



Eau et urbanisme

L'imperméabilisation des sols urbains et périurbains

État des lieux et test d'une méthodologie par
télédétection infrarouge

a'urba.
agence d'urbanisme
Bordeaux métropole Aquitaine

Rapport d'étude

06/2015

provisoire

étape

définitif

Hangar G2 Bassin à flot n°1
Tél. : 33 (0)5 56 99 86 33

quai Armand Lalande
Fax : 33 (0)5 56 99 89 22

BP 71 F-33041 Bordeaux Cedex
e-mail contact@aurba.org

Résumé de l'étude



Cette étude, à caractère exploratoire, s'intéresse à la question de l'imperméabilisation des sols en espaces urbain et périurbain.

La première partie fait un état des lieux du phénomène d'imperméabilisation tel qu'il se pose aujourd'hui à l'échelle européenne, française et girondine.

La deuxième partie propose une méthode d'analyse cartographique permettant de mesurer avec une précision infra parcellaire les surfaces imperméabilisées sur le territoire de Bordeaux Métropole. La méthode mise au point a été testée sur deux sous-bassins versants : celui du Desclaux, affluent du Guâ en rive droite de la Garonne, et celui du Haillan, affluent de la Jalle de Saint-Médard en rive gauche.

La troisième partie présente et analyse les avantages et limites de la méthode et ses utilisations possibles.

Équipe projet

Sous la direction de
Antonio Gonzalez-Alvarez

Chefs de projet
Hélène Bucheli
Emmanuelle Goussot

Equipe projet
Jérôme Fuseau
Sandra Leroy

Avec la collaboration de
Rémi Croizet (Bordeaux Métropole - Direction de l'eau)
Joël Eoch (SIJALAG)
M. Gutierrez (BRGM)

Sommaire



1I Développement urbain et imperméabilisation des sols : état des lieux.....	9
1.1 Conséquences négatives de l'imperméabilisation des sols sur l'environnement.	9
1.1.1 État de la connaissance	9
1.1.2 Des incidences sur le cycle de l'eau problématiques en milieux urbains : le cas de l'agglomération bordelaise	11
1.1.3 L'imperméabilisation des sols : un facteur amplificateur des changements climatiques en cours en milieu urbain	14
1.2 État des lieux et dynamiques d'évolution de l'imperméabilisation des sols	15
1.2.1 Définitions utiles	15
1.2.2 État des lieux en Europe.....	16
1.2.3 En France : un ralentissement récent de l'artificialisation des sols en faveur d'une densification des espaces déjà urbanisés.....	18
1.2.4 Une tendance confirmée aux niveaux régional et local.....	19
1.3 La maîtrise de l'imperméabilisation des sols : cadre et outils juridiques.....	23
1.3.1 Un cadre légal en cours de construction ?.....	23
1.3.2 Les outils mis en œuvre sur le territoire de Bordeaux Métropole.....	25
2I Évaluation de l'imperméabilité des sols par télédétection : moyens et méthodes	29
2.1 Cadrage méthodologique : état des lieux des données disponibles.....	29
2.1.1 Des données géographiques insuffisantes pour mesurer l'imperméabilisation.....	29
2.1.2 Utilisation de la BD ORTHO® pour détecter la végétation à une échelle infra- parcellaire	31
2.2 Description de la méthode utilisée.....	33
2.2.1 Analyse et traitement de la BD ORTHO® IRC	33
2.2.2 Télédétection des sols perméables peu ou pas végétalisés	34
2.2.3 Analyse et télédétection des surfaces bâties et de la voirie.....	35
2.3 Analyse des résultats obtenus sur les deux territoires test.....	37
2.3.1 Présentation des territoires test.....	37
2.3.2 Analyse des résultats obtenus.....	40
3I Intérêt de la méthode et utilisations possibles.....	45
3.1 Avantages de la méthode proposée et limites de la donnée produite.....	45
3.1.1 Une donnée précise et relativement fiable	45
3.1.2 Une méthode reproductible et potentiellement pérenne	45
3.1.3 Des limites à connaître et des biais à corriger.....	46
3.2 De multiples utilisations possibles	46
3.2.1 Contribution à l'amélioration de la connaissance du comportement hydrologique du territoire urbain et périurbain.....	46
3.2.2 Un indicateur de suivi des dynamiques d'urbanisation du territoire.....	46
3.2.3 Un outil au service de la mise en œuvre ciblée d'outils de maîtrise de l'imperméabilisation des sols	47

Annexes	49
Annexe 1 : Glossaire	51
Annexe 2 : Bibliographie	56
Annexe 5 : modélisation de la sensibilité des sols au ruissellement.....	59

Table des illustrations

Figure 1 : imperméabilisation des sols et températures mesurées au sol le 1 ^{er} août 2005 à Budapest (source : AEE).....	11
Figure 2 : réseau hydrographique du territoire de Bordeaux Métropole	12
Figure 3 : La résolution des données d'occupation du sol disponibles localement et présentées ci-dessus (Corine Land Cover ² 2006 au centre et GEOSAT ² 2010 à droite) est insuffisante pour mettre en évidence les parties perméables et imperméables des sols inclus dans le tissu urbain.	15
Figure 4 : sols imperméabilisés en pourcentage de la superficie des pays en 2006 (source : agence européenne pour l'environnement, 2010).	16
Figure 5 : taux d'imperméabilisation par surface urbanisée et par habitant dans les principales villes européennes (source : agence européenne pour l'environnement, 2010).16	16
Figure 6 : progression de l'artificialisation et augmentation de la population en France métropolitaine entre 2000 et 2006 (source : UE-SOeS, Corine land Cover, Insee - CGDD)	18
Figure 7 : occupation des sols en 2006 (CLC)	20
Figure 8 : évolution de la tâche urbaine entre 1996 et 2010 à l'échelle du Sysdau (source : a-urba)	21
Figure 9 : à gauche : exemple d'image « vraies couleurs » (canaux rouge, vert, bleu). À droite : exemple d'image « fausses couleurs » (canaux infrarouge, rouge, vert).....	31
Figure 10 : image fausse couleur de la BD ortho IRC	33
Figure 11 : image après application de l'indice de végétation NDVI.....	34
Figure 12 : résultat obtenu à l'issue de la deuxième étape	35
Figure 13 : le bâti et la voirie après géotraitement.....	36
Figure 14 : résultat final	36
Figure 15 : localisation des deux sous-bassins versants test.....	39
Figure 16 : occupation du sol des sous-bassins versants du Desclaux et du Haillan.....	41
Figure 17 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème du sous-bassin versant du Desclaux.....	60
Figure 18 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème du sous-bassin versant du Haillan	60

Préalable et objectifs de l'étude



L'imperméabilisation des sols et ses incidences négatives sur le cycle de l'eau (accroissement du risque inondation, risque accru de pollution des nappes et des cours d'eau, augmentation des coûts d'assainissement...) figurent en bonne place dans la liste des effets négatifs sur l'environnement de l'étalement urbain observé en France et en Europe depuis les années 1950.

Si la maîtrise de l'étalement urbain demeure l'un des principaux objectifs d'un développement durable, il est probable qu'en la matière, le « pire » ait été déjà fait durant les trois dernières décennies¹... Parallèlement à la réduction de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers en frange et à l'écart des agglomérations, la maîtrise voire la réduction de l'imperméabilisation des sols dans les espaces déjà urbanisés au sein des agglomérations devient elle aussi un enjeu crucial pour réduire la vulnérabilité des milieux urbains aux effets des changements climatiques en cours et à venir (en particulier effet îlot de chaleur urbain et risque inondation accru). Cet enjeu est à concilier et à articuler avec deux autres objectifs importants en matière d'urbanisme :

- le renforcement de présence de nature en ville ;
- la nécessité de « reconstruire la ville sur elle-même », en optimisant le foncier libre dans les espaces déjà urbanisés.

Sur le territoire de l'agglomération bordelaise, touché par le risque inondation pluviale, cette question se pose avec une acuité particulière en raison de sa vulnérabilité aux risques inondations (pluviale et fluvio-matitime).

Dans ce contexte, cette étude à caractère exploratoire poursuit deux principaux objectifs :

- dresser un état des lieux du phénomène d'imperméabilisation des sols et de sa prise en compte à l'échelle européenne, nationale, et locale ;
- améliorer la connaissance de ce phénomène sur le territoire de Bordeaux Métropole, en proposant une méthode permettant d'évaluer l'imperméabilisation des sols.

¹ Cf le Point sur n°10, avril 2009, CGDD : ralentissement de l'artificialisation des sols observé depuis 1990 grâce aux données Corine Land Cover et partie 2 du présent rapport.



1 | Développement urbain et imperméabilisation des sols : état des lieux

1| Développement urbain et imperméabilisation des sols : état des lieux

1.1 | Conséquences négatives de l'imperméabilisation des sols sur l'environnement

1.1.1 | État de la connaissance

Les principales conséquences environnementales connues de l'imperméabilisation des sols sont les suivantes :

Incidences sur l'eau

La diminution du couvert végétal et l'imperméabilisation des surfaces entraînent de nombreuses perturbations sur le cycle de l'eau :

- **Des pics de crues plus rapides et plus élevés**

L'infiltration des eaux pluviales dans le sol permet de retarder leur arrivée dans les rivières et réduit le risque inondation. En limitant, voire en empêchant, l'absorption de l'eau de pluie, l'imperméabilisation favorise une saturation des sols plus rapide et plus fréquente. Il en résulte une augmentation du ruissellement des eaux et une accélération de leur transfert vers les cours d'eau, et ainsi une hausse considérable de la vitesse et de l'ampleur des débordements.

À noter également que le réseau hydrographique présent sur l'aire métropolitaine bordelaise a été historiquement fortement aménagé et artificialisé pour répondre aux besoins locaux. Il s'agissait en effet à l'époque, et aujourd'hui encore, d'évacuer les eaux le plus rapidement possible. Cette canalisation et/ou cette rectification des cours d'eau a cependant favorisé des pics de crues aujourd'hui plus rapides et plus élevés, et leur propagation vers l'aval.

- **Un débit menacé en période d'étiage**

En empêchant l'infiltration naturelle dans le sol, l'imperméabilisation des sols limite le réapprovisionnement des nappes phréatiques et ainsi le débit des cours d'eau en période estivale.

- **Un risque pour la qualité des cours d'eau**

Le pouvoir filtrant des sols permet de limiter le transfert des polluants vers les nappes et les cours d'eau. Lorsque l'eau de pluie passe dans le sol, certains des contaminants qu'elle contient sont conservés par le sol tandis que d'autres sont dégradés par les micro-organismes présents. En ruisselant sur les surfaces imperméables, les eaux pluviales se chargent en éléments polluants par lessivage (HAP², matières en suspension, produits phytosanitaires, métaux lourds, etc.) susceptibles de rejoindre les cours d'eau et les nappes.

² HAP : hydrocarbure aromatique polycyclique

Incidences sur la biodiversité

- **Un risque de perte de biodiversité**

Le sol constitue un réservoir de biodiversité, avec des millions d'espèces non encore identifiées, dont les actions lui permettent d'assurer certains services environnementaux. Les micro-organismes qui s'y trouvent jouent un rôle fondamental dans la décomposition de la matière organique du sol, dans le recyclage de nutriments, et dans le captage et le stockage du carbone, et également dans la dégradation de nombreux polluants organiques. Cette activité biologique des sols permet de le structurer, de le rendre plus perméable à l'eau et de favoriser l'implantation de cultures. Le sol est également essentiel à la survie de la plupart des espèces de surface. De nombreuses espèces animales en sont tributaires pour certaines phases de leur développement, pour se reproduire, pour nidifier ou encore pour s'alimenter.

- **Une fragmentation des habitats naturels**

En fragmentant les habitats naturels et en privant les êtres vivants dans le sol d'eau, d'oxygène et des nutriments issus de la biomasse végétale, l'imperméabilisation des sols nuit ainsi à la diversité biologique, tant terrestre que souterraine.

Impacts sur le climat

- **Une capacité de stockage du carbone atmosphérique diminuée**

Le sol est un élément clé du cycle global du carbone et influe sur le climat. Imperméabilisé, il perd sa capacité naturelle à fixer le carbone atmosphérique. On estime en effet que le sol absorbe près de 20 % des émissions atmosphériques de CO₂. En France métropolitaine, les stocks de carbone organique dans la couche superficielle (0-30 cm) des sols sont ainsi évalués à environ 3 milliards de tonnes.

- **Une accentuation des effets « îlots de chaleur urbain »**

En milieu urbain, la disparition de la végétation en faveur de l'imperméabilisation et l'absorption accrue de l'énergie solaire par les surfaces asphaltées, en béton et par les toits, contribuent fortement à l'effet « îlots de chaleur urbain ». Un sol végétalisé favorise en effet un climat plus équilibré du fait des échanges d'eau entre l'atmosphère et le sol et réduit les fortes températures grâce à l'effet de refroidissement produit et à l'ombre procurée par la végétation.

Cet effet de refroidissement est confirmé par un certain nombre d'études qui mettent en avant que :

- la température maximale de l'air dans un bosquet ombragé est inférieure de 5°C à la température de l'air sur un terrain nu ;
- un arbre avec un houppier de 10 cm de diamètre évapore 400 L/jour et a une capacité de refroidissement comparable à celle de 10 climatiseurs.

Considérant que la température moyenne en Europe augmente, ainsi que la fréquence des vagues de chaleur, une imperméabilisation élevée des sols ne fera qu'exacerber la vulnérabilité des villes à l'effet d'îlot de chaleur urbain. Les villes avec des niveaux élevés d'imperméabilisation des sols et situées dans des zones où l'augmentation du

nombre de nuits chaudes ($T_{min} > 20^{\circ}\text{C}$) est prévue sont plus vulnérables au changement climatique et ont besoin de mesures d'adaptation appropriées.

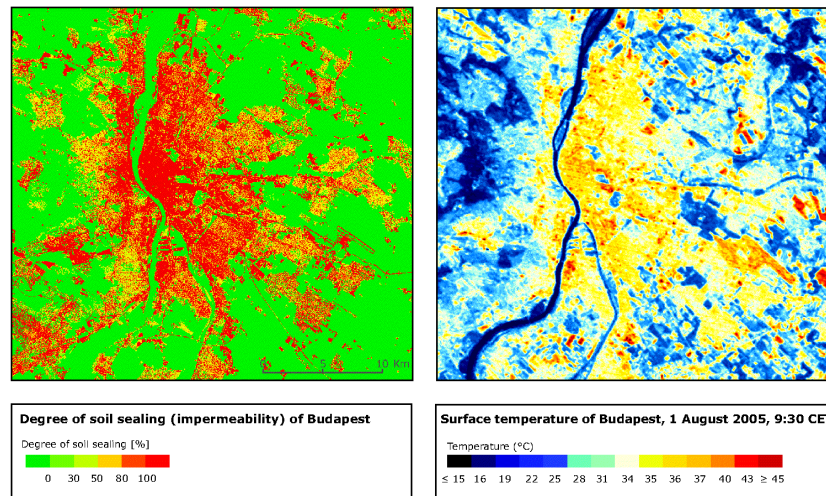


Figure 1 : imperméabilisation des sols et températures mesurées au sol le 1^{er} août 2005 à Budapest (source : AEE)

1.1.2 | Des incidences sur le cycle de l'eau problématiques en milieux urbains : le cas de l'agglomération bordelaise

Un contexte hydrologique contraint et un territoire touché par le risque d'inondation par ruissellement pluvial

L'agglomération bordelaise s'est développée au centre d'un territoire en hémicycle de 90 000 ha drainé par plus de 150 jalles, esteys, berles, crastes et autres ruisseaux. La topographie est caractérisée par des terrains de faible pente sur la rive gauche, une plaine alluviale endiguée et des coteaux qui surplombent le fleuve sur la rive droite au relief de coteaux plus marqué. Le territoire est également concerné par la forte présence de nappes sub-affluentes (risque de remontée de nappe) dans la plaine alluviale mais également sur le plateau sableux landais (nappe plio-quadernaire).

La Garonne, dans sa traversée de l'agglomération bordelaise, subit l'influence des marées, faisant varier son niveau de 7 m maximum : près de 13 500 ha se situent en dessous des plus hautes eaux de la Garonne, interdisant un assainissement pluvial gravitaire à marée haute.

La pluviométrie est caractéristique d'un climat océanique, avec des épisodes pluvieux plus abondants et de longue durée en hiver, plus rares en été et en début d'automne, saisons pendant lesquelles les précipitations parfois violentes, sous forme d'averses orageuses, ne sont pas rares. Le cumul annuel de précipitations (910 mm/an) est supérieur à la moyenne nationale.

Compte tenu de l'ensemble de ces caractéristiques cumulées à l'imperméabilisation des sols liée à l'important développement urbain observé sur la période 1960-1990, le territoire de Bordeaux Métropole est particulièrement touché par les risques inondation et a longtemps été très vulnérable face au risque inondation par ruissellement pluvial.

Des conséquences notables sur la qualité de la ressource en eau

La qualité des cours d'eau parcourant le territoire de la Cub (Garonne, Gironde et principaux affluents) en 2009, varie d'un état écologique moyen à mauvais, l'état chimique pouvant être qualifié de bon à mauvais également (source : AEAG). Le caractère oligotrophe (pauvre en éléments nutritifs) des cours d'eau secondaires en rive gauche et les caractéristiques estuariennes de la Garonne et de la Gironde, soumises au phénomène de « bouchon vaseux » (sous oxygénation des eaux en période d'étiage) sont à l'origine d'une faible réceptivité du milieu aux rejets. Ainsi, malgré les efforts récents réalisés en matière d'assainissement collectif par la Cub (mise aux normes de plusieurs stations d'épurations), les rejets dans le milieu (cours d'eau) en période pluvieuse constituent une source de pollution chronique et d'altération de la qualité des eaux superficielles. Cette situation s'explique par les caractéristiques initiales du système d'assainissement conçu pour lutter contre le risque inondation (impératif d'évacuation rapide des eaux vers l'aval).

