



Maîtriser l'imperméabilisation des sols

Enjeux et méthodes

L'imperméabilisation des sols et ses incidences sur le cycle de l'eau (risques accrus d'inondation ainsi que de pollution des nappes phréatiques et 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 1970. Si la limitation de la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers en frange et à l'écart des agglomérations demeure l'un des principaux enjeux d'un développement urbain durable, la maîtrise voire la réduction de l'imperméabilisation des sols dans les espaces déjà urbanisés au sein des agglomérations devient elle aussi un objectif 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 ambitions importantes en matière d'urbanisme :

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

Comment appréhender et mesurer l'imperméabilisation des sols en milieux urbain et périurbain ? Quels sont les outils mobilisables pour maîtriser ce phénomène ?



L'imperméabilisation des sols : quelles dynamiques d'évolution ?

Un ralentissement récent de l'artificialisation des sols en faveur d'une densification des espaces déjà urbanisés

Depuis plusieurs décennies, le développement urbain en France et en Europe, s'est caractérisé par un rythme de consommation d'espace supérieur au taux de la croissance démographique. Également appelé étalement urbain*, ce mode de développement peu vertueux a fait l'objet en France de plusieurs mesures juridiques pour le réguler : en 2001 la loi SRU (principe de développement équilibré, urbanisation en continuité avec l'existant...), et plus récemment les lois issues du Grenelle de l'environnement (obligation d'inscrire des objectifs chiffrés de limitation de la consommation d'espace dans les documents d'urbanisme). Cependant, l'analyse comparée des données de consommation d'espace issues de Corine Land Cover* et des données démographiques à différentes échelles montre un changement majeur de cette dynamique sur la période 2000-2006. 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.

À l'échelle de l'aire métropolitaine bordelaise, ce recentrage du développement urbain est confirmé par d'autres sources de données plus précises (données MAJIC de la DGFIP et données SITADEL), mettant en évidence une diminution de la superficie moyenne consommée par logement neuf. 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 principalement les effets de l'augmentation du prix du foncier dans les agglomérations.

Cette densification des espaces déjà urbanisés est susceptible d'augmenter l'imperméabilisation des sols en milieu urbain. Elle pourrait avoir des incidences négatives si elle n'est pas maîtrisée dans ses modalités (formes urbaines, emprise au sol, matériaux...) et sa localisation (protection des champs d'expansion des crues, axes d'écoulement...).

	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 1990, 2000 et 2006 et Eurostat)

Une densification urbaine à concilier avec le besoin de nature en ville

L'importance du cadre naturel et le manque d'espaces verts sont deux des raisons du départ des familles du centre-ville vers sa périphérie. En effet, le besoin de nature n'a pas toujours été pris en compte dans les aménagements et projets urbains, comme en témoigne cette circulaire ministérielle de 1973, qui avait fixé un objectif quantitatif de 10 m² d'espace vert public/habitant en zone centrale et 25 m²/habitant en zone périurbaine. Depuis, si l'offre en nature est devenue un argument immobilier majeur et un thème obligatoire du marketing territorial, c'est également un facteur important d'inégalité environnementale et sociale. En 2011, le plan national nature en ville affirme le caractère indispensable de services rendus par la nature en milieu urbain dans la perspective des changements climatiques. Il fixe plusieurs objectifs et engagements visant à restaurer et valoriser la nature en ville. La stratégie nationale envisagée pour « développer les espaces de nature en quantité et en qualité » s'appuie sur la mise en œuvre de trames vertes et bleues urbaines, consistant en une mise en réseau de certains espaces de nature. Cette approche spatiale et stratégique pour structurer la présence de nature en ville



permet de cibler les espaces à préserver et de concilier enjeux écologiques et récréatifs.

Dans les territoires urbains peu denses tels que l'agglomération bordelaise, développer une trame verte et bleue urbaine permet d'équilibrer le mouvement de recentrage urbain, avec la structuration d'une offre en nature.

* Voir définitions dans le glossaire en dernière page.

L'imperméabilisation des sols : quelles incidences ?

Des conséquences connues et souvent irréversibles

Les principales conséquences environnementales de l'imperméabilisation des sols sont connues et concernent :

- **le cycle de l'eau** : la diminution du couvert végétal et l'imperméabilisation des surfaces entraînent :

- > une augmentation et une accélération des ruissellements pluviaux susceptibles d'aggraver les pics de crues ;
- > une diminution de l'infiltration naturelle de l'eau dans le sol, donc des possibilités de réapprovisionnement des nappes phréatiques ;
- > une diminution du pouvoir filtrant et épurateur des sols, susceptible d'aggraver le transfert des polluants vers les nappes et les cours d'eau.

- **la biodiversité** : un seul gramme de sol contient quelques milliards de cellules bactériennes et des centaines de mètres de filaments de champignons. L'imperméabilisation des sols constitue une dégradation voire une destruction irréversible de cette biodiversité encore en grande partie méconnue.

