la conjugaison des effets liés aux conditions naturelles et aux actions de l'homme.

Volumes de bois sur pied par essence dans le Massif en 2010



Source : IFN 2006-2010

Fig.4 : Graphique de la répartition des essences ligneuses dans les Pyrénées

Les Pyrénées grâce à leur isolation altimétrique possèdent une flore et une faune très abondante, d'après Charpentier ² ce massif joue un rôle important dans les continuités écologiques du Midi-Pyrénées « en jouant à la fois le rôle de « source » et de « puits » au sens de la Biologie de la Conservation, ce rôle étant accentué par sa surface importante », en effet les espèces végétales qui prospéraient dans les plaines et les plateaux de *Midi Pyrénées* se retrouvent aujourd'hui vers le massif Pyrénéen suite à l'anthropisation des plaines.

De plus, ce massif tient un rôle de refuge écologique important dans le contexte actuel de réchauffement climatique car d'après le GIEC et leurs multiples publications, l'augmentation des températures entrainerai des migrations végétales vers le Nord et vers les hauteurs, pour y trouver des conditions climatiques adéquates, cependant d'après Didier Galop, la reconquête de la forêt reste tout de même prononcée. (Galop et al., 2011).

² D'après Charpentier T. 1 (Charpentier T., Foin P., Lummaux J.C. L'occupation du sol dans l'Aude et les Pyrénées - Orientales : un exemple de traitement d'images satellites et de méthode d'évaluation critique des résultats obtenus. In: Méditerranée, troisième série, tome 42, 2-3-1981. Télédétection II, sous la direction de P. Oliva. pp. 65-69.)

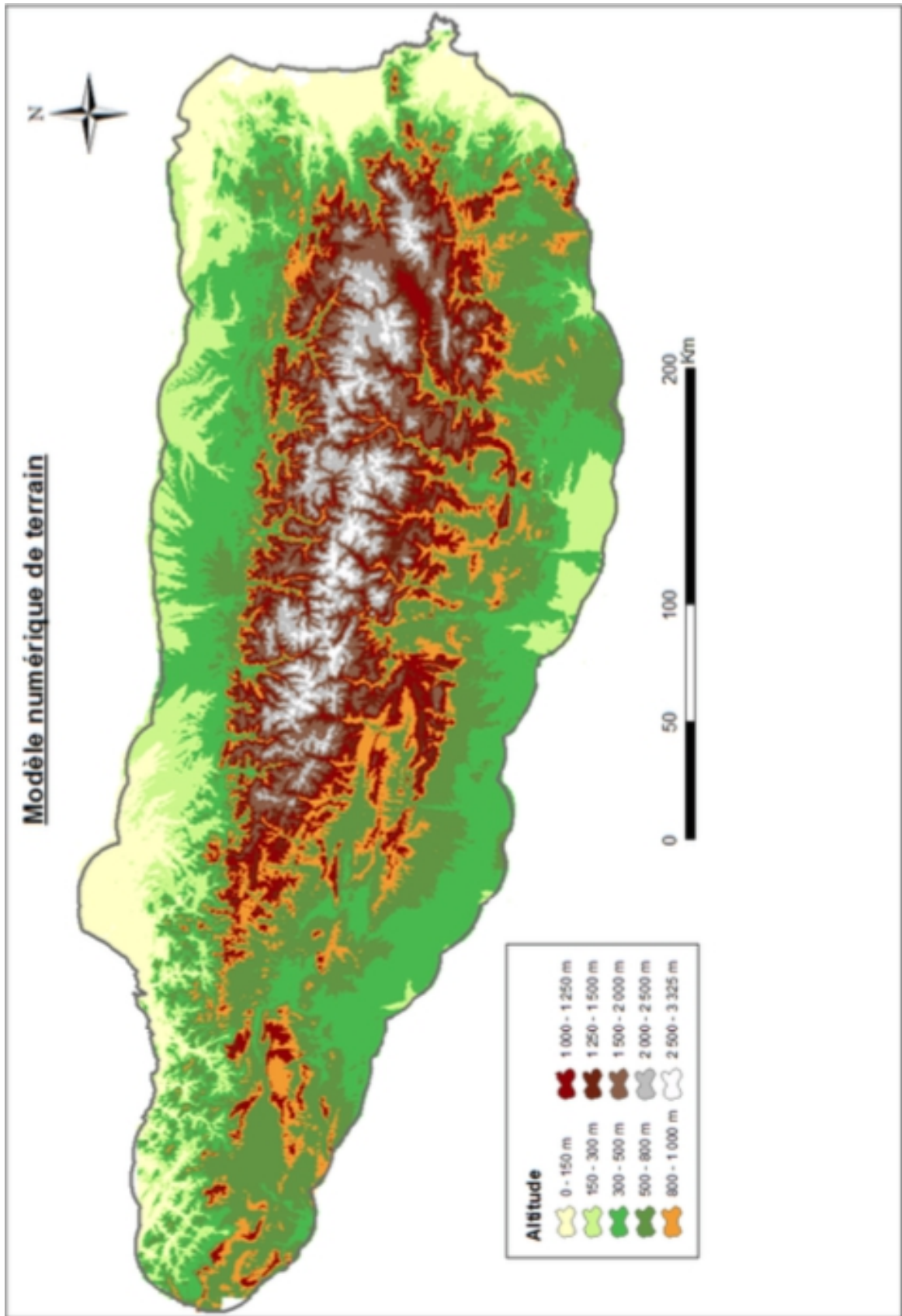


Fig. 5 : MNT des massifs Pyrénéens

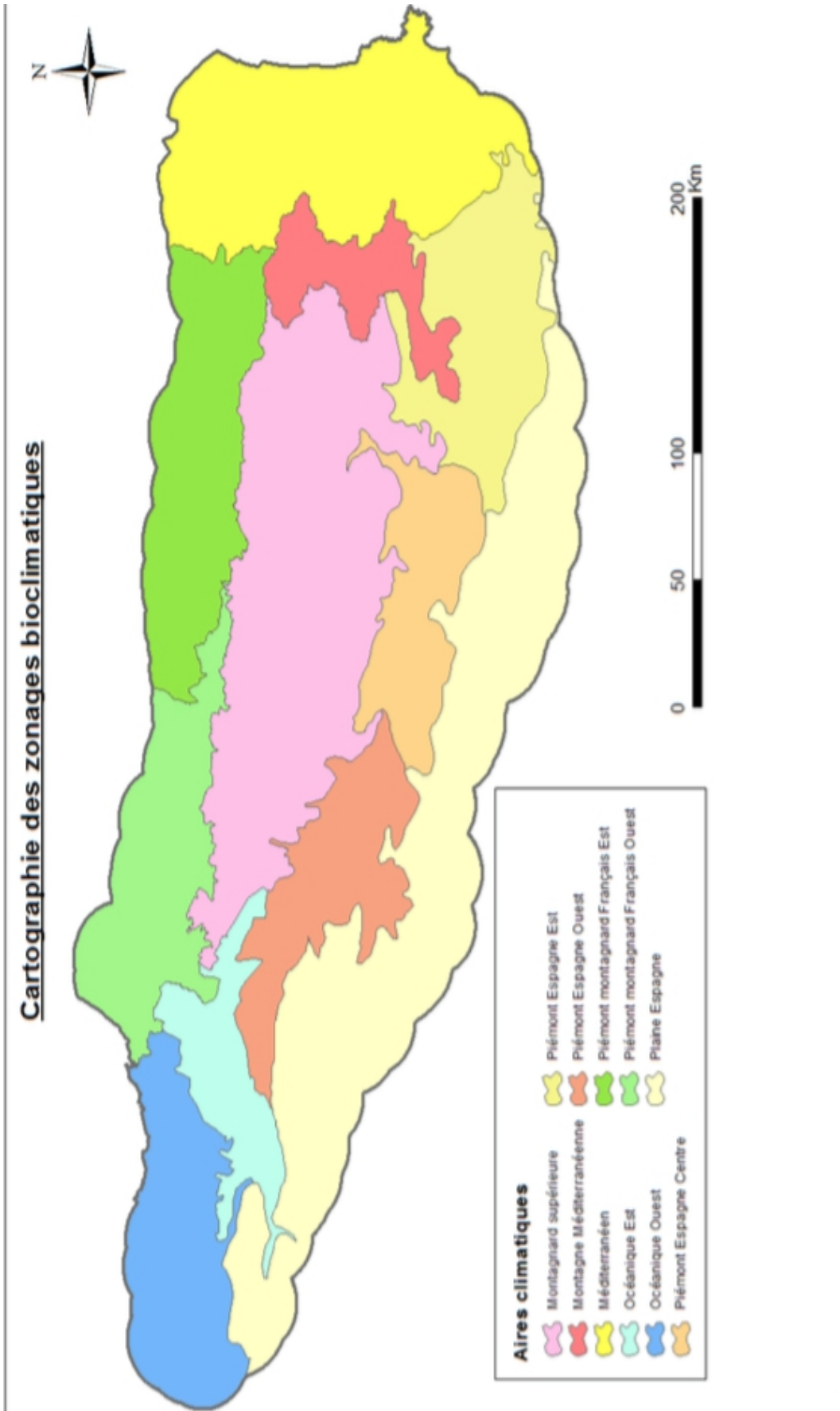


Fig. 6 : Carte des zonages bioclimatiques des Pyrénées

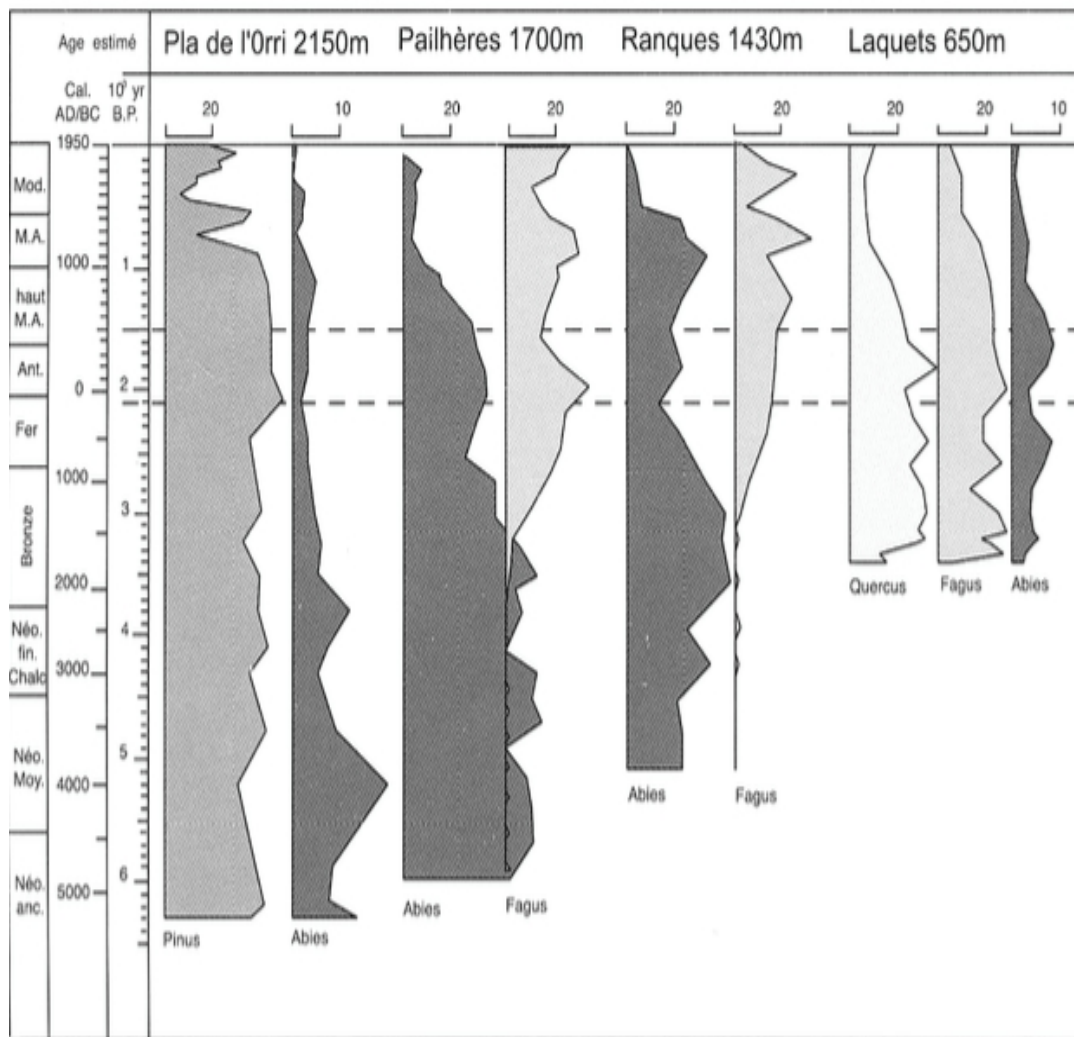


Fig. 4. Évolution des principales essences forestières pyrénéennes (pin, sapin, hêtre et chêne) à partir des données polliniques enregistrées dans quatre tourbières pyrénéennes.

Fig. 7 Evolution des principales essences forestières pyrénéennes depuis 5000 ans

Afin de mieux comprendre la végétation pyrénéenne, il faut revenir dans le temps et voir, quelle en sont les sources.

Ce diagramme pollinique, réalisé grâce à quatre carottages dans des tourbières pyrénéennes, nous informe sur l'évolution au cours du temps des principales essences végétales présentes depuis l'écozone paléarctique dans les Pyrénées, principalement le pin, le chêne, l'hêtre et le sapin.

On remarque que les tourbières étant à différentes altitudes, leur résultats sont des témoins de l'étagement de la végétation dans les Pyrénées.

Partie II : Les données MODIS Landcover, et les classes d'occupation du sol.

I / Méthodologie de traitement des données

1. Refonte de la légende

La légende retenue est issue du traitement numérique des données satellites MODIS Landcover MCD12Q1, elle était composée de quinze catégories. Afin de ne pas observer de trop grands changements dans les variations internes aux catégories, (taux de changements de catégorie de pixels au cours du temps), j'ai englobé les différents groupes de végétation similaires, réduisant ainsi la légende à huit catégories distinctes.

En effet d'après *Hernandez Fernandez 2011*, « le résultat nécessite de définir la légende et la signification du résultat »

2. Des erreurs dues à la légende et aux problèmes de réflectances

Généralement ces erreurs sont les plus récurrentes, mais elles sont dépendantes des processus de regroupement de pixels par catégories, leur définition étant parfois mal définies par les ordinateurs leur limite en est de même. En effet, certaines catégories se ressemblant telle les « Forêts parsemées » et les « Zones arbustives » peuvent engendrer des modifications brutales de pixels au cours du temps, entraînant par la même occasion des changements d'occupation du sol.

On pourra aussi différencier les catégories à haut taux de changements de catégorie de pixels au cours du temps, nommées catégories *instables* et celles à faible taux de changement de catégorie de pixels au cours du temps, les catégories *stables*.

A première vue on pourrait émettre l'hypothèse logique comme quoi les catégories issues de la classification numérique à faibles taux de changement de catégorie de pixels sont celle bien différenciés au sein du spectre électromagnétique et dont les définitions sont mieux définies que celle à haut taux de changement de catégorie de pixels au cours du temps, différenciant ainsi les résultats théoriques et ceux pratiques.

Cependant nous verrons que la nature même des catégories, ainsi que leur population de pixels influent sur ce taux de changement de catégorie au cours du temps.

Les problèmes liés à la réflectance sont principalement dus aux « *dates d'acquisition du calendrier et de la longueur du changement d'intervalle (résolution temporelle)*³ ».

Ainsi pour pallier à ces problèmes, l'acquisition se réalise lors de fenêtres temporelles annulaire car elles minimisent les pluralités de réflectance. Cependant, à ces fenêtres de temps précises, des « *disparités phénologiques dues aux précipitations et aux variations de température locales peuvent présenter des problèmes réels* »³.

D'après les travaux de Hame⁴ en 1998, en détection de changement bi-temporelle, « *l'été et l'hiver sont les meilleures saisons en raison de leur stabilité phénologique* »⁴. En effet, l'été dans l'hémisphère Nord reste la période la plus sèche de l'année ce qui permet de mieux distinguer les séparabilités spectrales, car l'évapotranspiration végétale est moindre, comparé à « *l'humidité de surface excessive durant les autres saisons* »⁵.

La réflectance des feuilles d'arbres dans la partie visible du spectre de rayonnement électromagnétique (EMR) est plus élevée au printemps et à l'automne que dans le milieu de la saison estivale. Les changements dans la partie proche infrarouge (NIR) du spectre sont moins donc distincts. L'étape du changement à un moment donné au printemps et à l'automne dépend du site, des espèces d'arbres et des divers génotypes de la même espèce.

En télédétection, les changements au cours du temps entre deux images peuvent être perturbés par plusieurs facteurs pouvant se superposer.

D'après Jordi Inglada⁵, la « *différence de point de vue entre les acquisitions d'images: même dans le cas d'images parfaitement recalées, les effets d'incidence de la lumière peut rendre les images différentes du point de vue de la mesure physique, même en absence de tout changement* », de plus les « *différences d'éclairage et d'atmosphère peuvent changer aussi la mesure radiométrique* » entraînant des changements importants au sein des catégories de pixels.

Il se peut aussi que l'étude réalisée sur onze ans ait été réalisée par un ou deux capteurs possédant une technologie différente et des lectures différentes ce qui peut aussi entraîner des modifications au cours du temps.

³Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., et Lambin, E. (2004). Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. *International Journal of Remote Sensing*, 25(9):1565–1596.

⁴ Hame (1998) *An unsupervised change detection and recognition system for forestry*

⁵ Burns et Joyce, 1981 "Evaluation of Land Cover Change Detection Techniques Using Landsat MSS Data"

⁵ Jordi Inglada: *Contributions à l'analyse d'images d'observation de la Terre pour la production de cartes d'occupation des sols et le suivi des changements dans des contextes opérationnels*

Voici le découpage TerrSet (Fig.8) réalisé au cours du stage d'exploration des données MODIS MCD12Q1 Landcover.

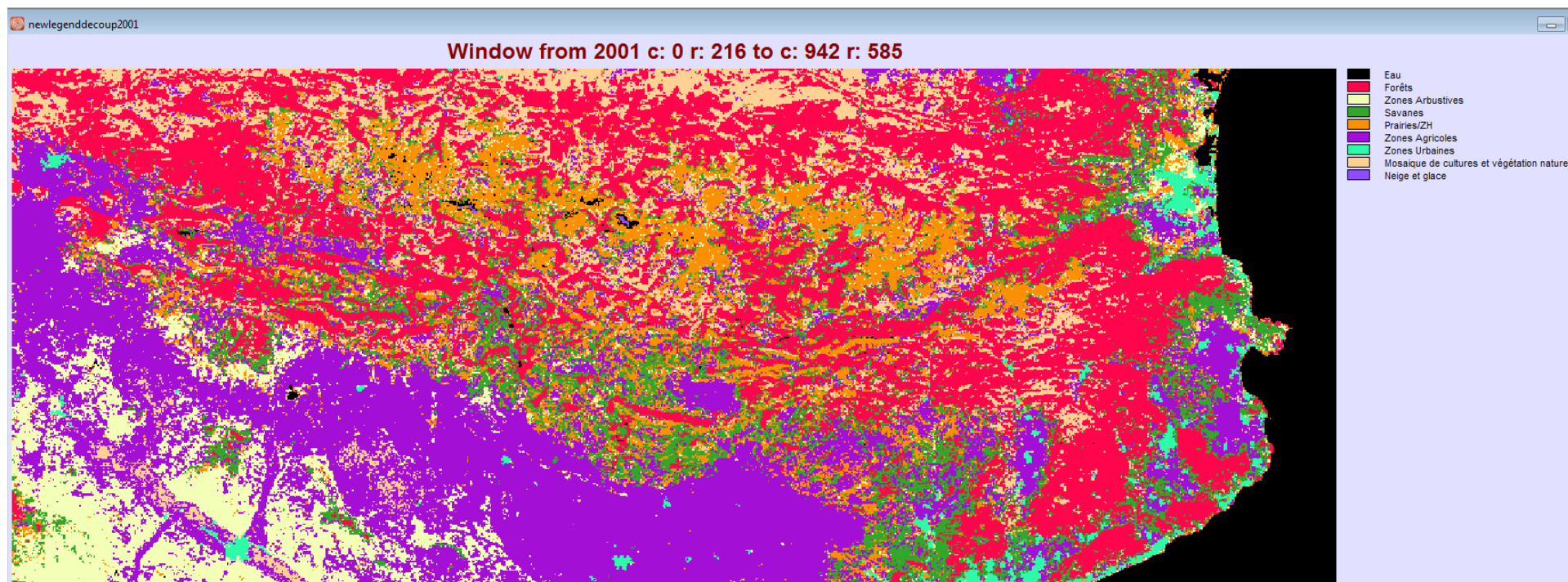


Fig.8 : Image satellite 2001 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Cette image satellite représente les différents types de végétaux dans les Pyrénées et ses environs en 2001. La classification des catégories de pixels est établie grâce à la différenciation de fréquence spectrale.

Le découpage de la zone d'étude réalisé à partir de TerrSet, recouvre la totalité de la chaîne des Pyrénées coté Français et coté espagnol, englobant ainsi tout le massif montagnard d'environ quatre cents trente kilomètres de long ainsi que la zone de piémont Espagnol nommé « Prepirineo ». Le même découpage à été appliqué aux onze autres images satellites qui sont, elles-même, séparées d'un an chacune, allant de 2001 jusqu'à 2012.

3. Secteur d'occupation en pourcentage et évolution des catégories du sol de 2001 à 2012

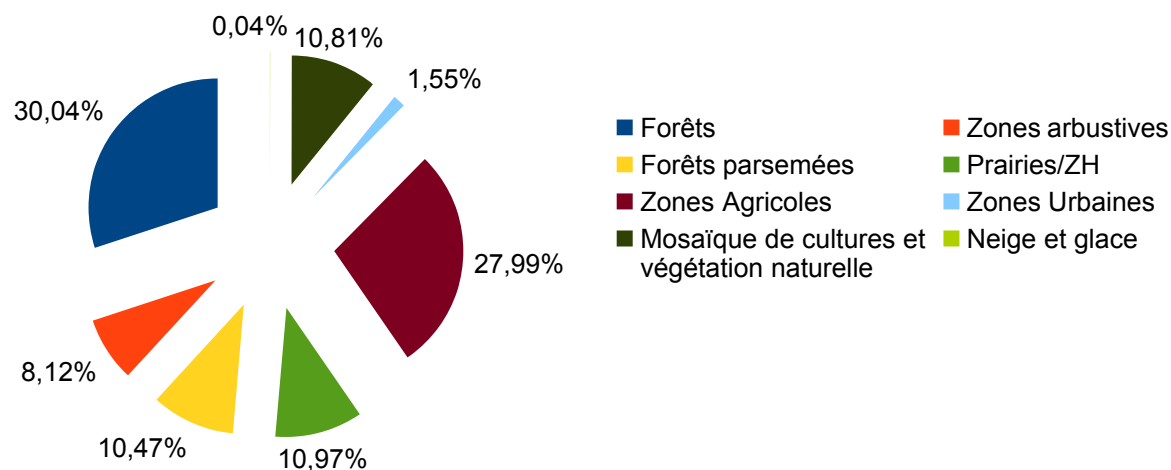
Les pourcentages d'occupation du sol

Afin de mieux appréhender les évolutions de l'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs, une sélection de dates-clés est nécessaire, vous pourrez retrouver l'intégralité des diagrammes de population annuel suivi de leur carte respective dans l'annexe.

L'année 2001, est du point de vue temporel, notre année de départ, nous informant sur nos données de base.

Le traitement de donnée par tableur (Excel), nous donne donc près de 40% de pixels nous indiquant des systèmes ligneux (30% de forêts caduques et résineuses, 10% de forêts parsemées), 28% de zones agricoles, et le dernier tiers séparé entres les zones herbacées (11% de zones comportant une mosaïque de cultures et de végétation naturelle, également 11% pour les zones humides et les prairies et 8% de zones arbustives), les zones urbaines ne représentent qu'une infime partie du territoire soit 1,5% et leur pourcentage n'évolue pas au cours de l'étude, les glaces et neiges ne représentent moins de 0,5% des pixels totaux, cette catégorie à cause de son faible nombre de pixels et donc de son faible pourcentage sera sujette à de fortes variations dans l'évolution de son taux de changement (cf. Fig. 32).

Fig. 9 : Pourcentage de population 2001



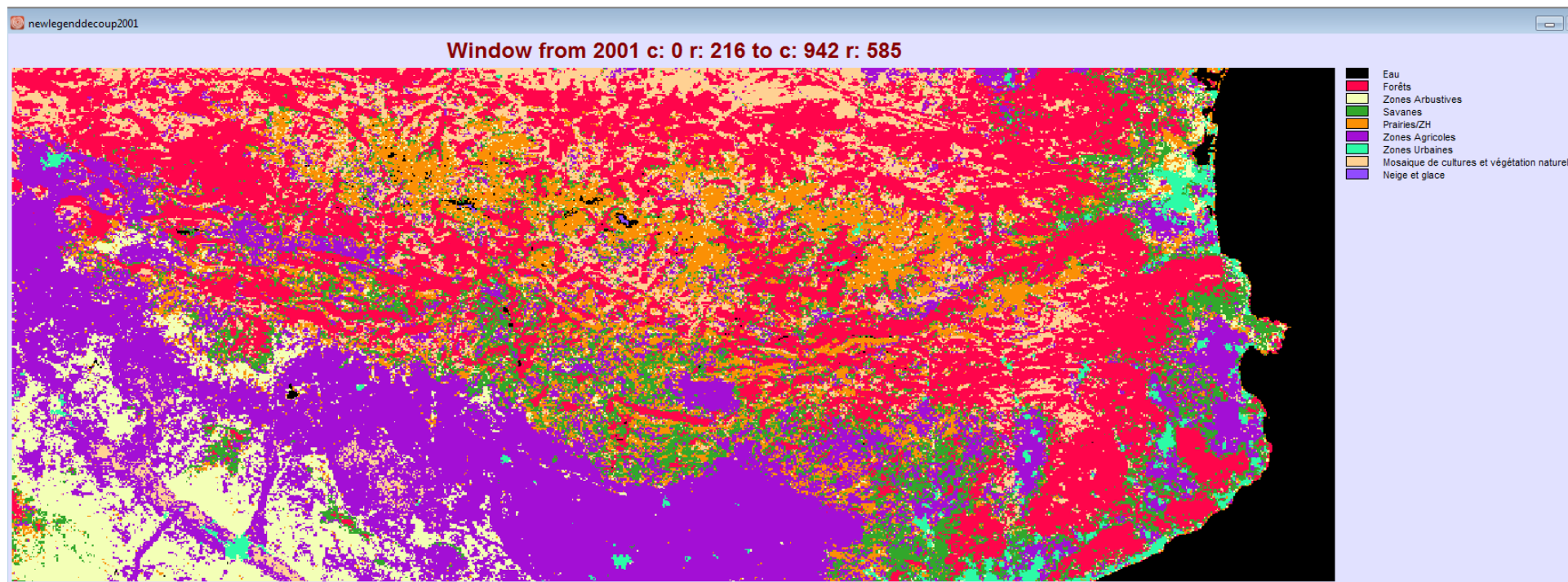


Fig. 8 : Image satellite 2001 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Sur cette image satellite, nous pouvons apercevoir, que les zones de « Prairies/Zones Humides » se trouvent au niveau des hauteurs des massifs pyrénéens et au niveau des talwegs, que les zones de « Forêts » se situent principalement aux extrémités des Pyrénées Espagnoles et au niveau du coté Ariégeois dans les Pyrénées centrales, les « Zones Agricoles » sont en majorité situées dans les Prepireneo espagnols.

Les « Mosaïques de cultures et végétation naturelle » sont des zones de transitions, entre les « Zones Agricoles » et les « Forêts », ces zones sont généralement accompagnées des « Zones arbustives » et des « Forêts parsemées » (nommées Savanes dans la légende) et parfois des « Prairies et Zones Humides ».

Les rares fragments de « Neige et Glace » sont situés au niveau des points culminants des massifs pyrénéens.

Pourcentage de population 2004

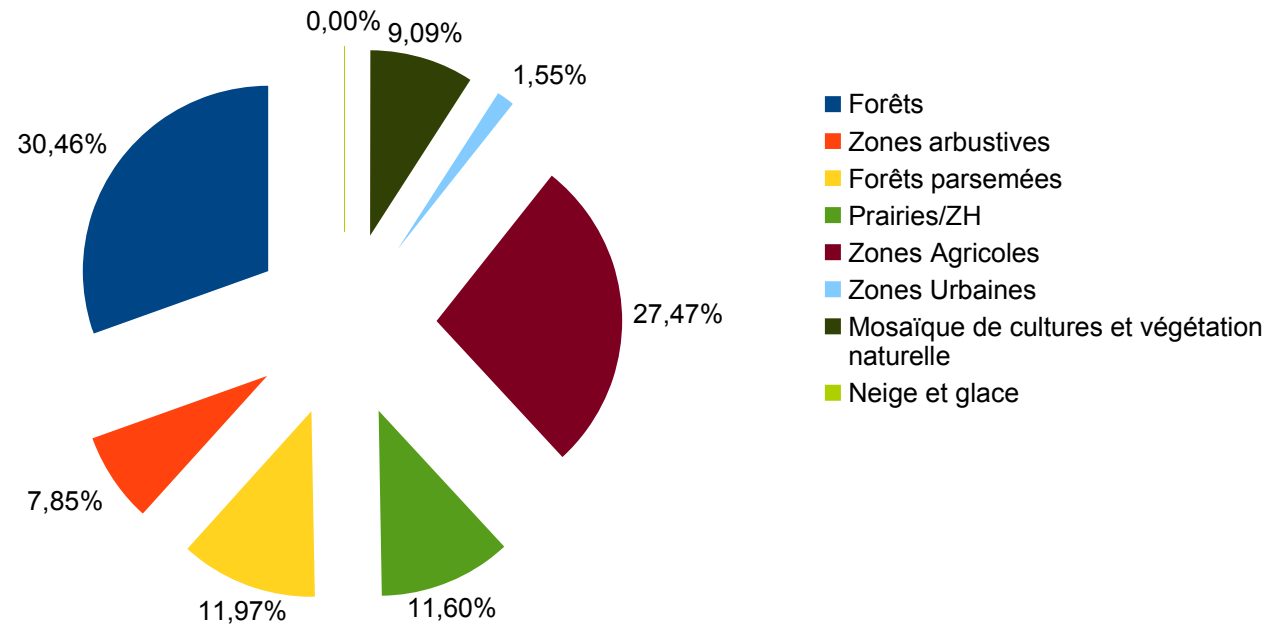


Fig. 10 : Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2004

La transition 2004-2005 représente un tournant dans l'évolution de l'occupation du sol, on remarque que les grosses catégories (« Forêts » et « Zones agricoles ») régressent, elles perdent (respectivement 2,08% et 1,78%), en contre partie les petites catégories progressent, la catégorie « Forêts parsemées » gagne du terrain (+2,78%), ainsi que les zones arbustives + 1,36% , et les « Mosaïques de cultures et de végétations naturelles » (+0,80%), il n'y a que les « Prairies et Zones Humides » qui régressent de 1,14%.