Compte tenu la responsabilité du territoire dans la conservation de plusieurs espèces piscicoles menacées (esturgeon, saumon atlantique, anguille...) et des objectifs d'atteinte du bon état des masses d'eau fixés par la Directive Cadre sur l'Eau (DCE), le SAGE Estuaire de la Gironde et milieux associés (approuvé en 2013) fixe des objectifs en la matière : le nombre de jours maximum consécutifs par an durant lesquels la teneur en oxygène dissous dans l'eau à l'aval de la Garonne et de la Dordogne est inférieure à 5 mg/l est limité à 9 (en 2009, la teneur en oxygène dissous est restée inférieure à 5 mg/l pendant 33 jours).

L'une des principales conséquences de l'imperméabilisation des sols liée à l'important développement urbain connu par l'agglomération bordelaise depuis les années 1960 fut les inondations par ruissellement pluvial qui l'ont touchée dans les années 1980. La politique mise en œuvre par Bordeaux Métropole depuis (ouvrages de stockage des eaux pluviales, système RAMSES, solutions compensatoires...) a permis de maîtriser globalement ce risque, même si des secteurs sont encore touchés par des débordements de cours d'eau, notamment en rive droite.

La protection de la qualité des eaux superficielles constitue un enjeu émergent pour le territoire (DCE, SAGE), qui plaide également pour une maîtrise de l'imperméabilisation des sols.

1.1.3 | L'imperméabilisation des sols : un facteur amplificateur des changements climatiques en cours en milieu urbain

Selon le Groupement d'experts Intergouvernemental sur l'Evolution du Climat (GIEC), la température terrestre devrait augmenter de 1,8°C (en cas de réduction drastique des émissions de gaz à effet de serre des activités humaines) à 4,8°C (sans la mise en œuvre des mesures de réduction des émissions de GES) d'ici 2100.

Bien que les tendances d'évolutions envisagées diffèrent selon les sources, localement les principales conséquences des changements climatiques prévus sur le cycle de l'eau pourraient être les suivantes :

- une augmentation dans la fréquence de retour d'événements extrêmes pluie ou tempêtes (encore aggravée par la hausse potentielle du niveau des eaux), provoquant des inondations d'un niveau encore inconnu et susceptible de remettre en question le bon dimensionnement du système d'assainissement pluvial ;
- une modification importante du régime hydrologique des cours d'eau, ainsi que du bilan des nappes aquifères. La réduction de la part ruisselée vers les cours d'eau ou infiltrée vers les nappes entraînerait potentiellement des étiages des cours d'eau plus sévères, mais également des risques de rupture de l'équilibre existant actuellement sur les aquifères souterrains, mettant ainsi en péril les ressources majeures pour l'alimentation en eau potable de Bordeaux Métropole ;
- une sensibilité accrue des milieux récepteurs (cours d'eau) liée à l'augmentation du phénomène de bouchon vaseux dans l'estuaire, au réchauffement des eaux (étiages plus précoces et sévères des cours d'eau affluents), aux rejets en particuliers en période pluvieuse ;
- un risque de déséquilibre du bilan hydrique des forêts mais aussi des cultures qui pourrait, sur des sols à faible réserve utile, nécessiter un recours accru à l'irrigation (alors que la ressource en eau sera de moins en moins abondante), y compris pour la vigne ;
- un risque sanitaire pendant les canicules pour les populations, avec des conséquences non évaluées sur le plan des usages liés à l'eau (sur-fréquentation des milieux littoraux, lacustres et de rivières, manque d'eau domestique) ;
- une augmentation dans l'amplitude des phénomènes d'îlots de chaleurs urbains.

1.2 | État des lieux et dynamiques d'évolution de l'imperméabilisation des sols

1.2.1 | Définitions utiles

Les **espaces artificialisés** incluent les **espaces urbanisés** (tissu urbain continu ou discontinu, les zones industrielles et commerciales), les réseaux de transport, les mines, carrières, décharges et chantiers, ainsi que les espaces verts artificialisés (espaces verts urbains, équipements sportifs et de loisirs). L'**artificialisation** ou la **consommation d'espace** correspond au changement d'affectation d'un espace à caractère naturel, agricole ou forestier à un usage urbain.

Le processus d'**urbanisation** (construction de bâtiments, aménagement d'équipements ou d'infrastructures et activités urbaines inhérentes) génère une **altération** des qualités physico-chimiques, voire une destruction des **sols** qui est généralement irréversible. Les sols, milieux vivants assurant de nombreuses **fonctions environnementales**³, sont aujourd'hui considérés comme une ressource difficilement renouvelable, compte tenu de leur processus de formation généralement très lent (plusieurs siècles).

L'**imperméabilisation des sols** fait partie des principales atteintes de l'urbanisation sur les sols. Elle désigne le recouvrement permanent d'un sol par un matériau artificiel imperméable (asphalte, béton...). Elle induit notamment une importante modification de la circulation de l'eau qui ne peut plus, ou très difficilement, s'infiltrer dans le sol et le sous-sol. Les sols urbains imperméabilisés incluent généralement les routes, les aires de stationnement, les trottoirs, les emprises bâties. Les sols des parcs et jardins, et autres espaces végétalisés en milieu urbain, sont considérés comme perméables. Ainsi, selon l'emprise au sol des constructions et des espaces verts au sol, les matériaux de construction et revêtement des sols utilisés, **un tissu urbain est plus ou moins imperméable**.



Figure 3 : La résolution des données d'occupation du sol disponibles localement et présentées ci-dessus (Corine Land Cover² 2006 au centre et GEOSAT² 2010 à droite) est insuffisante pour mettre en évidence les parties perméables et imperméables des sols inclus dans le tissu urbain.

³ Voir Glossaire en annexe 1

1.2.2 | État des lieux en Europe

En 2010, l'agence européenne pour l'environnement a produit une donnée sur l'imperméabilité des sols pour l'ensemble de l'Europe pour l'année 2006 sur la base des mêmes images satellites que celles utilisées pour les données Corine Land Cover. La précision géographique de ces données est de 20 m à 100 m. D'après ces données, les sols imperméabilisés représentent 2,3 % du territoire de l'union européenne. Avec 2,77 % de sols imperméabilisés, la France se situe légèrement au dessus de la moyenne européenne.

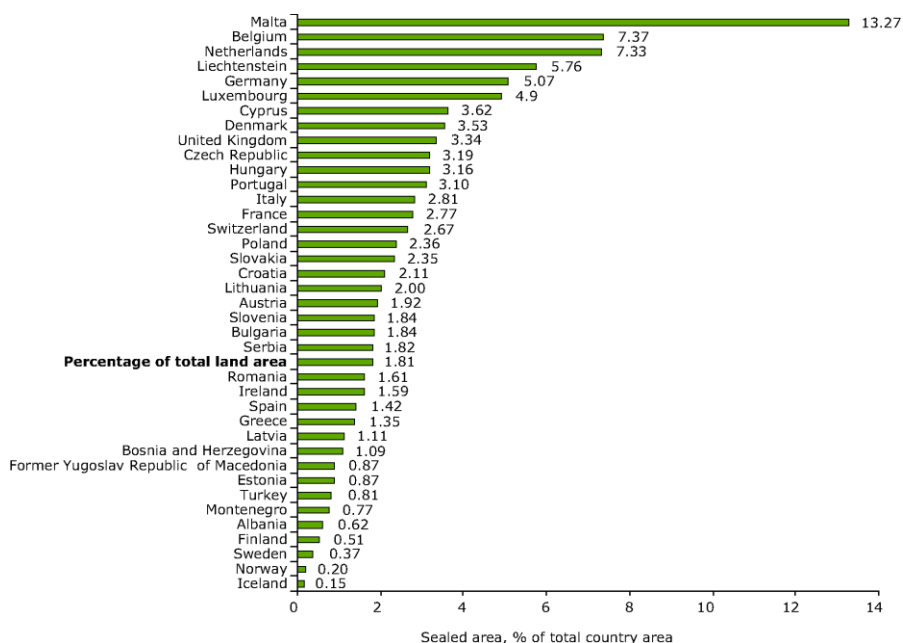


Figure 4 : sols imperméabilisés en pourcentage de la superficie des pays en 2006 (source : agence européenne pour l'environnement, 2010).

Une analyse de l'imperméabilisation des sols dans différentes villes européennes montre des situations très différentes, en particulier si l'on s'attache à la surface moyenne imperméabilisée par habitant.

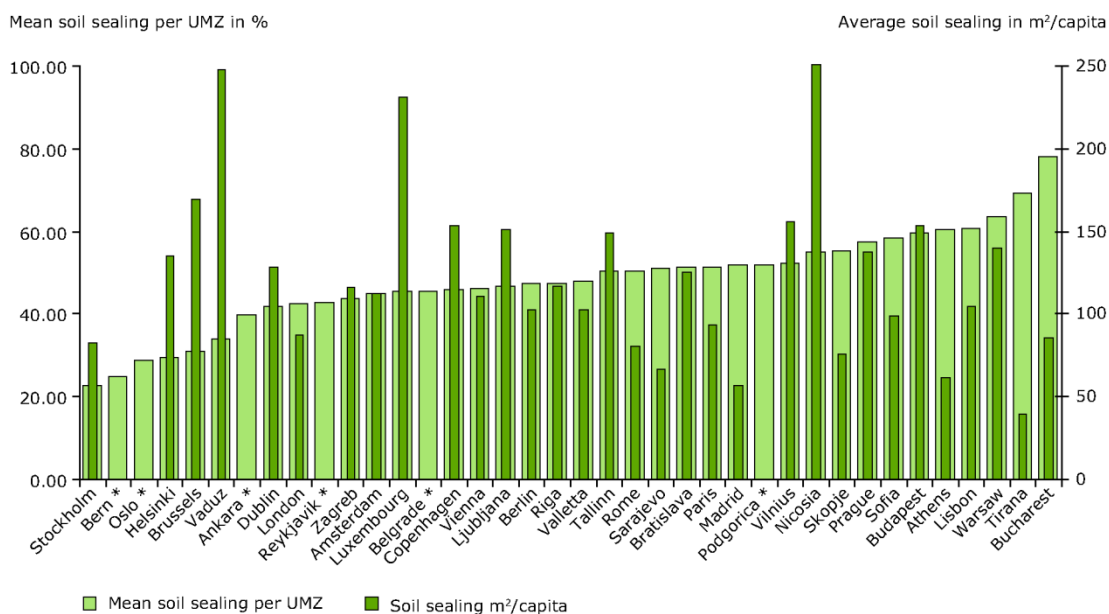


Figure 5 : taux d'imperméabilisation par surface urbanisée et par habitant dans les principales villes européennes (source : agence européenne pour l'environnement, 2010).

Selon des données produites par l'agence européenne pour l'environnement à partir de la base de données Corine Land Cover, en 2006, les espaces artificialisés représentaient 3,6 % du territoire européen (Europe à 36⁴). Entre 1990 et 2000, en Europe, ils ont progressé de 6 %, soit une consommation d'espace annuelle de 1 000 km² (soit une superficie supérieure à la ville de Berlin). Entre 2000 et 2006, le rythme de la consommation d'espace a légèrement diminué pour s'établir à 920 km² par an, correspondant à une augmentation de 3,4 % de la superficie des zones urbaines.

En 2010, près de 75 % de la population européenne vivait en zone urbaine et en 2020 la population urbaine devrait dépasser les 80 %. La surface des sols urbains a augmenté de 78 % depuis les années 1950. En supposant une évolution linéaire sur le même rythme d'artificialisation de l'espace que celui observé entre 2000 et 2006 (920 km² par an), une surface équivalente au territoire de la Hongrie serait urbanisée d'ici à 2020. Comment se traduiront ces évolutions en termes d'imperméabilisation des sols ?

⁴ Les 32 États membres de l'agence européenne pour l'environnement, soit les 27 États membres de l'Union européenne ainsi que l'Islande, le Liechtenstein, la Norvège, la Suisse et la Turquie, auxquels s'ajoutent les pays coopérants (7 pays des Balkans occidentaux), moins ceux qui n'avaient pas encore réalisé leur base CLC 2006 à la date de l'évaluation, c'est-à-dire la Grèce, le Royaume-Uni et la Suisse.

1.2.3 | En France : un ralentissement récent de l'artificialisation des sols en faveur d'une densification des espaces déjà urbanisés

En France métropolitaine en 2006, les espaces artificialisés représentaient 5,1 % du territoire. Entre 2000 et 2006, ils ont progressé d'environ 3 %, soit une consommation moyenne annuelle d'espace de 13 822 ha (138 km²). Entre 1990 à 2000, les espaces urbanisés ont progressé de 7,8 %, soit une consommation moyenne annuelle d'espace de 19 843 ha (198 km²).

Malgré l'importante superficie des espaces artificialisés, les dernières données⁵ sur la consommation d'espace mettent en évidence un changement majeur des dynamiques d'urbanisation à l'échelle nationale (territoire métropolitain) entre 2000 et 2006 :

- un découplage récent entre croissance démographique et artificialisation des sols est observé récemment en France : entre 2000 et 2006 la population a augmenté de 4,4 % alors que les surfaces artificialisées ont cru de 3,4 % et le tissu urbain de 2,1 %. Cette tendance nationale est observée dans 12 régions françaises⁶, dont la région Aquitaine.
- l'étalement urbain concerne les espaces plus éloignés des agglomérations et procède par éparpillement et fragmentation. Dans les zones les plus proches des agglomérations, le rythme de consommation d'espace est inférieur à la moyenne métropolitaine et supérieur dans les zones plus éloignées. Ces zones ressortent également comme celles où la progression du tissu urbain discontinu et des zones industrielles ou commerciales est bien supérieure à la moyenne nationale.

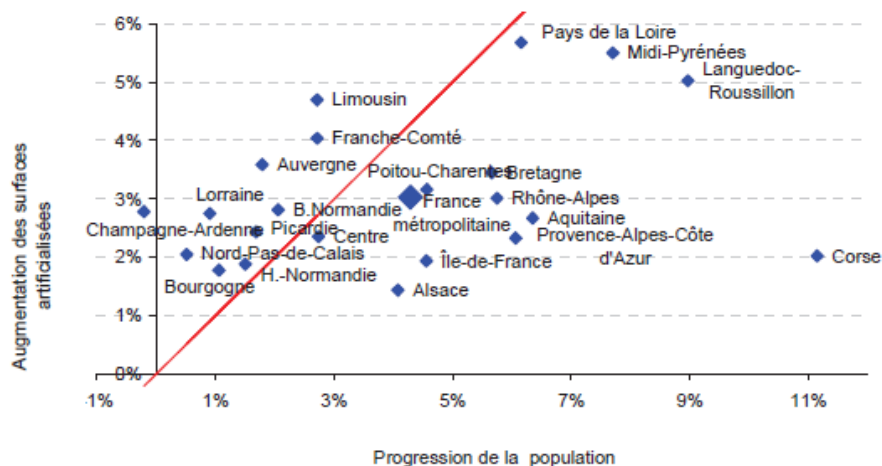


Figure 6 : progression de l'artificialisation et augmentation de la population en France métropolitaine entre 2000 et 2006 (source : UE-SOeS, Corine land Cover, Insee - CGDD)

D'après l'Agence européenne pour l'environnement, il y a **étalement urbain** quand la surface urbanisée croît plus vite que l'augmentation de population : ainsi l'analyse comparée des données de consommation d'espace issues Corine Land Cover et des données démographiques à l'échelle nationale (métropole) semble indiquer l'absence d'étalement urbain sur la période 2000 - 2006.

⁵ source : UE-SOeS, Corine Land Cover

⁶ Alsace, Aquitaine, PACA, Corse, Ile de France, Bretagne, Poitou-Charentes, Centre, Rhône-Alpes, Pays de la Loire, Midi-Pyrénées, Languedoc-Roussillon.

1.2.4 | Une tendance confirmée aux niveaux régional et local

En Aquitaine et en Gironde

À l'échelle régionale et départementale, il n'existe actuellement aucune donnée permettant d'évaluer le taux d'imperméabilisation des sols.

Toujours selon les données Corine Land Cover, en 2006, les espaces artificialisés représentaient 4 % du territoire aquitain. Entre 1990 et 2000, leur superficie a progressé de 8 %, soit une consommation d'espace moyenne annuelle de 1253 ha (12,53 km²). Entre 2000 et 2006, le rythme de la consommation d'espace a sensiblement reculé au rythme de 794 ha par an (7,94 km²/an), correspondant à une augmentation de 5,91 % de la superficie des zones urbaines.