- **le climat** : les sols stockent sous forme de matière organique morte environ 5 fois plus de carbone que la biomasse forestière et contribuent à la régulation des émissions de gaz à effet de serre. De plus la prédominance des surfaces minérales imperméables et sombres contribue à l'installation de microclimats artificiels caractérisés par une augmentation des températures en période estivale, également appelés « îlots de chaleur urbains » (ICU).

Un facteur d'aggravation des effets des changements climatiques en milieu urbain

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), la température terrestre devrait augmenter de 1,8°C à 4,8°C d'ici 2100. Localement, les principales conséquences des changements climatiques prévus sur le cycle de l'eau pourraient être les suivantes :

- une augmentation de la fréquence de retour d'événements extrêmes (pluie ou tempêtes), provoquant des inondations d'un niveau encore inconnu et susceptibles de remettre en question le bon dimensionnement du système d'assainissement pluvial ;
- une modification du régime hydrologique des cours d'eau et du bilan des nappes aquifères susceptible de mettre en péril les ressources majeures pour l'alimentation en eau potable ;
- une sensibilité accrue des cours d'eau aux pollutions, liée à l'augmentation du phénomène de bouchon vaseux dans l'estuaire et au réchauffement des eaux ;
- un risque de déséquilibre du bilan hydrique sols qui pourrait nécessiter un recours accru à l'irrigation des cultures (y compris la vigne) ;

- une augmentation dans l'amplitude des phénomènes d'îlots de chaleurs urbains et un risque sanitaire lié aux 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).

En milieu urbain, l'imperméabilisation des sols agit comme un amplificateur de ces effets, notamment en matière d'aggravation des ruissellements pluviaux et d'effet d'îlot de chaleur urbain. La maîtrise de l'imperméabilisation des sols par différents moyens (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.

Mesurer et suivre l'imperméabilisation du sol grâce à la télédétection

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. Les données géographiques localement disponibles ne permettent pas de détecter avec exhaustivité et précision (infra-parcellaire) les surfaces imperméabilisées autres que l'emprise des bâtiments, parking, voies privées).

Une méthode par télédétection* infrarouge testée sur deux sous-bassins versants

En 2013, Bordeaux Métropole a fait l'acquisition de la BD ORTHO® IRC de 2012. Cette photographie aérienne est composée, en plus des couleurs naturelles, d'un canal infrarouge. Chaque objet possédant sa propre signature spectrale, il est possible de distinguer les sols minéraux de la végétation en analysant leur réponse aux rayonnements. Compte tenu de sa précision géographique (pixel de 40 cm), la BD ORTHO® IRC permet théoriquement de caractériser des objets géographiques à une échelle infra-parcellaire (jusqu'à des superficies de 0,16 m²).



La méthode de traitement et d'analyse de la BD ORTHO® a été testée en 2014 par l'a-urba sur plusieurs sites : le sous-bassin versant du Desclaux et le sous-bassin versant du Haillan. La méthode utilisée est inspirée du travail d'identification de la perméabilité des sols réalisé par l'AUDAP (Agence d'Urbanisme Atlantique et Pyrénées). La construction d'une donnée d'occupation des sols infra-parcellaire a été conduite en trois principales étapes, présentées ci-dessous.



1. Traitement de la BD ORTHO® IRC avec l'indice NDVI*

L'analyse de la BD ORTHO® IRC « brute » donne une image de la végétation dite en « fausses couleurs » : la végétation apparaît dans des teintes de rouges (du plus foncé pour les boisements au plus clair pour les pelouses). Les surfaces minérales apparaissent dans des tons très clairs (du bleu clair au blanc). L'application de l'indice NDVI* permet d'obtenir une première information très simplifiée sur l'occupation du sol permettant de distinguer les surfaces végétalisées des surfaces minérales.



2. Distinction entre bâti et autres surfaces imperméables

Les données disponibles localement sur le bâti et la voirie ont été utilisées pour préciser la nature (voirie/parking ou bâti) des surfaces détectées comme minérales et pour rectifier le biais lié au recouvrement de surfaces imperméables (principalement voirie) par la végétation de grande taille.

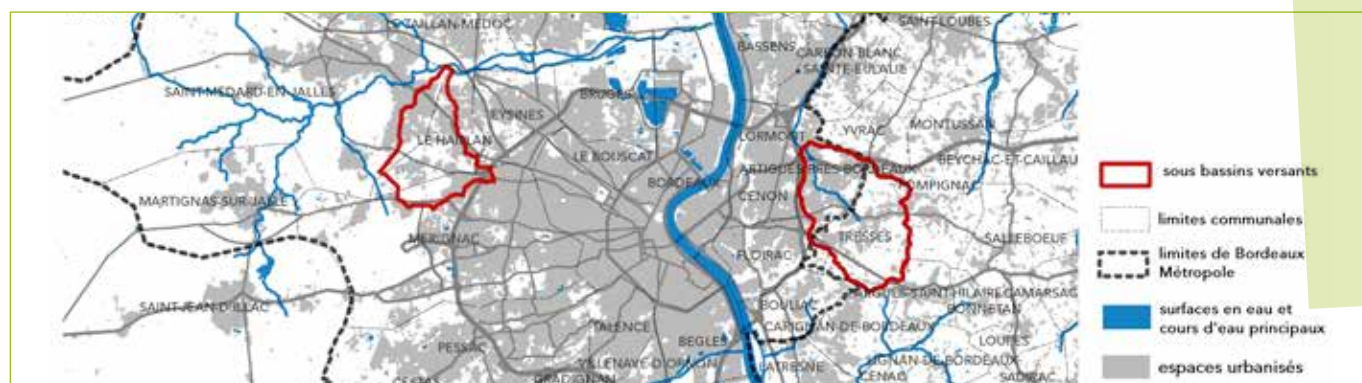
3. Télédétection des sols perméables peu ou pas végétalisés