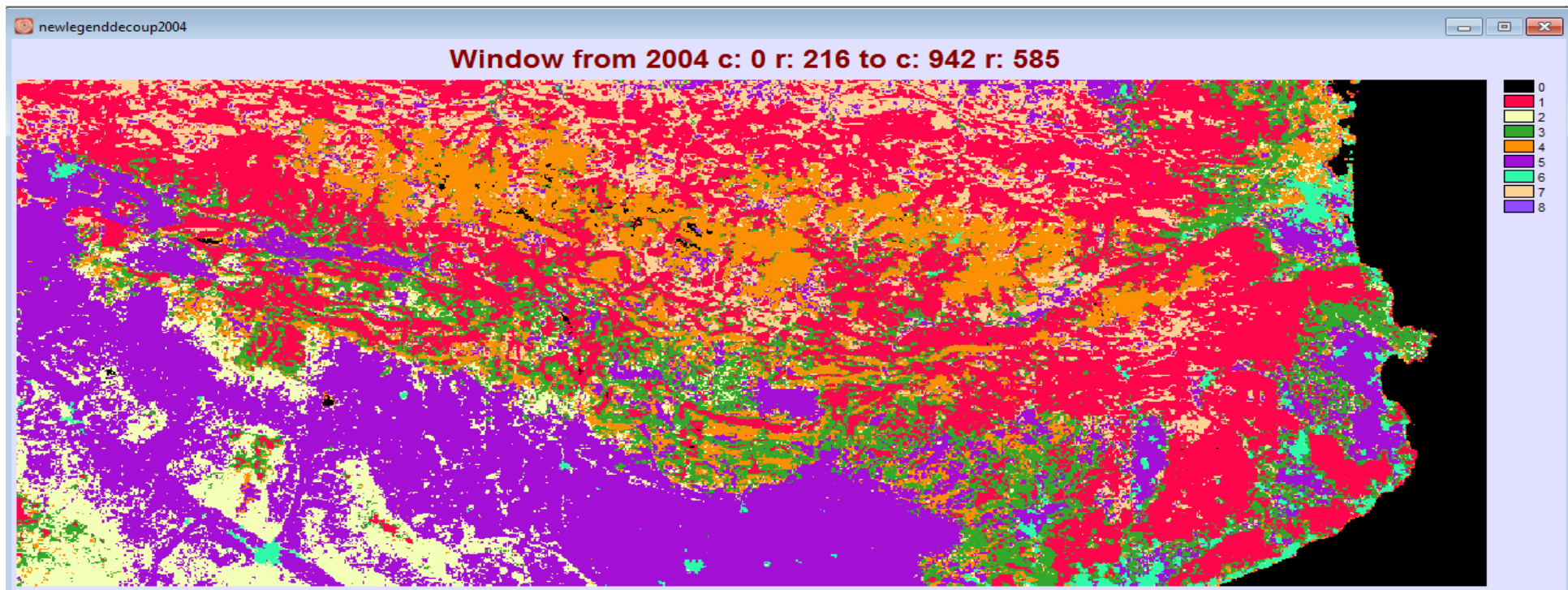
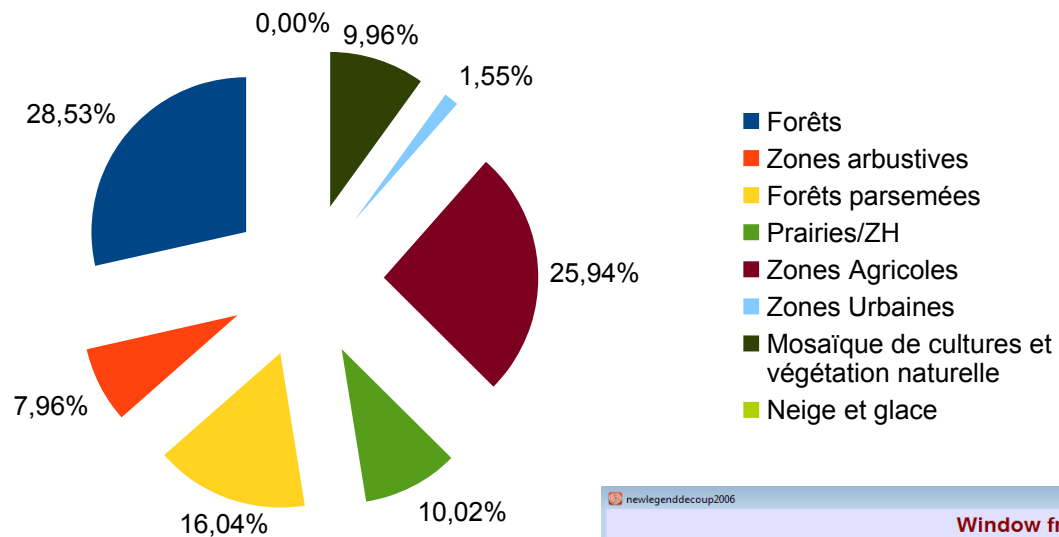


Fig. 11 : Image satellite 2004: MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 12 : Pourcentage de population 2006



Les pourcentages de la transitions 2004-2005 se confirment pour l'année 2006, avec la progression de toutes les catégories excepté, les zones humides et les zones arbustives qui régressent respectivement de 1,17% et 0,44%, les « Forêts parsemées » progressent encore de + 1,23 %. On observe presque une stabilisation des catégories imposantes durant cette période.

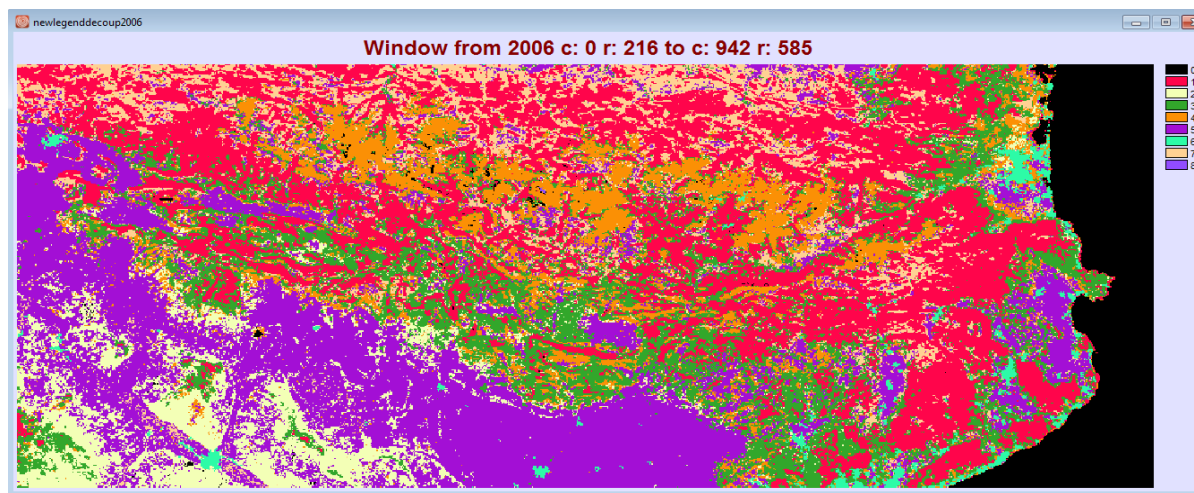


Fig. 13 : Image satellite 2006 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

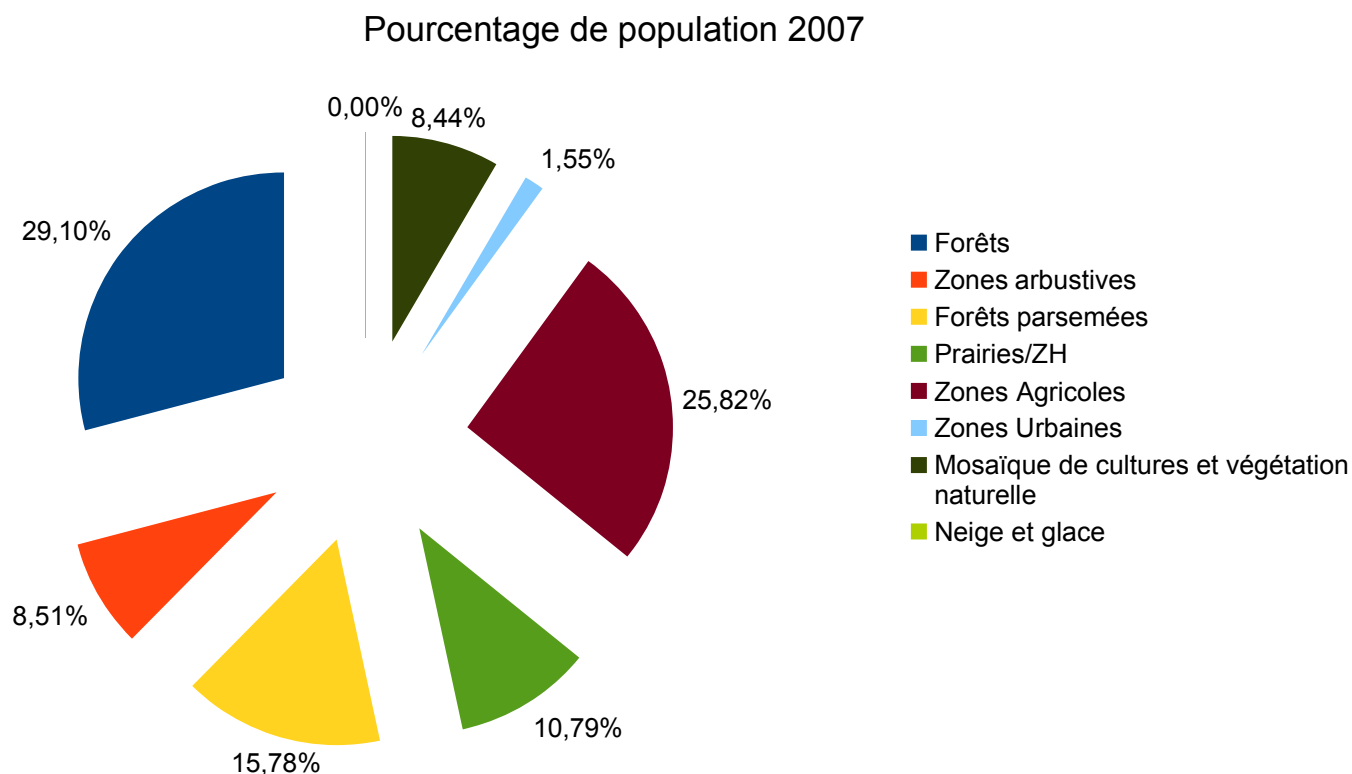


Fig. 14 : Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2007

La transition 2007-2008 représente le second marqueur de changement dans l'évolution des populations de catégories dans les Pyrénées et ses environs, en effet à partir de 2007 les catégories aux populations importantes de pixels commencent à gonfler et les petites à diminuer de volume, notamment la catégorie « Zones arbustives », cette tendance se confirme en 2009, en effet cette catégorie perd 3,12% de la population totale de pixels en seulement deux ans, alors que la catégorie « Forêts » enfle de 2,38%, ainsi que la catégorie « Zones agricoles » qui gagne 3,54% en deux ans .

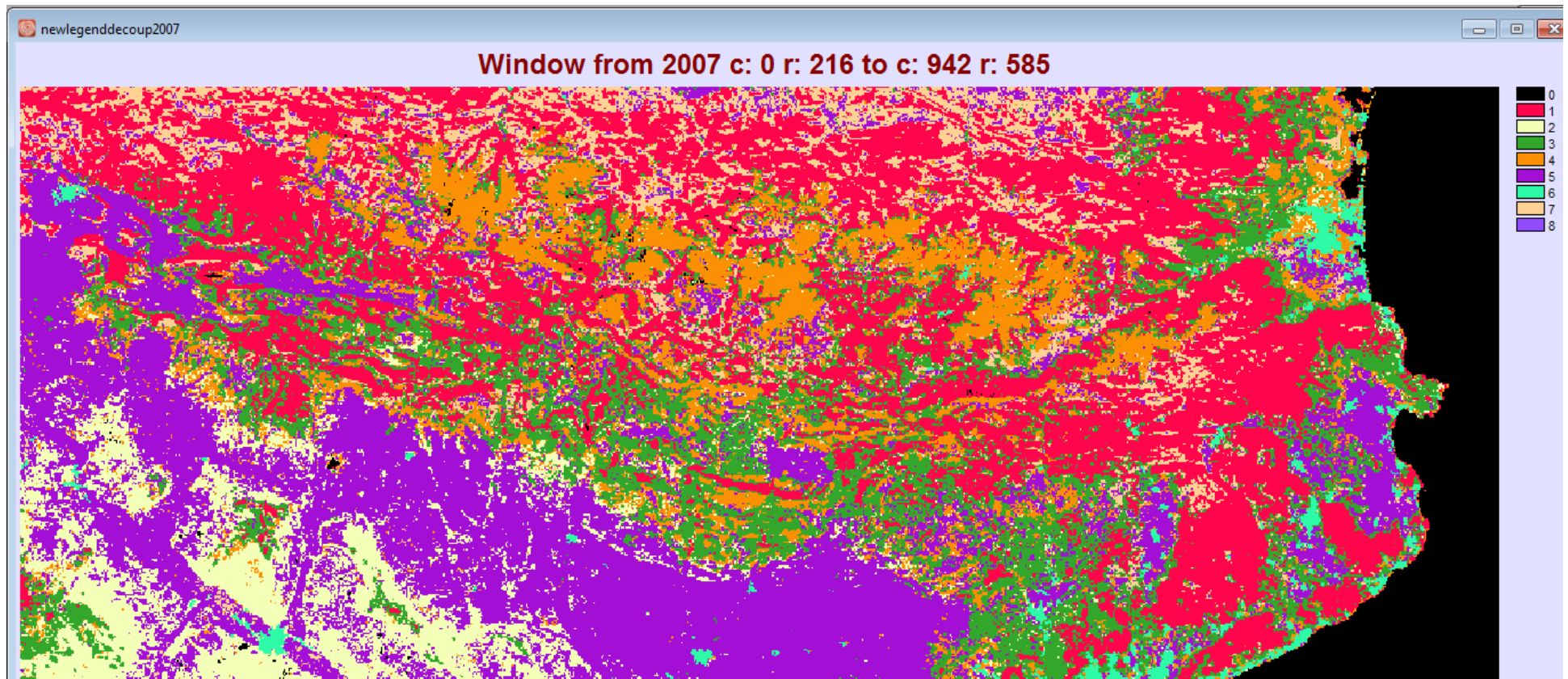


Fig. 15 : Image satellite 2007 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

En 2009 la tendance se confirme pour les deux catégories imposantes qui gagnent pour les « Forêts » +1,74% et pour les « Zones agricoles » +1,84% par rapport à 2008, toutes les autres catégories diminuent sans exception. On note que la catégorie « Forêts parsemées » reste assez stable.

Fig. 16 : Pourcentage de population 2009

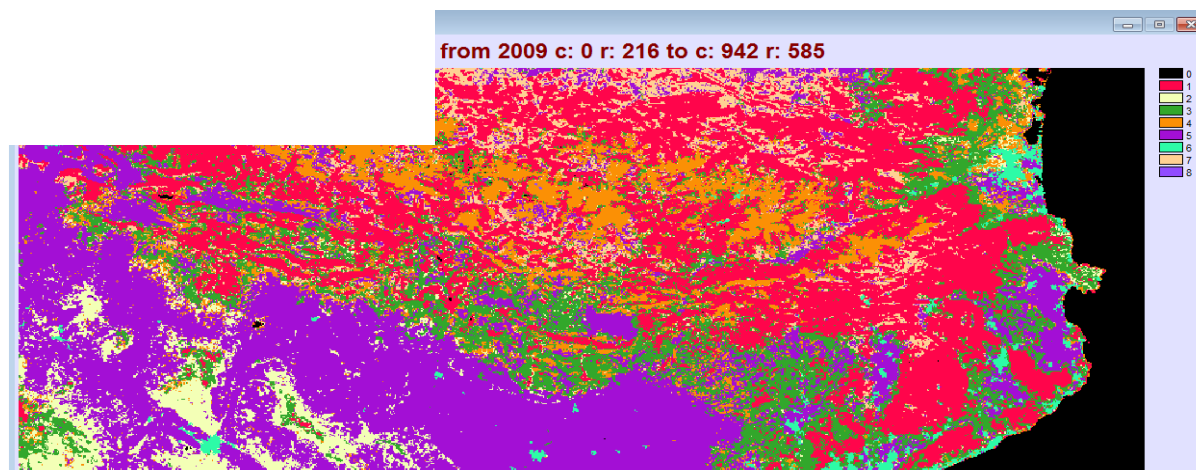
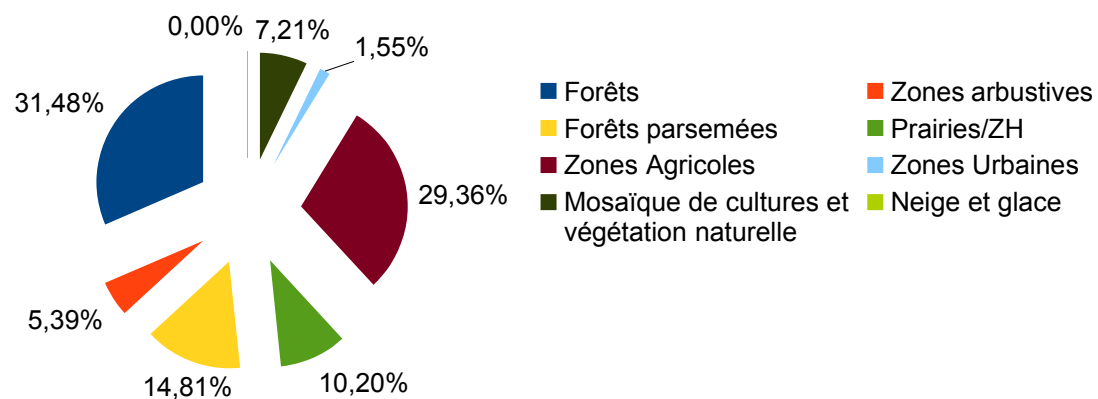
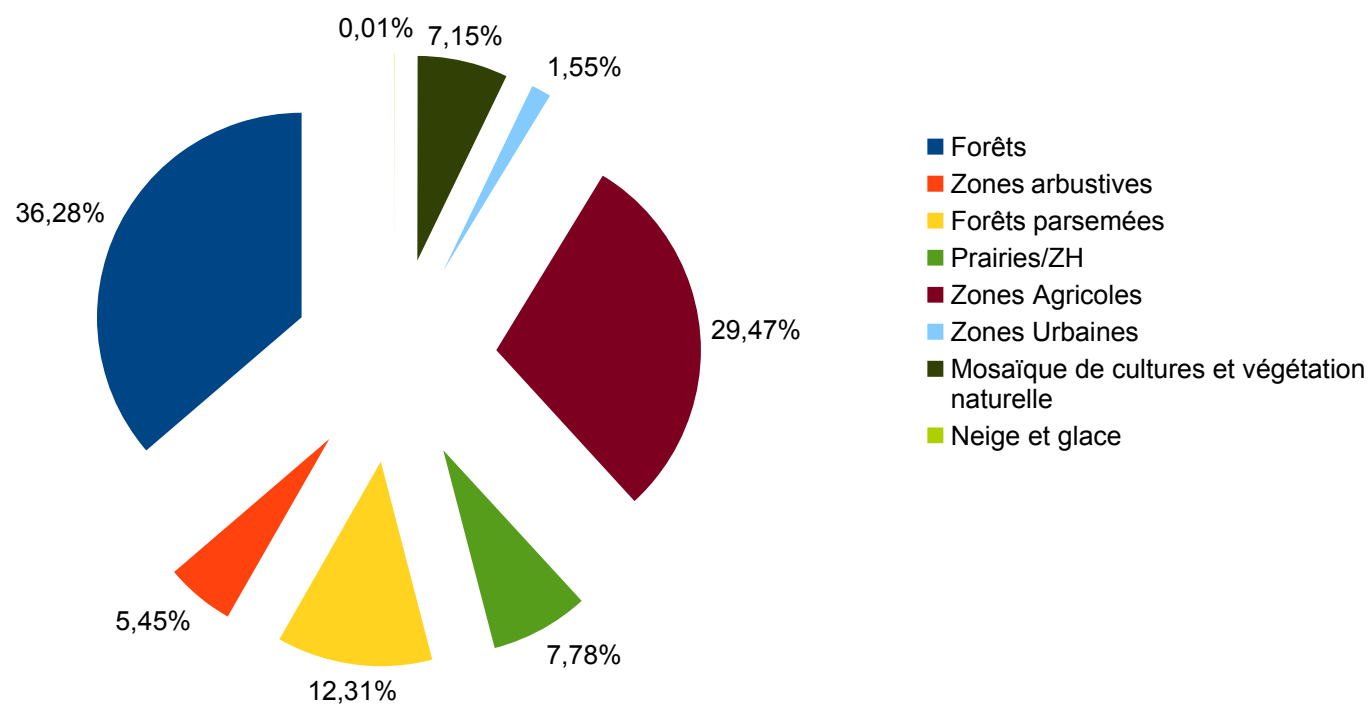


Fig. 17 : Image satellite 2009 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Le couple de date 2011-2012 est le dernier point de repère de l'évolution temporel des Pyrénées pour cette étude. On aperçoit une évolution particulière suite à la tendance prise depuis 2009, les « Zones agricoles » tendent à diminuer (-1,01%) ainsi que les « Forêts parsemées » qui diminuent de (-2,59%), alors que les petites classes augmentent toutes (environ +1% chacune) et la catégorie « Forêts » progresse jusqu'à un taux encore jamais atteint, 36,28 % du total de pixels, soit +1,55% depuis 2011.

Fig. 18 : Pourcentage de population 2012



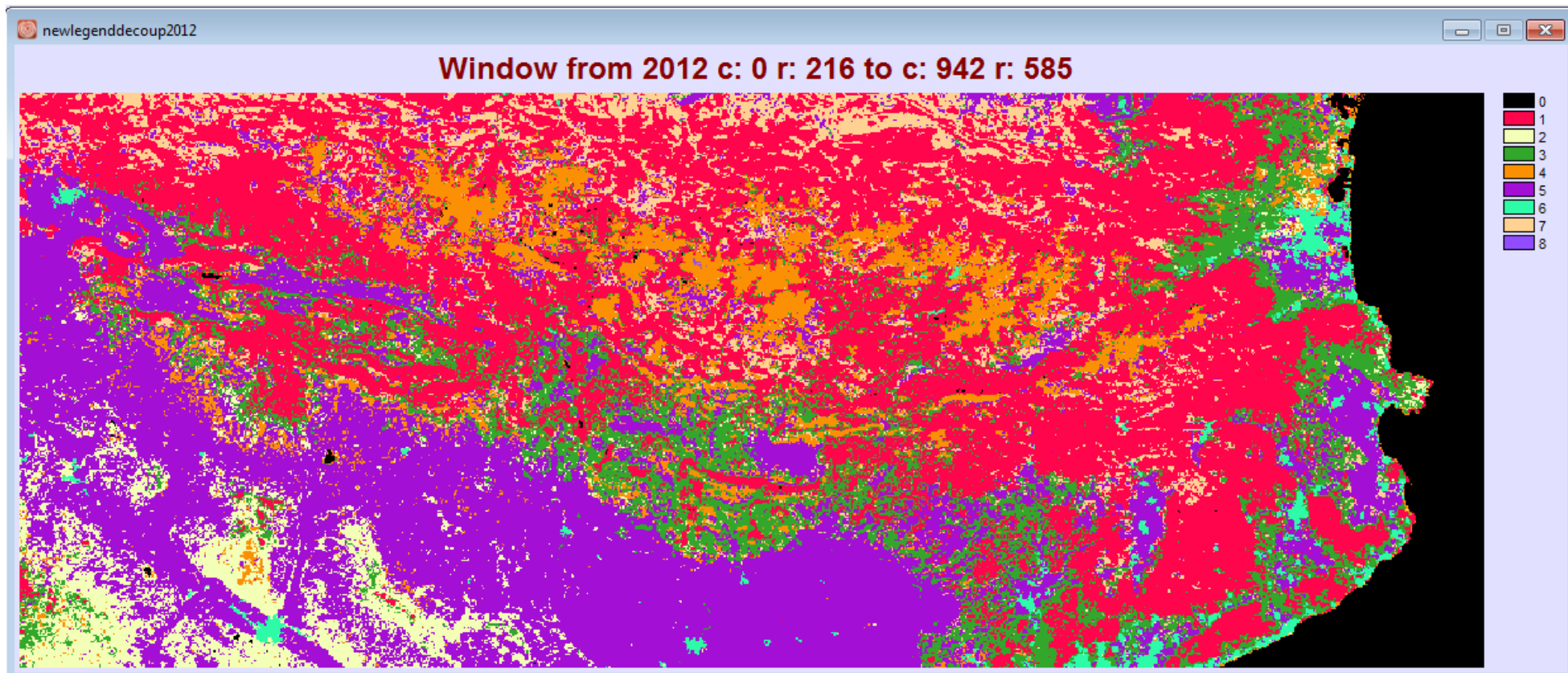
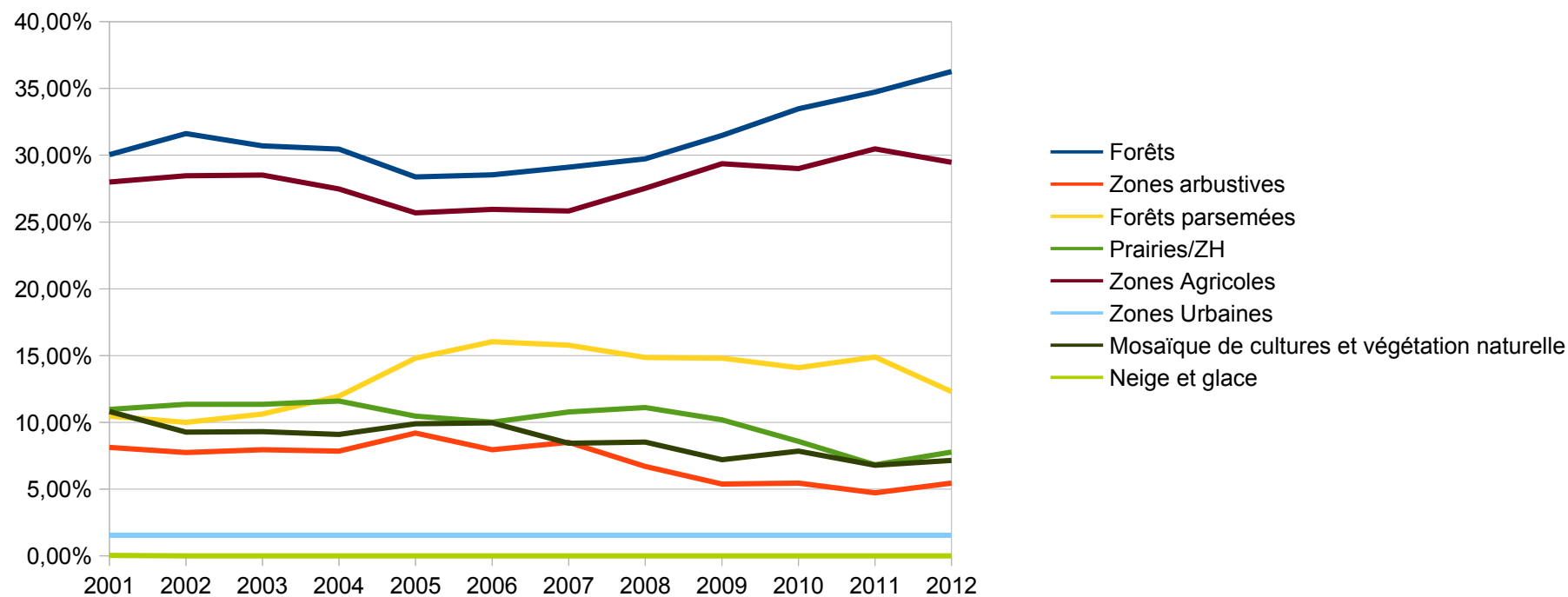


Fig. 19 : Image satellite 2012 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 20 : Evolution de l'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs en fonction du temps



Ce graphique représente l'évolution de l'occupation du sol de la zone d'étude, par catégorie en fonction du temps.

L'observation du graphique, permet d'isoler quatre dates clés de lecture.

Tout d'abord l'année de base 2001, où l'on peut observer les populations initiales, un tiers de « Forêts », un tiers de « Zone Agricole » et le dernier tiers partagé par les autres catégories.

A partir de cette date jusqu'à 2004, on observe une petite croissance puis une décroissance des catégories à fortes populations, la transition de 2004 à 2005, représente la deuxième date clé, car au même moment de la décroissance des catégories importantes on remarque la forte croissance (+5%) de la courbe des « Forêts parsemées », ainsi qu'une lente décroissance de la catégorie « Prairies et Zone Humides ». A partir de 2005, on observe une stagnation des fortes populations de pixels (Zones Agricoles et Forêts) et une croissance de la catégorie « Forêts parsemées ».

La transition de 2005 à 2007 est dominée par une stagnation généralisée, résultant d'un équilibre, cependant à partir de 2007 (troisième date clé), on observe une décroissance des « Zones arbustives » liée à la croissance des plus grosses catégories, ainsi qu'une stagnation des « Forêt parsemées » au alentour de 15% du total de pixel.

A partir de 2007, la croissance des grosses catégories s'amplifie, ce qui entraîne une décroissance des petites catégories de population de pixels (Mosaïque de cultures, Zones arbustives, Prairies et Zones Humides) puis en 2011, on note la décroissance des « Forêts parsemées » et la reprise des catégories à faibles populations (dernièrement citées)

Et enfin 2012, dernière date clé qui représente les populations de pixels finales de l'étude, grâce à ces dernières données, on peut établir les tendances 2001- 2012 des catégories au cours du temps.

Voici, ci dessous le graphique de l'évolution de l'occupation du sol des Pyrénées en fonction des dates clés.