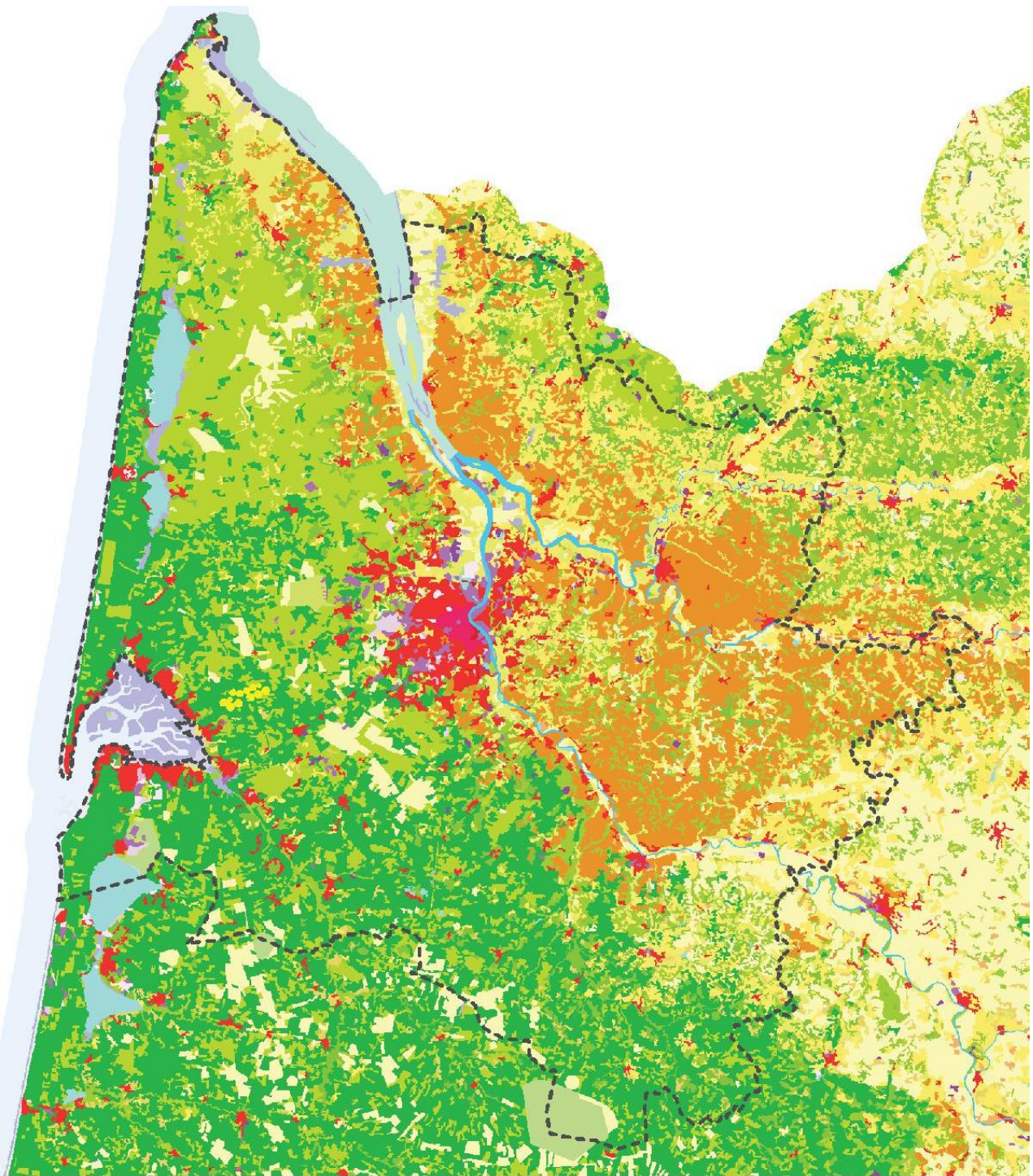
En Gironde, les espaces artificialisés représentent 7 % du territoire en 2006. Entre 1990 et 2000, 5904 ha ont été artificialisés, soit une augmentation de 9 %. Entre 2000 et 2006, 1 363 ha ont été artificialisés (+3,8 % d'espaces artificialisés), soit une consommation d'espace moyenne annuelle de 197 ha. La comparaison avec la croissance démographique observée Gironde entre 1999 et 2006 (un peu plus de 8 %), semble indiquer un mouvement de **densification des espaces urbanisés**.

À l'échelle de la Gironde, la comparaison entre l'évolution de la superficie des espaces urbanisés et de croissance démographique sur les périodes 1990-2000 et 2000-2006 confirme cette tendance. En effet, le phénomène d'étalement urbain très net observé entre 1990 et 2000 laisse place à un phénomène de densification des espaces urbanisés sur la période 2000-2006.

	Évolutions sur la période 1990-2000		Évolutions sur la période 2000-2006	
	Surfaces artificialisées	Population	Surfaces artificialisées	Population
Europe (UE 28)	+ 6 %	+2,5 %	+ 3,4 %	+2 %
France métropolitaine	+ 7,8 %	+4 %	+3 %	+ 4,4 %
Région Aquitaine	+8 %	+4 %	+ 6 %	+7 %
Gironde	+ 9 %	+6 %	+ 3,8 %	+8 %

(sources : CLC 2000 et 2006 et Eurostat)

Figure 7 : occupation des sols en 2006 (CLC)



Occupation des sols selon Corine Land Cover en Gironde en 2006 (1/700 000 ème)

département de la Gironde

Données CORINE Land Cover 2006

Territoires artificialisés - Zones urbanisées :

- 111 Tissu urbain continu
- 112 Tissu urbain discontinu
- 121 Zones à dominante commerciale
- 122 Réservoir routier et ferroviaire et espaces associés
- 123 Zones portuaires
- 124 Aéroports
- Territoires artificialisés - Mines, décharges et chantiers
- 131 Bâtiments ou matériaux
- 132 Décharges
- 133 Décharges

Territoires artificialisés - Espaces verts artificialisés, non agricoles

- 141 Espaces verts urbains
- 142 Espaces verts sportifs et de loisir

Territoires agricoles - Terres arables

- 211 Terres arables hors prairies d'élevage
- 212 Prairies érigées en permanence
- 213 Rizivés

Territoires agricoles - Cultures permanentes

- 221 Vignobles
- 222 Végétal mixte
- 223 Oliviers

Territoires agricoles - Prairies

- 231 Prairies

Territoires agricoles - Zones agricoles hétérogènes

- 241 Cultures associées sans cultures permanentes
- 242 Systèmes d'élevage et parcelles complètes

Forêts et milieux semi-naturels - Forêts

- 311 Forêts de feuillus
- 312 Forêts de conifères
- 313 Forêts mixtes

Forêts et milieux semi-naturels - Milieux à végétation arbustive et/ou herbacée

- 321 Prairies et pâturages naturels
- 322 Landes et broussailles
- 323 Végétation méditerranéenne
- 324 Forêt à végétation arbustive en méditerranée

Forêts et milieux semi-naturels - Espèces ouverts, sans ou avec peu de végétation

- 331 Plages, dunes et littoral
- 332 Roches nues
- 333 Végétation d'altitude

Forêts et milieux semi-naturels - Zones à végétation d'altitude

- 334 Zones humides

Surfaces en eau - Eau continentales

- 411 Marais intérieurs
- 412 Tourbières
- 421 Marais à eau douce
- 422 Marais salés
- 423 Zones humides

Surfaces en eau - Eau continentales

- 511 Cours d'eau
- 512 Plans d'eau

Surfaces en eau - Eau maritimes

- 621 Lagunes littorales
- 622 Estuaires
- 623 Mer et océans

À l'échelle de l'aire métropolitaine bordelaise

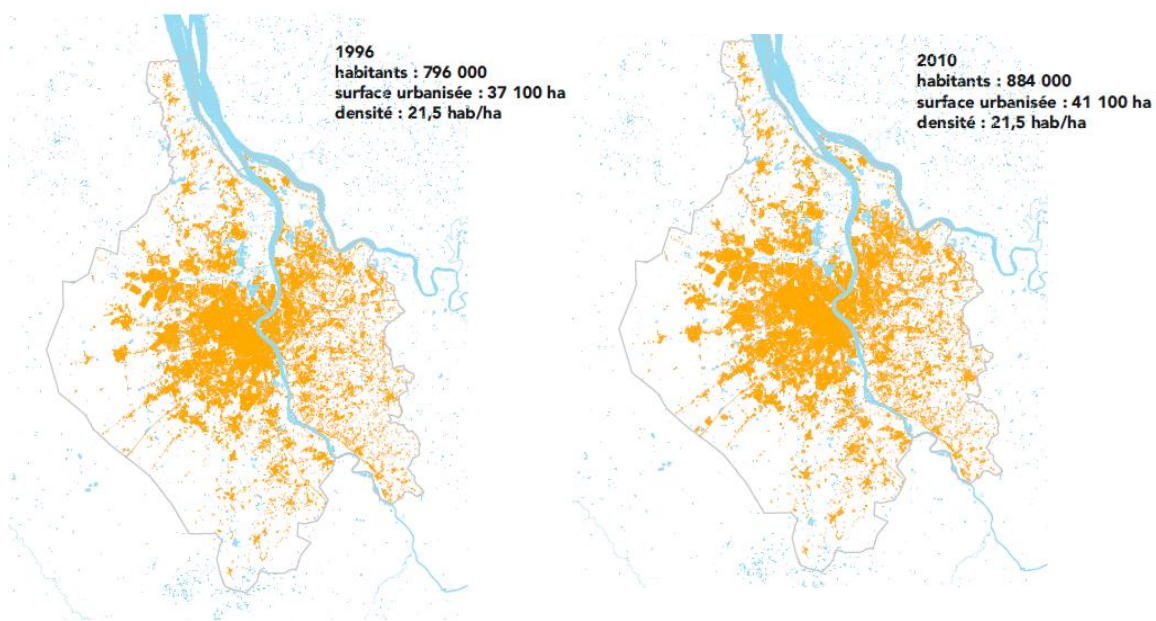
À l'échelle de l'aire métropolitaine bordelaise (périmètre du Sysdau), entre 1973 et 1996, la superficie de la tâche urbaine avait doublé pour un gain de population de seulement 20 %. Entre 1996 et 2010, la tâche urbaine a augmenté de 11 %⁷ (soit 4000 ha artificialisés), pour une évolution de la population estimée elle aussi à 11 % (+88 500 habitants).

Force est de constater le ralentissement, voire l'arrêt du phénomène d'étalement urbain à l'échelle de l'aire métropolitaine bordelaise. Ce constat est également confirmé par l'analyse des fichiers fonciers (issue de l'application MAJIC de la DGFIP) entre 2000 et 2009 et des données issues des déclarations d'ouverture de chantier (SITADEL) entre 1999 et 2007 : une baisse significative des consommations foncières, liée notamment à une diminution de la superficie moyenne consommée par logement neuf, est observée. Ce phénomène, s'il est le fruit de pratiques d'aménagement plus vertueuses (mise en œuvre de formes urbaines plus denses et moins consommatrices d'espace), traduit les effets de l'augmentation du prix du foncier dans l'équilibre des opérations.

Les documents de planification (SCoT de l'aire métropolitaine bordelaise approuvé le 13 février 2014 et le projet de PLUi de Bordeaux Métropole) affichent la volonté de poursuivre et de renforcer cette tendance de réduction du rythme de la consommation d'espace tout en affichant des ambitions démographiques importantes. L'expression « métropole millionnaire » au cœur de cette ambition a été traduite par un objectif de 1,2 millions d'habitants à l'horizon 2030 pour le SCoT et 950 000 habitants à l'échelle de Bordeaux Métropole.

Cette double ambition affichée par les élus de l'agglomération bordelaise, même si elle n'est pas toujours cohérente avec les perspectives de développement affichées par les autres territoires girondins, exprime une volonté de recentrage de la croissance démographique et urbaine girondine sur l'agglomération bordelaise.

Figure 8 : évolution de la tâche urbaine entre 1996 et 2010 à l'échelle du Sysdau (source : a-urba)



⁷ Source : donnée d'occupation du sol produite par GEOSAT pour le Sysdau et l'a-urba.

À l'heure actuelle, il n'est pas possible de connaître les conséquences de cette évolution du développement urbain sur l'imperméabilisation des sols. En effet, une première donnée sur l'imperméabilisation des sols a été produite en 2010 à l'échelle à partir de l'image satellitaire de 2006. Cette donnée sera reproduite pour l'année 2012, ce qui permettra de mettre en évidence les tendances d'évolution.

L'analyse des données Corine Land Cover sur les périodes 1990-2000 et 2000-2006 montre un ralentissement récent de la consommation d'espace en Europe et en France. Le ralentissement de la consommation d'espace observé au niveau national l'est également en Aquitaine et en Gironde, avec cependant un rythme de consommation d'espace près de 2 fois supérieur à la moyenne nationale.

Comparé à la croissance démographique observée en Gironde sur cette même période, le ralentissement observé entre 2000 et 2006 semble indiquer un phénomène de densification des espaces urbanisés. Cette tendance est susceptible d'augmenter l'imperméabilisation des sols des espaces déjà urbanisés.

1.3 | La maîtrise de l'imperméabilisation des sols : cadre et outils juridiques

1.3.1 | Un cadre légal en cours de construction ?

Au niveau européen

En 2006, la Commission Européenne avait proposé de mettre en place une directive cadre sur les sols. Ce texte prévoyait que les États membres recensent les zones imperméabilisées et celles dans lesquelles il existe un risque d'érosion, de diminution des teneurs en matières organiques, de tassement, de salinisation ou de glissement de terrain. Les pays devaient ensuite fixer des objectifs et adopter des programmes pour réduire ces risques et empêcher toutes nouvelles dégradations. Néanmoins, face à la réticence de certains pays (dont la France), le projet de directive est suspendu.

Il n'existe actuellement aucune réglementation traitant spécifiquement de la question des sols. Néanmoins, une stratégie thématique spécifique pour les sols a été adoptée en 2006 et la feuille de route pour une Europe efficace dans l'utilisation des ressources adoptée en 2011 concerne les terres et les sols.

En avril 2012, dans un rapport intitulé « lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols », la Commission européenne fait un état des lieux des bonnes pratiques dans les différents États et identifie les principales orientations susceptibles de lutter contre ce phénomène.

Cette problématique reste présente dans l'agenda européen et international : l'année 2015 a été consacrée par la FAO « année internationale des sols ».

En France

Malgré l'absence de politique dédiée en matière de protection des sols au niveau national, plusieurs obligations réglementaires sont susceptibles d'encadrer directement ou indirectement la maîtrise de l'imperméabilisation des sols :

- dans le champ réglementaire de l'urbanisme et de la planification : les objectifs en matière de maîtrise de la consommation d'espace introduits par la loi SRU 2001 ont été largement renforcés par la loi Grenelle du 2 juillet 2010 portant engagement pour l'environnement (obligation de fixer des objectifs chiffrés de limitation de la consommation d'espace) ;
- l'obligation pour les collectivités territoriales de réaliser un **zonage des eaux pluviales** dans le cadre de l'élaboration d'un Schéma Directeur d'assainissement (art. L 2224-10 et R 2224-10 du Code général des collectivités territoriales), devant définir les zones où l'imperméabilisation des sols devra être limitée, les écoulements des eaux pluviales et de ruissellement maîtrisés.
- La loi sur l'eau et la « nomenclature eau » (art. R 214-1 du code de l'environnement) qui définit les installations, ouvrages, travaux et aménagements (IOTA) soumis à déclaration ou autorisation. Les rubriques 3310 (assèchement, mise en eau, imperméabilisation, ou remblais de ZH) et 2150 (rejet d'eaux pluviales dans les eaux

douces superficielles ou sur le sol ou dans le sous-sol) sont susceptibles d'encadrer, au dessus des seuils visés, l'imperméabilisation des sols.

- Le **règlement d'assainissement collectif** (art. L.2224-12 du code général des collectivités territoriales) peut également imposer un débit de rejet maximal dans le réseau collectif (séparatif ou unitaire), susceptible de favoriser l'infiltration des eaux pluviales à la parcelle et donc de limiter l'imperméabilisation des sols. C'est le cas du règlement d'assainissement collectif de Bordeaux Métropole qui impose un débit de rejet maximal de 3 l/sec/ha à toute construction nouvelle et aux extensions augmentant la superficie imperméabilisée avant travaux ainsi qu'à toutes les surfaces non bâties qui contribuent à l'aggravation du ruissellement (tels que les parkings, les vignobles...). Cette obligation a également été intégrée dans le règlement du PLU.

La loi Grenelle (art 165) a également donné aux collectivités la possibilité de percevoir une taxe sur l'imperméabilisation des sols, également appelée « **taxe pluviale** » (art. L 2333-97 à L 2333-101 du CGCT). Elle est perçue par les collectivités auprès des propriétaires de terrains et voiries situés dans une zone constructible ou ouverte à l'urbanisation dans le PLU. Le produit de la taxe est affecté au financement du service de gestion des eaux pluviales.

Plus récemment, la **loi ALUR** a introduit deux mesures susceptibles de lutter contre l'imperméabilisation des sols

- Le "**coefficient de biotope**" qui établit un ratio entre la surface favorable à la nature et la surface d'une parcelle construite ou en passe de l'être. Le PLU pourra ainsi favoriser le maintien ou le renforcement de la biodiversité et de la nature en ville en réservant, lors d'opérations de constructions neuves, rénovées ou réhabilités, une part de surfaces non imperméabilisées ou éco-aménageables (sols, surfaces en pleine terre végétalisées, toitures et terrasses ou murs et façades végétalisés, surfaces alvéolées perméables, zones humides, etc.).
- La possibilité de plafonner la superficie des **parcs de stationnement** des équipements commerciaux. Le code de l'urbanisme fixe actuellement un plafond équivalent à 1,5 fois la surface bâtie. La loi ALUR divise par deux ce plafond : la superficie du parking peut représenter au maximum les trois quarts de la surface du bâti. La possibilité est laissée au PLU de moduler ce ratio jusqu'à 1, pour tenir compte des circonstances locales.

1.3.2 | Les outils mis en œuvre sur le territoire de Bordeaux Métropole

La politique mise en œuvre par la CUB depuis 1982 en matière de gestion des eaux pluviales

Les deux orages historiques de 1982 (31 mai et 2 juin) ont constitué un tournant dans la politique de gestion des eaux pluviales et de protection contre le risque inondation. Depuis 1982, environ 900 M€ ont été investis dans la réalisation de nombreux ouvrages de lutte contre les inondations : plus de 2 100 km de collecteurs d'eau pluviale, 115 bassins de stockage (2,5 millions de mètres cubes), une soixantaine d'importantes stations de pompage, le tout commandé en temps réel et à distance par le centre de télé-contrôle RAMSES® (régulation de l'assainissement par mesures et supervision des équipements et stations) depuis 1992.