Evolutions d'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs en Fonction du temps

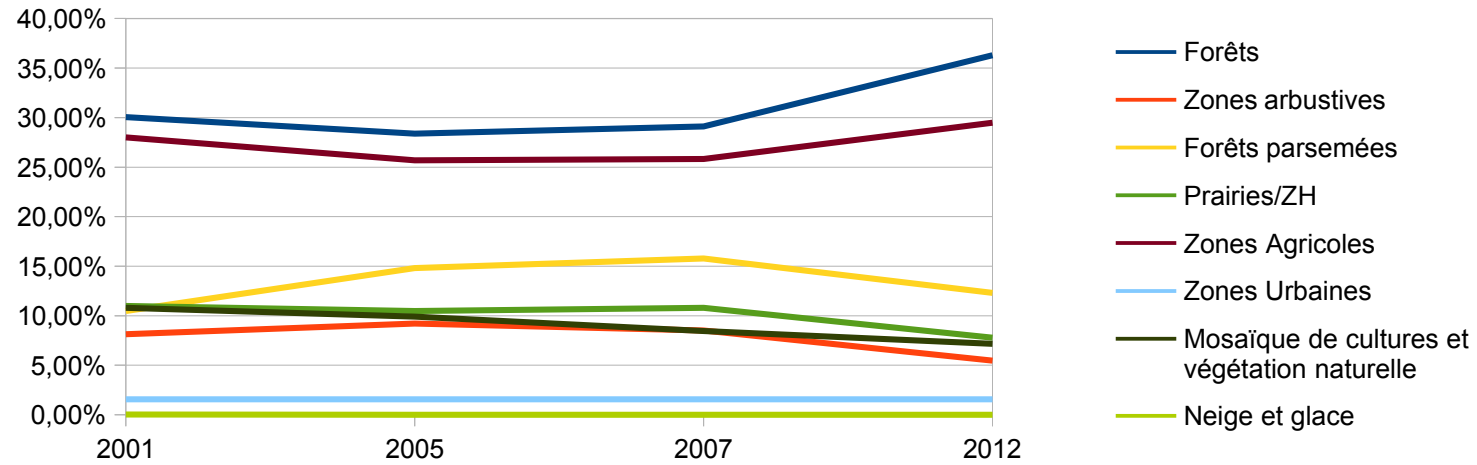


Fig. 21 Les dates clés de l'évolution de l'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs

Nous allons donc faire un résumé de ce que les pourcentages font ressortir sur onze ans, afin de voir les tendances 2001-2012.

Contrairement aux autres catégories, la catégorie « Zones Urbaines » stagne tout le long de l'étude.

Nous verrons tout d'abord les catégories qui progressent :

La catégorie « Forêts » sur l'ensemble des données gagne (+6,24%), la catégorie « Zones Agricoles » gagne (+1,48%), et la catégorie « Forêts parsemées » gagne (+1,84%).

Puis les catégories qui régressent :

La catégorie « Zones arbustives » perd (- 2,67%), la catégorie « Prairies/Zones Humides » perd (- 3,2%), et la catégorie « Mosaïque de cultures et végétations naturelles » diminue de (- 3,66%).

Grâce à ces résultats abrupts nous allons pouvoir appréhender les tendances tout en avançant une hypothèse appropriée à ces résultats.

L'étude sur les massifs pyrénéens et ses environs, soulève plusieurs réflexions quant à la fermeture des milieux par l'enfrichement, le boisement spontané et ou anthropique, en effet la logique voudrait qu'après un abandon de zone agropastorale, la nature retrouve ces droits, cependant nous n'écarterons pas les hypothèses de déforestation ponctuelle afin de mettre en valeur de nouveaux systèmes agraires.

Ce qui nous amènerait à la conclusion suivante, les zones agricoles et/ou mosaïques de cultures et végétations naturelles une fois laissées à l'abandon, devrait ce refermer soit en prairies et/ou zones arbustives puis en forêt parsemées pour finalement devenir des forêts. Si l'apparition de nouveaux secteurs agraires apparaissent, ils devraient être comblés par la régression de certaines zones.

La tendance de reforestation se confirme pour le couple 2001-2012

Nous allons voir si cette tendance générale s'applique à d'autre couple de date, pour cela nous choisissons le couple de date 2004- 2009.

On remarque que les « Forêts » gagnent + ,1,02 % durant cette période, que les « Zones Arbustives » perdent - 2,46% de leur population, que les « Forêts parsemées » augmentent de +2,84%, les « Prairies et Zones Humides » diminuent de -1,4%, que les « Zones agricoles » progressent de +1,89% et que les « Mosaïques de cultures et végétation naturelle » perdent -1,82% de leur population de pixels.

En somme on note que les tendances de ces deux couples de dates sont similaires on peut donc dire que ces tendances mènent généralement à la fermeture des milieux.

Partie III: Occupation /usage du sol et son évolution

I / Les changements de l'occupation du sol au cours du temps

L'occupation et les usages du sol sont des analyses liées au développement de la télédétection, celle-ci a débuté en 1972 grâce au premier lancement de satellite d'observation de la terre « Landstat 1 », depuis ce début le traitement de données se précise tout en se complexifiant et la fréquence d'acquisition de données augmentent, entraînant l'automatisation des tâches de façon numérique depuis les années 1980.

Cette numérisation des images satellites a permis un traitement informatique nouveau, la détection de changement bi temporel sur une zone d'étude à des dates anniversaires clés.

En comparant l'évolution des catégories de pixels en fonction du temps, cette cartographie comparative peut alors s'effectuer à partir d'un couple d'images : une image précédant le changement, et une autre image le suivant afin d'observer le changement.

D'après François Petitjean ⁷, l'étude multi temporelle se centra alors sur des études bi temporelles, permettant ainsi d'obtenir le taux de changement *abrupt* entre deux acquisitions d'image.

L'étude bi temporelle, permet donc d'apprécier le changement abrupt entre deux images, mais ne fait pas la différence entre dynamique végétale et dynamique anthropique.

Cependant, l'évolution des relations entre les facteurs anthropiques et environnementaux représentent la majorité des causes des changements subis par les écosystèmes, ces changements soulèvent donc des problématiques climatiques et environnementales, et leur quantification peuvent permettre d'appréhender des perspectives pour les futures évolutions d'occupation du sol. Notre étude sur les changements d'occupation du sol couvrant une période antérieure à la notre est essentielle afin de comprendre les changements actuels et futurs dans les Pyrénées.

De cette manière, nous pourrions émettre une ou plusieurs hypothèses sur les changements futurs et sur ce qu'ils pourraient engendrer comme conséquences.

Dans le cas présent, la fermeture des paysages dans les Pyrénées se traduit par la régression de trois catégories, les « Zones arbustives », les « Zones agricoles », et les « Mosaïques de cultures et végétations naturelles » (agropastoralisme), cette décroissance profite aux « Zones de Forêts », dont le boisement apparaît de façon spontanée ou anthropique (Carré, 2010). Cette déprise agro-pastorale induit un délaissement des zones intermédiaires trop escarpées, au profit des zones plus dégagées de fond de vallées et d'estives, cependant, ces trois unités paysagères héritées de l'histoire agropastorale, ont des dynamiques végétales différentes à cause des modes contemporains d'occupation du sol qui changent en fonction de ces unités paysagères Pyrénéennes.

Même si l'évolution de l'occupation du sol des Pyrénées reste principalement la fermeture des milieux, les dynamiques des trois secteurs pyrénéens (Occidental, Central, et Oriental) restent aussi différentes.

⁷ François Petitjean, *Dynamic Time Warping : Apports théoriques pour l'analyse de données temporelles Application à la classification de séries temporelles d'images satellites*

1. Comparaison des variations de changement de catégories de pixels en fonction du pas temporel :

Deux exemples : La chaîne des Pyrénées et la région parisienne

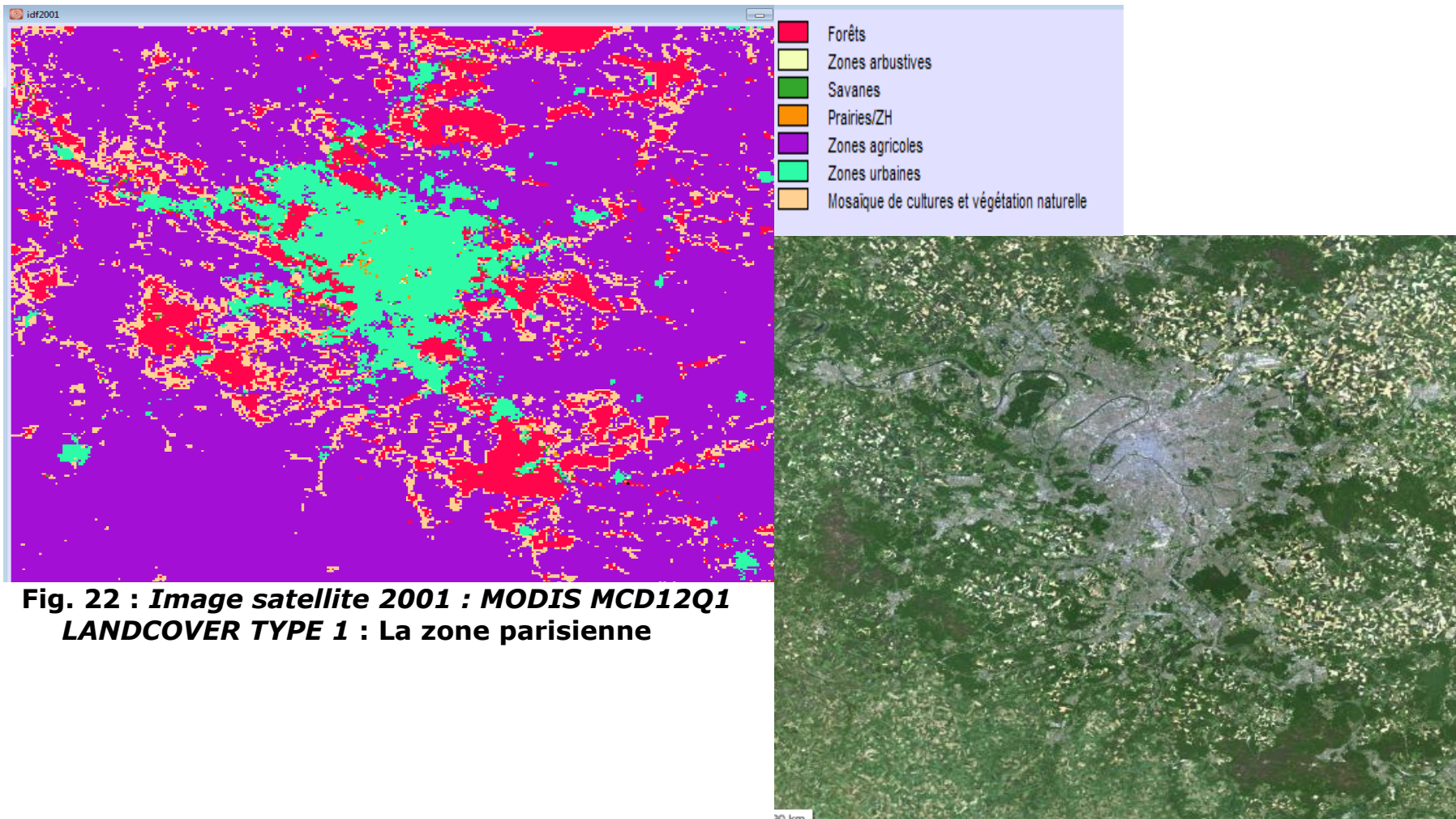
Nous allons prendre dans le cas présent, deux régions fortement éloignées l'une de l'autre en France, la région parisienne d'une part et le massif pyrénéen d'autre part, ces deux zones vont permettre d'établir une comparaison brute entre les deux taux de changement de catégories de pixels au cours du temps.

Pour cela, j'ai sélectionné trois dates clés, 2001-2006-2012.

La région parisienne est généralement stable au niveau de ces variations de changement de catégories de pixels au cours du temps, il est inférieur à 20% dans toutes ces catégories.

Ce qui font de ces résultats, des résultats témoins pour notre étude sur les Pyrénées.

1) Le cas de la région parisienne



**Fig. 22 : Image satellite 2001 : MODIS MCD12Q1
LANDCOVER TYPE 1 : La zone parisienne**

Fig. 23 : Image satellite 2012 Ortho-photo de la région parisienne

Fig. 24 : Pourcentage de population en 2001

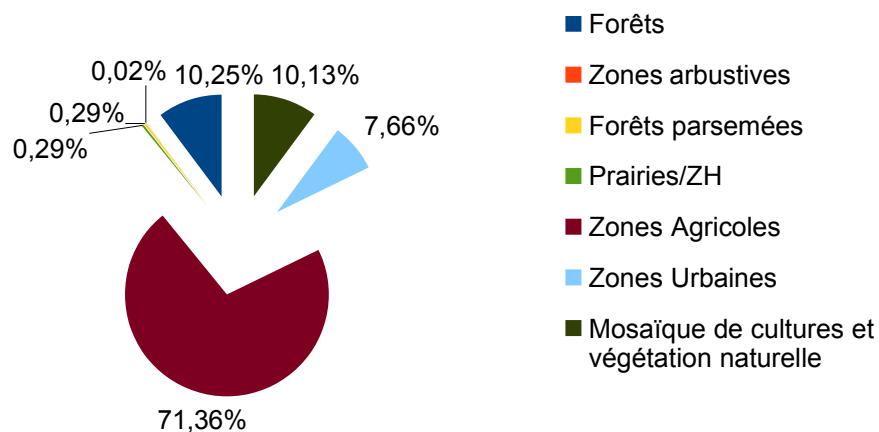


Fig. 25 : Pourcentage de population en 2006

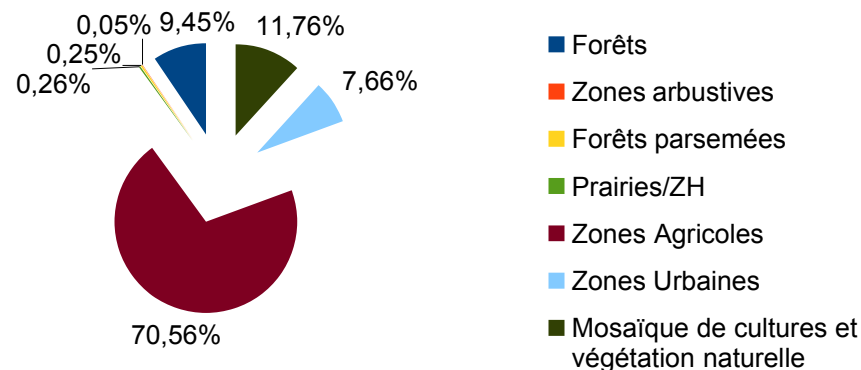


Fig. 26 : Pourcentage de population en 2012

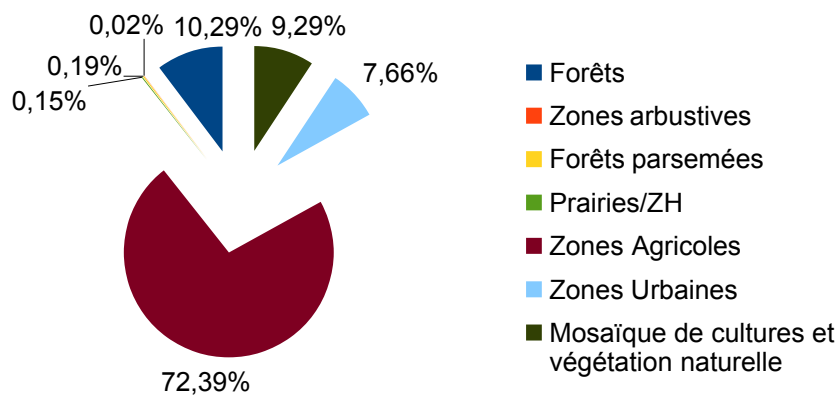
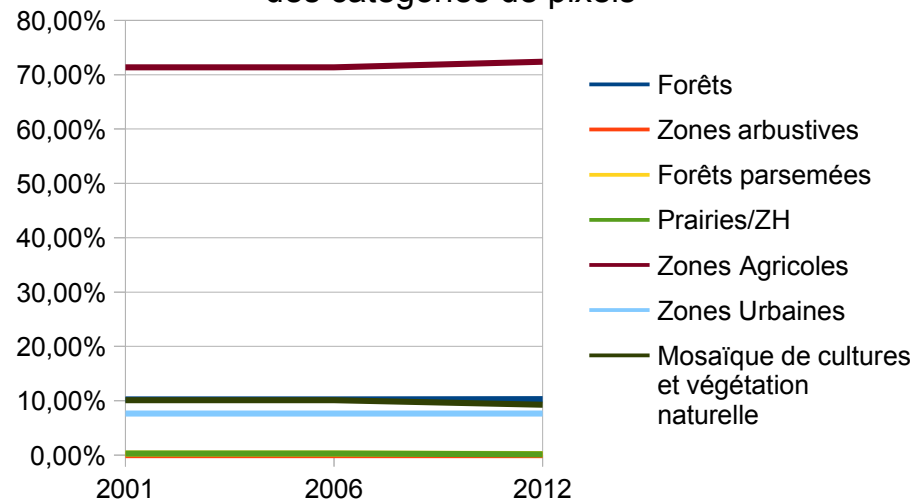
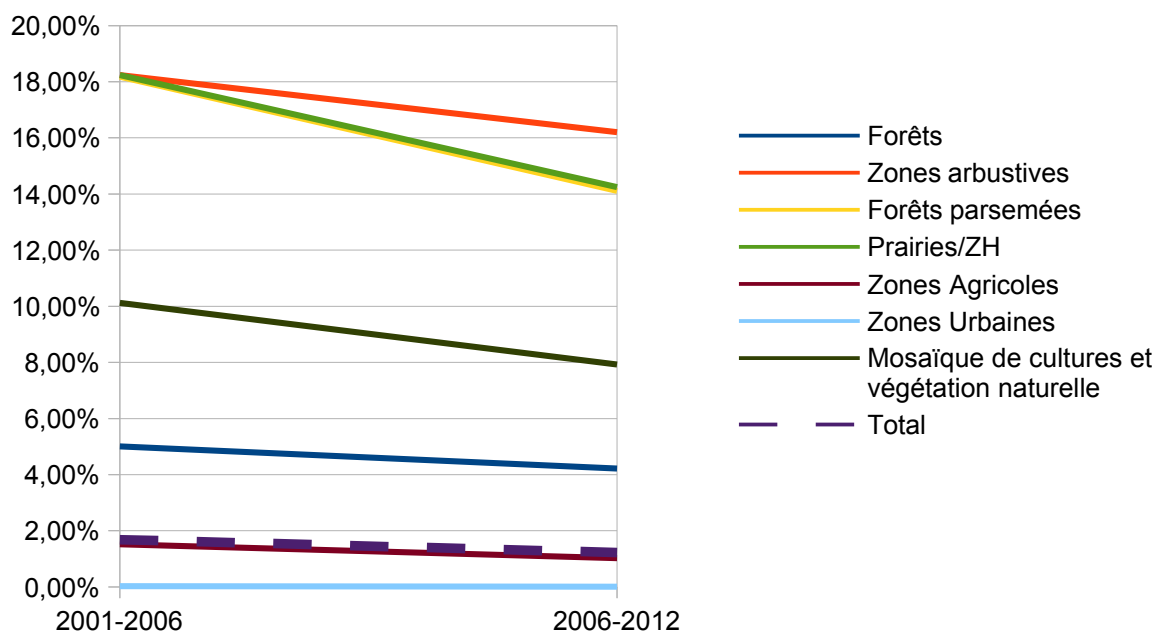


Fig. 27: Evolution des pourcentages de population des catégories de pixels



a) Le taux de changement de catégorie de pixels de la région parisienne

Fig. 28 : Changement sexannuel du taux de pixels pour la région parisienne



Le taux de changement de catégorie de pixels, nous informe sur les changements internes aux catégories au cours du temps, c'est-à-dire les changements brutes des pixels voyageants entre différentes catégories au cours du temps.

Ce qui nous permet de qualifier les catégories (stables, instables).

On remarque sur ce couple de date quinquennal et sexennal, que les taux de changements sont inférieurs à 20% pour les catégories les moins représentées en terme de population de pixels (Zones arbustives, forêts parsemées, prairies/zones humides) soit environ 0,56% de la population totale, ce qui en font des catégories de médiocre qualité car les pixels changent de catégories assez fréquemment tout en représentant une infime partie des pixels totaux.

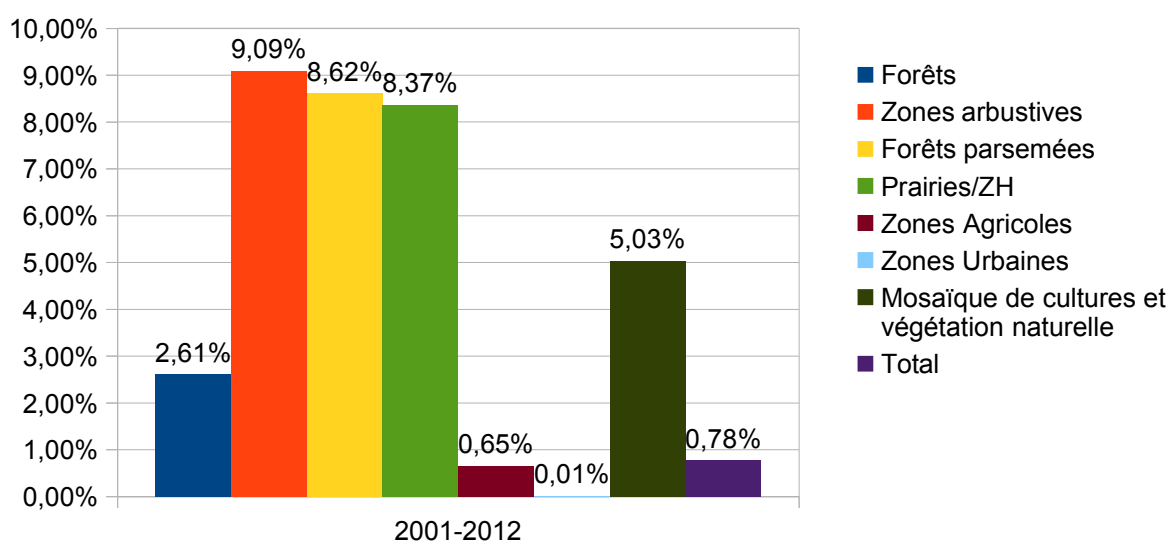
Ce sont les catégories instables, de part leur changements ponctuels.

Les catégories «intermédiaires» (Forêts et Mosaïque de cultures et végétations naturelles) sont situées dans la tranche 5-10% de changement de catégorie de pixels, et représentent 20% de la population totale de pixels, ce qui en fait des catégories stables.

La catégorie « Zones agricoles » dont la population dépasse les 70% du total de pixels, ne possède qu'un taux de changement minimale, inférieur à 2% ce qui la rend très stable, tout comme le taux de changement total relatif au nombre total de pixel, ce dernier étant inférieur à 2%.

Le prochain graphique représente le taux de changement de catégories de pixels sur onze années consécutives (2001-2012) en région parisienne, ce graphique nous permettra de comparer ces résultats avec ceux des massifs pyrénéens.

Fig. 29 : Taux de changement undécennal du taux de pixels pour la région parisienne



On remarque que les groupements de catégories sont généralement restés les mêmes sauf que dans le cas présent la catégorie instable se situe dans la tranche 8-9%, les catégories stables dans la tranche 2-5% et la catégorie très stable inférieure à 1%.

Le taux de changement (undécennal) total de catégorie de pixels est inférieur à 1%, ce qui rend ces résultats concluants et de grande qualité.

Cette région parisienne est donc généralement stable de par ces faibles variations de populations au cours du temps, et même de par ces variations au sein même des ces populations de pixels au cours du temps.

Ce qui font de ces résultats, des résultats témoins pour notre étude sur les Pyrénées.

Avec, comme discernement trois types de catégories :

- Les catégories instables : les Zones arbustives, les Forêts parsemées, et les Prairies et Zones Humides.

- Les catégories stables : Les mosaïques de cultures et végétations naturelles, ainsi que les Forêts

- La catégorie très stable : Les Zones agricoles et les Zones urbaines

De cette catégorisations, on remarque aussi une relation entre population de pixels et stabilisation du taux de changements de catégorie au cours du temps.

On pourra dire en somme, que plus une catégorie est grosse en terme de nombre de pixels, plus elle sera stable du point de vue du changement de catégorie de pixels au cours du temps, car les changements associés seront moins important que dans le cas de catégories ayant de plus faibles populations, ce qui implique que ces catégories aux populations élevées sont mieux définies du point de vue de la signature spectrale car mieux discernables des autres.

2) Le cas de la région des massifs Pyrénéens

Le taux de changement de catégorie de pixels au cours du temps dans les Pyrénées, va nous permettre de confirmer ou d'affirmer les résultats concernant les différents types de catégories, énoncés ci-dessus.

Nous nous rappellerons que les grosses catégories sont les « Zones agricoles » et les « Forêts », qui représentent à eux deux plus de 60% des pixels totaux, ce qui devraient les rendre assez stables.

La catégorie sous représentée est les « Neiges et Glaces » qui représente environ 0,01% des pixels totaux et donc devrait être très instable, de part sa faible proportion.

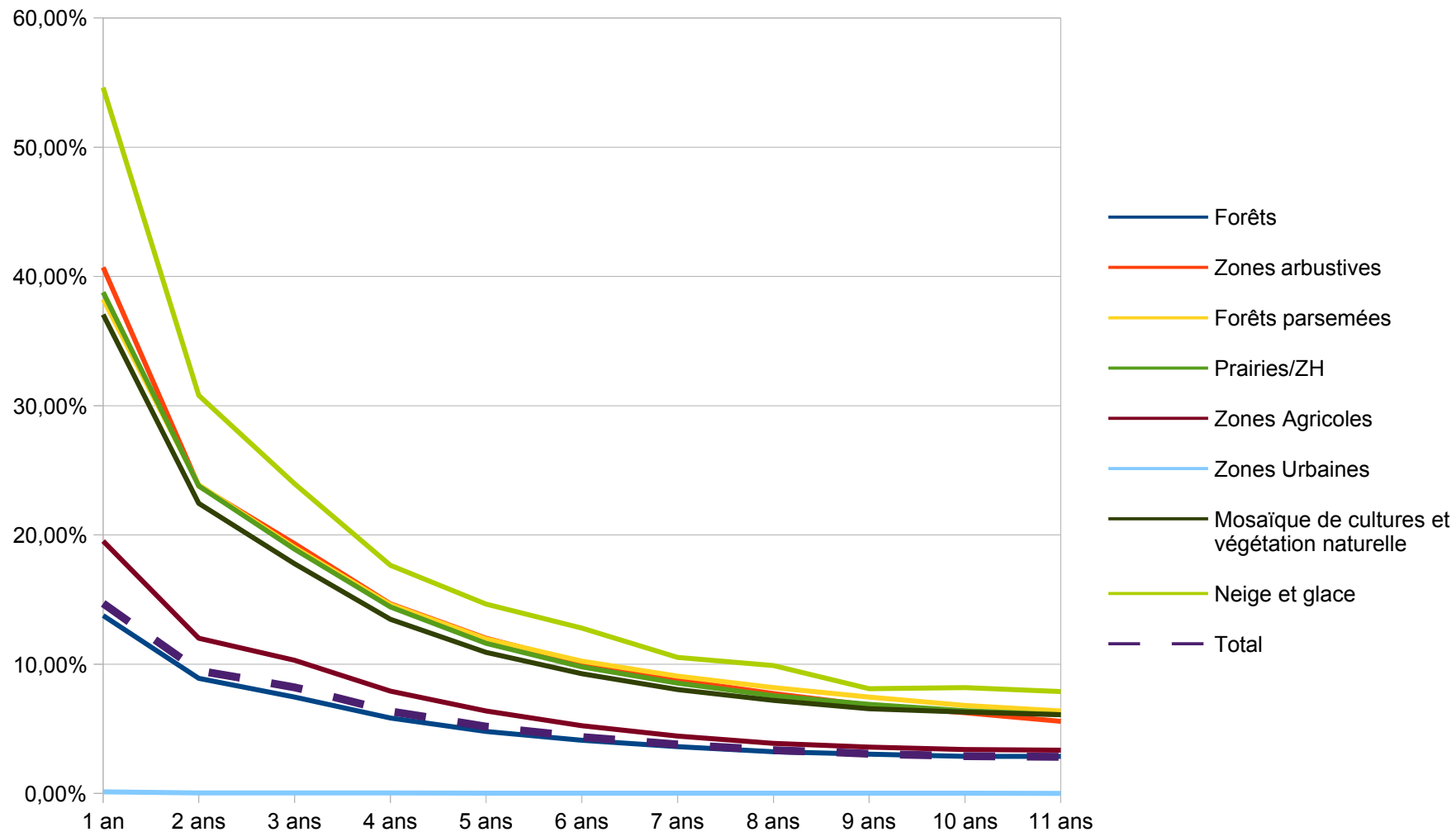
La catégorie « Zones Urbaines » même si elle ne représente que 1,55% des pixels totaux, ne varie pas car elle garde ces pixels au cours du temps, cette absence de changement implique que le bétonnage n'a pas augmenté de façon perceptible au niveau spatial.

Les quarante autres pour cents des pixels totaux sont répartis de façon inégale entre les quatre dernières catégories («Forêts parsemées, Prairies/ZH, Zones arbustives, et Mosaïque de cultures...»), c'est là que le taux de changement de catégorie de pixels au cours du temps peut être intéressant du point de vue de la qualité de ces catégories, en effet de part leur définition ces catégories sont instables car ce sont des catégories de transition, elles font partie du chemin emprunté par la végétation pour passer de l'agropastoral vers le milieu fermé qu'est la forêt.

Nous allons donc observer ce taux de changement annuel de catégorie de pixels dans les Pyrénées et ses environs.

a) Le taux de changement de catégorie de pixels des Pyrénées et de ces environs (ci-dessous)

Fig. 30 : Moyennes des taux totaux de changement annuel pour chaque catégorie de pixels dans les Pyrénées



Comme énoncé précédemment, on remarque que la catégorie « Neige et Glace », est très instable de part sa faible population, et que les catégories possédant les plus grandes populations de pixels sont généralement les plus stables (taux de changement inférieur à 20%), elles ont un faible taux de changement annuel, le total en faisant parti, on peut considérer ces résultats comme fiables.

On retrouve aussi les catégories dont le taux de changement annuel de catégorie de pixels est inférieur à 40%, ce sont les catégories de transition, entre les anciennes zones agro-pastorales et les nouvelles forêts.

On classera donc nos catégories en deux groupes distincts, les catégories à faibles taux de changement annuel de catégories de pixels soit les catégories stables, et les catégories à fort taux de changement annuel de catégories de pixels, c'est à dire les catégories instables ou très instables comme le montre les résultats de la catégorie « Neige et Glace ».

Fig. 31 : Moyenne des taux de changement annuel de catégories de pixels à fort taux de changements dans les Pyrénées

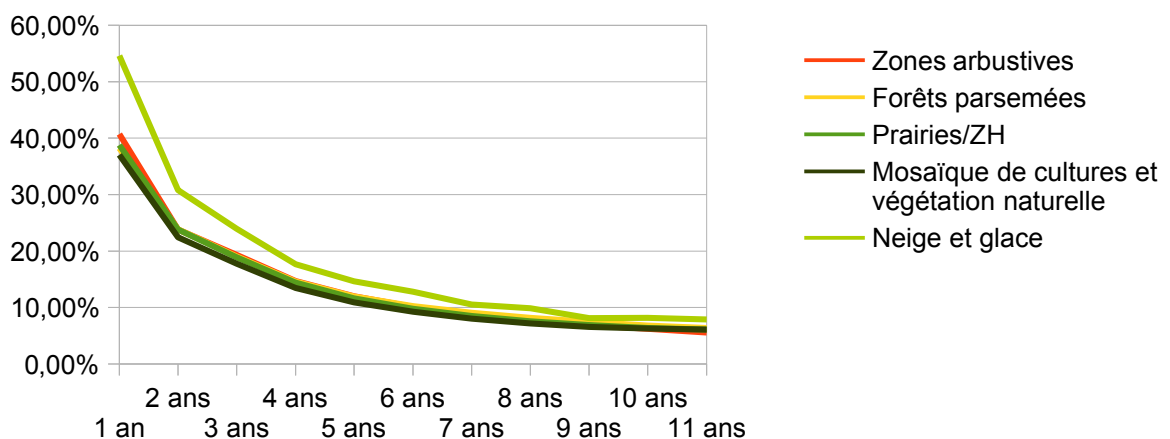


Fig. 32 : Moyenne des taux de changement annuel de catégories de pixels à faible taux de changements dans les Pyrénées

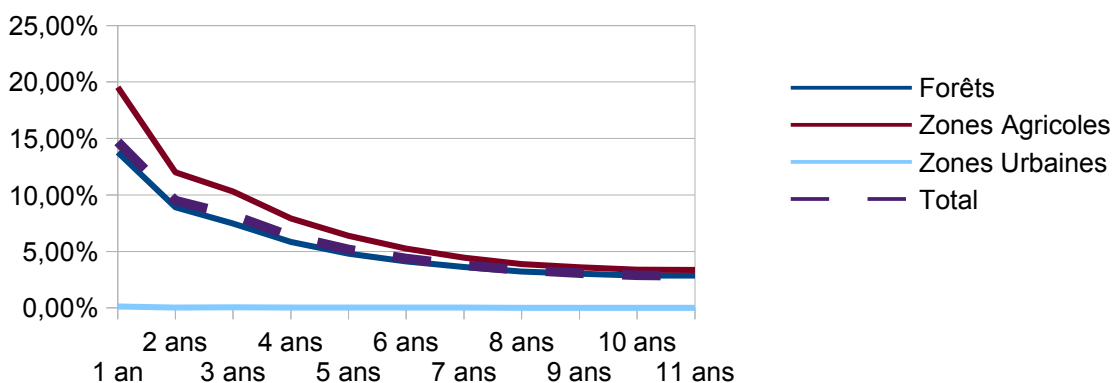
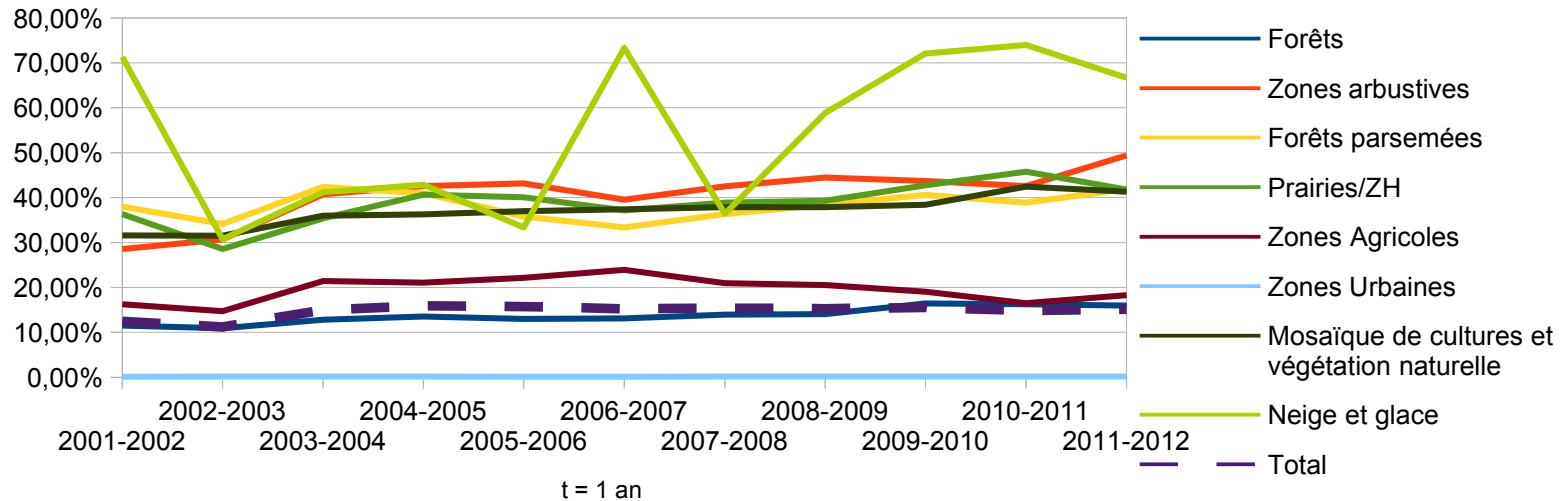


Fig. 33 : Taux de changement annuel de catégorie de pixels dans les Pyrénées



L'évolution du facteur changement de catégorie de pixels en fonction du pas temporel

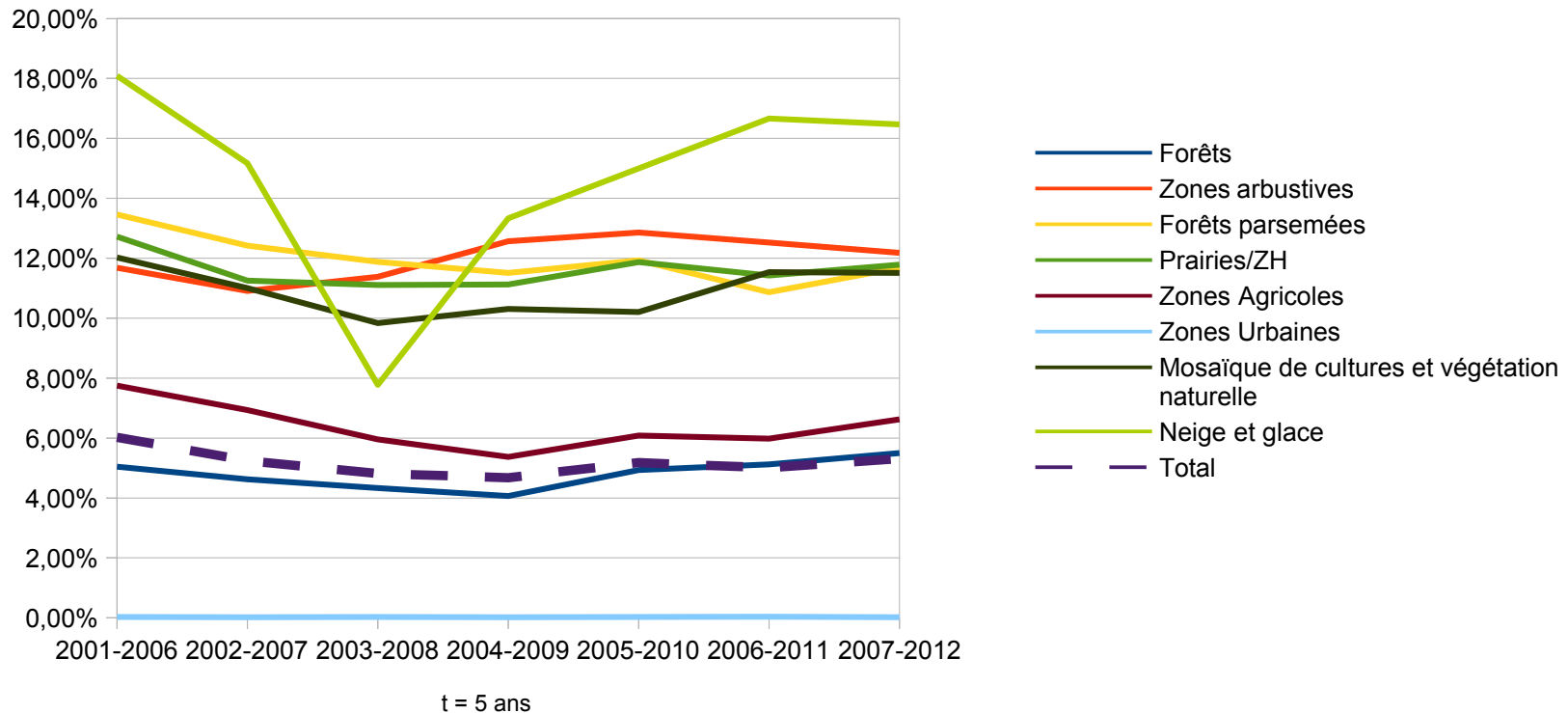
Ce graphique nous montre le taux de changement de catégorie de pixels d'une année sur l'autre, tout au long de l'étude, les résultats sont imposants, cependant on reconnaît les différentes tranches comprenant les catégories instables entre 30 et 40%, les catégories stables entre 10 et 23%.

Sur ce graphique on remarque que les catégories instables sont de plus en plus instable au cours du temps et de même pour les catégories stables, cela met en évidence qu'à partir de 2006-2007 des changements importants surviennent impliquant de nouvelles tendances, que l'on retrouve sur le graphique (Cf. Fig. 20).

Le pas temporel nous permet de comprendre si les changements observés sont définitifs ou si les catégories peuvent se reformer suite à une perturbation.

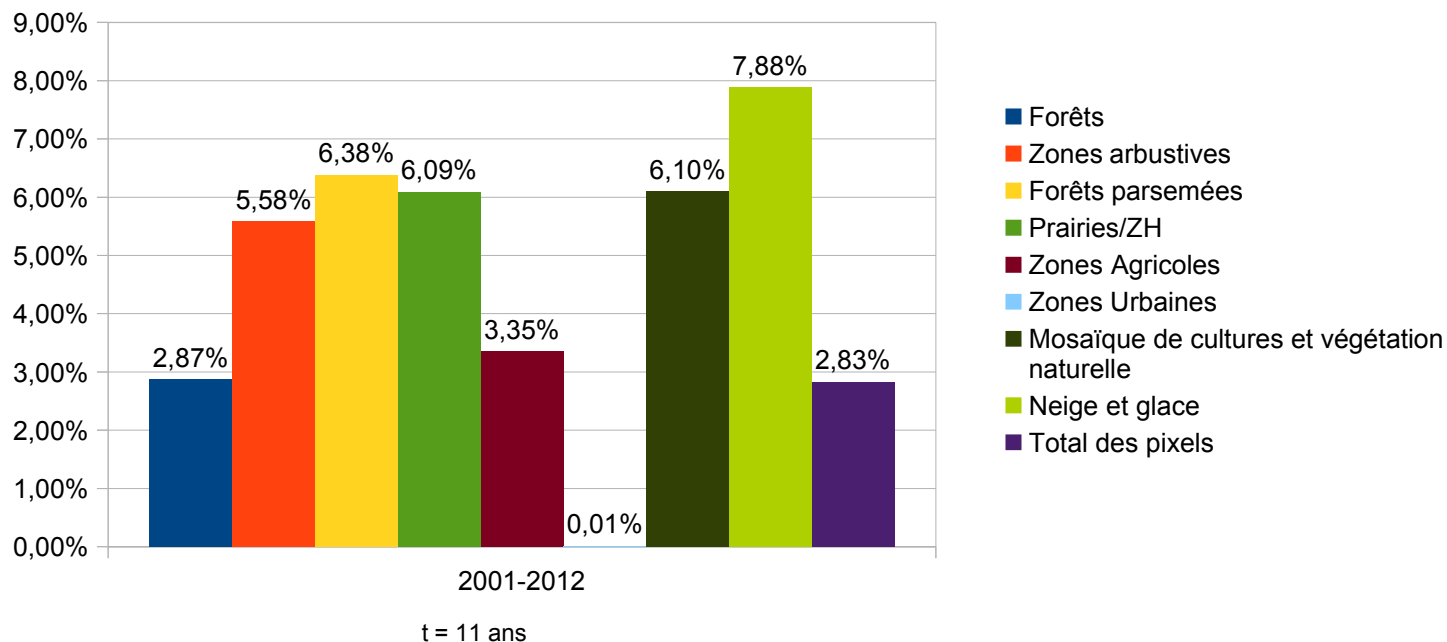
Plus le pas temporel est grand, moins le taux de changement de catégorie de pixels sera élevé.

Fig. 34 : Taux de changement quinquennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées



On remarque que pour une temporalité plus élevée les taux de changements de catégorie de pixels sont inférieurs à ceux annuels, dans le cas présent, la temporalité (t=5 ans) est quinquennale, c'est à dire que pour deux dates, l'écart entre elles est de cinq ans, ce taux de changement diminue drastiquement étant inférieur à 15% (excepté la catégorie « Neige et Glace » qui n'est pas exploitable statistiquement à cause de sa très faible population de pixels).

Fig. 35 : Taux total de changement undécennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées



Ce graphique undécennal du taux de changement de catégorie de pixels dans les Pyrénées et ses environs, nous montre que comme dans le graphique undécennal de la région parisienne, il y a plusieurs groupements, stables et instables. Premièrement, le groupements des catégories instables reste le même, les zones arbustives, les mosaïques de cultures, les forêts parsemées, les prairies et zones humides ainsi que les neiges et glaces sont caractérisés par leur taux de changement undécennal de catégories de pixels supérieur à 5% et inférieur à 8%, le groupement stable reste presque aussi lui le même, comprenant ainsi les zones agricoles, les Forêts, les zones urbaines dont le taux de changement est inférieur à 4%.

Le taux de changement total des catégories étant inférieur à 3% lui aussi, on peut considérer ces résultats comme fiables.

Fig. 29 : Changement undécennal du taux de pixels pour la région parisienne

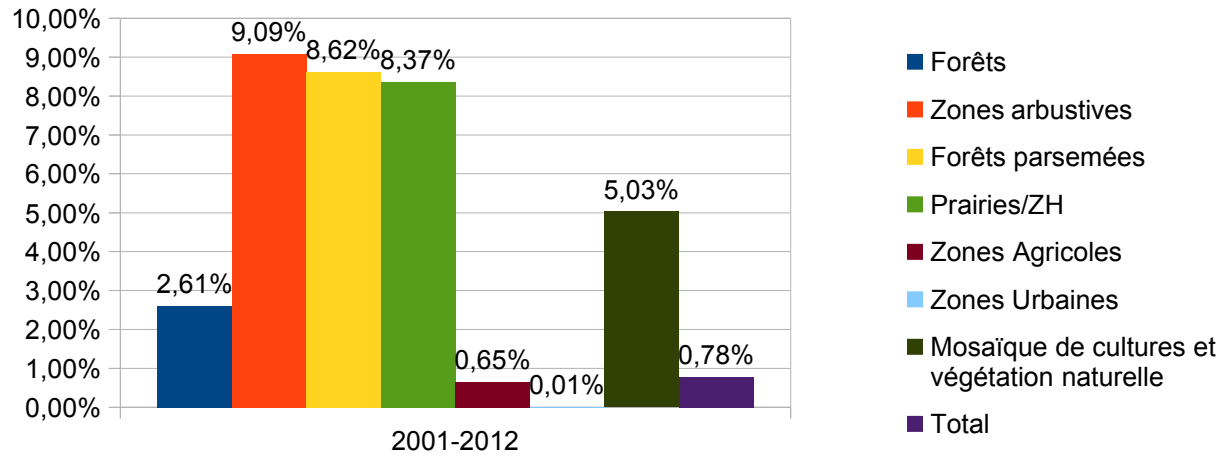
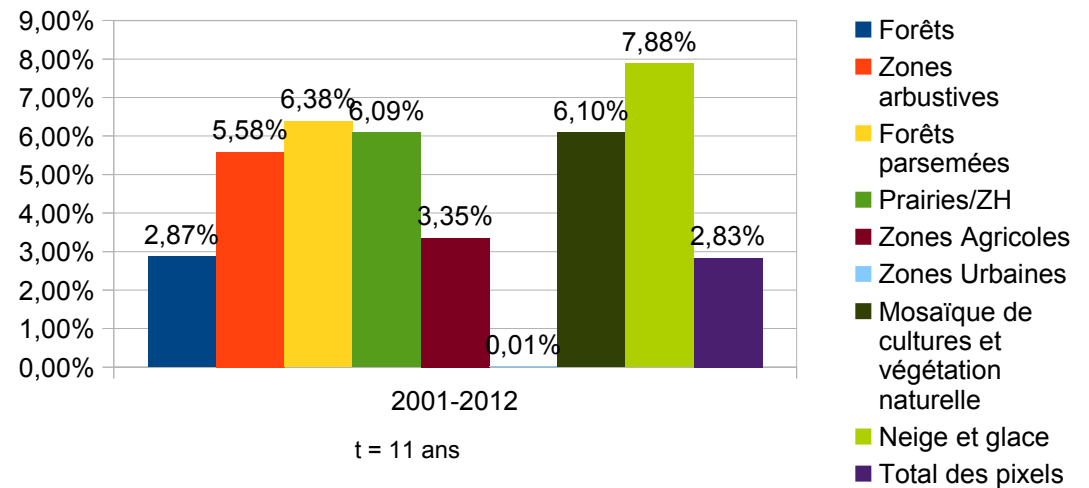


Fig. 35 : Taux total de changement undécennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées



3. Comparaison des diagrammes de changement undécennaux (Fig.30-37, ci-dessus)

Pour réaliser cette comparaison nous allons commencer par les caractéristiques communes puis nous verrons en quoi ces graphiques diffèrent puis nous nous concentrerons sur les conséquences que ces résultats ont.

Pour lire ces graphiques undécennaux de la région parisienne et de la région des Pyrénées, nous allons utiliser la nomenclature déjà établie, avec trois types de catégories de pixels, celles très stables, relativement inférieures à 1%, celle stable, comprises entre 2 et 5%, celle instables appartenant à la tranche 5-10%.

Pour une meilleure compréhension de la comparaison entre ces deux graphiques, nous allons mettre de côté la catégorie « Neige et Glace » spécifique aux Pyrénées.

Dans les deux cas, on retrouve quatre catégories de pixels instables (Zones arbustives, Forêts parsemées, Prairies/ZH, et Mosaïque de cultures et végétation naturelle), on remarque que ces catégories sont mieux représentées dans les Pyrénées et ses environs que à Paris ce qui influe sur ces catégories les rendant plus stables du côté Pyrénéen les populations de pixels associées étant plus importantes, en effet ces catégories (exceptée les « Mosaïque de cultures et végétation naturelle » qui est plus instable de 1% dans les Pyrénées), possèdent un taux de changement de catégorie de pixels inférieur de 1 à 2% comparé à ce que l'on retrouve dans la région parisienne.

Ces quatre catégories sont des catégories de transition dans les dynamiques végétales en France et en Espagne, elles témoignent de changements rapides au cours du temps, notre étude portant sur onze années consécutives, on observe généralement des modifications d'occupation du sol lié à la reconquête végétale ou à l'apparition de zones agricoles.

En effet, ces catégories sont dynamiques par rapport à l'équilibre caractéristique entre les « Zones Agricoles » et les « Forêts » présent dans les Pyrénées.

Ces catégories de transition sont souvent soumises à des aléas, (feu de forêt, coupe, abandon) ce qui peut transformer le paysage assez rapidement et fréquemment.

Ces quatre catégories sont donc instables de part leur nature transitionnelle dans les dynamiques végétales et de part leur proportionnalité de populations, cependant ces problèmes internes de taux de changements de catégorie de pixels pourraient aussi être liés à des perturbations atmosphériques, ce qui aurait pu mal définir leur signature spectrale respective dans le spectre électromagnétique.

Nous retrouvons ensuite dans les catégories stables, la catégorie « Forêts » qui, dans les deux graphiques est comprise entre 2 et 3% de changement de catégorie de pixels, ce qui la rend stable de part sa population au sein des région (environ 10% dans la région parisienne et 30% dans les Pyrénées) et de par sa nature de zone boisée, dernière étape dans les dynamiques végétales naturelles à court termes.

La catégorie « Zones Agricoles » est stable dans les Pyrénées, et très stable en région parisienne, on remarque que le taux de changement est proportionnel aux populations de pixels respective (environ 70% du total de pixels en région parisienne et 30% du total dans les Pyrénées et ses environs).

Les « Zones Urbaines » quant à elles, restent très stables tout du long de l'étude et ce même dans la région parisienne, avec un taux de changement de catégorie de pixels de 0,01%, c'est la catégorie qui varie le moins.

Maintenant comparons les taux de changements totaux (en violet sur les graphiques) de catégorie de pixels au cours du temps, cette catégorie est directement liée au population de pixels, et comme les catégories les plus importantes sont généralement stables, le taux total de changement de catégorie de pixels l'est aussi.

Ce taux nous informe sur la grande qualité des échantillons provenant du capteur MODIS MCD12Q1, car si les taux n'étaient pas stables (pour la région des Pyrénées) ou très stables (pour la région parisienne), ce taux total de changement de catégorie de pixels nous alarmerai sur des évolutions de catégories brutales et seulement explicables par les erreur théoriques ou par des changements drastiques des dynamiques végétales, influencés par l'Homme ou non.

Cependant nous ne somme pas dans ce cas, nous avons généralement un équilibre « Forêts - Zones Agricoles » dans les Pyrénées avec des catégories intermédiaires qui varient au cours du temps, et une nette domination des Zones Agricoles dans la région parisienne avec des variations minimales des catégories de transitions qui sont sous représentées.

II / Les dynamiques Pyrénéennes

1. Dynamiques

Cette étude temporelle nous permet d'avancer quelques prévisions sur le futur environnemental des Pyrénées et de ces environs.

Un bref récapitulatif de l'évolution de l'occupation du sols des Pyrénées et de ces environs est nécessaire afin d'appréhender les futures évolutions des populations de végétation.

La première période 2001-2004, nous montre que même les catégories de forte population (Zones Agricoles et Forêts) ne possèdent pas seulement qu'une courbe croissante même en période d'abandon des zones d'agro-pastoralisme, cependant on ne note pas particulièrement de croissance parmi les catégories de faibles population.

A partir de 2005, plusieurs changements s'opèrent, premièrement on remarque que les catégories de forte population, ne régressent plus, elles se stabilisent et amorcent une nouvelle croissance.

Les catégories de faibles population ont tendance à diminuer surtout les zones arbustives, cependant cette tendance ne s'applique pas à une catégorie qui représente un transition entre les zones arbustives vers les zones de forêts, ce sont les forêts parsemées qui en toute logique croissent assez rapidement pour atteindre 15% de la population totale de pixels.

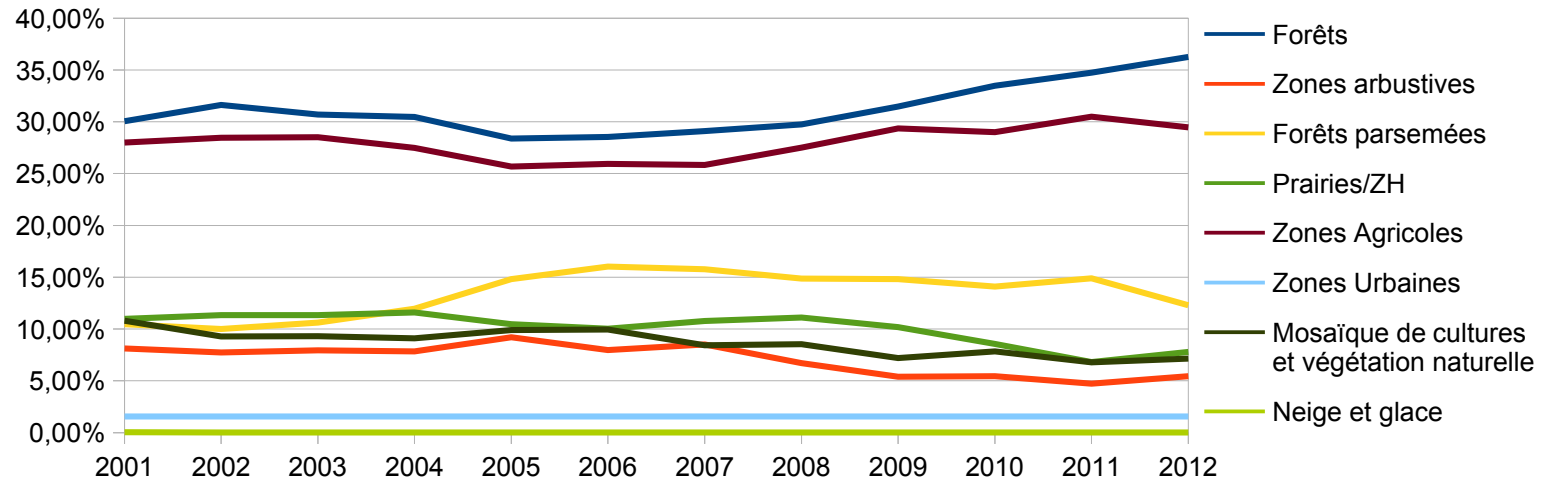
Ce temps de transition marque bien la tendance que prendront ensuite les tendances de l'évolution du sol des Pyrénées et des ces environs.

A partir de 2007 on remarque la reprise de la croissance des catégories de forte population de pixels, ces deux catégories depuis le début de l'étude, possèdent des tendances similaires, on pourrait penser que leurs tangentes sont liées. Cependant à partir de 2009 on observe que ces catégories subissent des changements différents, ce qui pourrait induire des fermeture de zones agricoles.

En effet alors que la catégorie « Forêts » continue de croître jusqu'en 2012, atteignant les 36% d'occupation du sol, les « Zones agricoles » subissent une perte de croissance et convergent vers les 30% d'occupation du sol.

Les catégories de faibles populations diminuent jusqu'en 2011, puis croissent légèrement à partir de ce point temporel, alors que les forêts parsemées tendent à diminuer à partir de 2011, on pourrai émettre des hypothèses quand à leur inter-relations, ces zones de forêts parsemées pourraient être remplacées à nouveau par des prairies et des zones arbustives ou des forêts.

Fig. 21 : Evolution de l'occupation du sol des Pyrénées par catégories en fonction du temps



2. Perturbations

On remarque cependant des perturbations assez importantes dans le changement annuel de catégories de pixels, nous allons donc isoler les catégories dont le taux de changements est supérieur à 35% dès la première année d'étude, soit les catégories instables qualifiées de transitionnelles. La logique de colonisation végétale post agro pastoralisme voudrait que les anciennes zones d'agropastoralisme (« Mosaïque de cultures et végétation naturelle ») tendent vers les zones de « Forêts parsemées » pour atteindre la catégorisation de « Forêts ».

Cependant on remarque aussi que les « Zones arbustives » et les « Prairies et zones humides », catégories sommes toutes assez proches identitairement, tendent aussi vers la catégories « Forêts parsemées » dans la logique de la fermeture des milieux.

Cependant ces taux instables de catégories peuvent s'expliquer aussi par la mise en valeur de nouveaux systèmes agraires au dépend de ces zones de transitions, ce qui pourrait expliquer la croissance mutuelle des catégories « Zones agricoles » et « Forêts », et la diminution des catégories instables.

Fig. 36 : Taux de changement annuel des Zones arbustives

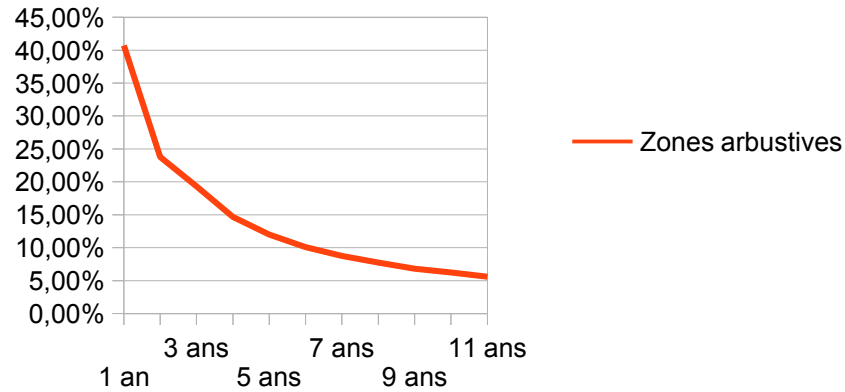


Fig. 37 : Taux de changement annuel des Mosaïques de cultures et végétation naturelle

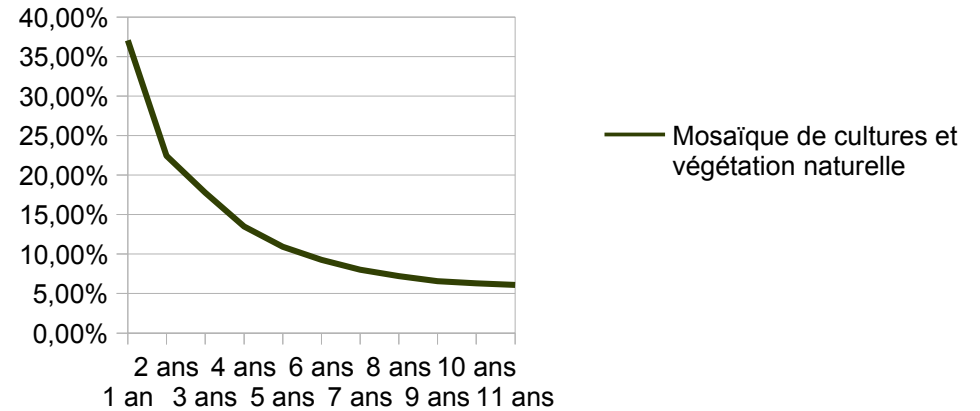


Fig. 38 : Taux de changement annuel des Forêts parsemées

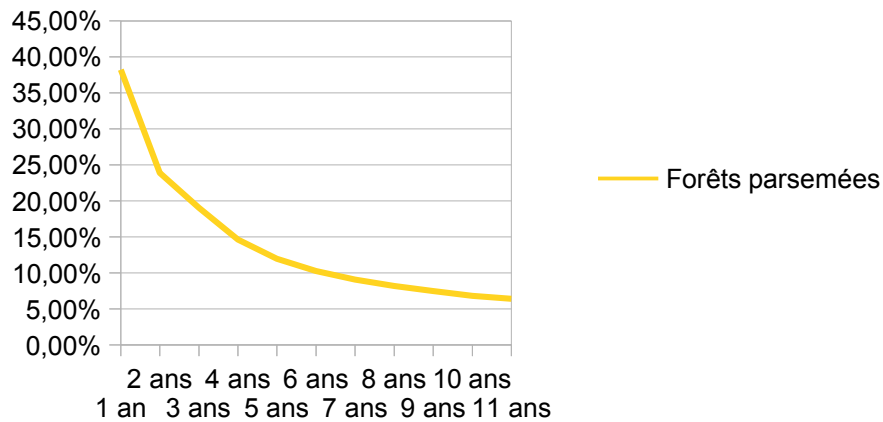
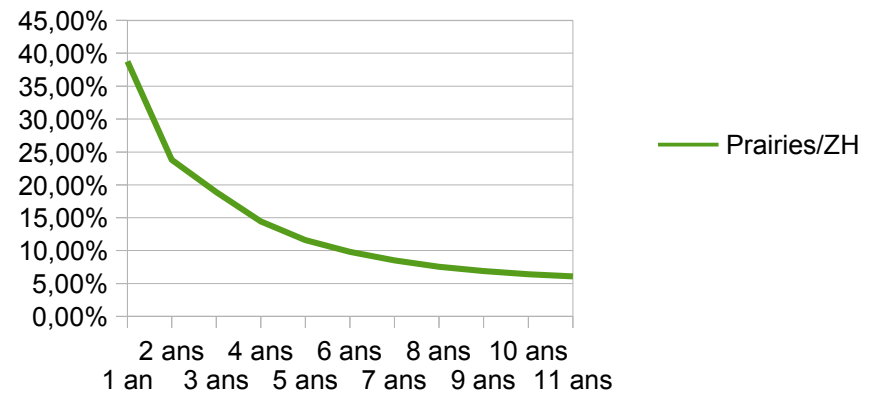


Fig. 39 : Taux de changement annuel des Prairies et Zones humides



3. Conclusions

En conclusion on récapitulera les hypothèses des actuelles et futures dynamiques végétales dans la région Pyrénéenne et ses environs.