Ces équipements structurants ont été complétés par l'obligation pour les aménageurs de mettre en place des solutions compensatoires. Par délibération du Conseil communautaire en date du 16 juin 1982, la Cub décidait de « *conditionner l'urbanisation par lotissement, bâtiment collectif, industriel ou groupement d'habitations augmentant l'imperméabilisation, facteur aggravant des risques d'inondations, à des mesures compensatoires permettant de ne pas augmenter les débits dans les bassins versants sensibles* ». Afin d'encadrer et d'améliorer leur faisabilité technique, des solutions compensatoires ont, dès 1986, été conçues et expérimentées en partenariat avec le Centre d'Études Techniques de l'Équipement du Sud Ouest et le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées de Nantes. Le retour de cette expérience fut à l'origine du premier « Guide des Solutions Compensatoires » en 1995. En 2014, une deuxième version de ce guide, actualisée et enrichie, a été diffusée pour tenir compte tant de l'expérience accumulée sur le territoire que des évolutions réglementaires techniques plus soucieuses de la place de la nature en ville. Destinée à aider les professionnels en charge de l'aménagement dans toutes les phases d'élaboration du projet, la nouvelle version du guide propose notamment une méthodologie permettant de choisir les types de solutions compensatoires les plus adaptés au projet et à son contexte, de les dimensionner et d'en déterminer les modalités d'entretien.

Un bilan positif de la politique mise en œuvre

Depuis 1982, environ 10 000 solutions compensatoires permettant de stocker près de 1,5 million de mètres cubes (soit sous les chaussées, soit dans de petits bassins ou encore sur des toitures-terrasses...) ont été mises en place, pour la plupart à la charge des aménageurs. La mise en œuvre de ces solutions compensatoires, qui s'appuient sur des **techniques alternatives de gestion des eaux pluviales**, allègent d'autant la charge financière qui pèse sur le budget de la collectivité.

Le bilan des efforts engagés montre une performance globale extrêmement significative lors des gros orages des dernières années. Avec près de 300 événements pluvieux anticipés et gérés et une vingtaine d'alertes annuelles pour une moyenne de trois orages violents, le dispositif a prouvé son efficacité, en particulier le 27 juillet 2013 au soir, où une pluie de période de retour centennale n'a pas entraîné d'inondation majeure, mais uniquement des débordements localisés de cours d'eau en rive droite, en particulier sur le bassin versant du Guâ. Le suivi des images radar d'évolution du

front d'orage a permis la mobilisation rapide des capacités de stockage (soit 1 million de m³ stockés dans les 30 bassins de rétention du réseau). Par comparaison, les orages de 1982, de moindre intensité (respectivement 10 et 53 mm de cumul maximal contre 73 mm en 2013), avaient entraîné jusqu'à 2 m d'eau dans les rues de Bordeaux. Afin d'améliorer la protection des secteurs touchés par les inondations du 27 juillet 2013, une étude hydraulique a été réalisée sur le bassin versant du Guâ en 2014.

La maîtrise voire la réduction de l'imperméabilisation des sols dans les espaces déjà urbanisés de l'agglomération bordelaise devient un enjeu crucial dans un contexte soumis à des dynamiques d'évolutions potentiellement contradictoires :

- Le mouvement observé de recentrage du développement urbain sur l'agglomération bordelaise conduit à une densification des espaces déjà urbanisés notamment par comblement des dents creuses. Cette optimisation du gisement foncier urbain, si elle contribue à la maîtrise et à la réduction de la consommation d'espace, est néanmoins susceptible d'aggraver l'imperméabilisation des sols et ses conséquences négatives en milieu urbain si elle n'est pas maîtrisée (dans sa localisation et ses modalités).

- Les effets des changements climatiques en cours et à venir augmentent la vulnérabilité des milieux urbains (effet îlot de chaleur urbain et risque inondation accru). La limitation de l'imperméabilisation des sols (préservation des abords des cours d'eau et des zones humides, préservation d'espaces végétalisés de pleine terre dans les opérations d'aménagement, mise en œuvre de solutions alternatives de gestion des eaux pluviales...) est une solution efficace pour adapter la ville à ces changements et en limiter les effets négatifs sur la santé, la sécurité et le cadre de vie des habitants.

Dans ce contexte, une connaissance plus fine du phénomène d'imperméabilisation des sols en milieu urbain et périurbain est nécessaire pour mettre en œuvre et adapter aux circonstances locales les outils réglementaires déjà applicables.



2 | Évaluation de l'imperméabilité des sols par télédétection : moyens et méthodes

2I Evaluation de l'imperméabilité des sols par télédétection : moyens et méthodes

Au sein d'un espace urbanisé, sont considérées comme des surfaces imperméables, les emprises bâties des tissus urbains, les emprises couvertes par des terrasses, la voirie et les parkings.

Les surfaces perméables incluent l'ensemble des espaces couverts par de la végétation, à savoir les zones boisées, les espaces verts artificialisés non agricoles (jardins privés, parcs, délaissés de voirie...), les espaces cultivés ainsi que les sols nus (chantiers, carrières...) et les surfaces en eau.

À noter que pour certains types d'aménagements urbains, la qualification à priori de leur caractère imperméable est plus délicate : c'est le cas des cimetières, des terrains de sports, de certaines toitures végétalisées...

2.1 | Cadrage méthodologique : état des lieux des données disponibles

2.1.1 | Des données géographiques insuffisantes pour mesurer l'imperméabilisation

Les données d'occupation du sol disponibles telles que Corine Land Cover ou d'autres données d'occupation du sol produites localement (Geosat), si elles permettent d'appréhender les surfaces artificialisées (bâties ou partiellement bâties) à une échelle parcellaire ou supra parcellaire (résolution de 25 ha pour Corine Land Cover), ne sont pas suffisamment précises pour mesurer l'imperméabilisation des sols. En effet, cette mesure implique de disposer d'une donnée d'une précision géographique infra parcellaire permettant d'identifier et distinguer l'emprise des objets géographiques imperméables (bâtiments, surface goudronnées, asphaltées...) des surfaces perméables composées principalement des sols végétalisés.

Sur le territoire de Bordeaux Métropole, plusieurs sources de données SIG disponibles permettent d'ores et déjà d'identifier certaines de ces surfaces avec des niveaux de précision et d'exhaustivité variables :

Type de surface	Données disponibles	Fournisseur/année	Emprise	Précision de la donnée	Fiabilité
Surfaces imperméables					
Bâti	- BD Topo	IGN/2010	D33	Infra parcellaire (1,5 à 2,5 m)	Exhaustive mais le bâti de moins de 20m ² n'est pas pris en compte
	- Données cadastrales	a-urba-DGI /2013	Cub	Infra parcellaire	Donnée déclarative (constructions manquantes)
	- BD Parcellaire	IGN/2010	D33	Infra parcellaire	Donnée déclarative (constructions manquantes)
Voirie	-BD Topo	IGN/ 2010		métrique	Donnée linéaire : pas d'emprise
Autres surfaces imperméables (parking/surface enrobées)	-BD Topo Surface_route	IGN 2010	D33	1,5 à 10 m	Non exhaustive : surfaces de roulage de plus de 50m de large ou de plus de 0,5 ha

Surfaces perméables					
	-BD Topo Terrains de sports	IGN 2010	D33	1,5	Exhaustif
	-BD Topo cimetières	IGN 2010	D33	1,5 à 10 m	
Espaces boisés/ Boisements	BD Topo-\ ZONE_VEGETATION	IGN/2014	D33	Infra- parcellaire : 5 m	Non exhaustif : Bois de plus de 500 m ²
	Compléments carto\ZONE_VEG ETATION	CUB/2013	Cub	métrique	Alignements hors bois de plus de 500m ² (photointerprétation)
	Occupation du sol GEOSAT / Postes : ZONES BOISEES et JEUNES PEUPELEMENTS FORESTIERS	Sysdau/2010 CG33/2004 A-urba/1996	Sysdau D33 Sysdau	Vectorisation au 1/5000ème	Photointerprétation
Espaces Agricoles	GEOSAT Postes : VIGNES ET VERGER et AUTRES CULTURES	Sysdau/2010 CG33/2004 A-urba/1996	Sysdau	Vectorisation au 1/5000ème	Peu fiable pour les cultures céréalières, Très fiable pour la vigne
	Registre Parcellaire Graphique	AUP/2012	France	Parcellaire	Précis mais non exhaustif (uniquement cultures déclarées PAC)
Végétation arbustive ou herbacées (pelouses, landes, prairies...)	GEOSAT Postes : JACHERES- FRICHES-LANDES	Sysdau/2010 CG33/2004 A-urba/1996	Sysdau D33 Sysdau	Vectorisation au 1/5000ème	Non exhaustif
Sols nus	GEOSAT Postes : SOLS NUS et SEDIMENTS				
Surfaces en eau	BD Topo-\ SURFACE_EAU	IGN /2010	D33	1,5 m	Surfaces de plus de 20 m de long, cours d'eau de plus de 7,5 m de large, bassins maçonnés de plus de 10 m, zones inondables périphériques, de plus de 20 m de large

Les données géographiques localement disponibles ne permettent pas de détecter avec exhaustivité et précision les surfaces imperméabilisées autres que l'emprise des bâtiments. Les surfaces de parking, voies privées et autres surfaces potentiellement imperméables au sein d'un tissu urbain ne sont pas détectées ou que très partiellement.

Bien que fournissant un certain nombre d'éléments de localisation des espaces couverts par de la végétation, ces données ne permettent pas d'identifier les espaces

perméables présents au sein du tissu urbain avec précision et exhaustivité : la végétation qui se compose des strates herbacées et arbustives de la trame verte urbaine (jardins, parcs délaissés et espaces d'accompagnement de voiries) n'est pas détectée.

2.1.2 | Utilisation de la BD ORTHO® pour détecter la végétation à une échelle infra-parcellaire

La Cub a fait l'acquisition en début d'année 2013 de la BD ORTHO® de 2012. Le fichier Raster a été mis à disposition de l'a-urba dans le cadre de la convention d'échanges de donnée entre l'a-urba et la Cub.

La BD ORTHO® est une image fournie par l'IGN ainsi que la composante orthophotographique numérique du Référentiel à Grande Echelle (RGE®). Réalisée initialement en couleurs naturelles, elle a été améliorée en 2005, avec l'acquisition d'une caméra à quatre canaux, permettant d'enregistrer simultanément la couleur naturelle (Rouge, Vert, Bleue) et l'infrarouge couleur (IRC). Il en résulte une image dite « fausses couleurs » où la végétation, en raison de l'activité chlorophyllienne, apparaît dans différentes teintes de rouge.

Chaque objet possédant sa propre **signature spectrale**⁸, il est possible de distinguer les sols minéraux de la végétation en analysant leur réponse aux rayonnements. L'utilisation de l'**indice NDVI**⁹ (Normalized Differential Vegetation Index) permet de traduire la densité du feuillage et la proportion de sol effectivement couverte par la végétation.

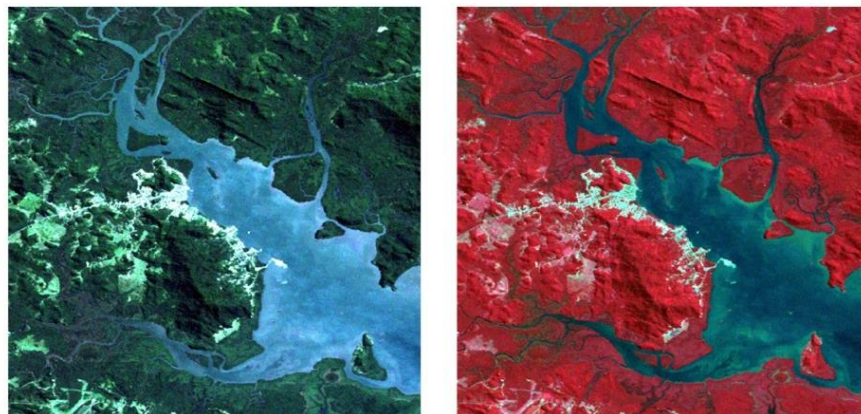


Figure 9 : à gauche : exemple d'image « vraies couleurs » (canaux rouge, vert, bleu). À droite : exemple d'image « fausses couleurs » (canaux infrarouge, rouge, vert).

Compte tenu de la précision de la BD ORTHO® IRC (pixel de 40 cm), la finesse de la maille permet théoriquement de caractériser très précisément les emprises végétalisées (jusqu'à des superficie de 0,16 m²) : cette donnée est donc adaptée pour détecter les espaces végétalisés à une échelle infra-parcellaire. En partant du postulat que les espaces végétalisés correspondent à des sols perméables, il est possible d'en déduire la part imperméable restante.

⁸ Voir définition dans le glossaire en annexe

⁹ Voir définition dans le glossaire en annexe

Néanmoins, afin d'approcher le plus précisément possible la surface imperméable, il conviendra de prendre en compte et de chercher à corriger deux autres biais inhérents à l'orthophotographie et à la télédétection infra-rouge :

- les sols dont l'activité chlorophyllienne est faible ou nulle (mais perméables) ne sont pas ou peu détectés. Cela concerne les sols nus (chantiers, carrières...), certaines pelouses ou cultures, les zones d'ombre ou inondées. Ces cas de figure, s'ils ne sont pas pris en compte, peuvent être à l'origine d'une sous évaluation de la part des terrains perméables.

- Le recouvrement par les houppiers des arbres et végétaux de grande taille et leurs ombres portées sur des surfaces potentiellement imperméables et susceptible de minimiser la mesure des surfaces imperméables.

Les données géographiques disponibles ne sont pas suffisantes pour évaluer la superficie des sols imperméables avec une précision infra-parcellaire. La BD ORTHO® IRC offre la possibilité de détecter les surfaces végétalisées avec une précision suffisante (pixel de 40 cm). Son exploitation pour détecter les surfaces imperméables est pertinente.

2.2 | Description de la méthode utilisée

Ce travail d'analyse et de production de donnée a été réalisé sur deux sous-bassins versants afin de tester la méthode : le sous-bassin versant du Desclaux (12 km²) et le sous-bassin versant du Haillan (13 km²).

La méthode de traitement et d'analyse de la BD ORTHO® IRC utilisée est inspirée du travail d'identification de la perméabilité des sols réalisé par l'AUDAP ¹⁰.

La donnée vectorielle brute issue de la BD ORTHO® a ensuite été retravaillée afin de préciser la nature des sols couverts par de la végétation et de rectifier les biais signalés dans la partie précédente : plusieurs sources de données disponibles ont été utilisées et plusieurs techniques de travail ont été combinées.

La construction d'une donnée d'occupation des sols infra-parcellaire a été conduite en trois principales étapes, présentées ci-dessous.

2.2.1 | Analyse et traitement de la BD ORTHO® IRC

L'analyse de la BD ORTHO® IRC « brute » donne une image de la végétation dite en « fausses couleurs » : la végétation apparaît dans différentes teintes de rouge, allant du plus foncé pour les boisements au plus clair pour les pelouses des espaces verts et jardins privés ou les espaces agricoles. Les surfaces minérales apparaissent, quant à elles, très claires, dans des tons allant du bleu clair au blanc.



Figure 10 : image fausse couleur de la BD ortho IRC

¹⁰ Agence d'Urbanisme Atlantique et Pyrénées

L'application de l'indice **NDVI** permet d'obtenir une première information très simplifiée sur l'occupation du sol, mettant en évidence les surfaces végétalisées des surfaces minérales.

Le traitement la BD ORTHO® IRC grâce au logiciel AcGis Spatial Analyst® permet de convertir la donnée image (« Raster ») initiale en une donnée vectorielle. Cet outil d'analyse et de modélisation spatiale qui consiste à caractériser chaque pixel de l'image (combinaison de trois bandes : rouge, vert et infra-rouge), de les séparer en plusieurs classes. Cette image modélisée en classes est ensuite vectorisée, ce qui donne une donnée géographique très précise des surfaces couvertes par de la végétation et de celles qui sont minérales, et d'en calculer les surfaces.

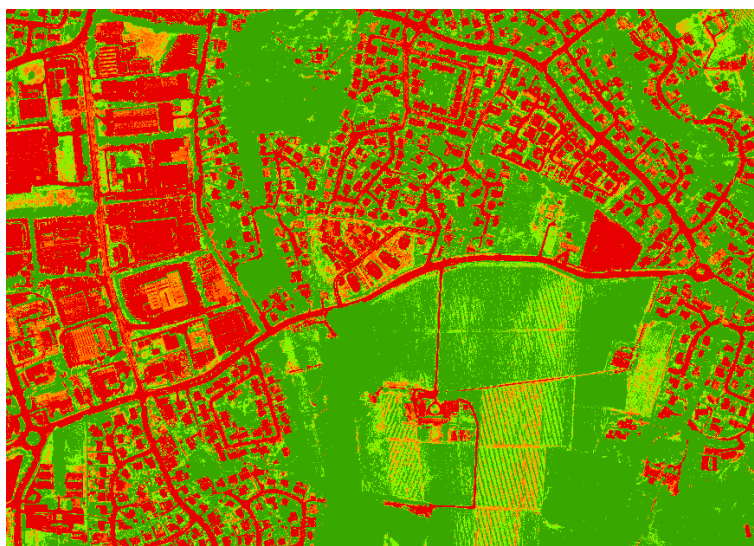


Figure 11 : image après application de l'indice de végétation NDVI

2.2.2 | Télédétection des sols perméables peu ou pas végétalisés

Dans un second temps, un travail de télédétection ciblé de certaines surfaces perméables mais peu ou pas végétalisées (sols nus et certaines terres arables) non télé détectables par infrarouge a été réalisé pour limiter la sous-évaluation des sols perméables.

C'est le cas notamment des parcelles agricoles mais aussi des pelouses qui, à la saison à laquelle les photos ont été prises (été), auront un faible taux de couverture du fait des récoltes et de l'état de sécheresse de la végétation. Leur identification a donc été complétée par un recoupement avec les données agricoles disponibles à une échelle parcellaire (voir partie 2.1.1 | page 29) et par une étape de photo-interprétation.

À l'issue de ce travail de télédétection, une première carte d'occupation du sol a été générée. Les différentes analyses de l'image en IRC ont ainsi permis de distinguer avec précision les cinq classes suivantes :

- le bâti et les surfaces enrobées ;
- les sols nus ;
- les parcelles cultivées ;
- la végétation dense (strates arborées et arbustives) ;

- la végétation moyennement dense (type pelouse).