La déprise de l'agropastoralisme se poursuit car la fermeture des milieux le prouve par l'augmentation du pourcentage des zones de forêts dans les Pyrénées, cependant cette fermeture se produit de plusieurs façons, de façon pionnière, des zones d'agropastoralisme en abandon (Mosaïque de culture et végétation naturelle) vers les forêts parsemées pour devenir des forêts, mais aussi par la fermeture de zones agricoles vers des zones de transitions puis vers des forêts parsemées, pour finalement redevenir des forêts.

On observe aussi de façon inverse mais moins prononcée, une ouverture de milieu, lié à la mise en valeur de nouvelles zones agricoles, au détriment des zones des catégories de transition.

En général, la fermeture des milieux est la dynamique actuelle propre aux Pyrénées et à ses environs, comme démontré ci-dessus, cependant les Pyrénées étant séparées en trois zones distinctes possédant chacune des caractéristiques, et des dynamiques végétales propres à ces régions orientales, centrales et occidentales, notre étude générale ne peut que dégager des tendances englobant tout ces systèmes.

Par ailleurs les politiques environnementales de boisement et les politiques agricoles étant différentes entre les deux pays frontaliers, les dynamiques végétales diverges en fonction du versant ainsi qu'en fonction des zones Pyrénéennes précédemment énoncées.

L'évolution de l'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs, au cours de ces onze années d'étude montre donc globalement que les zones de transitions représentant les catégories décrites comme instables, tendent à diminuer au profits des forêts et des zones agricoles, ce qui tend vers un équilibre écologique entre les zones de forêts et les zones agricoles dans la région des Pyrénées, avec comme nouvelle zone de transition les forêts parsemées, représentant l'évolution partielle mais majoritaire des anciennes zones d'agropastoralisme.

Bibliographie

Burns et Joyce, (1981) : "Evaluation of Land Cover Change Detection Techniques Using Landsat MSS Data"

Charpentier T. 1 (Charpentier T., Foin P., Lummaux J.C.) (1981): L'occupation du sol dans l'Aude et les Pyrénées - Orientales : un exemple de traitement d'images satellites et de méthode d'évaluation critique des résultats obtenus. In: Méditerranée, troisième série, tome 42, 2-3-1981. Télédétection II, sous la direction de P. Oliva. pp. 65-69.

Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., et Lambin, E. (2004) : Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. International Journal of Remote Sensing, 25(9) :1565-1596.

CUGNY C., MAZIER F., GALOP D., (2011), Modern and fossil non-pollen palynomorphs from the Basque mountains (western Pyrenees, France): the use of coprophilous fungi to reconstruct pastoral activity. Vegetation history and Archaeobotany 19 (5-6): 391-408.

Hame (1998) An unsupervised change detection and recognition system for forestry

Houet, Vacquié, Vidal et Galop (2012): Caractérisation de la fermeture des paysages dans les Pyrénées depuis les années 1940. Application sur le Haut-Videssos

Jalut, Galop, Belet, Aubert, Amat, Bouchette, Dedoubat, Fontugne (1998): Histoire des forêts du versant nord des Pyrénées au cours des 30000 dernières années

Jordi Inglada (2011) : Contributions à l'analyse d'images d'observation de la Terre pour la production de cartes d'occupation des sols et le suivi des changements dans des contextes opérationnels

Paegelow et Camacho Olmedo, (2003) : Modélisation géomatique rétrospective des paysages par évaluation multicritères et multiobjectifs

Petitjean (2012) : Dynamic Time Warping : Apports théoriques pour l'analyse de données temporelles Application à la classification de séries temporelles d'images satellites

Sitographie

sig-pyrenees.net

<http://modis-land.gsfc.nasa.gov>

inventaire-forestier.ign.fr

<http://www.cesbio.ups-tlse.fr>

www.persee.fr

Annexes Figures

Fig. 1 p 5 : *Carte des Pyrénées et de ses environs*

Fig. 2 p 7 : *Zone d'étude : le relief massif Pyrénéen*

Fig. 3 p 9 : *Ortho photo de la chaîne des Pyrénées*

Fig. 4 p 10 : *Graphique de la répartition des essences ligneuses dans les Pyrénées*

Fig. 5 p 11 : *MNT des massifs Pyrénéens*

Fig. 6 p 12 : *Carte des zonages bioclimatiques des Pyrénées*

Fig. 7 p 13 : *Evolution des principales essences forestières pyrénéennes depuis 5000 ans*

Fig. 8 p 16 et 18 et 56 : *Image satellite 2001 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*

Fig. 9 p 17 et 55 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2001 dans les Pyrénées*

Fig. 10 p 19 et 61 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2004 dans les Pyrénées*

Fig. 11 p 20 et 62 : *Image satellite 2004 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*

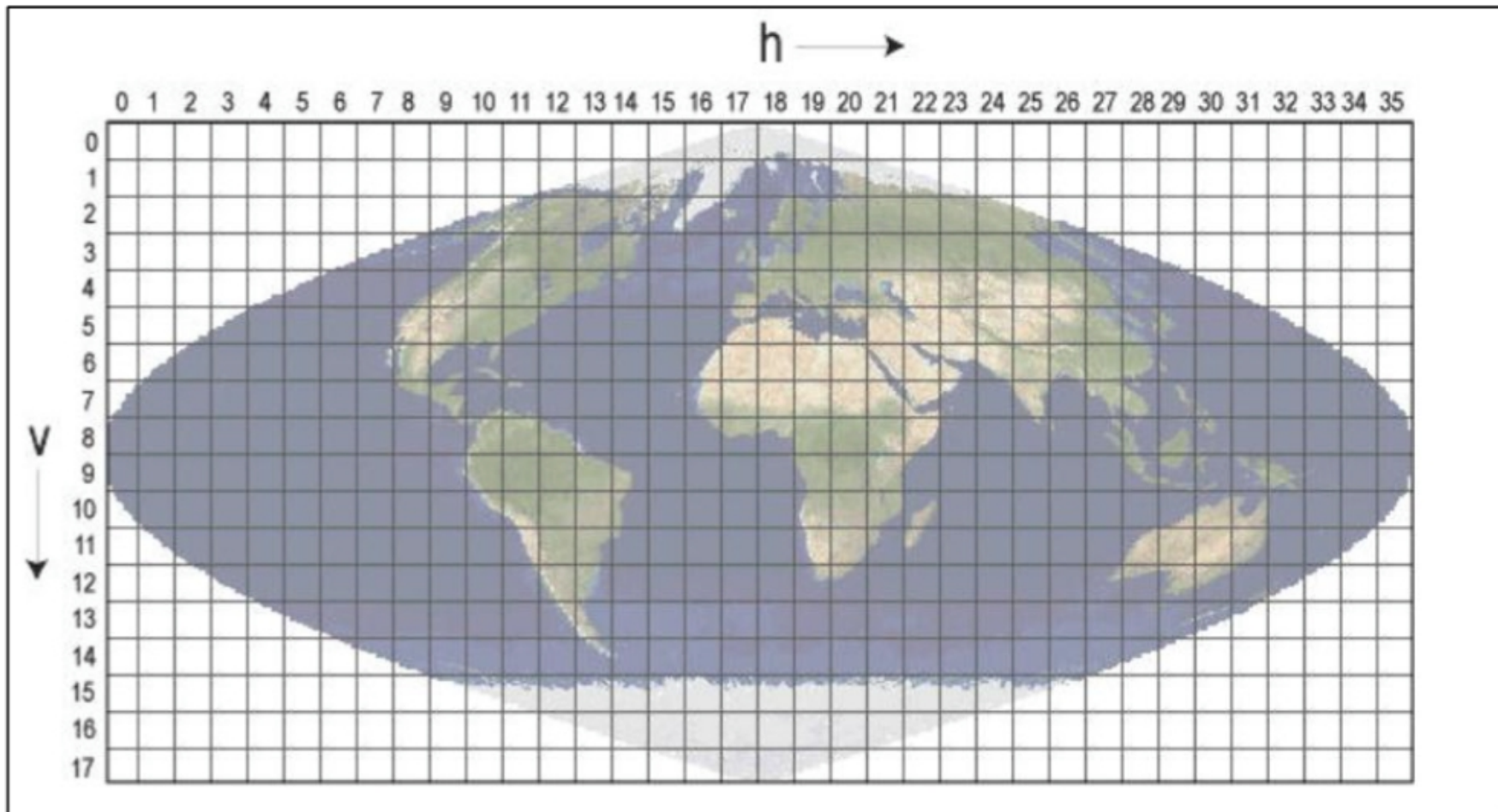
Fig. 12 p 21 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2006 dans les Pyrénées*

Fig. 13 p 21 : *Image satellite 2006 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*

Fig. 14 p 22 et 67 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2007 dans les Pyrénées*

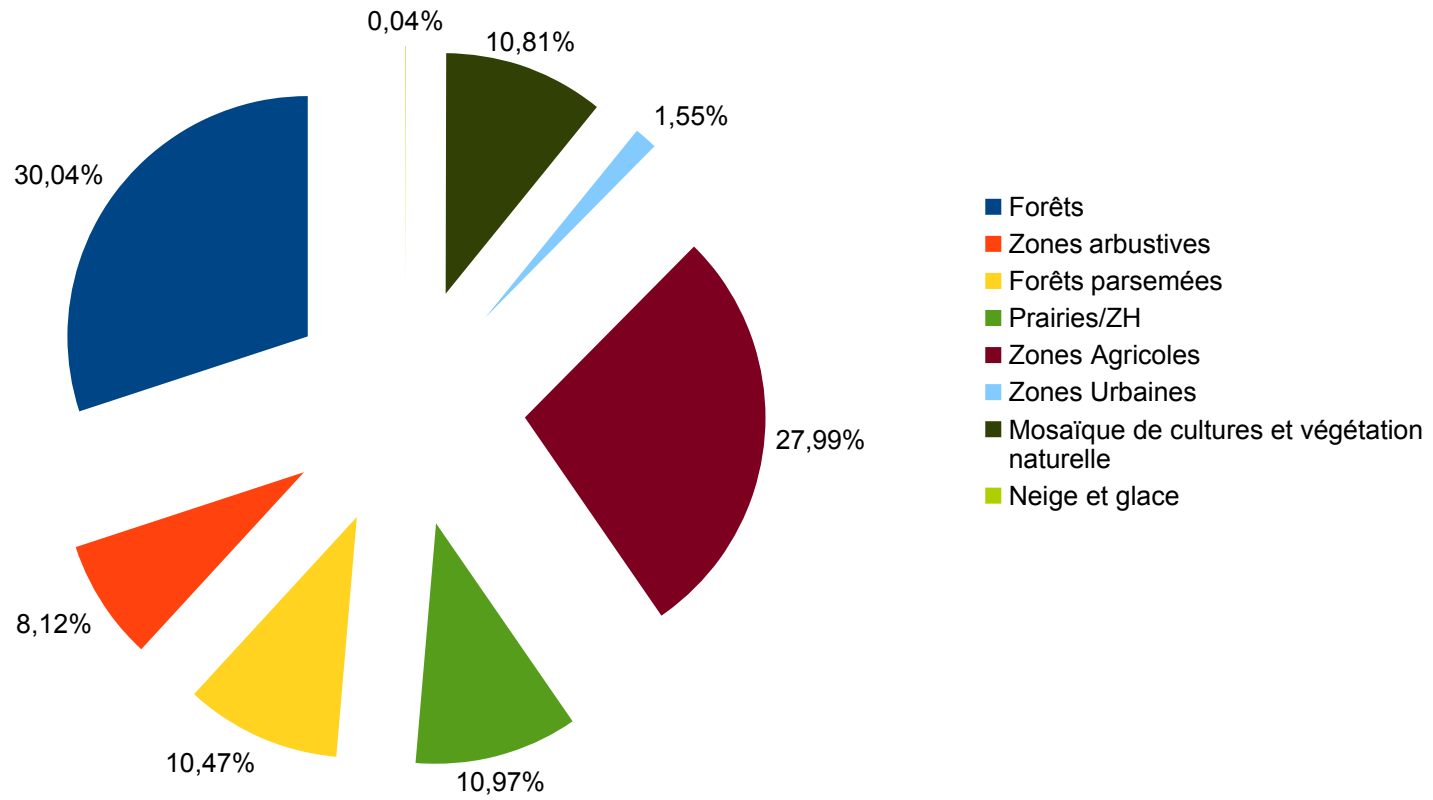
- Fig. 15** p 23 et 68 : *Image satellite 2007 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 16** p 24 et 71 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2009 dans les Pyrénées*
- Fig. 17** p 24 et 72 : *Image satellite 2009 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 18** p 25 et 77 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2012 dans les Pyrénées*
- Fig. 19** p 26 et 78 : *Image satellite 2012 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 20** p 27 et 47 : *Evolution de l'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs en fonction du temps*
- Fig. 21** p 29 : *Les dates clés de l'évolution de l'occupation du sol des Pyrénées et de ses environs*
- Fig. 22** p 33 : *Image satellite 2001 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1 : La zone parisienne*
- Fig. 23** p 33 : *Image satellite 2012 Ortho-photo de la région parisienne*
- Fig. 24** p 34 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2001 en région parisienne*
- Fig. 25** p 34 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2006 en région parisienne*
- Fig. 26** p 34 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2012 en région parisienne*
- Fig. 27** p 34 : *Evolution de l'occupation du sol de la région parisienne en fonction du temps*
- Fig. 28** p 35 : *Taux de changement sexannuel du taux de changement de catégorie de pixels pour la région parisienne*
- Fig. 29** p 36 et 43 : *Taux de changement undécennal du taux de changement de catégorie de pixels pour la région parisienne*
- Fig. 30** p 38 : *Moyennes des taux totaux de changement annuel pour chaque catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 31** p 39 : *Moyenne des catégories de pixels à fort taux de changement annuel dans les Pyrénées*
- Fig. 32** p 39 : *Moyenne des catégories de pixels à faible taux de changement annuel dans les Pyrénées*
- Fig. 33** p 40 et 79 : *Taux de changement annuel de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 34** p 41 et 83 : *Taux de changement quinquennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 35** p 42 et 43 : *Taux de changement undécennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 36** p 48 : *Taux de changement annuel des zones arbustives dans les Pyrénées*
- Fig. 37** p 48 : *Taux de changement annuel des mosaïques de cultures et de végétation naturelle dans les Pyrénées*

- Fig. 38** p 48 : *Taux de changement annuel des forêts parsemées dans les Pyrénées*
- Fig. 39** p 48 : *Taux de changement annuel des prairies et zones humides dans les Pyrénées*
- Annexe 7** p 54 : Grille des tuiles MODIS
- Fig. 40** p 57 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2002 dans les Pyrénées*
- Fig. 41** p 58 : *Image satellite 2002 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 42** p 59 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2003 dans les Pyrénées*
- Fig. 43** p 60 : *Image satellite 2003 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 44** p 62 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2005 dans les Pyrénées*
- Fig. 45** p 63 : *Image satellite 2005 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 46** p 69 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2008 dans les Pyrénées*
- Fig. 47** p 70 : *Image satellite 2008 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 48** p 73 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2010 dans les Pyrénées*
- Fig. 49** p 74 : *Image satellite 2010 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 50** p 75 : *Pourcentage de population de pixels au sein des catégories pour le découpage de 2011 dans les Pyrénées*
- Fig. 51** p 76 : *Image satellite 2011 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*
- Fig. 52** p 80 : *Taux de changement biennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 53** p 81 : *Taux de changement triennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 54** p 82 : *Taux de changement quadriennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 55** p 84 : *Taux de changement sexennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 56** p 85 : *Taux de changement septennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 57** p 86 : *Taux de changement octenal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 58** p 87 : *Taux de changement novennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*
- Fig. 59** p 88 : *Taux de changement décennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées*



Annexe 7: Grille des tuiles MODIS (source : modis-gsfc)

Fig. 9 : Pourcentage de population 2001



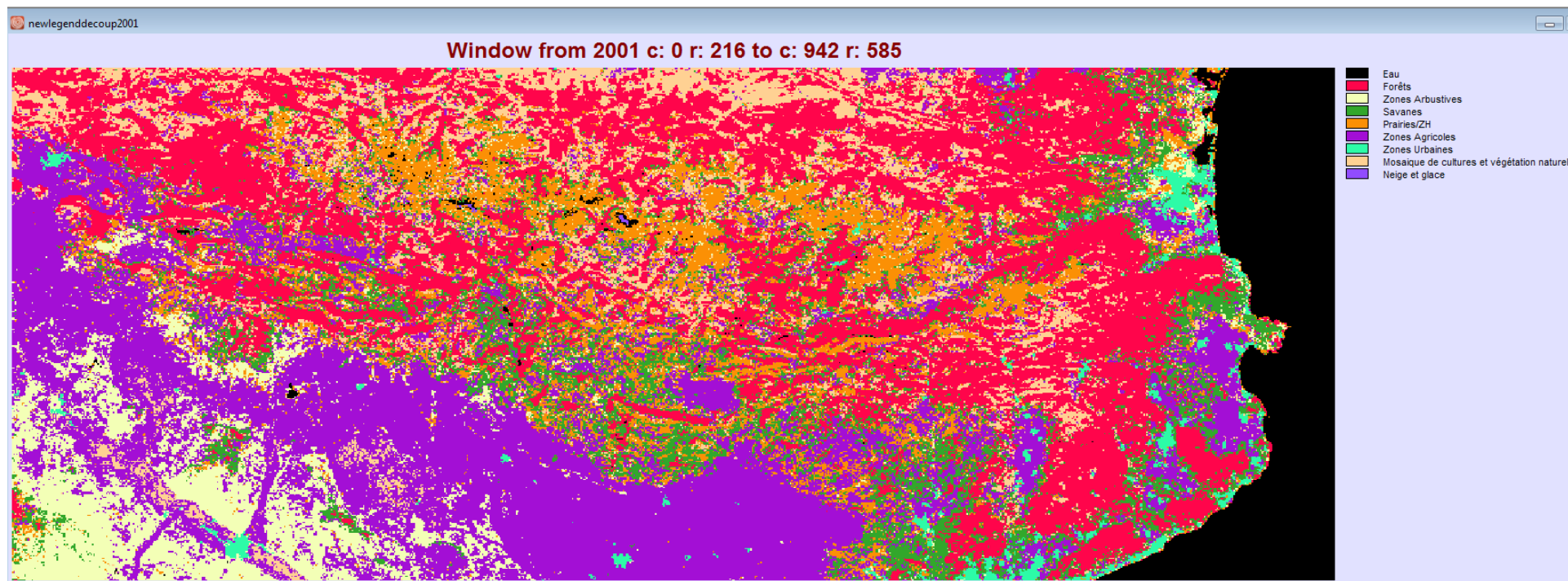
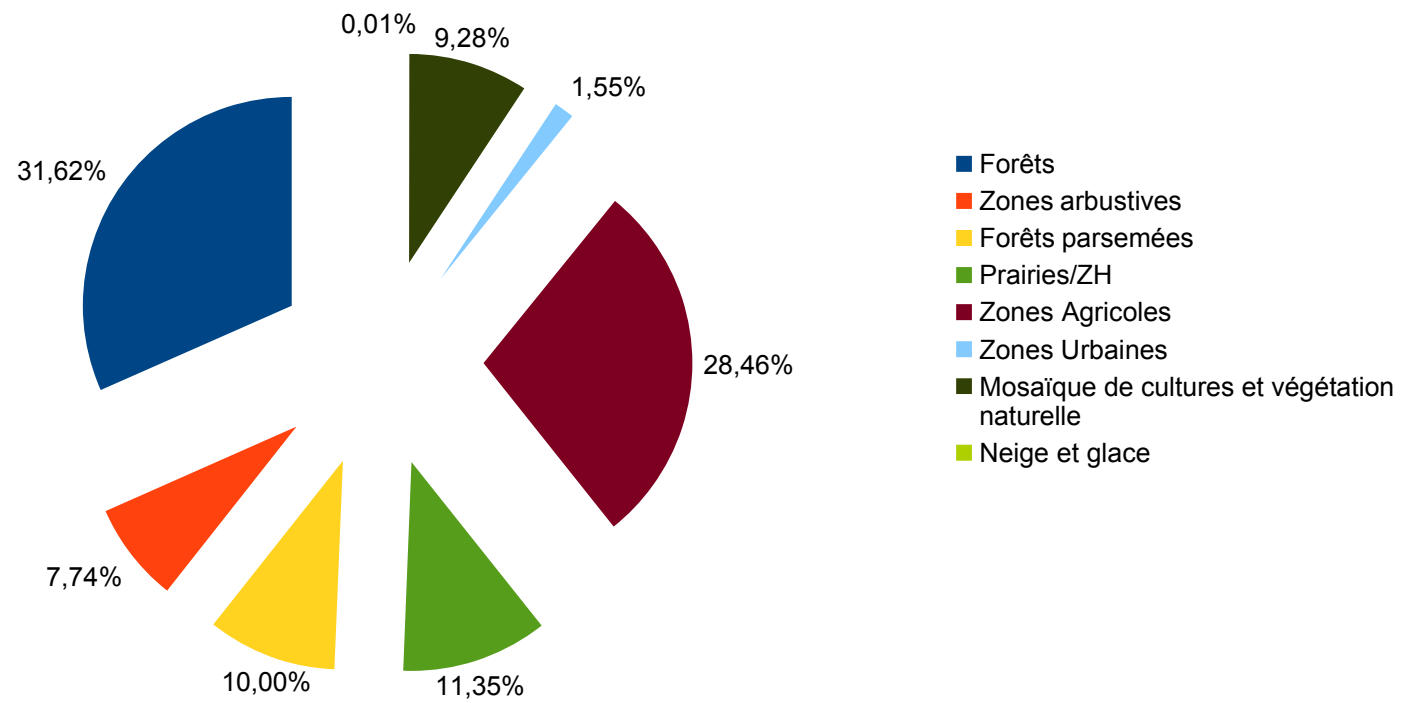


Fig. 8 : Image satellite 2001 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 40 : Pourcentage de population 2002



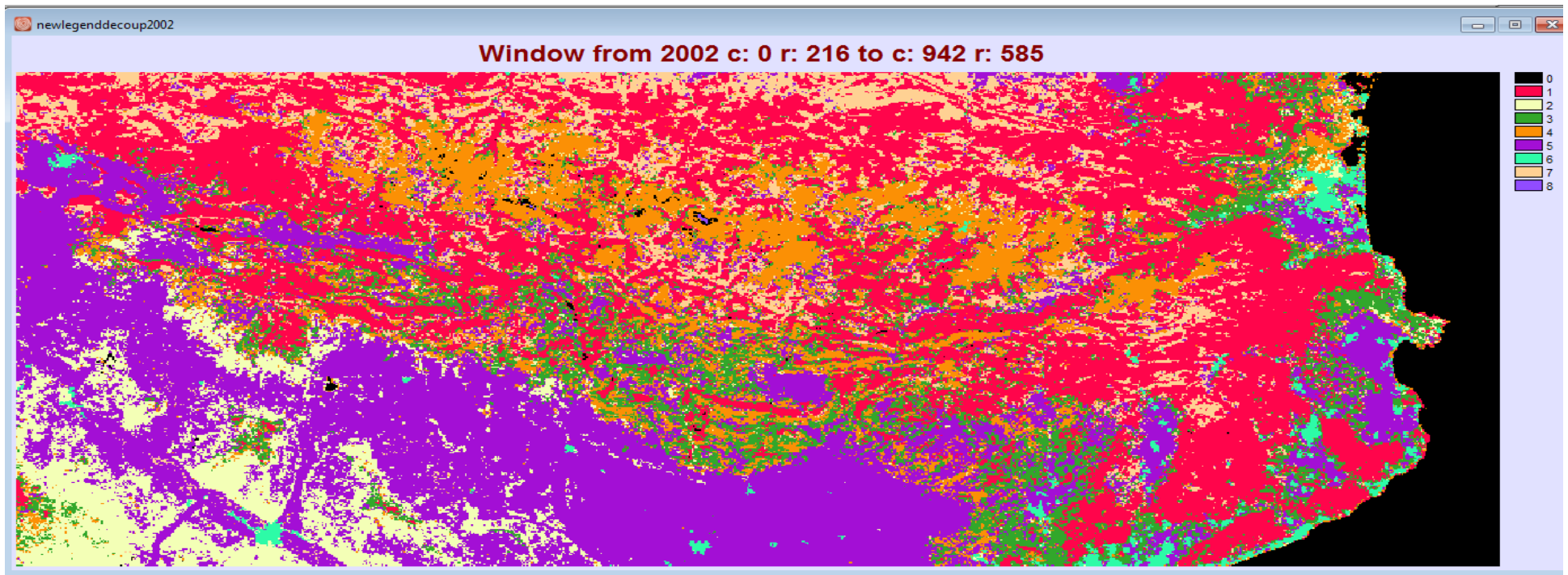
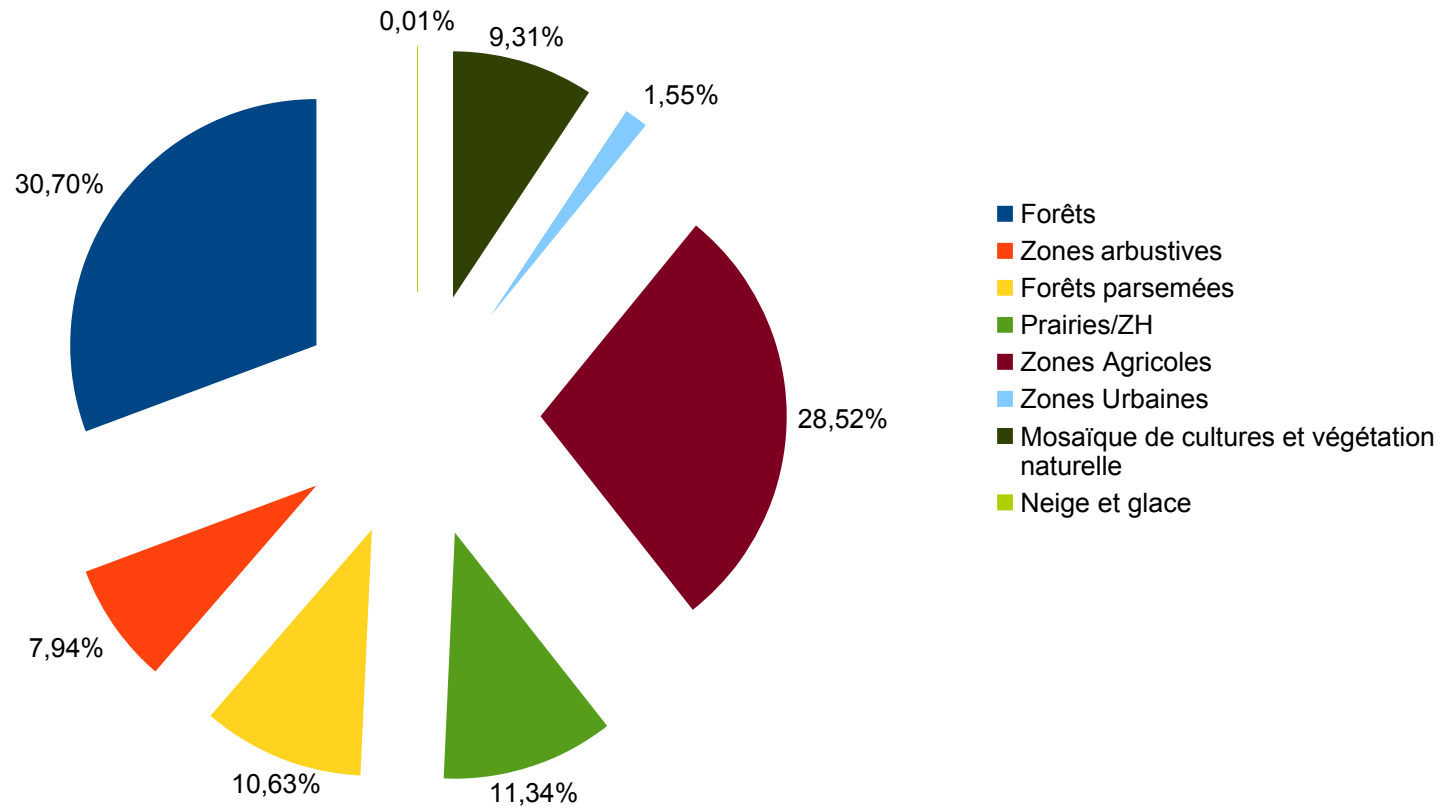


Fig. 41 : Image satellite 2002 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 42 : Pourcentage de population 2003