Figure 12 : résultat obtenu à l'issue de la deuxième étape

Cette étape est complétée par un travail de télédétection des équipements de sport et cimetières et des surfaces en eau à partir de la BD topo de l'IGN.

2.2.3 | Analyse et télédétection des surfaces bâties et de la voirie

Dans un troisième temps, les données disponibles localement sur le bâti et la voirie ont été utilisées : d'une part pour préciser la nature (voirie/parking ou bâti) des surfaces détectées comme minérales (bâti/enrobé), et d'autre part pour rectifier le biais lié au recouvrement de surfaces imperméables (principalement voirie) par la végétation de grande taille.

Le bâti

Plusieurs sources de données géographiques sont disponibles localement. Il s'agit :

- des données cadastrales issues de la DGFIP¹¹, qui couvrent le territoire de la Cub pour l'année 2013 ;
- des données issues de la BD Parcellaire de l'IGN, qui couvrent l'ensemble du département de la Gironde pour l'année 2010 ;
- des données issues de la BD Topo de l'IGN, qui couvrent l'ensemble du département pour l'année 2010.

Afin de compléter l'information sur les parties de territoire hors Cub, les données DGFIP et de l'IGN ont été agrégées en une couche vectorielle et cette donnée a été par la suite complétée par un travail de photo-interprétation (saisie manuelle). En effet, certaines constructions étaient manquantes (non déclarées fiscalement, constructions achevées récemment...). Cela a notamment été le cas pour la zone située sur la commune de Tresses, non couverte par la DGFIP et dont les données de la BD Topo dataient de 2010.

¹¹ Direction générale des finances publiques

La voirie

Une grande partie des infrastructures routières n'est pas cadastrée et échappe ainsi aux fichiers fonciers. Pour cette raison, la méthodologie mise en place par le CETE Nord-Picardie¹² a été appliquée ici. Elle permet d'estimer, à partir de la couche ROUTE de la BD Topo, les surfaces occupées par les infrastructures routières en leur attribuant une emprise selon qu'il s'agit d'une autoroute, d'une route ou d'un chemin...

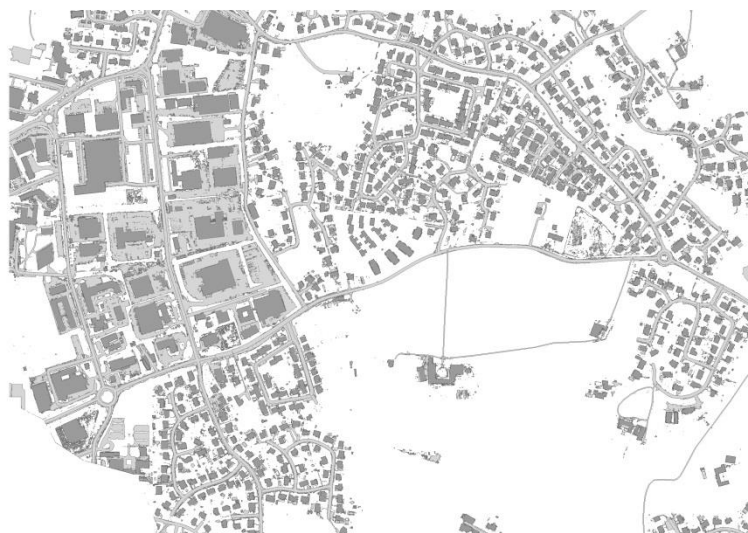


Figure 13 : le bâti et la voirie après géotraitement

Ces différentes étapes ont permis d'aboutir à une donnée vectorielle de l'occupation du sol d'échelle et de précision infra-parcellaire structurée en neuf classes : bâti, voirie/parking, équipements de sport et cimetières, espaces verts non agricoles (jardins privés, parcs...), terres cultivées, vignes, sols nus, végétation, surfaces en eau.



Figure 14 : résultat final

¹² Voir bibliographie en annexes.

2.3 | Analyse des résultats obtenus sur les deux territoires test

2.3.1 | Présentation des territoires test

Le sous-bassin versant du Haillan

Le sous-bassin versant du Haillan s'étend sur les communes de Saint-Médard-en-Jalles et du Haillan en rive gauche de la Garonne, sur une superficie de 12 km². Il est drainé par un des affluents de la Jalle de Blanquefort : le ruisseau du Haillan, d'une longueur de 7 km. Ce territoire à caractère périurbain est urbanisé à hauteur de 55 %¹³ de sa superficie, et la forêt à dominante de conifères (massif sylvicole de plateau landais) représente un peu plus de 35 % de la superficie du sous-bassin versant. Situé en lisière ouest de la tâche urbaine de l'agglomération bordelaise, et au voisinage immédiat de l'aéroport de Bordeaux-Mérignac, ce territoire est concerné par un développement urbain important, majoritairement à vocation économique avec le développement des zones d'activité Aéroparc et du centre de Technowest. Entre 1996 et 2010, 97 ha ont été consommés¹⁴ (un peu plus de 5 % de la surface du sous-bassin versant), dont 70 % (67 ha) à destination de zone d'activité.

D'un point de vue environnemental, ce sous-bassin versant est situé en amont du champ captant des sources Thil-Gamarde et connecté à ce dernier via le ruisseau du Haillan. La maîtrise de l'imperméabilisation des sols et des ruissellements est donc un enjeu important pour la protection de la ressource en eau potable à l'échelle de Bordeaux Métropole. Ce sous-bassin versant est également connecté par des affluents de la jalle au site Natura 2000 « réseau hydrographique des jalles de Saint-Médard et d'Eysines ».

Le sous-bassin versant du Desclaux

Le sous-bassin versant du Desclaux, situé sur les communes d'Artigues-près-Bordeaux (Bordeaux Métropole) et de Tresses (hors-Bordeaux Métropole) dans l'Entre-deux-Mers, s'étend sur une superficie de près de 18 km². Il est parcouru par les ruisseaux du Desclaux et du Moulinat, deux des principaux affluents en amont du Guâ. Ce territoire à caractère périurbain est urbanisé sur 45 % de sa surface. L'espace urbain est principalement constitué de tissu d'habitat pavillonnaire. L'espace ouvert est majoritairement composé d'espaces agricoles (cultures et vignes et petits massifs, boisements sous forme de massifs de petite taille dispersés et de prairies dans les vallées. Entre 1996 et 2010, environ 100 ha ont été urbanisés, principalement sous forme de tissu résidentiel.

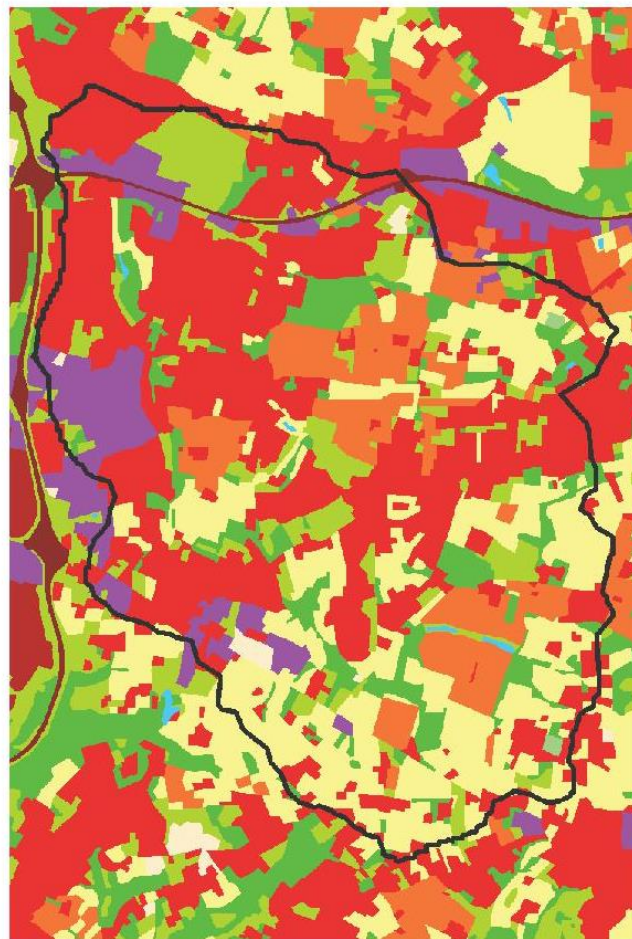
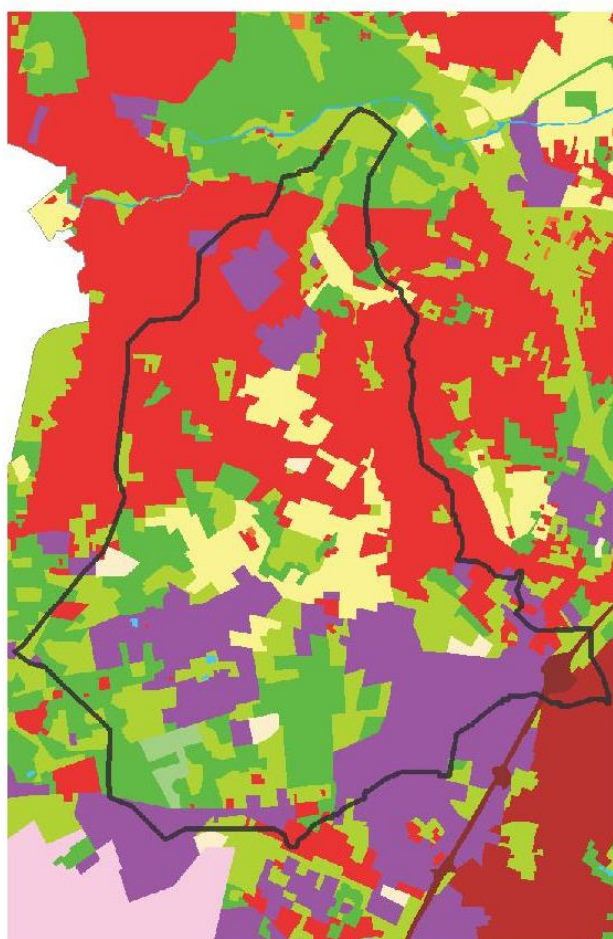
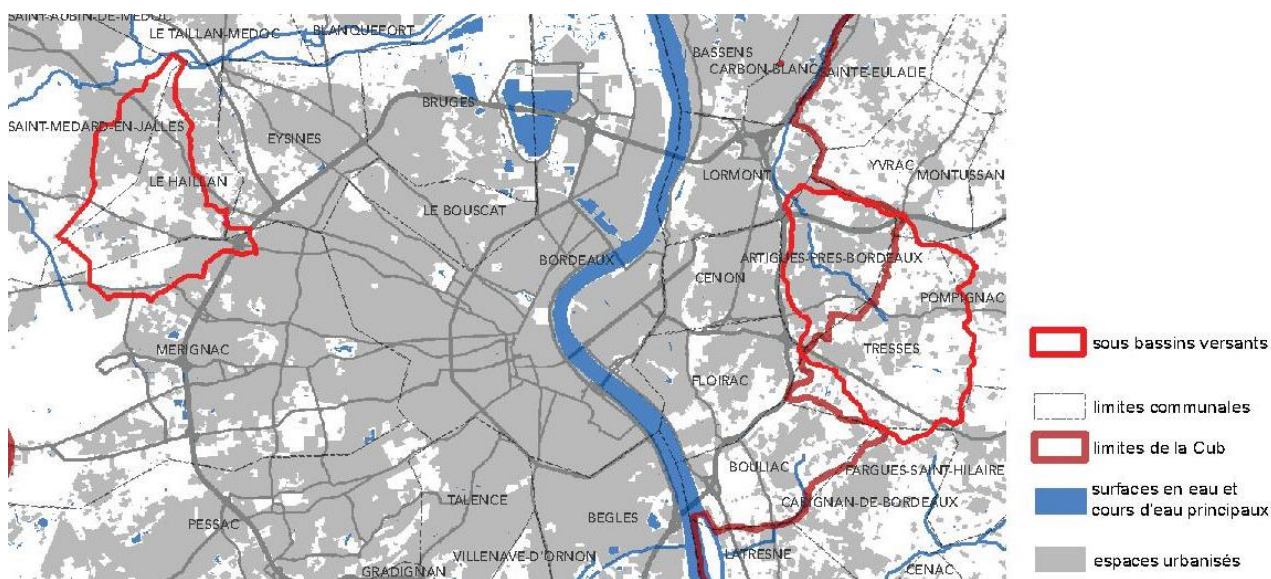
D'un point de vue environnemental, la topographie vallonnée de l'Entre-deux-Mers à l'origine de pentes marquées (fréquemment supérieur à 10 %), la nature du sol (globalement moyennement perméable liée à la présence d'argiles sablo-graveleuses), mais également la forte présence de vigne en tête de bassin versant (plus sensible aux ruissellements que des boisements ou des prairies), est l'origine

¹³ Source : donnée GEOSAT/2010

¹⁴ Source : données GEOSAT/ 1996 et 2010

d'une sensibilité particulière de ce territoire aux ruissellements pluviaux et au débordement des cours d'eau (en raison de l'orientation des rangs de vigne dans le sens de la pente) comme l'ont montré les inondations liées aux fortes pluies survenues le 27 juillet 2013.

Figure 15 : localisation des deux sous-bassins versants test



- | | | |
|---|---|---|
| AEROPORTS - AERODROMES | JACHERES - FRICHES - LANDES | VIGNES - VERGERS |
| CAMPING PRINCIPAUX | JEUNES PEUPELEMENTS FORESTIERS | AUTRES CULTURES |
| ZONES D'ACTIVITES | ZONES BOISEES | SOL NU |
| RESEAU AUTOROUTIER | RESEAU HYDROGRAPHIQUE | ZONES NON PHOTO-INTERPRETEES |
| ZONES URBAINES | RETENUES D'EAU | |
| ZONES URBAINES DENSES | | |

2.3.2 | Analyse des résultats obtenus

Sous-bassin versant du Desclaux

Classe	Surface (ha)	% du BV
Bâti	115,87	6,52 %
Voirie/parking	204,51	11,51 %
Surfaces imperméables	320,38	18,02 %
Equipements de sport et cimetières	46,6	2,62 %
Espaces verts non agricoles	354,70	19,96 %
Parcelles cultivées	345,87	19,46 %
Vignes	191,38	10,76 %
Végétation	685,28	38,54 %
Sols nus	24,33	1,36 %
Surfaces en eau	0,19	0,01 %
Surfaces perméables	1457,08	81,98 %

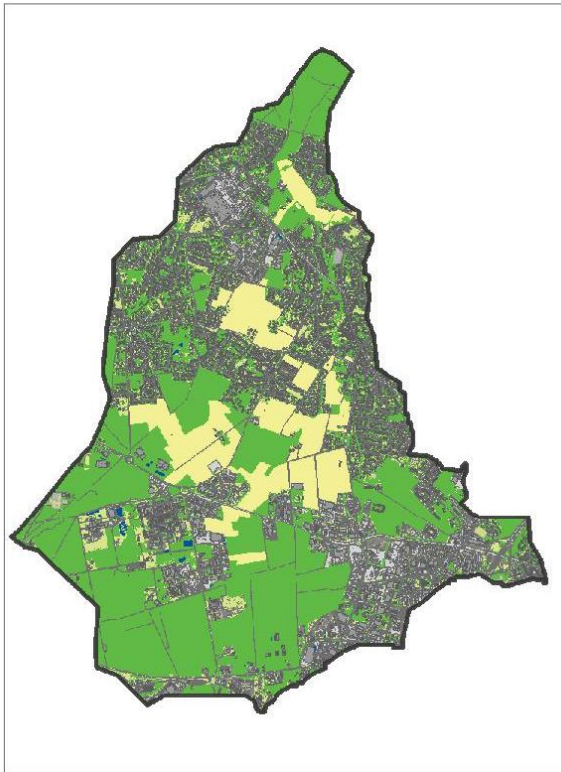
La part largement majoritaire (82 %) des espaces perméables reflète non seulement le caractère agricole et rural du sous-bassin versant, mais également le caractère « aéré et vert » des espaces urbains à dominante pavillonnaire :

- les espaces agricoles et naturels (non artificialisés) qui occupent encore plus de la moitié (55 %) de la superficie du sous-bassin versant représentent près de 67 % des surfaces perméables ;
- Les espaces perméables artificialisés (espaces verts inclus dans les zones urbaines) représentent néanmoins une part non négligeable de la surface perméable du sous-bassin versant : en effet, le taux d'imperméabilisation de ces tissus urbains n'est que de 39,81 %¹⁵.

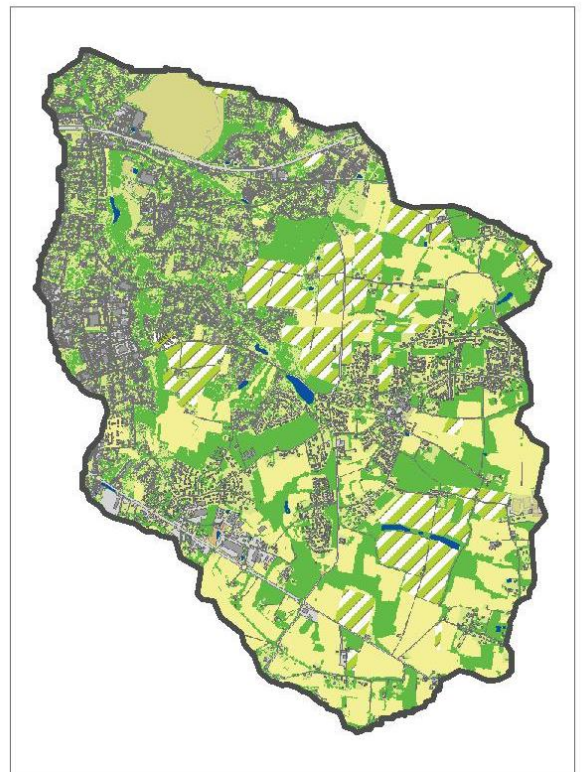
¹⁵ D'après les données d'occupation du sol GEOSAT (2010), la superficie des espaces urbains est de 804,71 ha sur le sous-bassin versant du Desclaux. Ces espaces se composent à 85 % de tissu urbain mixte peu dense (à vocation nettement dominante d'habitation).