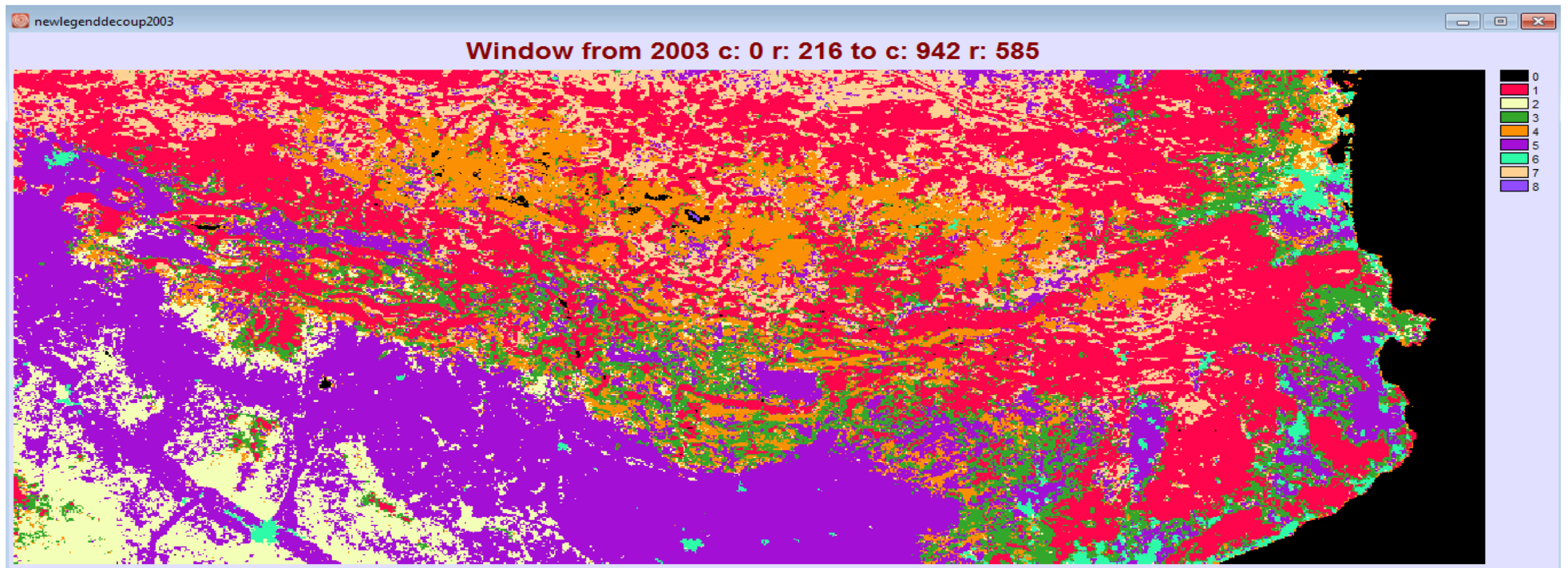
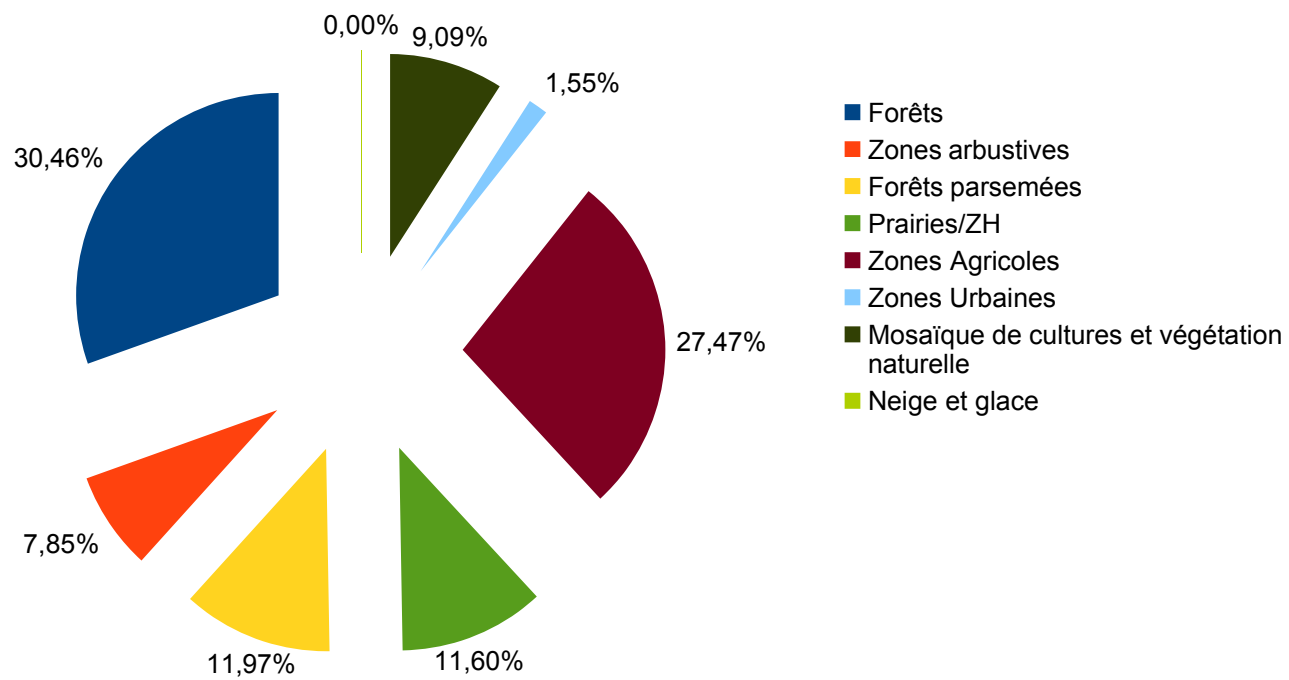


Fig. 43 : *Image satellite 2003 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1*

Fig. 11 : Pourcentage de population 2004



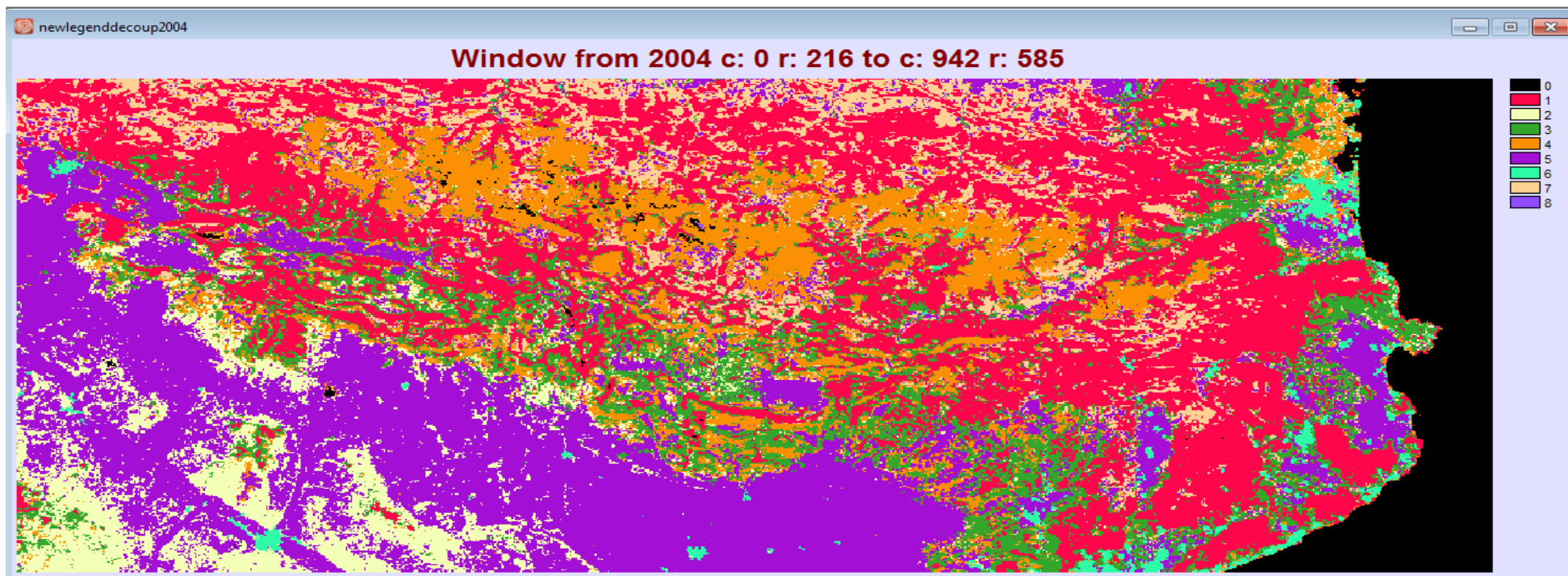
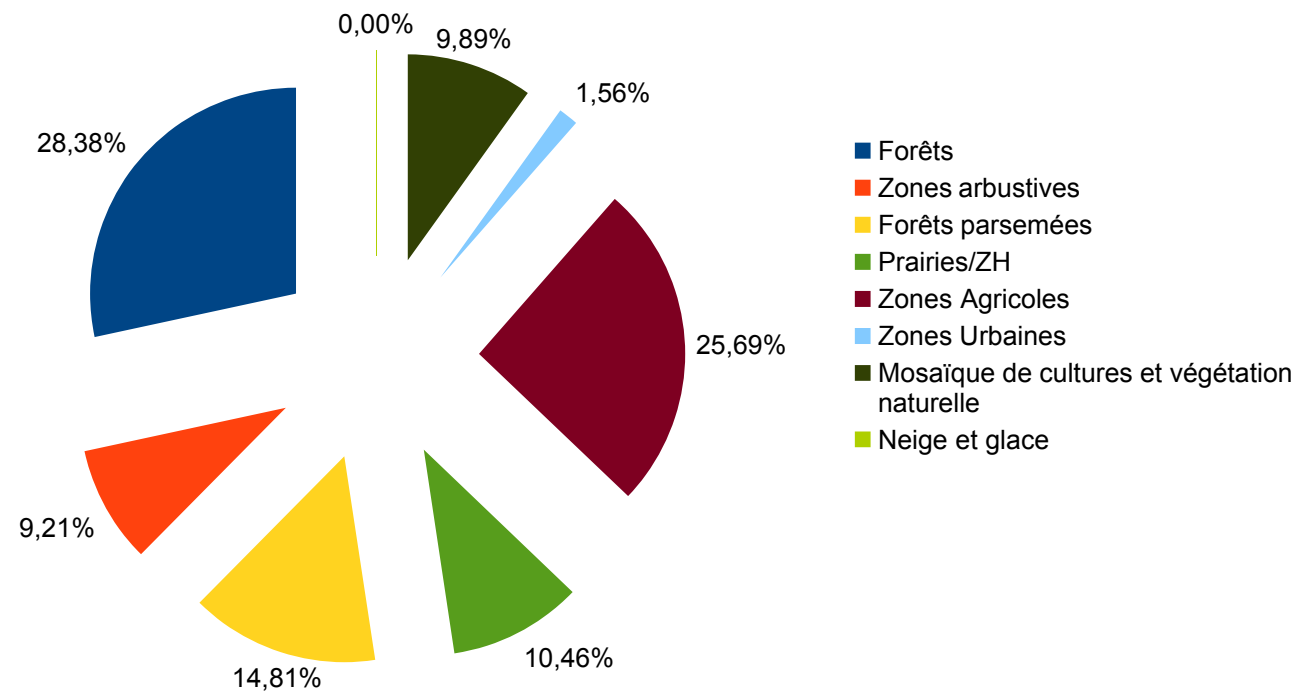


Fig. 11 : Image satellite 2004 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 44 : Pourcentage de population 2005



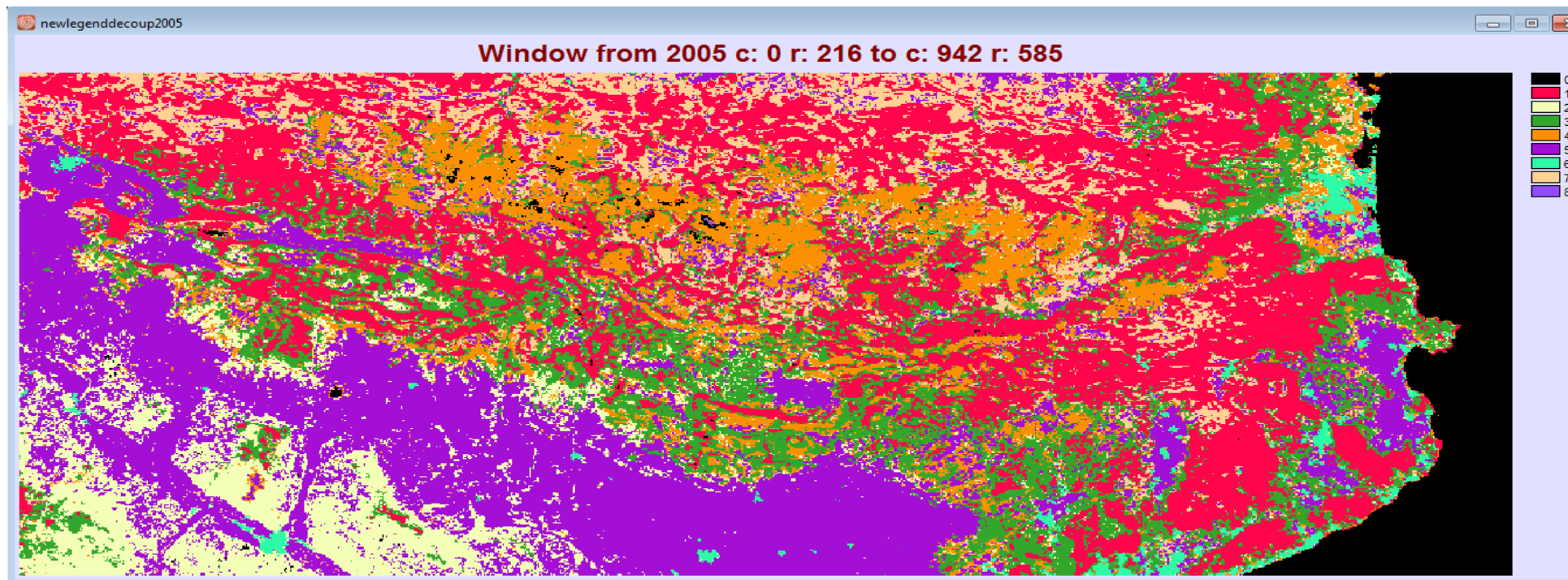
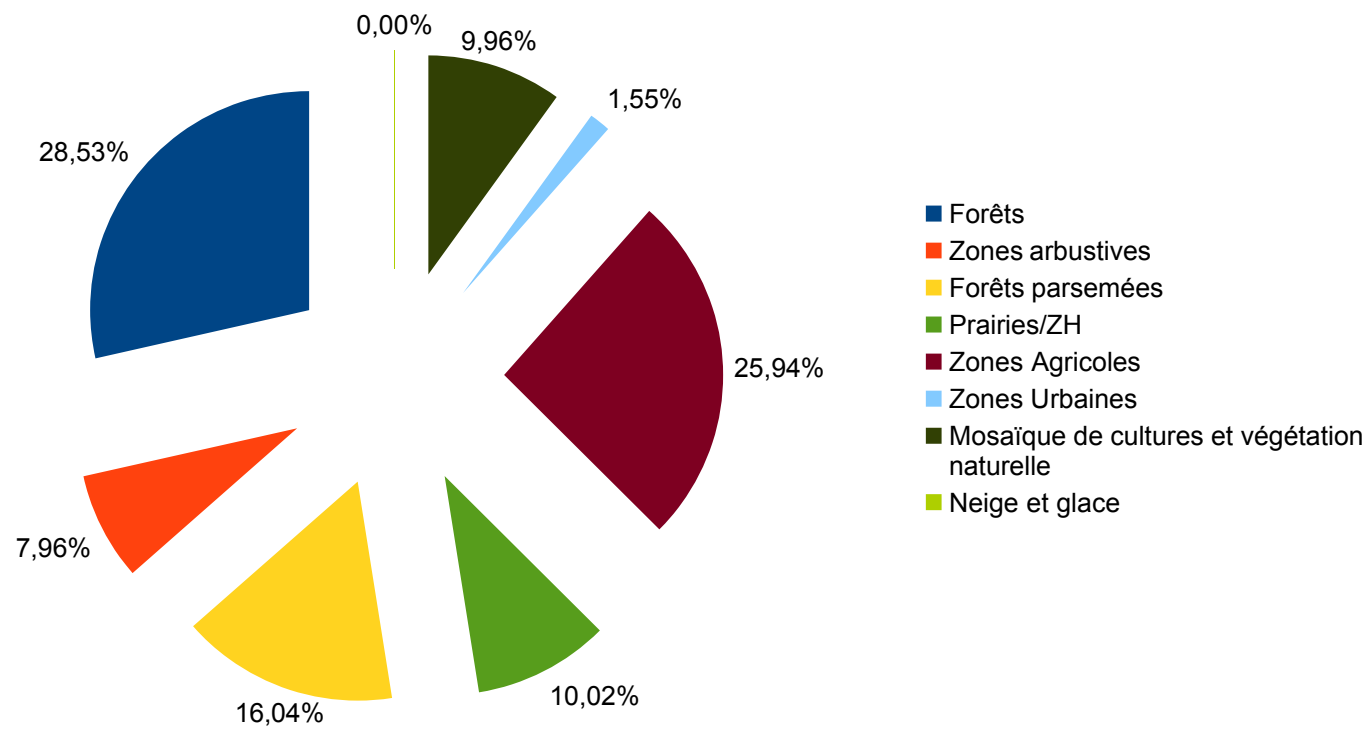


Fig. 45 : Image satellite 2005 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 12 : Pourcentage de population 2006



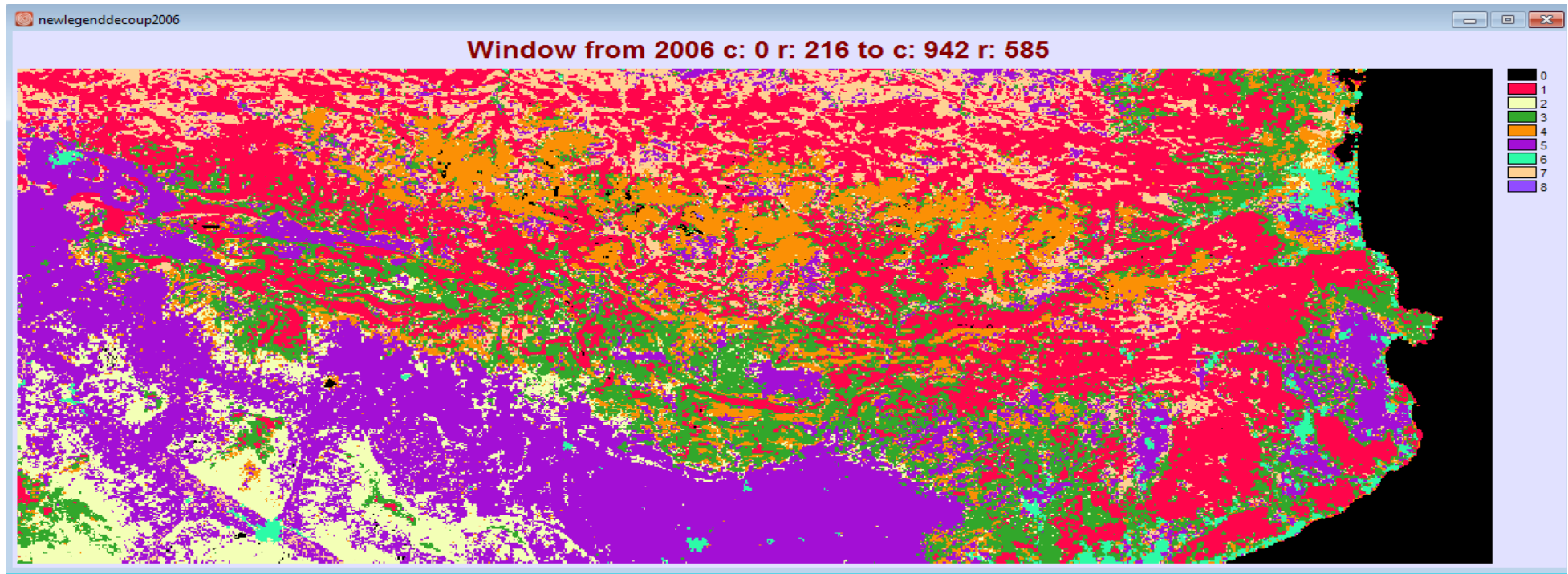
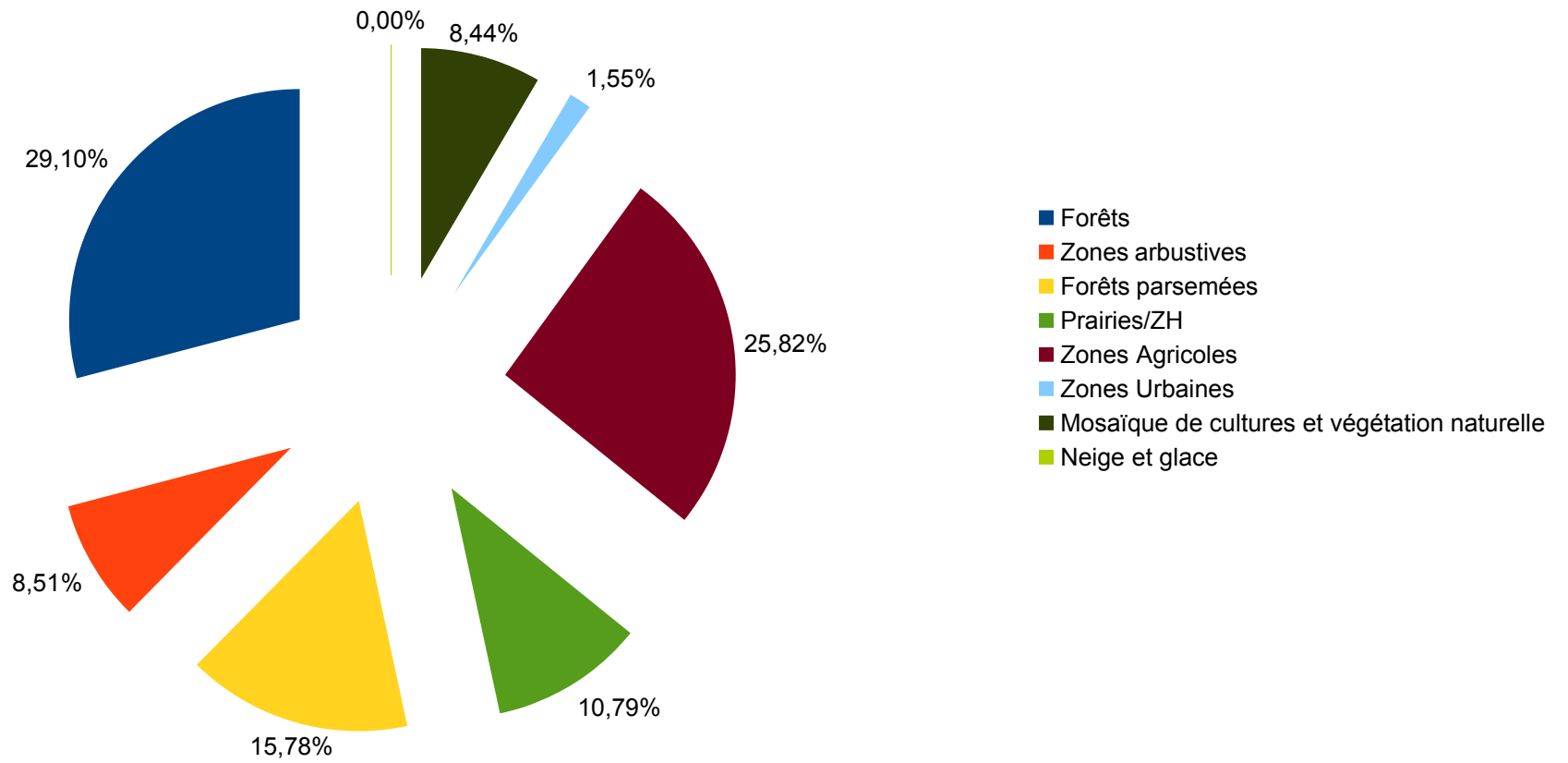


Fig. 13 : Image satellite 2006 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 14 : Pourcentage de population 2007



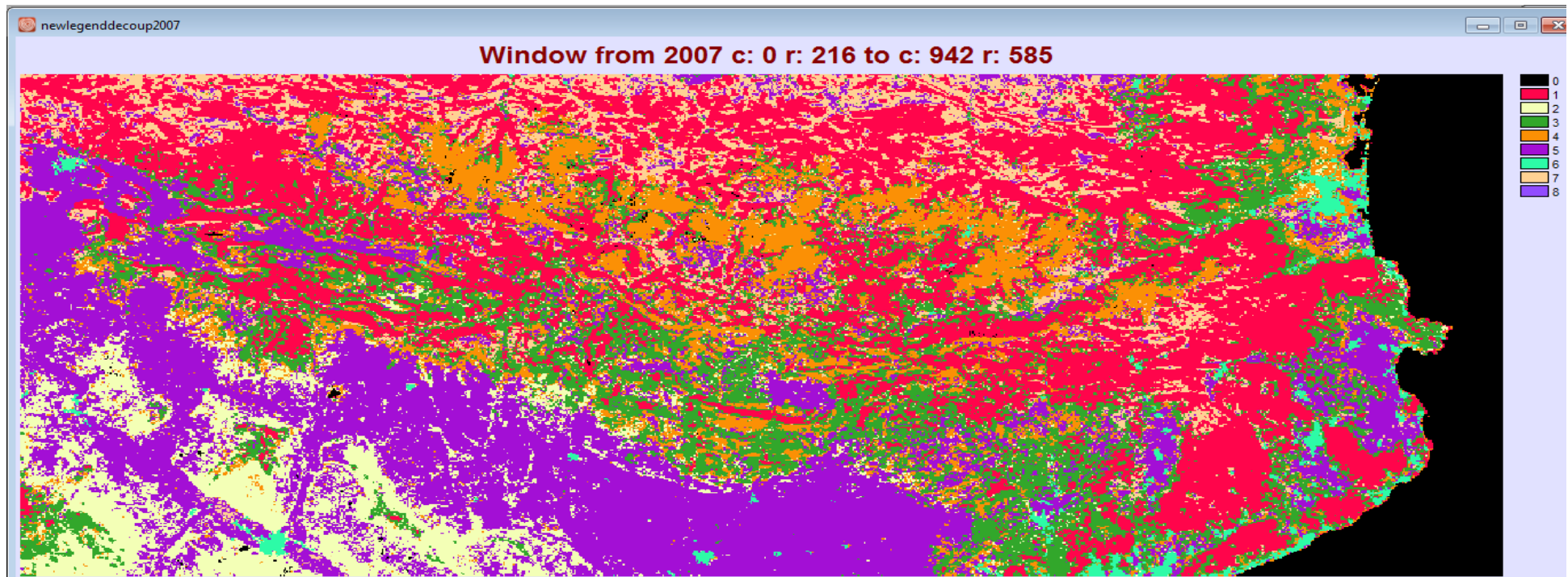
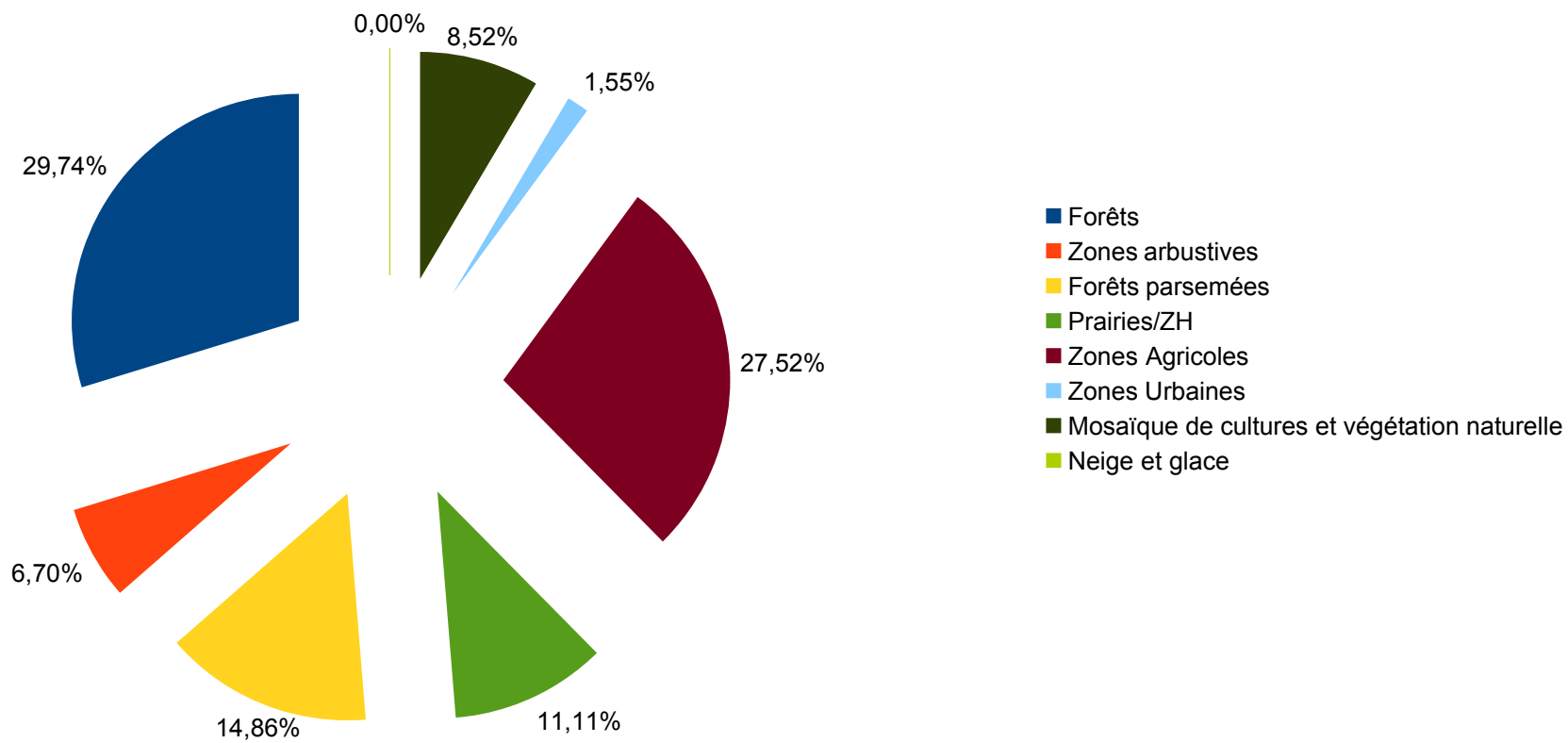


Fig. 15 : Image satellite 2007 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 46 : Pourcentage de population 2008