Figure 16 : occupation du sol des sous-bassins versants du Desclaux et du Haillan

sous-bassin versant du Haillan



sous-bassin versant du Desclaux



1
Kilomètres



Le sous-bassin versant du Haillan

Classe	Surface (ha)	% du BV
Bâti	133,49	10,8 %
Voirie/parking	242,55	19,5 %
Surfaces imperméables	376,04	30,56 %
Equipements de sport et cimetières	3,15	0,24 %
Espaces verts non agricoles	111,02	9 %
Parcelles cultivées	1,3	10,17 %
Vignes	0,46	0 %
Végétation	599,82	48 %
Sols nus	26,09	2,08 %
Surfaces en eau	2,79	0,23 %
Surfaces perméables	854,30	69,44 %

Comparativement au sous-bassin versant du Desclaux, la part des espaces imperméables (30,56 %¹⁶) est importante, en raison du taux d'urbanisation (55 %), mais également de la superficie des zones d'activités économiques.

- Les espaces agricoles et naturels (non artificialisés) qui occupent moins de la moitié (45 %) de la superficie du sous-bassin versant représentent près de 66 % des surfaces perméables sur le même périmètre.

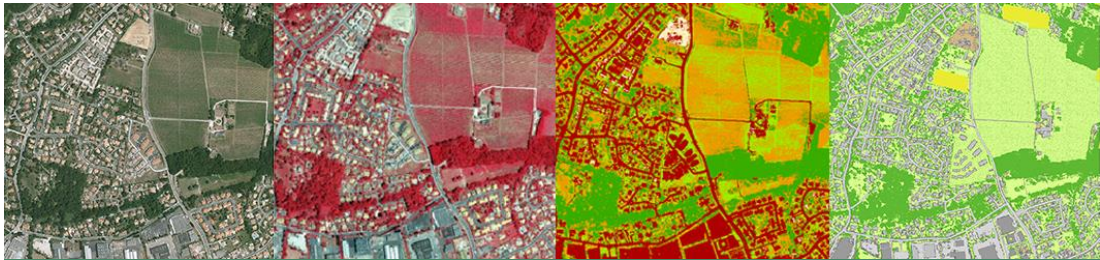
- Les espaces urbanisés, dont les zones d'activités économiques représentent 41 % de la superficie, sont plus imperméables que ceux du sous-bassin versant du Desclaux. Le taux d'imperméabilisation moyen des espaces urbains, nettement supérieur, atteint 56 %.

L'analyse des données obtenues permet de mettre en évidence des différences significatives en termes d'imperméabilisation des sols entre les deux sous-bassins versants observés.

Elles se traduisent en particulier par des taux d'imperméabilisation des espaces urbanisés variables, qui s'expliquent par vocations et par les formes urbaines différentes de ces espaces. Ainsi, les espaces urbanisés du sous-bassin versant du Haillan (dont 41 % sont composés de zones d'activités économiques) sont plus imperméables que ceux du Desclaux, majoritairement composés de zones pavillonnaires.

Grâce à ces données, il est envisageable de calculer des taux d'imperméabilisation moyen par type de zones urbaines. Cette approche permettrait de disposer de données plus précises pour alimenter les modélisations hydrauliques ou encore fixer des objectifs de limitations de l'imperméabilisation des sols adaptés.

¹⁶ D'après les données d'occupation du sol GEOSAT (2010), la superficie des espaces urbains est de 668,40 ha, la surface du sous-bassin versant du Haillan étant de 1230 ha.



3 | Intérêt de la méthode et utilisations possibles

3I Intérêt de la méthode et utilisations possibles

La méthode cartographique proposée présente deux fonctions principales :

- il s'agit d'une donnée qui permet de distinguer les sols perméables des sols imperméables ;
- grâce aux analyses complémentaires (par photo-interprétation et croisement avec d'autres sources de données géographiques), la donnée produite permet également de disposer d'une information précise sur les espaces végétalisés y compris dans le tissu urbain.

3.1 | Avantages de la méthode proposée et limites de la donnée produite

Les principales qualités et limites de cette donnée sont les suivantes :

3.1.1 | Une donnée précise et relativement fiable

Compte tenu de la précision de la BD ORTHO® IRC (pixel de 40 cm), la finesse de la maille permet de caractériser très précisément les emprises végétalisées (jusqu'à des superficies de 0,16 m²) à une échelle infra-parcellaire. Ainsi, les espaces végétalisés insérés dans le tissu urbain que les autres sources de données ne permettent pas de détecter sont prises en compte. Il s'agit notamment : des jardins privés, des espaces d'accompagnement de la voirie, des espaces verts des zones d'activités ainsi que des friches.

Réciproquement, les espaces imperméables autres que la voirie et principalement situés sur du foncier privé que la BD topo ne permet pas de localiser sont identifiés avec la même précision : parcs de stationnement de petite taille, voies de dessertes internes, aires de roulement et autres surfaces enrobées.

3.1.2 | Une méthode reproductible et potentiellement pérenne

La phase d'analyse de la BD ortho IRC® est entièrement « automatisée » et facilement reproductible. La méthode de correction du recouvrement par les houppiers des arbres et végétaux de grande taille et leurs ombres portées sur des surfaces potentiellement imperméables peut également être appliquée.

Seule la correction de la non détection des sols peu ou pas végétalisés mais perméables nécessite un travail de photo interprétation complémentaire. Cela concerne les sols nus (chantiers, carrières...), certaines pelouses ou cultures.

Compte tenu de la convention signée entre Bordeaux Métropole et l'IGN, cette donnée serait reproductible tous les trois ans.

3.1.3 | Des limites à connaître et des biais à corriger

La donnée produite permet de mesurer l'intégralité de la couverture végétale, mais sans pour autant pouvoir détailler la nature de la végétation (différents types de strates).

Par ailleurs, les solutions utilisées pour corriger les biais évoqués précédemment (surfaces perméables à faible activité chlorophyllienne et recouvrement de surfaces imperméables pas les houppiers et des ombres portées) ne sont pas infaillibles et ne sont pas totalement automatisables. Un travail de vérification de la donnée produite est donc indispensable.

3.2 | De multiples utilisations possibles

3.2.1 | Contribution à l'amélioration de la connaissance du comportement hydrologique du territoire urbain et périurbain

Le degré d'imperméabilisation des sols est un paramètre indispensable pour modéliser le comportement des bassins versant urbains et périurbains.

La prise en compte de cette donnée (croisée avec d'autres, telles que la capacité d'infiltration des sols, la pente...) pourrait permettre d'évaluer la sensibilité au ruissellement et les besoins en matière de gestion hydraulique.

Une méthode simplifiée d'évaluation de la sensibilité des territoires au ruissellement est jointe en annexe.

3.2.2 | Un indicateur de suivi des dynamiques d'urbanisation du territoire

Des enjeux et dynamiques d'évolution potentiellement contradictoires (mis en évidence à la partie 1.2 | page 15) sont susceptibles d'influer l'imperméabilisation des sols :

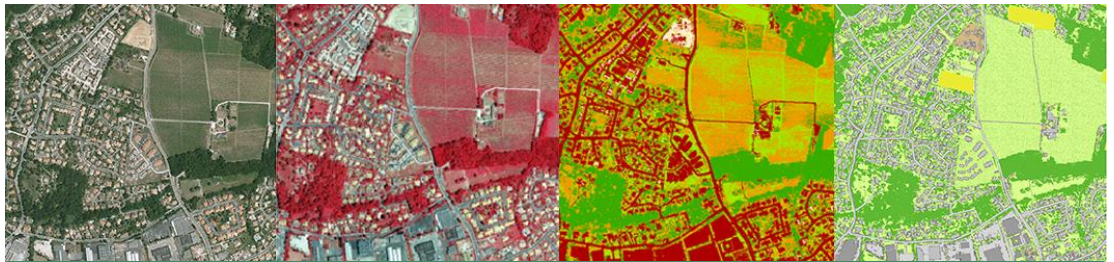
- une dynamique de densification des espaces déjà urbanisés en raison du mouvement de recentrage du développement urbain sur l'agglomération bordelaise susceptible d'aggraver l'imperméabilisation des sols et ses conséquences négatives en milieu urbain si elle n'est pas maîtrisée (dans sa localisation et ses modalités).
- le besoin de limiter l'imperméabilisation des sols en milieu urbain pour anticiper et réduire les effets négatifs des changements climatiques en cours et à venir (en particulier effet « îlot de chaleur urbain » et risque inondation accru).

Dans ce contexte, la donnée proposée, si elle est produite, permettrait un suivi de ces dynamiques à l'échelle de Bordeaux Métropole, mais également sur des territoires présentant des enjeux spécifiques (abords des cours d'eau, zones inondables, zones de protection des captages...).

Cette donnée nouvelle permettrait également d'évaluer le coefficient d'imperméabilisation des sols par typologie de tissu urbain (tissu pavillonnaire, centralité, zone d'activité économique...) et, par exemple, de fixer des objectifs chiffrés de limitation à l'imperméabilisation des sols, à suivre dans le temps.

3.2.3 | Un outil au service de la mise en œuvre ciblée d'outils de maîtrise de l'imperméabilisation des sols

Compte tenu de la possibilité de produire des indicateurs sur l'imperméabilisation des sols et/ou des taux de couverture végétale (soit à l'échelle de Bordeaux Métropole soit sur des secteurs plus circonscrits), il est possible d'envisager l'utilisation de ces indicateurs au service de la mise en œuvre des outils réglementaires existants en matière de maîtrise de l'imperméabilisation des sols évoqués à la partie 1.3.1 | (page 23 (« coefficients de biotope » adaptés aux sensibilités hydrologiques et aux caractéristiques urbaines des secteurs du plan de zonage, ou encore secteurs où la superficie des parcs de stationnement des équipements commerciaux est plafonnée).



Annexes

Annexe 1 : Glossaire

Bassin versant

Un bassin versant correspond à une portion de territoire à l'intérieur duquel toutes les eaux de pluie ou de ruissellement s'écoulent dans la même direction et se rejoignent pour former un cours d'eau ou un lac. Les limites superficielles du bassin versant sont les lignes de partage des eaux. Un « sous-bassin » désigne le bassin versant d'un affluent.

Fonctions environnementales des sols

À l'interface avec les autres compartiments de l'environnement (atmosphère, biosphère, eaux, sous-sols), les sols jouent un rôle essentiel. Par les flux permanents échangés avec eux, ils constituent en effet un maillon central dans la régulation des grands cycles planétaires tels que ceux de l'eau, du carbone ou de l'azote.

Les sols assurent ainsi de multiples fonctions. Parmi elles, la production de denrées alimentaires et de matières premières (sable, argile) est la plus valorisée. Ils régulent également le régime des eaux superficielles et l'alimentation des eaux souterraines, ainsi que le cycle du carbone, de l'azote et des gaz à effet de serre. Leur capacité de stockage du carbone est ainsi supérieure à celle des végétaux et de l'atmosphère réunis. Ils abritent enfin un immense réservoir de biodiversité, tant souterraine que terrestre.

Les sols constituent donc un système vivant complexe, en constante interaction avec les autres milieux. Avec un processus de formation très lent (de 1 mm à 1 cm par siècle), il s'agit cependant d'une ressource non renouvelable, la détérioration étant difficilement réversible et la réhabilitation très coûteuse.

Corine Land Cover

(source : <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr>)

La base de données géographique Corine Land Cover, dite CLC, est produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement Corine. Cet inventaire biophysique de l'occupation des terres fournit une information géographique de référence pour 38 États européens. La continuité du programme et la diffusion des données Corine Land Cover sont pilotées par l'agence européenne pour l'environnement. Le producteur pour la France est le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'environnement. Corine Land Cover est issue de l'interprétation visuelle d'images satellitaires, avec des données complémentaires d'appui. L'échelle de production est le 1/100 000. Il existe trois millésimes de la base Corine Land Cover en Europe : 1990, 2000 et 2006. Ces bases d'état sont accompagnées par les bases des changements 1990-2000 et 2000-2006 (données sur les portions du territoire ayant changé d'occupations du sol).

Téledétection

La télédétection est « l'ensemble des connaissances et techniques utilisées pour déterminer des caractéristiques physiques et biologiques d'objets par des mesures effectuées à distance, sans contact matériel avec ceux-ci » (Journal Officiel du 11 décembre 1980).

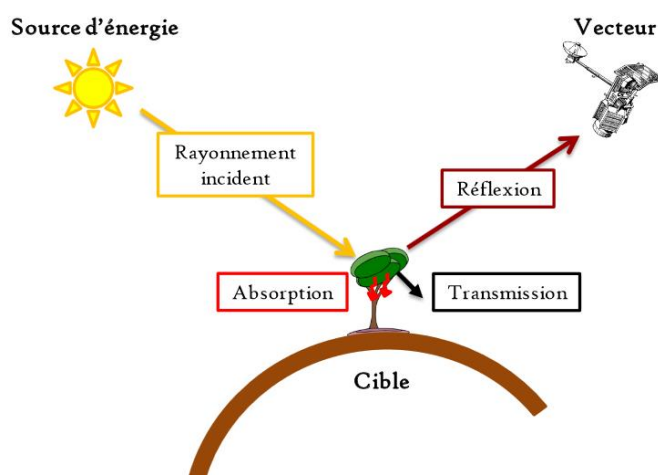
Elle utilise les propriétés d'émission ou de rayonnement des ondes électromagnétiques par les objets. En effet, tout corps dont la température est supérieure au zéro absolu (-273°C) est un émetteur de rayonnement électromagnétique (I.F.E.N., 2005), dont l'intensité de son état de surface.

Le principe de base de la télédétection est similaire à celui de la vision de l'homme. Elle résulte de l'interaction de trois éléments fondamentaux :

- une source d'énergie : élément qui éclaire la cible en émettant une onde électromagnétique ;
- une cible : une portion de la surface terrestre observée par le satellite ;
- un vecteur : élément mesurant l'énergie solaire réfléchi par la cible.

La source d'énergie, le plus souvent d'origine solaire, émet un rayonnement en direction de la cible. Après avoir interagi avec l'atmosphère, ce rayonnement entre en contact avec la surface terrestre, c'est-à-dire la cible, qui va alors absorber une partie de ce rayonnement qui est alors transformé en chaleur. Le reste est soit réfléchi, soit transmis à travers le corps. Les trois composantes de l'interaction sont donc l'absorption, mesurée par l'absortance (part d'énergie incidente absorbée par l'objet), la réflexion, mesurée par la réflectance (quantité d'énergie renvoyée par la surface) et la transmission, mesurée par la transmittance (part d'énergie incidente qui va traverser l'objet sans être altérée).

L'énergie qui nous intéresse ici est celle diffusée ou émise par la cible, qui sera captée à distance par un capteur qui n'est pas en contact avec l'objet, soit le satellite.

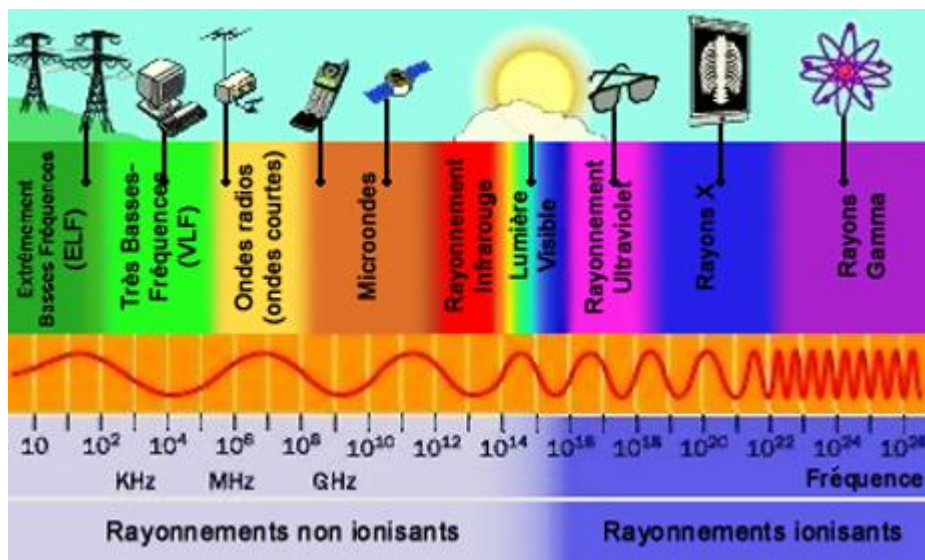


Rayonnement électromagnétique

Le signal, c'est-à-dire la part d'énergie reçue puis réfléchi par une cible en direction du capteur, est transmis sous forme de rayonnement électromagnétique.

Le rayonnement électromagnétique, phénomène ondulatoire composé d'un champ électrique et d'un champ magnétique, est une forme de propagation de l'énergie dans la nature dont la forme la plus familière est la lumière visible perçue par l'œil humain. Celui-ci est ainsi l'un des plus vieux outils de télédétection. Il est cependant limité par deux facteurs :

- son spectre : Si l'œil ne peut voir qu'une plage limitée du spectre électromagnétique, les satellites, en revanche, peuvent capter une plus grande plage de longueurs d'ondes.
- la distance d'observation : l'œil ne peut voir un objet à 800 km de distance.



le spectre électromagnétique (source : <http://tpe-ondeselectomagnetiques.e-monsite.com/pages/le-spectre-electromagnetique.html>)

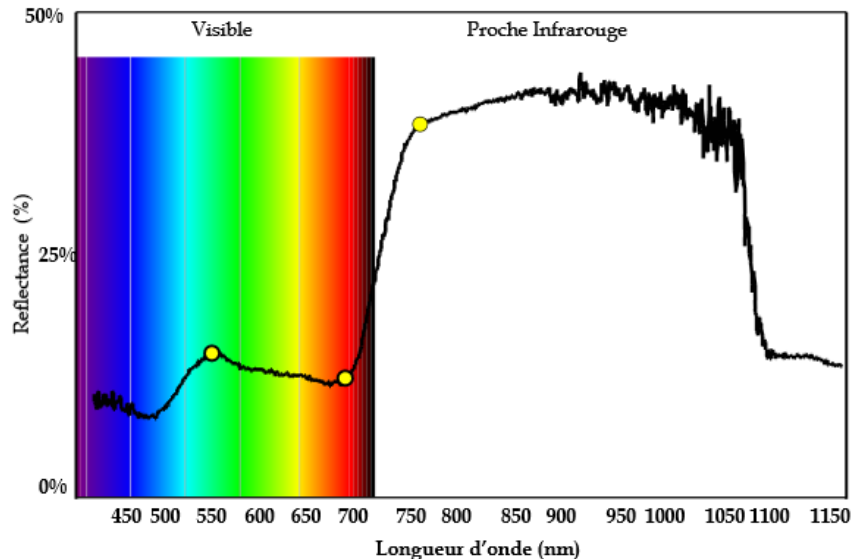
Comportements spectraux

Chaque objet géographique émet ou réfléchit un rayonnement dans les diverses fréquences du spectre électromagnétique : c'est le comportement spectral. En télédétection, on considère que tout objet ou classe d'objets possède sa propre empreinte dans le spectre électromagnétique.

Pour chaque objet observé dans le spectre électromagnétique à la surface de la terre, la valeur de réflectance correspond au rapport, en pourcentage, entre l'intensité du rayonnement réfléchi et le rayonnement incident d'une surface. Cette valeur varie en fonction de la longueur d'onde. Il est ainsi possible d'obtenir une courbe de réflectance en fonction des longueurs d'ondes dont l'allure générale constitue la signature spectrale de l'objet.

Signature spectrale

Chaque objet possède sa propre signature spectrale. Ainsi, il est possible de distinguer les sols de la végétation en analysant leur réponse aux rayonnements

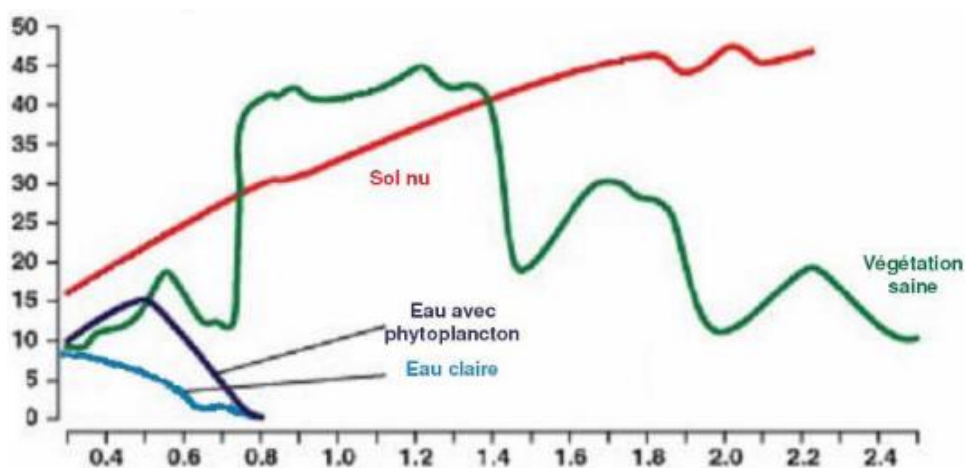


Signature spectrale typique de la végétation (source : http://www.esse.u-psud.fr/IMG/pdf/cours_teledec.pdf)

- Les surfaces minérales sont caractérisées par une réflexion croissante dans le visible et le proche infrarouge. Les principaux facteurs qui l'influenceront sont la teneur en eau du sol, sa nature, son contenu en minéraux et sa rugosité.

- La végétation est caractérisée par une réflectance élevée dans le proche infrarouge et faible dans le vert. En effet, dans le proche infrarouge, les pigments foliaires sont transparents, d'où une très faible absorption du rayonnement qui sera alors soit transmis en traversant le végétal, soit réfléchi. Les surfaces végétales se caractérisent par une signature spectrale particulière en raison de l'activité chlorophyllienne et de la présence d'eau dans les feuilles. La réponse des végétaux aux rayonnements visibles et proche infrarouge dépend notamment :

- des espèces végétales qui les composent,
- de leur stade de développement et de leur état de santé,
- de la forme et de la structure (recouvrement) des organes végétaux, et notamment des feuilles et de leur arrangement spatial,
- du contenu en eau de la plante...



Réflectances comparées d'un sol nu, d'une végétation verte et d'eaux (source : site RSAC)

Utilisation de l'indice NDVI

La connaissance du comportement spectral de chaque objet permet d'envisager l'utilisation d'indices, qui sont une combinaison de plusieurs bandes spectrales destinée à mettre en évidence les particularités d'une surface donnée.

Ainsi, l'indice de végétation normalisé NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) traduit la densité du feuillage et la proportion de sol effectivement couverte par la végétation. Il consiste à soustraire au canal infrarouge (où la couverture végétale a de fortes réflectances) le canal rouge (où les surfaces minéralisées ont de fortes réflectances).

Il est défini par :

$$NDVI = \frac{Rouge - PIR}{Rouge + PIR}$$

Les valeurs varient de -1 à 1 et permettent de distinguer les surfaces végétales des sols nus et de l'eau. L'indice est en effet d'autant plus élevé qu'il y a de la végétation, tandis qu'il se rapprochera de zéro pour des sols dominés par les minéraux (sols nus et habitations) et sera inférieur à zéro pour les surfaces en eau.

Données d'occupation du sol GEOSAT

Les données produites par le bureau d'études Géosat pour le Conseil Général en 2008 (photo aérienne de 2004), pour l'a-urba en 2010 (photo aérienne de 1996) et le Sysdau en 2011 (photo aérienne de 2010) sont issues d'un travail de photo-interprétation en 12 postes d'occupation du sol (zones urbaine, zone urbaine dense, zone d'activité, aéroport-aérodrome, réseau autoroutier, réseau hydrographique, zone boisée, jeune peuplement forestier, jachère-friche-lande, vigne et verger, autre culture, sol nu). Ce travail a permis de réaliser une tache urbaine en 2010 ainsi qu'une étude de l'évolution de l'occupation du sol entre 1996 et 2010 dans le cadre de l'élaboration du SCoT Ide l'aire métropolitaine bordelaise. L'échelle limite d'utilisation de ces données est le 1/5000^{ème}.

Annexe 2 : Bibliographie

Notions générales sur l'imperméabilisation des sols et le ruissellement

Agence européenne pour l'environnement. The European environment — state and outlook 2010 : land use.

BRAHY V., LOYEN S. L'imperméabilisation et la compactation des sols. SOLS 6 – Chapitre 11 : Les sols et l'environnement.

Commission des Communautés Européennes. 2006. Stratégie thématique en faveur de la protection des sols. Communication de la Commission au Conseil, au Parlement européen, au Comité économique et social européen et au Comité des Régions.

Commission européenne. Lignes directrices concernant les meilleures pratiques pour limiter, atténuer ou compenser l'imperméabilisation des sols. Avril 2012, 62 p.

DEBYSER A. Protection des sols et urbanisation. Library Briefing - Bibliothèque du Parlement européen. Mars 2013, 7 p.

DOYON N. Regroupement des Organismes de Bassins Versants du Québec. L'imperméabilisation des sols.

GisSol. L'état des sols de France. Groupement d'intérêt scientifique sur les sols. Novembre 2011, 188 p.

HAMEL. Chapitre 2 – Le risque de ruissellement et d'érosion : méthodologies d'étude. 31 p.

US-EPA. Reducing urban heat islands. Compendium of strategies. Chapter 2 : Trees and vegetation. 2008.

Données sur le territoire d'étude

A'urba. Stratégie de reconquête de l'estey du Guâ. Janvier 2014.

CUB. Réalisation d'une cartographie indicative d'aptitude à l'infiltration. SEPIA Conseils. Novembre 2012, 48 p.

Eléments de méthodologie

AUDAP. L'identification de la perméabilité des sols au moyen de l'imagerie. Les Cahiers méthodologiques. Mars 2014, 50 p.

CEMAGREF de Lyon. Méthodes de cartographie de l'occupation du sol et de son évolution pour le suivi des phénomènes hydrologiques de bassins versants périurbains.

CETE Nord-Picardie. Mesures de la consommation d'espace à partir des fichiers fonciers. Analyse de l'occupation des sols : Surfaces occupées par les infrastructures routières. Fiche 1.7. Septembre 2013.

Communauté d'Agglomération de La Rochelle. Etude taxe pluviale : méthodologie SIG pour une étude d'opportunité pour la mise en œuvre de la taxe pluviale.

DDT de l'Oise. Artificialisation des sols : les outils de mesure. Les cahiers de l'Oise. 8 pages pour connaître, n°128. Octobre 2012.

Fiche technique OTHU n°24.

La télédétection

BOUREAU J-G. Manuel d'interprétation des photographies aériennes infrarouges – application aux milieux forestiers et naturels. Inventaire Forestier National. 268 p.

Inventaire Forestier National. L'image proche infrarouge : une information essentielle. L'IF. Numéro 25 – 2ème trimestre 2010.

Annexe 5 : modélisation de la sensibilité des sols au ruissellement

En empêchant toute infiltration de l'eau, l'imperméabilisation des sols entraîne une forte modification du ruissellement, pouvant se traduire à terme par des inondations plus ou moins localisées. D'autres facteurs, en se combinant, vont également venir favoriser l'écoulement des eaux de surface.

Ainsi, pour mesurer l'ampleur de ce phénomène à l'échelle des deux sous-bassins versants considérés, différents paramètres devront être pris en considération.

L'occupation du sol

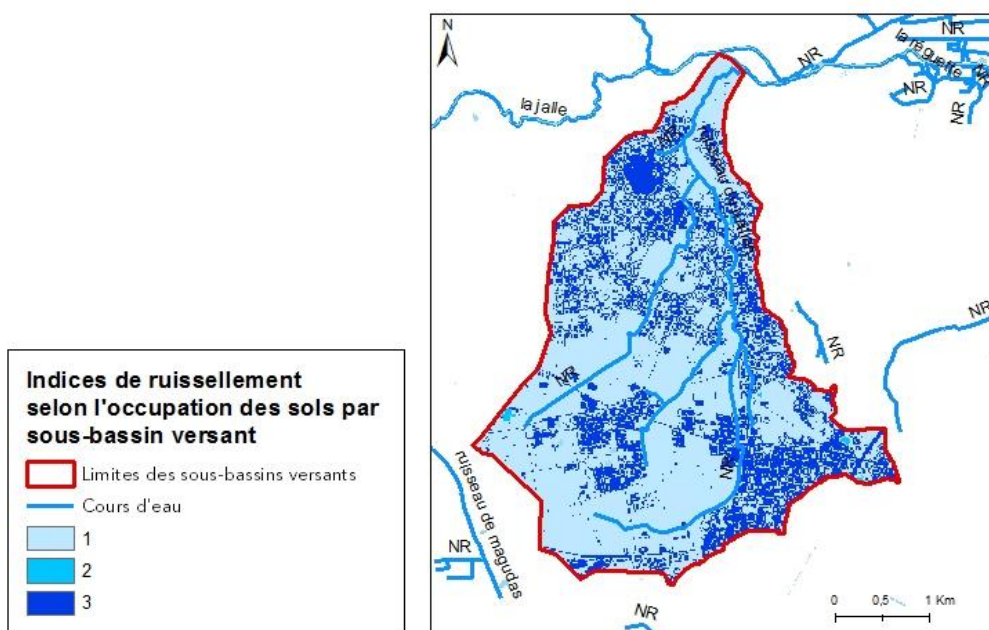
Le ruissellement varie selon la nature des surfaces sur lesquelles la pluie tombera. Ainsi, une surface végétalisée (forêt, prairies) favorisera la retenue des eaux de surfaces et diminuera le ruissellement tandis qu'un sol nu ou imperméabilisé (bétonné) aura tendance à l'accentuer.

Pour caractériser la capacité d'un bassin versant à ruisseler, un indice est très souvent utilisé en hydrologie de surface. Il s'agit du coefficient de ruissellement, défini comme étant le rapport entre le « volume d'eaux ruisselées » dans le territoire considéré pendant un épisode pluvieux et le « volume total de la pluie ».

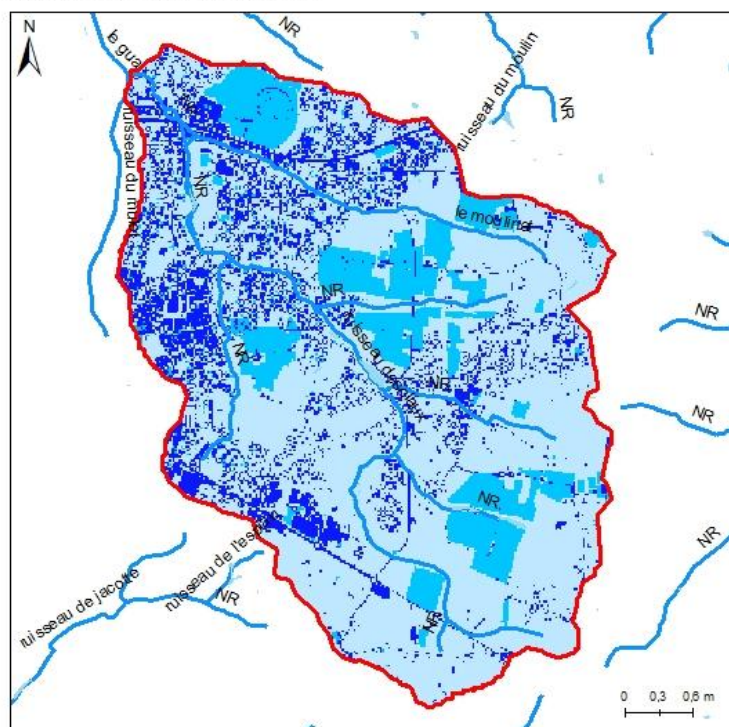
Dans le cas présent, les coefficients de ruissellement retenus sont présentés dans le tableau ci-après. Chacun d'entre eux est assigné d'une valeur comprise entre 1 et 3, 1 étant affecté à la classe la moins vulnérable et 3 à la plus vulnérable.

Catégorie	Classe	Coefficient de ruissellement	Indice attribué
Les espaces d'urbanisation	Bâti pavillonnaire	0,9	3
	Bâti industriel ou commercial	0,9	3
	Voirie/parking	0,9	3
	Equipements de sport et cimetières	0,3	2
	Espaces verts artificialisés non agricoles (jardins privés, parcs...)	0,2	1
Les espaces naturels	Végétation	0,1	1
Les espaces agricoles	Parcelles cultivées	0,2	1
	Vignes	0,5	2
Autres	Sols nus	0,5	2
	Réseau hydrographique	0	1

Le sous-bassin versant du Haillan



Le sous-bassin versant du Desclaux



La nature des sols et leur perméabilité

Il s'agit ici d'évaluer la capacité des sols et du sous-sol à infiltrer les eaux pluviales en tenant compte de :

- la géologie du sous-sol, à partir des données cartographiques existantes (cartes géologiques à 1/50 000 éditée par le BRGM17 et visualisables sur le site <http://www.infoterre.brgm.fr>)

¹⁷ BRGM : Bureau de Recherches Géologiques et Minières

- la nature des couches superficielles du sol (pédologie), à partir de l'analyse de la Cub dans son étude « Réalisation d'une cartographie indicative d'aptitude à l'infiltration », basée sur l'évaluation de 7000 sondages réalisés sur le territoire communautaire. Le croisement de ces données permet de fournir des indications quant à la capacité des sols à infiltrer l'eau de pluie et à ruisseler. On peut ainsi distinguer trois types de comportement : peu perméable, moyennement perméable et perméable. À chaque classe est assigné un indice variant entre 1 et 3, 1 étant affecté aux sols les plus perméables.

Sur le bassin versant du Desclaux, les sous-sols, globalement moyennement perméables, sont composés de dépôts colluvionnés d'argiles sablo-graveleuses (CF) et de sables argileux à graviers (Fu et FxbD), reposant sur un substrat calcaire (g2). Les cours d'eau circulent dans un fond de vallée argileux-limoneux (Fyb) quant à lui peu perméable.

Sur le bassin versant du Haillan, l'amont est composé de sols sablo-argileux à graviers (FxbG), globalement perméables, qui sont venus se déposer sur les versants en aval, formant ainsi des colluvions (CFD), à priori également perméables. En aval, les sols reposent sur un substrat calcaire du Miocène (m1), à priori perméable, ou sur des argiles de l'Oligocène (g3), peu perméables.