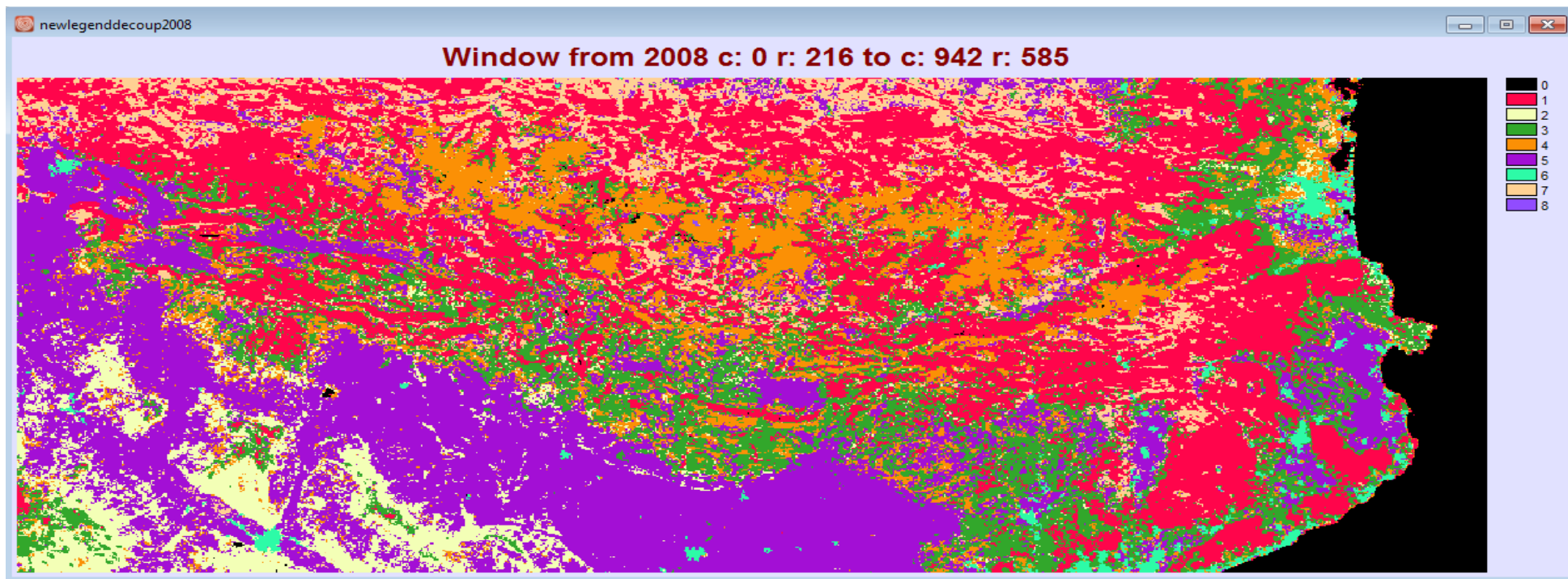
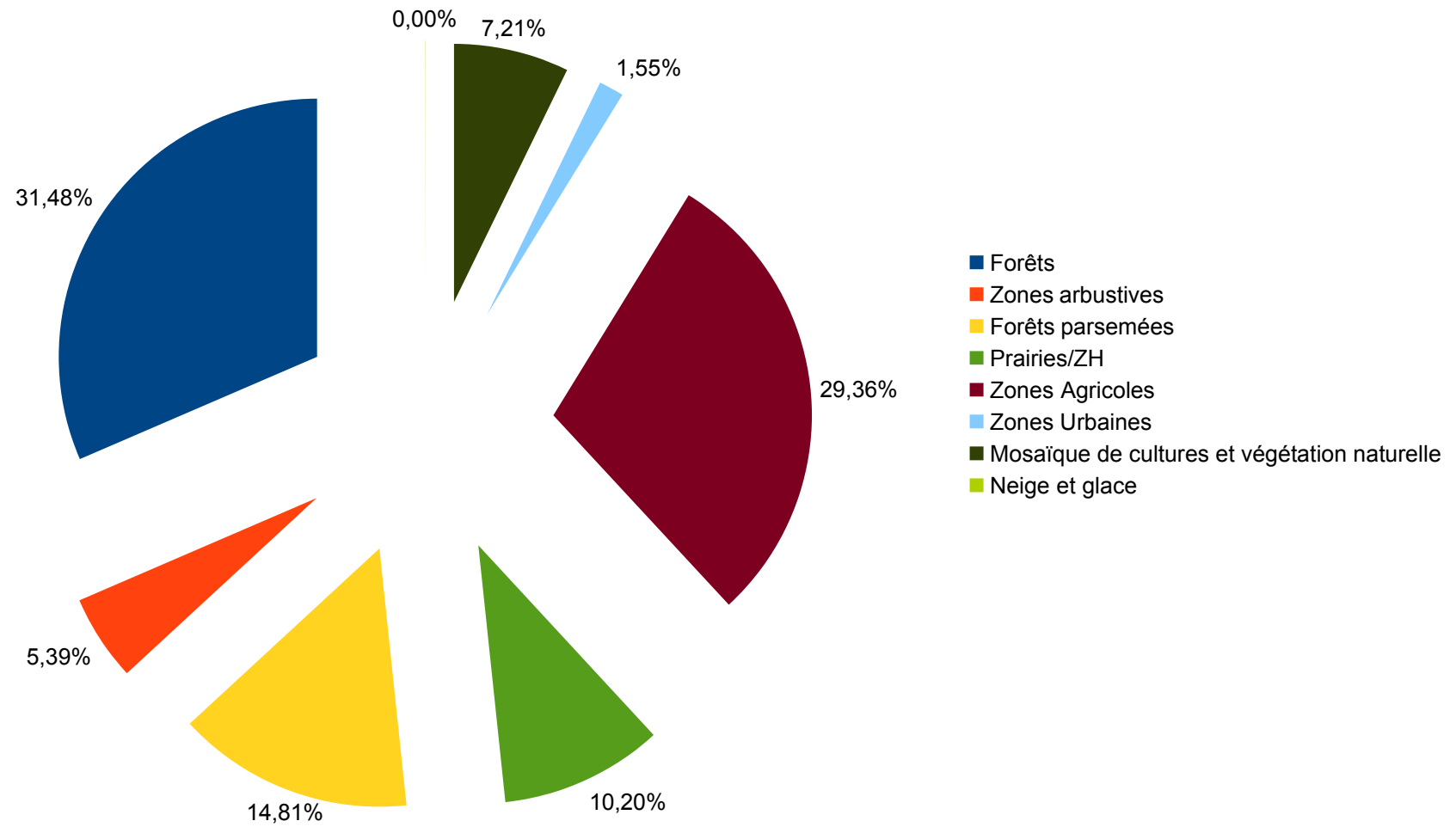


Fig. 47 : Image satellite 2008 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 16 : Pourcentage de population 2009



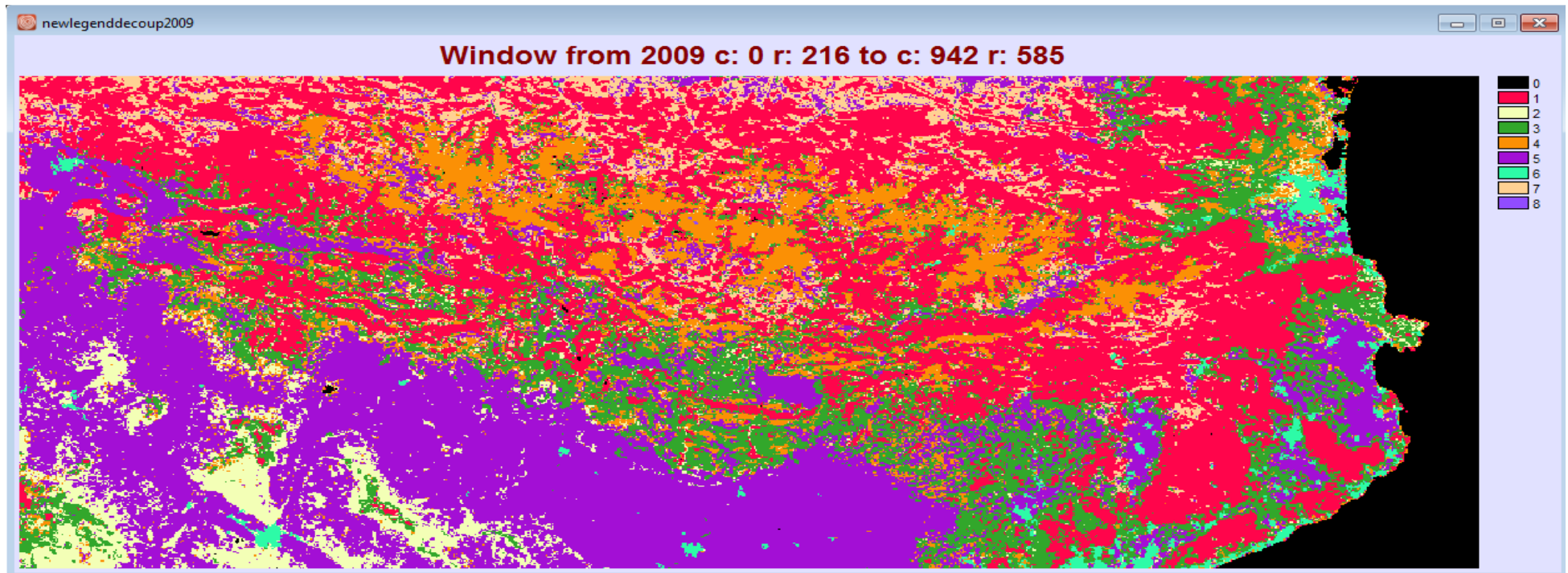
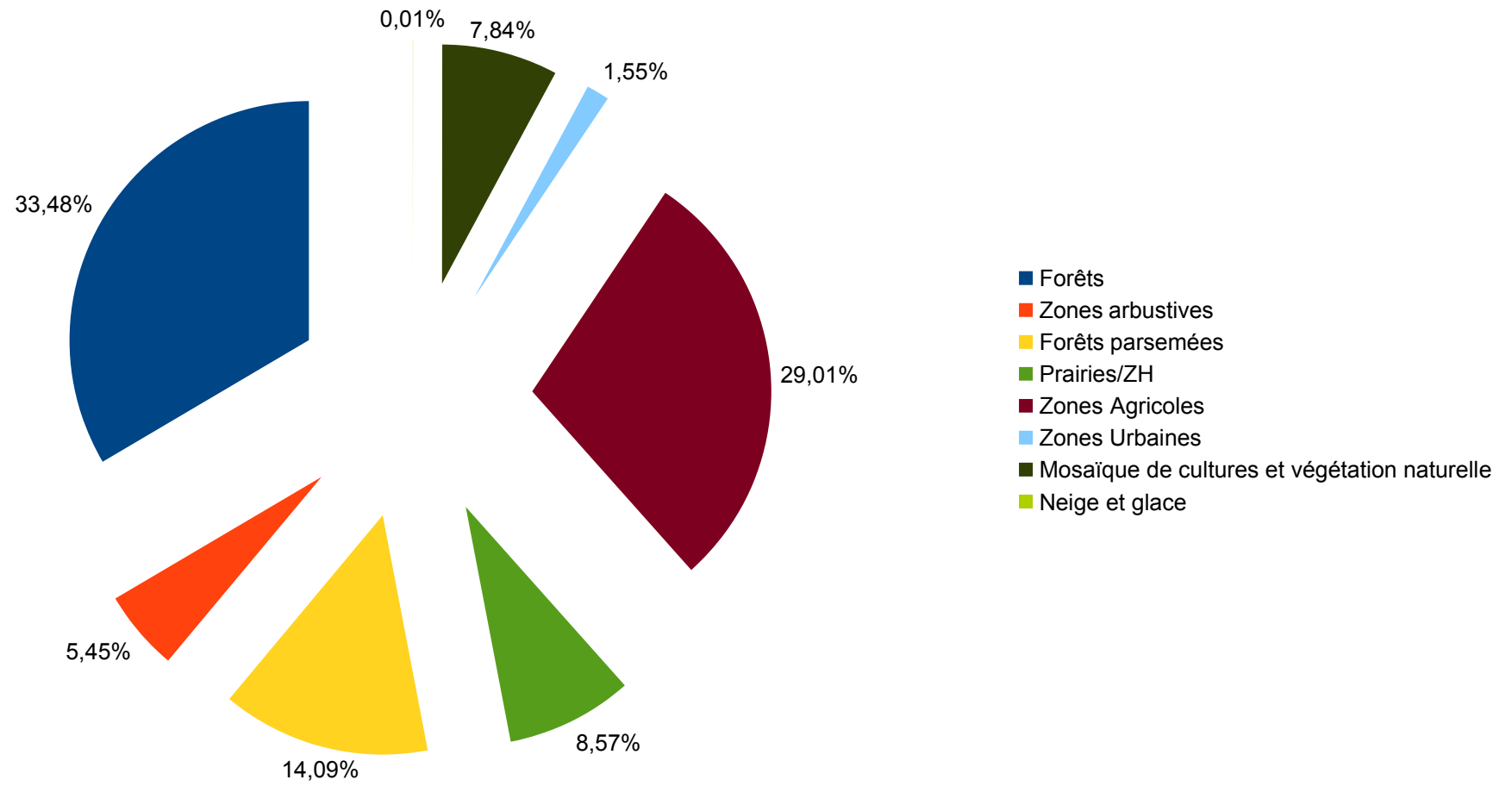


Fig. 17 : Image satellite 2008 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 48 : Pourcentage de population 2010



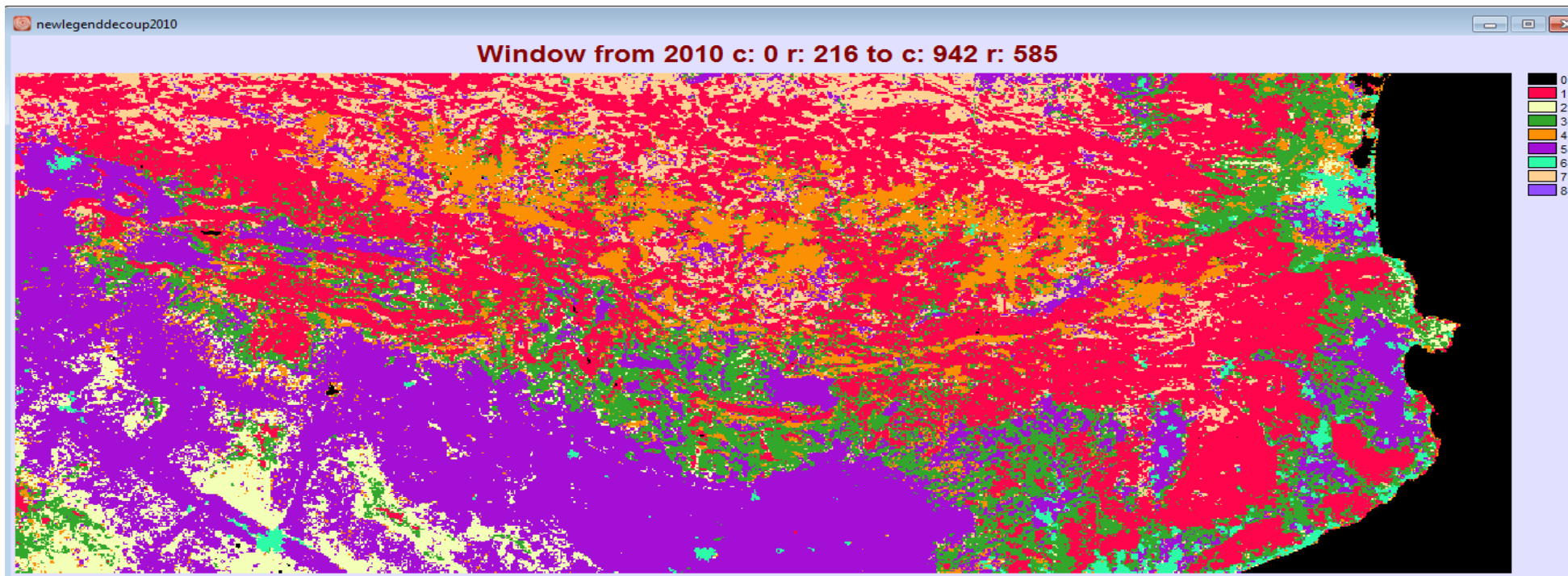
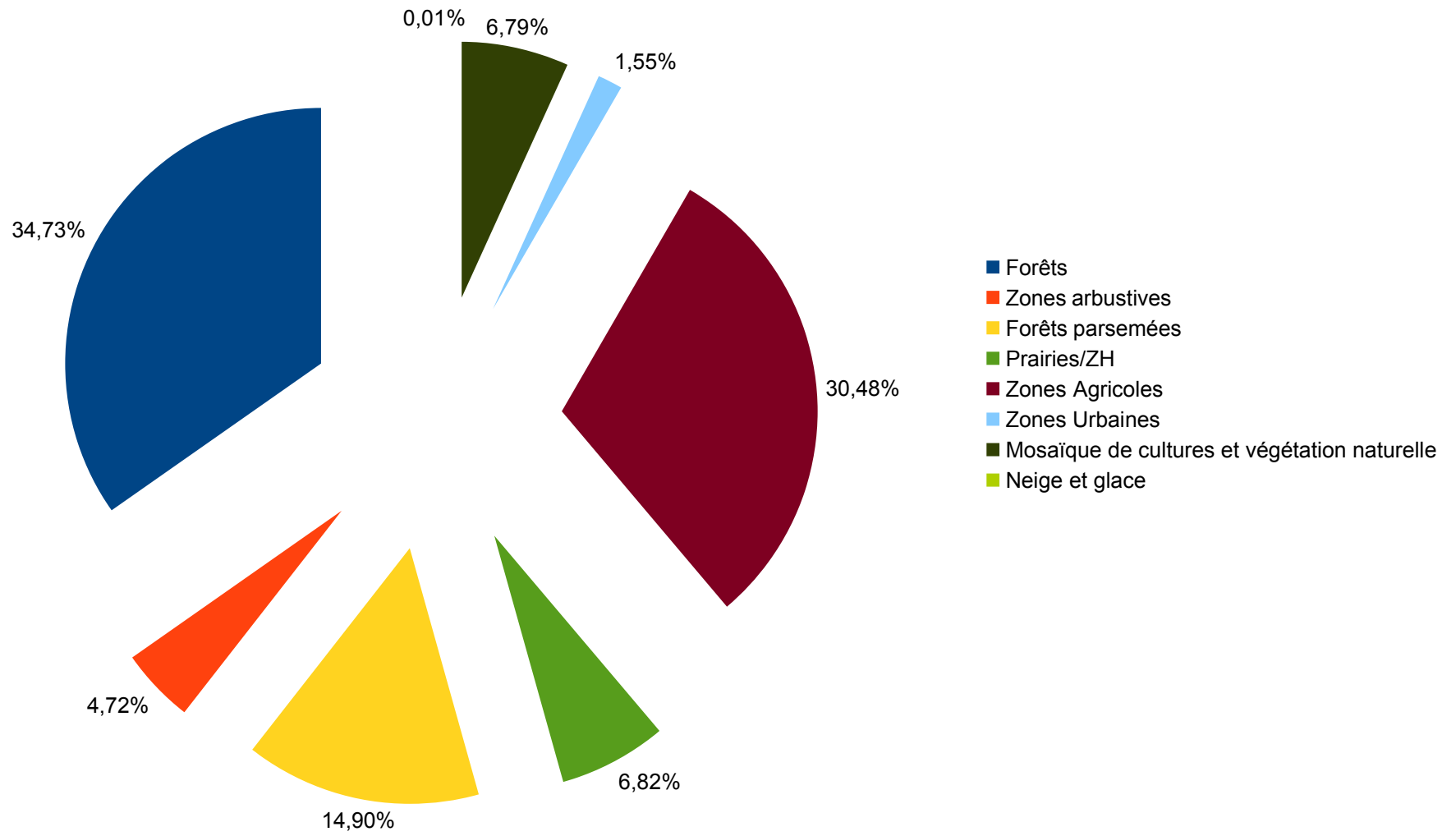


Fig. 49 : Image satellite 2010 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 50 : Pourcentage de population 2011



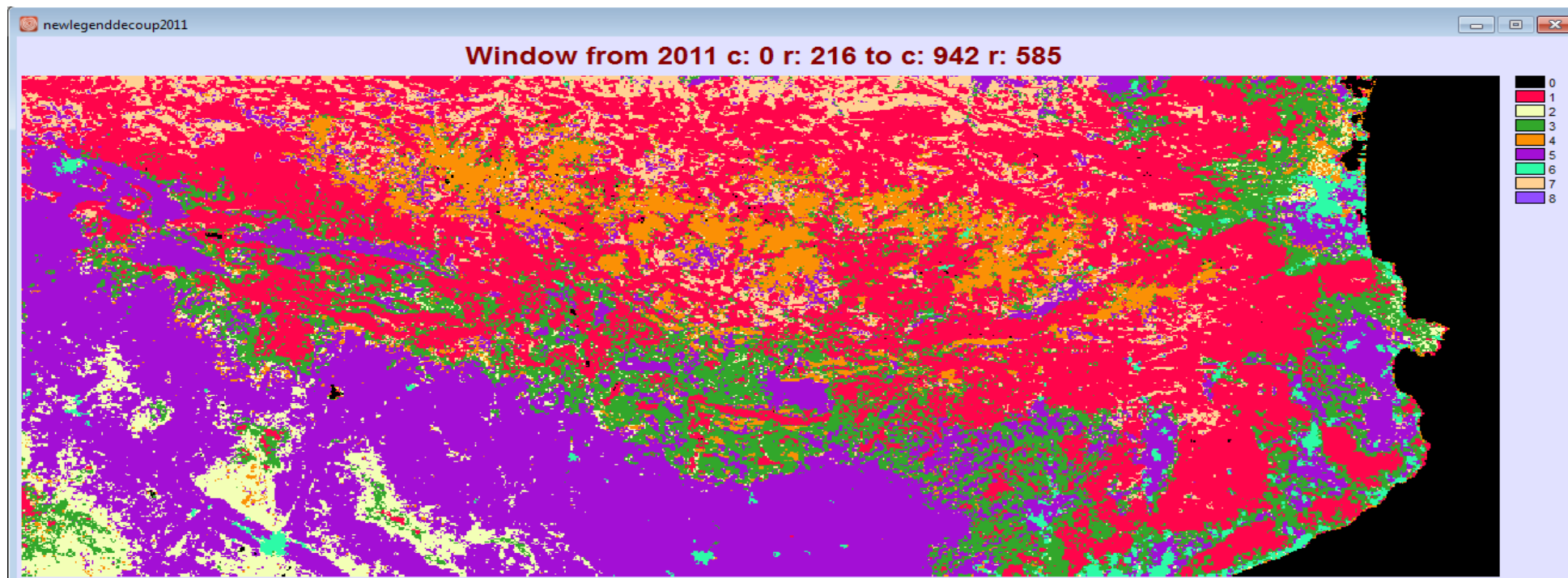
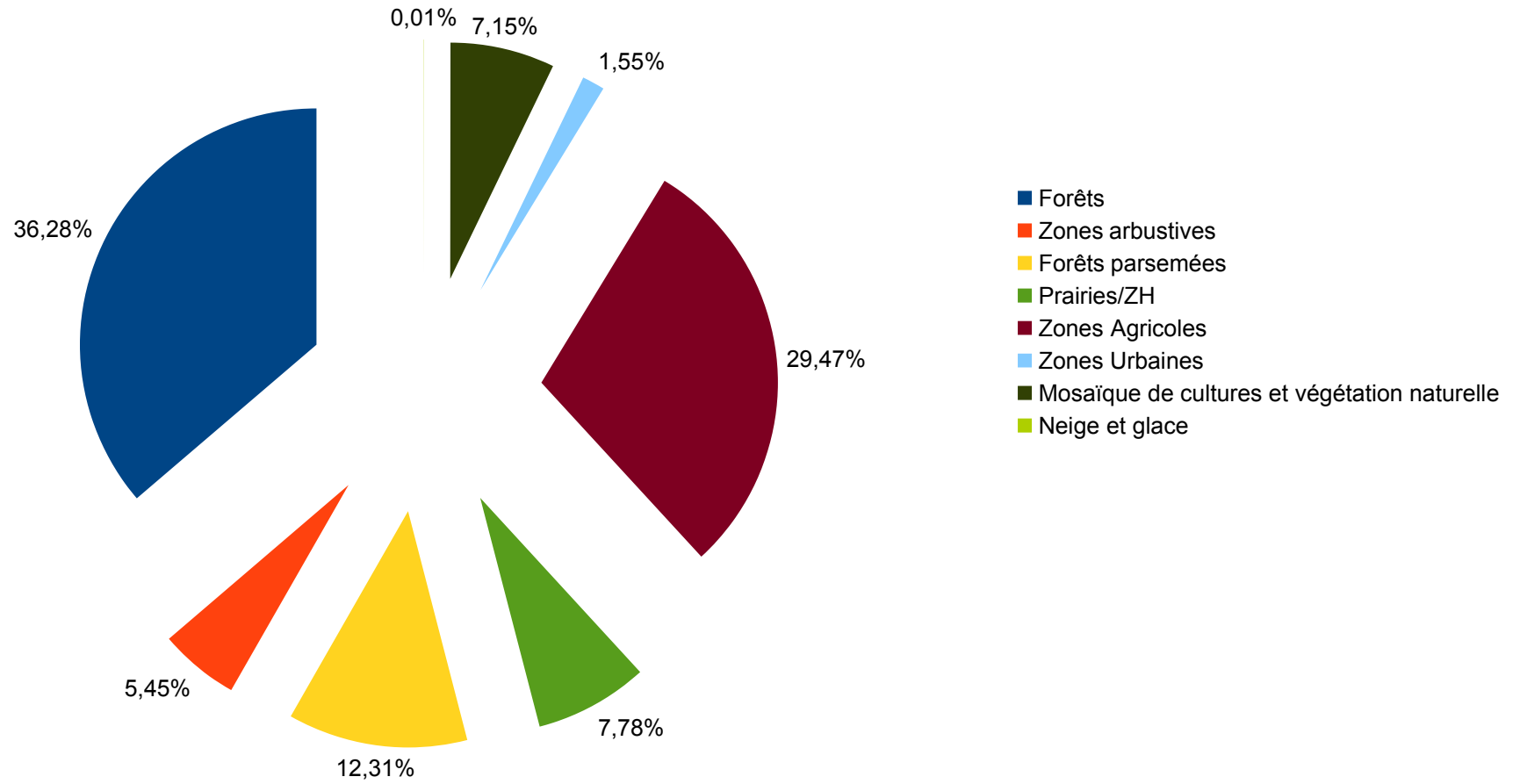


Fig. 51 : Image satellite 2011 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 18 : Pourcentage de population 2012



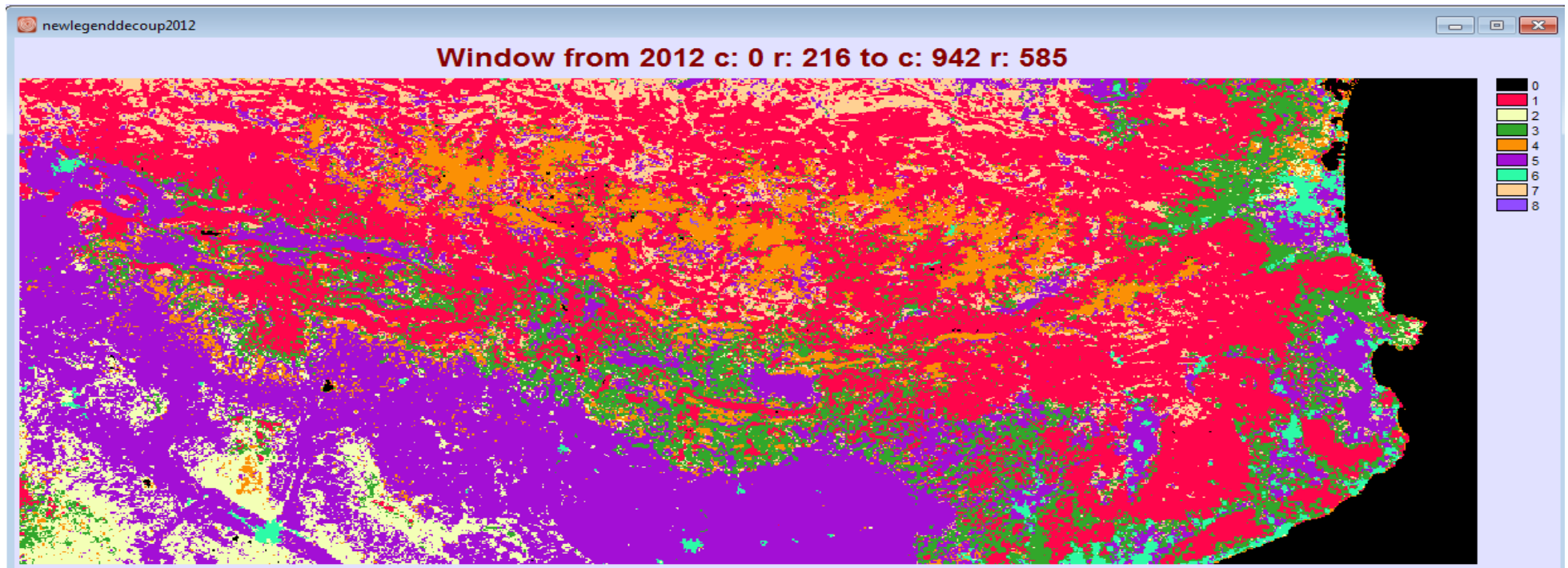


Fig. 19 : Image satellite 2012 : MODIS MCD12Q1 LANDCOVER TYPE 1

Fig. 33 : Taux de changement annuel de catégorie de pixels dans les Pyrénées

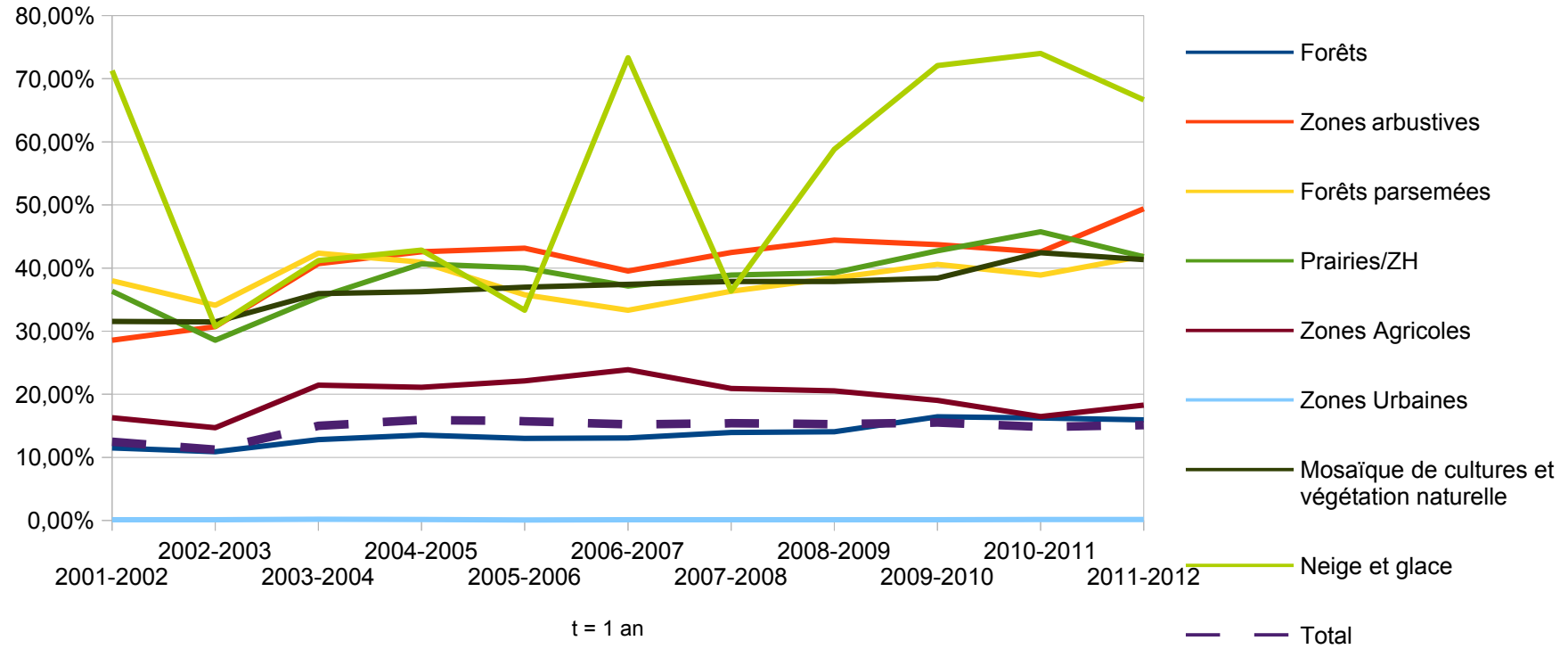


Fig. 52 : Taux total de changement biennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