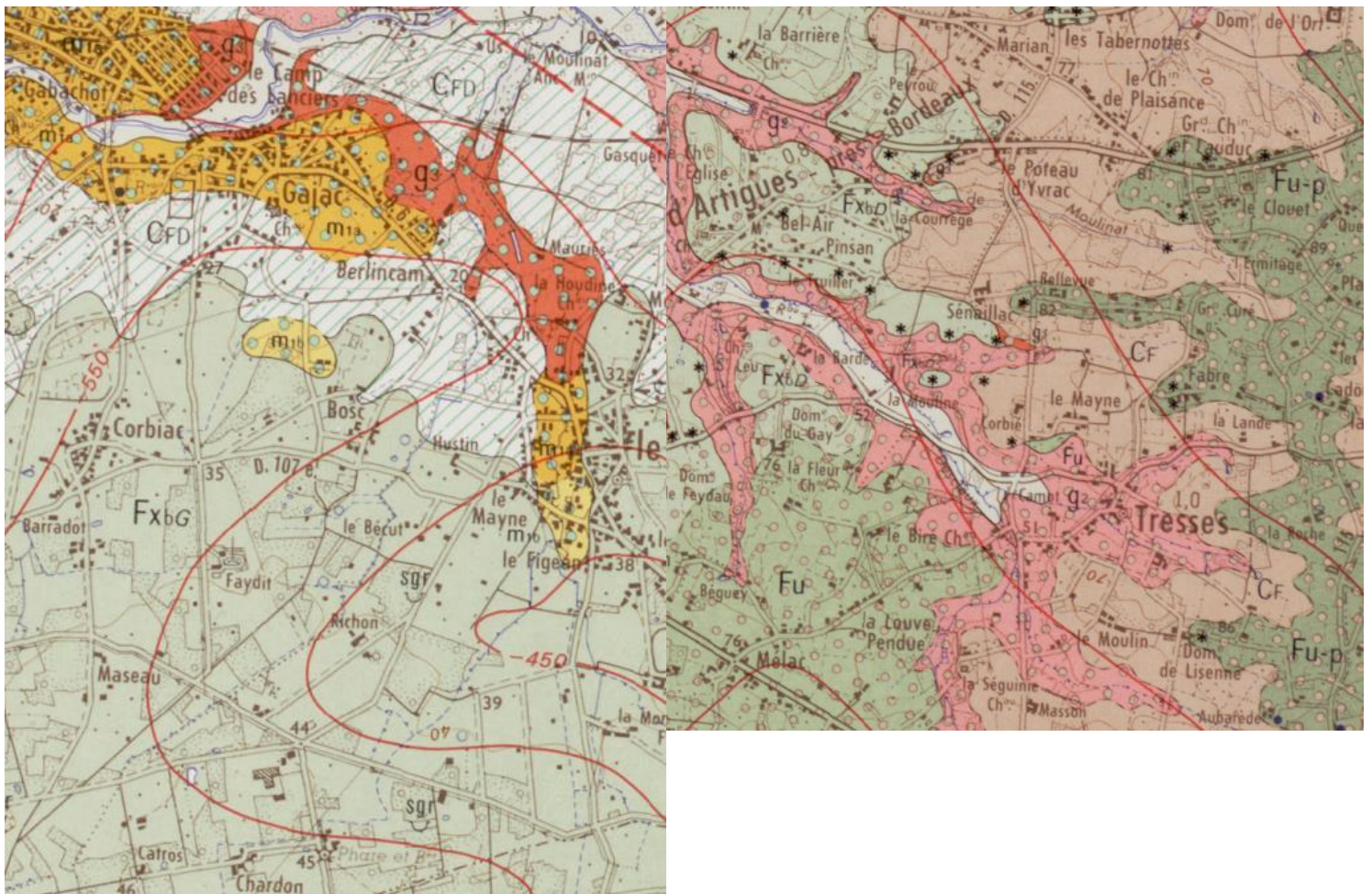
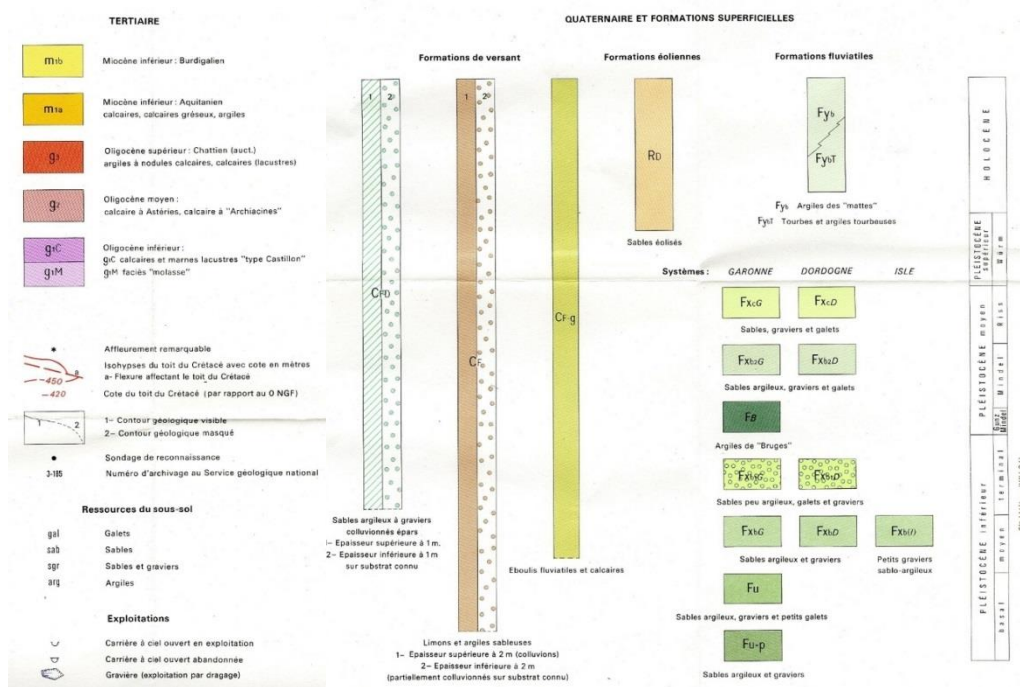


Figure 17 : Extrait de la carte géologique au 1/50 000ème du sous-bassin versant du Desclaux



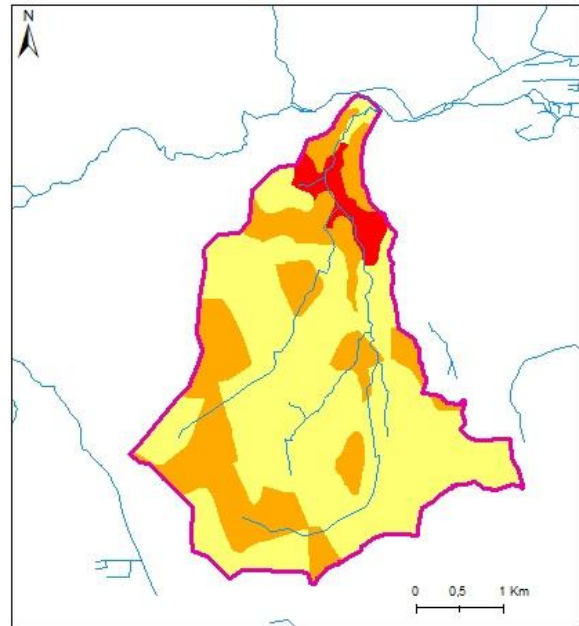
Analyse de la nature des couches superficielles du sol (pédologie) (cf. « Réalisation d'une cartographie indicative d'aptitude à l'infiltration », Cub)

Lors de la réalisation de la carte de l'aptitude à l'infiltration des sols, la Cub a notamment disposé d'une base de données de près de 7000 sondages réalisés sur le territoire communautaire. Leur analyse met en évidence que les communes situées en rive droite de la Garonne, et notamment la commune d'Artigues-près-Bordeaux, sont de nature plutôt argileuse et donc peu favorables à l'infiltration.

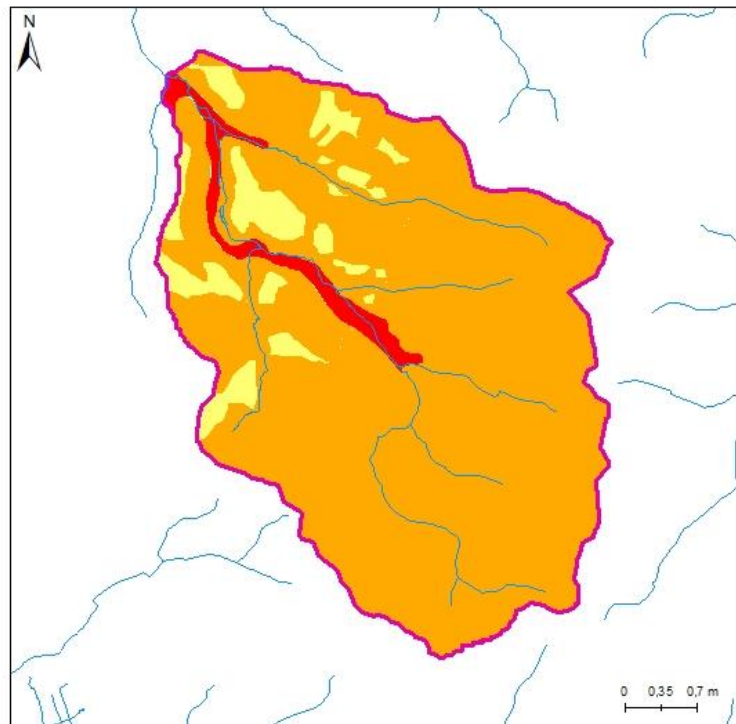
En rive gauche, pour la plupart des communes, et notamment pour Le Haillan et Saint-Médard-en-Jalles, les sols sont à dominante sableuse et sont de ce fait assez favorables à l'infiltration de l'eau.

En combinant l'ensemble des données issues de la Cub et des cartes géologiques, nous obtenons la carte suivante qui met en évidence les zones à priori perméables :

Le sous-bassin versant du Haillan



Le sous-bassin versant du Desclaux



Les pentes

La topographie du territoire est un facteur essentiel dans l'accentuation des écoulements de surface sur une parcelle composée d'un matériau relativement perméable. Une pente importante empêchera en effet les micro-stockages dans les aspérités du sol et réduira l'infiltration, augmentant de ce fait le ruissellement.

La carte des pentes, présentée ci-après, a été réalisée à partir d'un modèle numérique de terrain (MNT), qui est une représentation de la topographie du territoire sous une forme adaptée à une utilisation via un système d'information géographique.

Quatre classes ont été définies et sont données dans le tableau suivant :

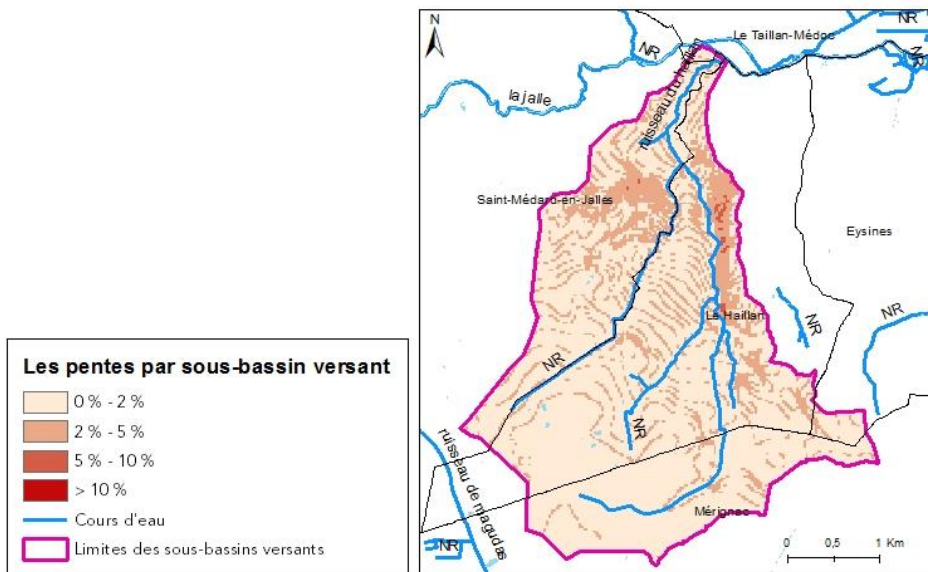
Taux d'inclinaison (%)	Type de pente	Indice attribué
0-2	Très faible	1
2-5	Faible	2
5-10	Moyen	3
>10	Fort	4

Les deux bassins versants étudiés présentent des caractéristiques topographiques différentes :

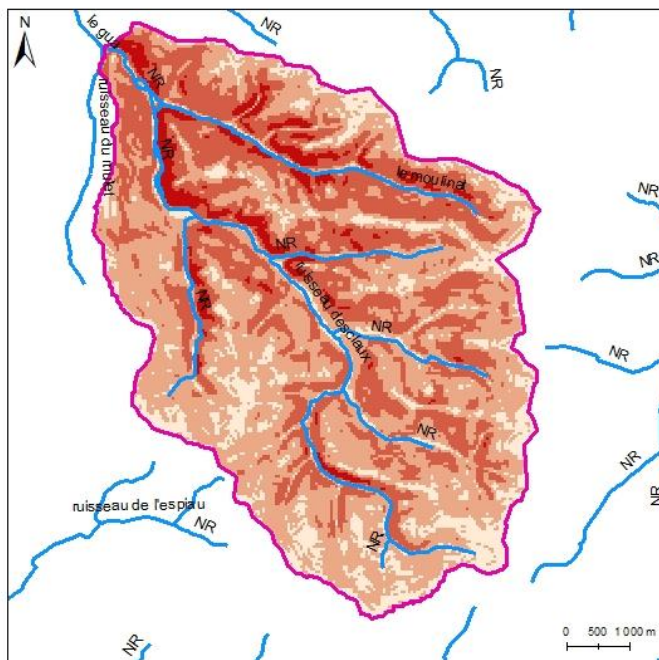
Sur le sous-bassin versant du Haillan, le territoire est dans l'ensemble peu pentu. Il est en effet essentiellement constitué de pentes relativement faibles, n'excédant que très ponctuellement une inclinaison de 5 %.

Sur le sous-bassin versant du Desclaux, les pentes peuvent être localement moyennes à fortes (supérieures à 5 % voire à 10 %).

Le sous-bassin versant du Haillan



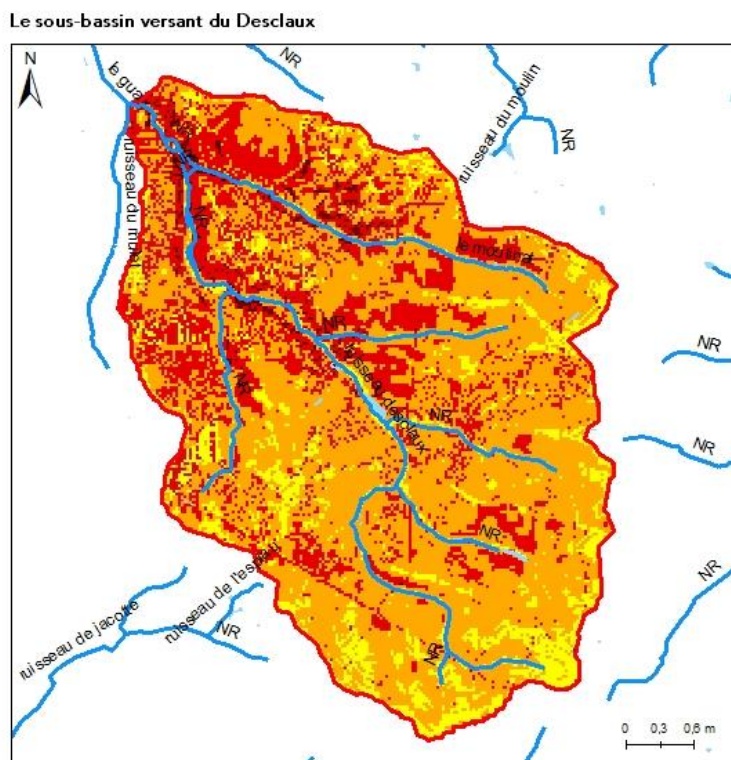
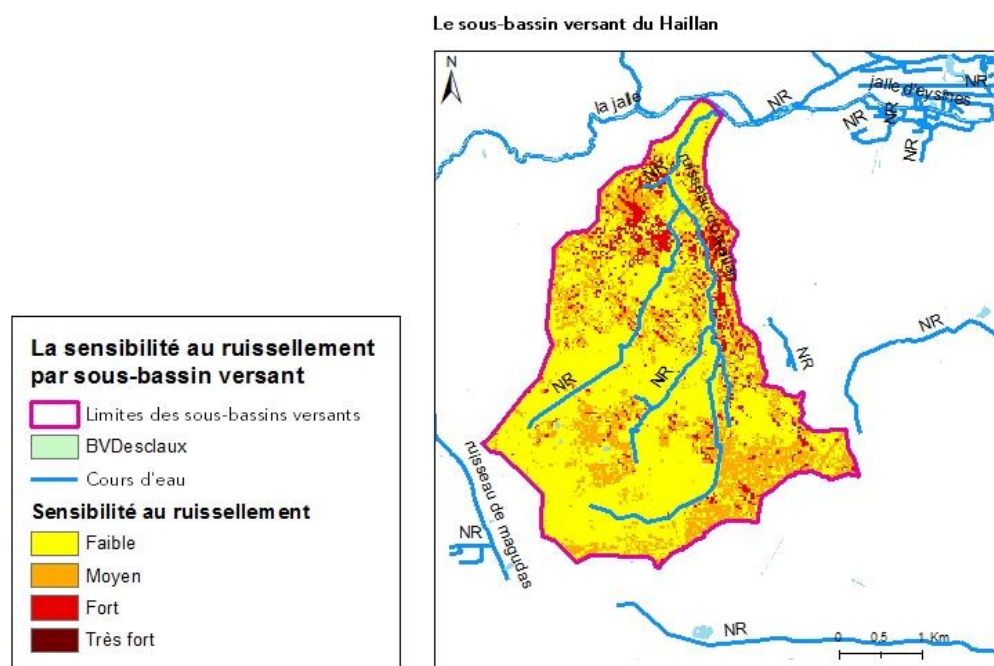
Le sous-bassin versant du Desclaux



Résultat : sensibilité au ruissellement

La carte ci-après résulte du croisement des différents facteurs susceptibles de freiner l'infiltration des eaux et donc de favoriser leur ruissellement.

Elle met ainsi en évidence des situations différentes selon les sous-bassins versants, s'expliquant entre autres par une topographie distincte entre ces deux territoires.





Agence d'urbanisme Bordeaux Métropole Aquitaine
Hangar G2 – Bassin à flot n°1 BP 71 – F-33041 Bordeaux cedex
tél.: 33 (0)5 56 99 86 33 | fax : 33 (0)5 56 99 89 22
contact@aurba.org | www.aurba.com

© aurba |