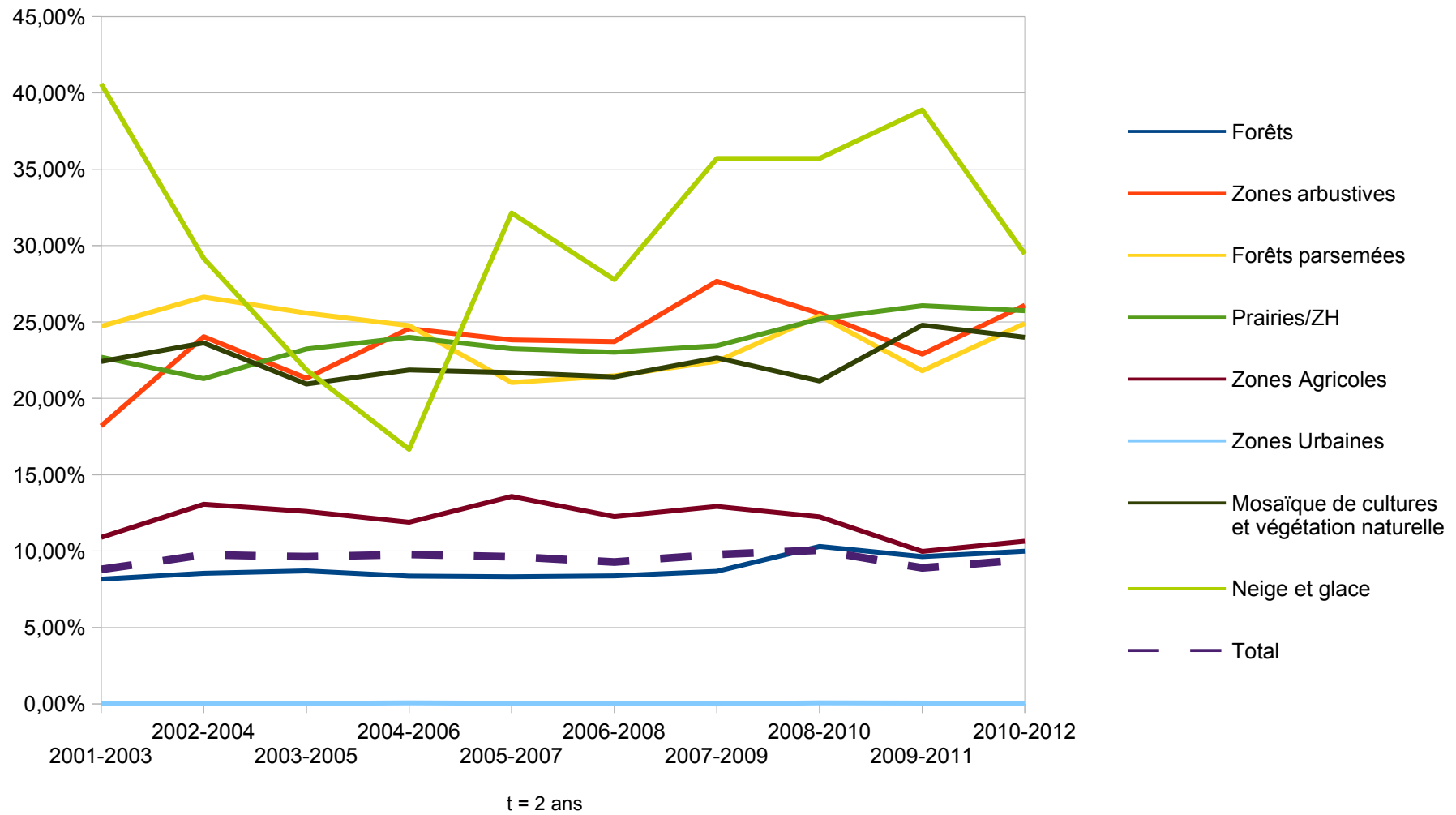


Fig. 53 : Taux total de changement triennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

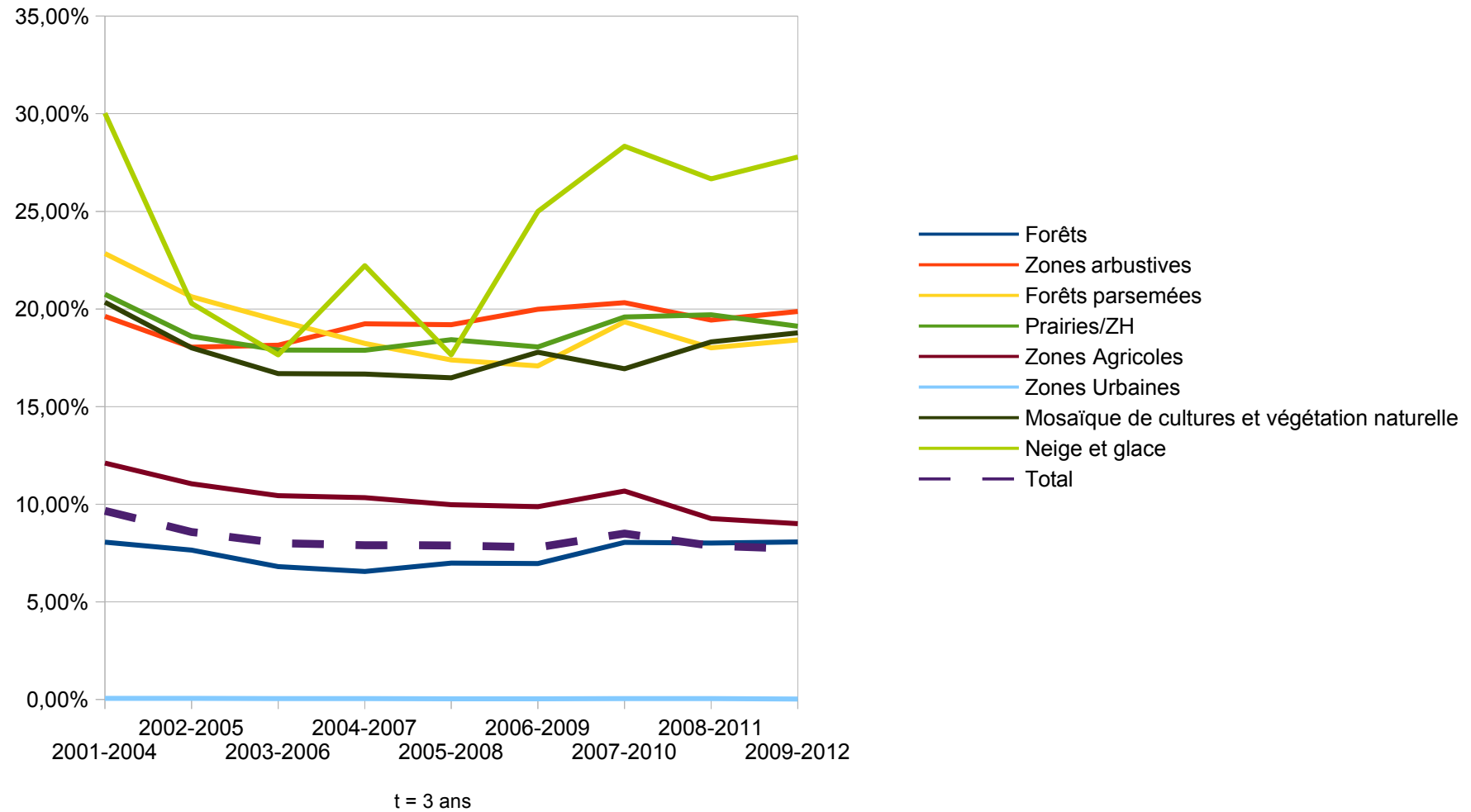


Fig. 54 : Taux total de changement quadriennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

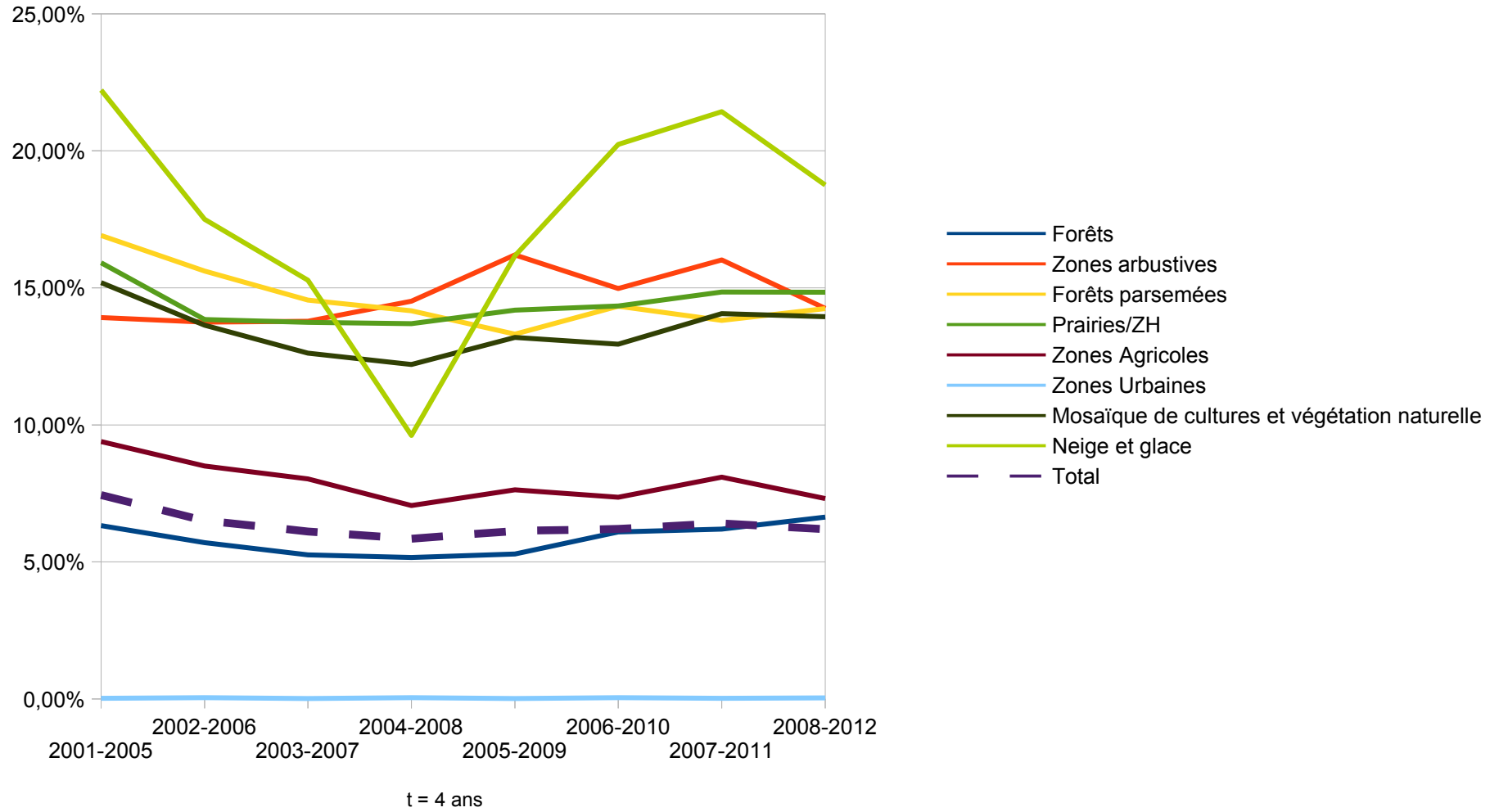


Fig. 35 : Taux total de changement quinquennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

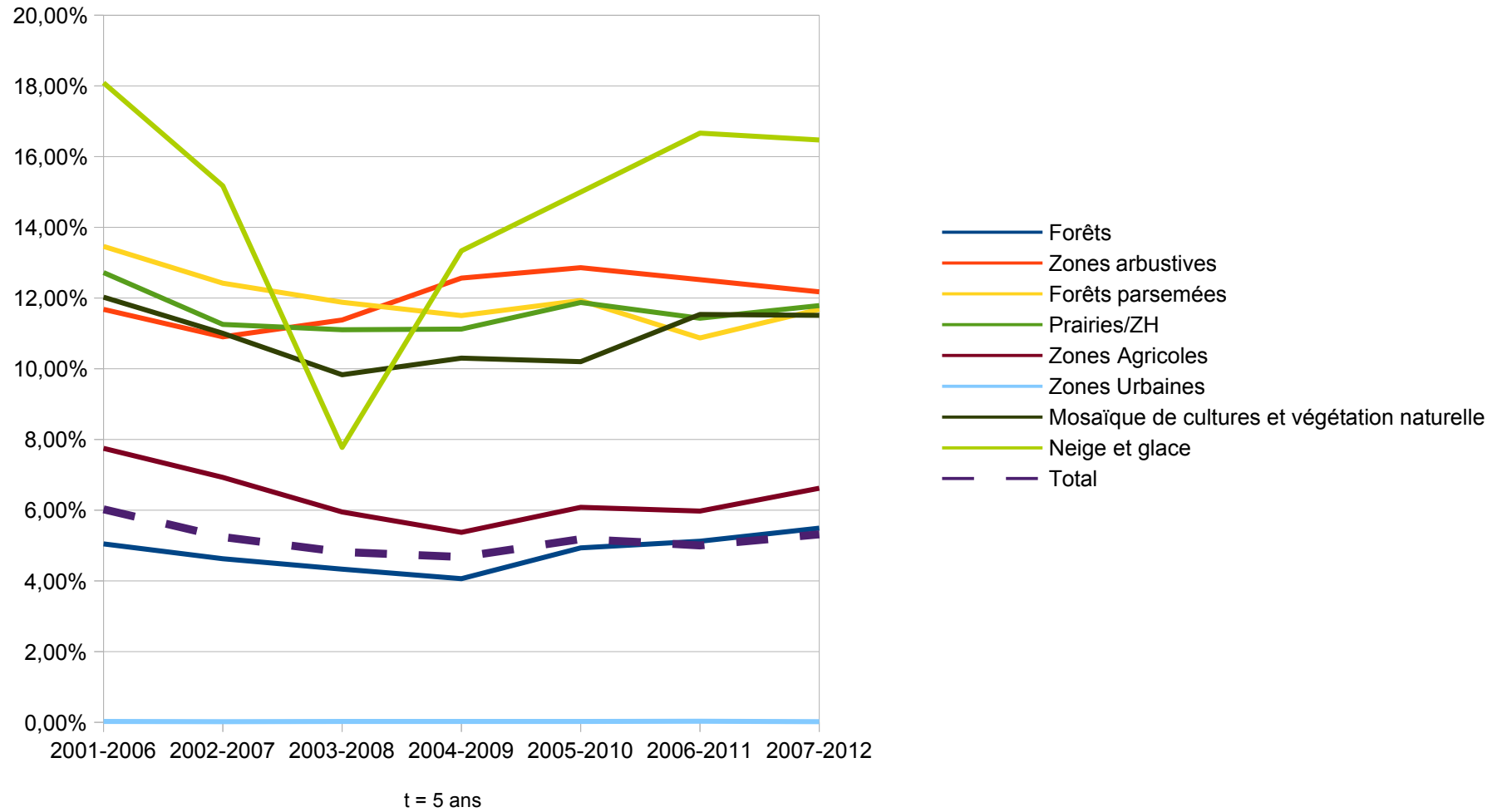


Fig. 55 : Taux total de changement sexennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

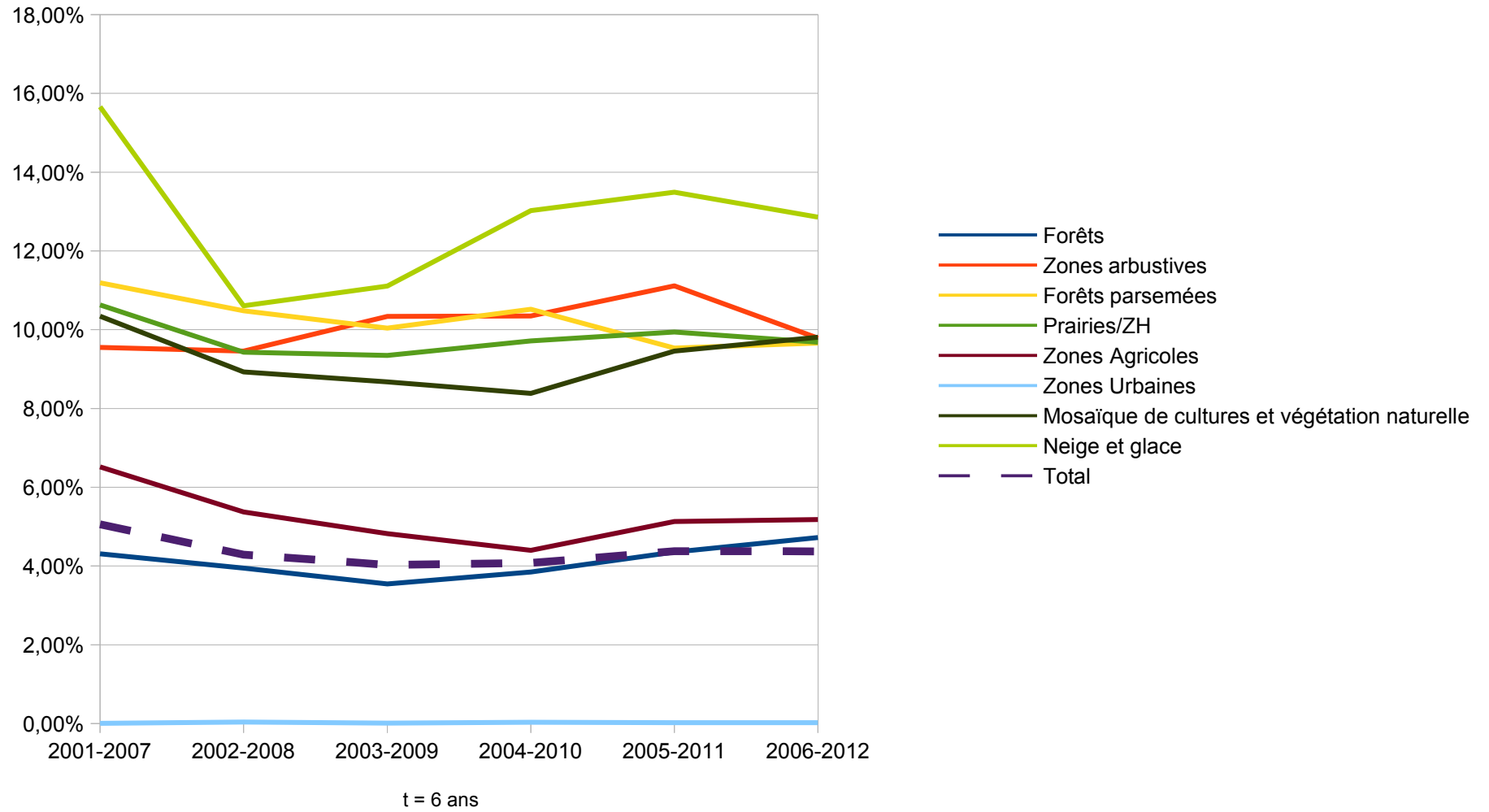


Fig. 56 : Taux total de changement spetennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

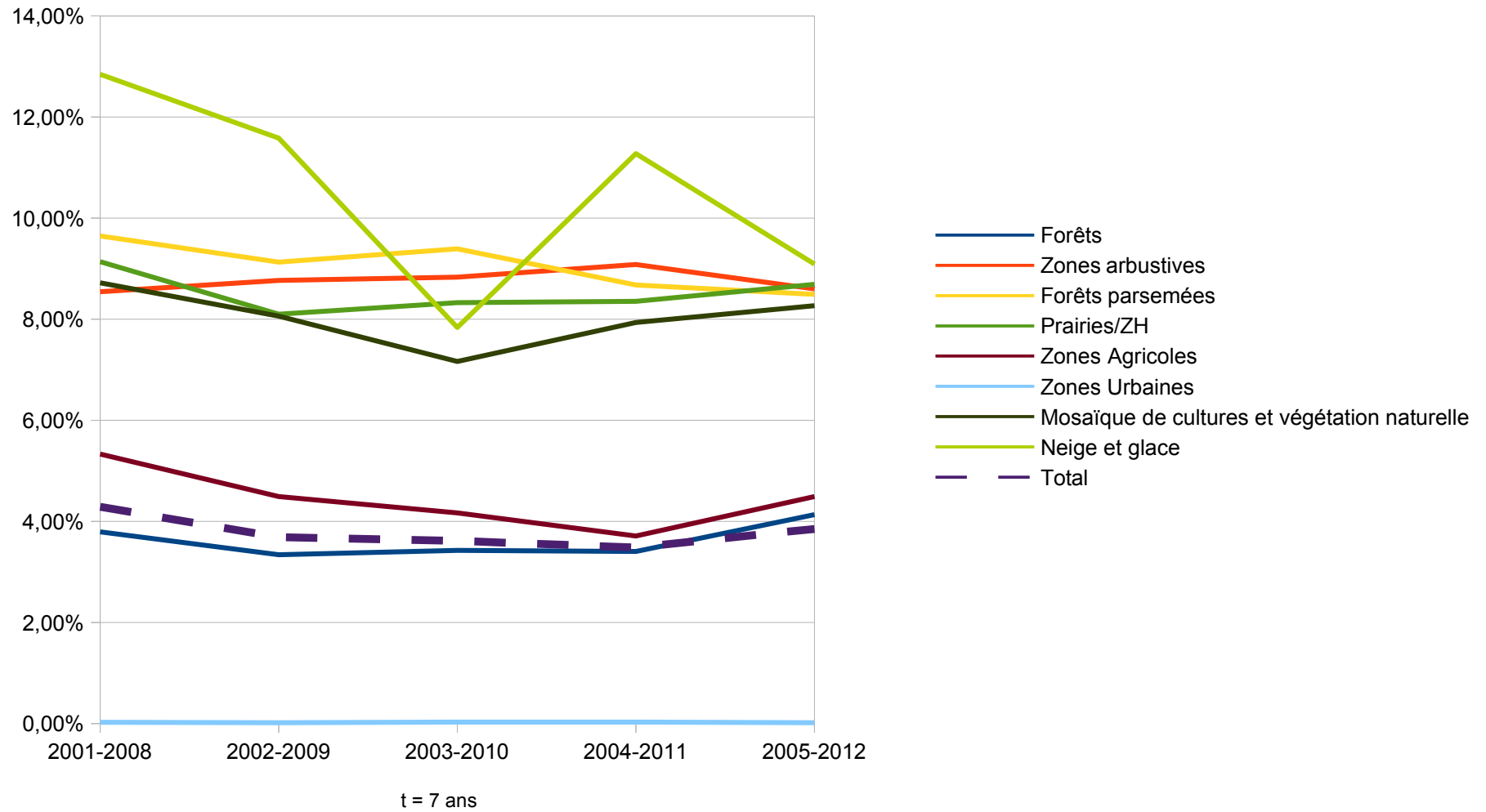


Fig. 57 : Taux total de changement octennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

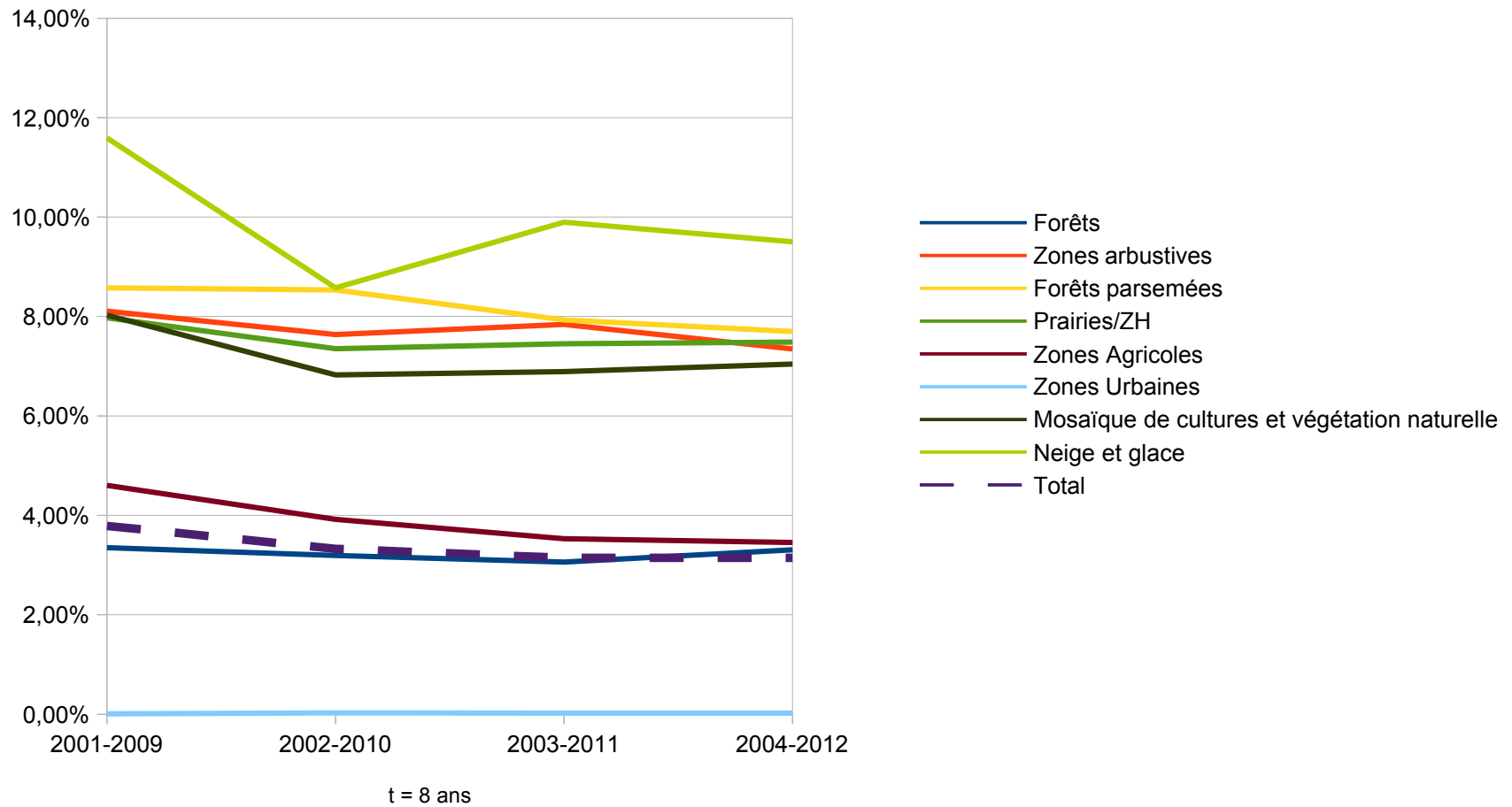


Fig. 58 : Taux total de changement novennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

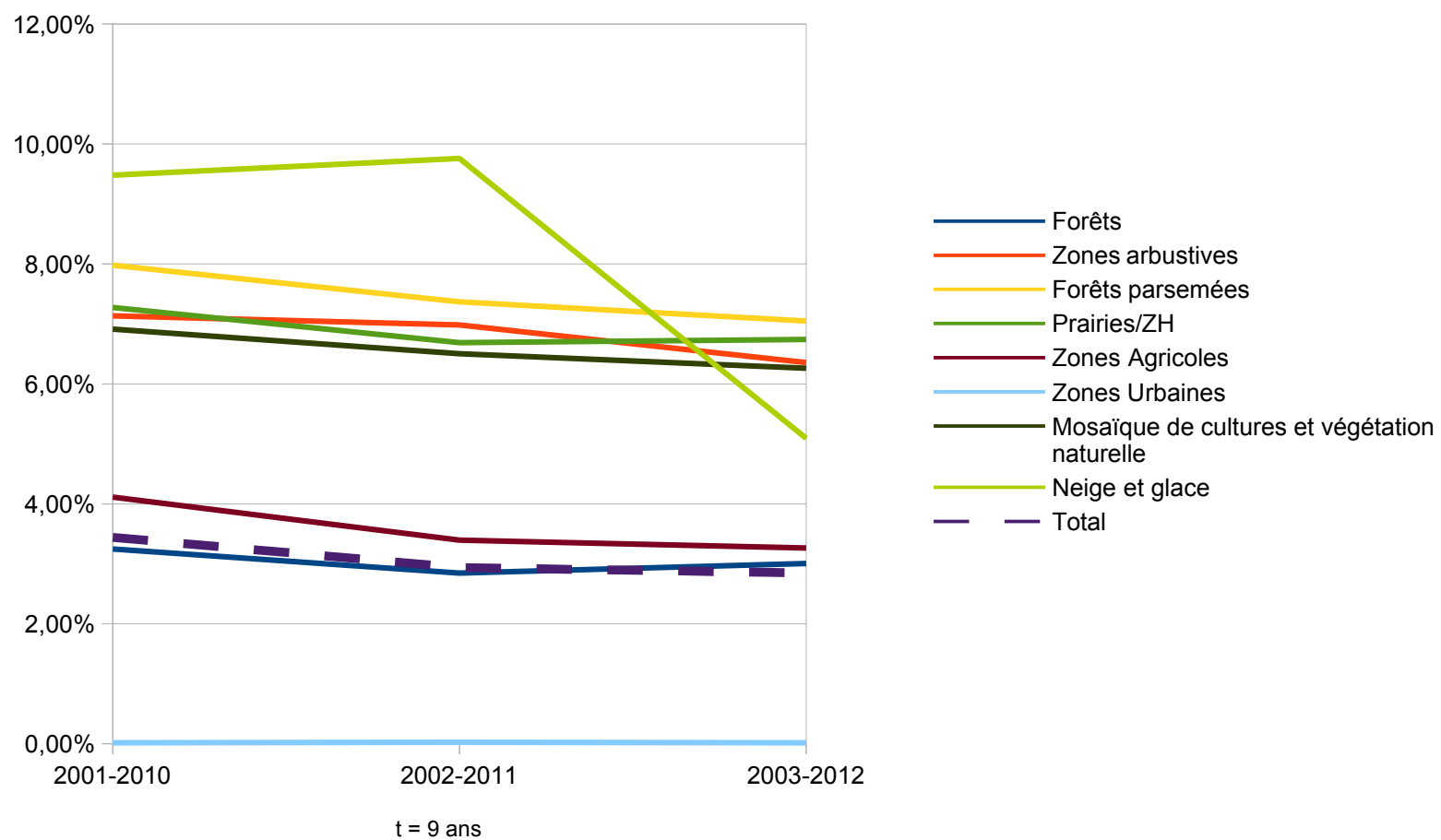


Fig. 59 : Taux total de changement décennal de catégorie de pixels dans les Pyrénées