Certaines surfaces peu ou pas végétalisées mais perméables ne sont pas télé-détectables par infrarouge : sols nus, certaines terres arables et pelouse. Leur identification a donc été complétée par un recouplement avec les données agricoles disponibles à une échelle parcellaire 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.



* Voir définitions dans le glossaire en dernière page.

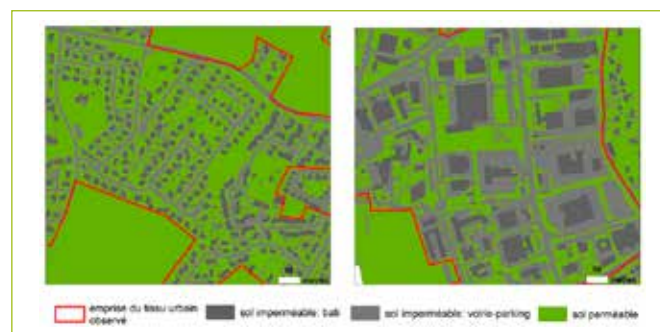
Quelques résultats obtenus sur les deux territoires tests



Sur l'ensemble des deux sous-bassins versants étudiés, les espaces imperméabilisés représentent 18 % et 31 % de la superficie totale. Au sein des espaces urbanisés, les taux d'imperméabilisation varient selon le type de tissu urbain observé. Ainsi, les tissus à vocation économique sont en

moyenne beaucoup plus imperméables que les tissus urbains mixtes à dominante résidentielle (y compris celui à dominante pavillonnaire des espaces les plus périurbains) et la part des parkings et voiries dans les surfaces imperméables y est prédominante.

	Taux d'urbanisation des sols	Taux d'imperméabilisation des sols	Tissus mixtes à dominante résidentielle (type pavillonnaire)		Zones d'activité économique	
			Taux d'imperméabilisation	Part des voiries et parkings dans les surfaces imperméables	Taux d'imperméabilisation	Part des voiries et parkings dans les surfaces imperméables
Sous-bassin versant du Desclaux	45 %	18 %	30 %	57 %	65 %	69 %
Sous-bassin versant du Haillan	55 %	31 %	45 %	61 %	64 %	66 %



De multiples utilisations possibles

Une contribution à l'amélioration de la connaissance du comportement hydrologique des espaces urbains et périurbains

Le degré d'imperméabilisation des sols est un paramètre indispensable pour modéliser le comportement des bassins versants 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.

Un indicateur de suivi au service d'outils de maîtrise de l'imperméabilisation des sols

L'analyse périodique de cette nouvelle donnée permettrait de suivre les dynamiques d'imperméabilisation des sols 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...). Elle 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.

Maîtriser l'imperméabilisation des sols : quels outils ?

Il n'existe actuellement aucune réglementation européenne ou nationale traitant spécifiquement de la question des sols. Néanmoins, une stratégie européenne thématique 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 (organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture) « année internationale des sols ». Malgré l'absence de cadre européen ou national, plusieurs outils réglementaires permettent de maîtriser l'imperméabilisation des sols.

Le zonage des eaux pluviales

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 « nomenclature eau »

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

Défini à l'art. L.2224-12 du code général des collectivités territoriales, il peut 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.

Le PLU : nouveaux outils introduits par la loi ALUR

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 peut 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 réhabilitées, 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.

La taxe pluviale

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.

La mise en œuvre de la trame verte et bleue du SCoT de l'aire métropolitaine : un moyen efficace de mitigation de l'imperméabilisation des sols.

Le projet de développement du SCoT de l'aire métropolitaine bordelaise est basé sur une hypothèse démographique supérieure au fil de l'eau, portant la population à 1,2 million d'habitants à horizon 2030 (soit 300 000 habitants supplémentaires). Cette hypothèse se traduit par un recentrage du développement urbain



sur l'agglomération bordelaise. S'il est vertueux du point de vue de la limitation de la consommation d'espace, ce modèle urbain, qui s'appuie sur la priorité accordée au renouvellement urbain par rapport aux extensions urbaines, est cependant susceptible de générer une augmentation de l'imperméabilisation des sols au sein des espaces déjà urbanisés.

Afin de maîtriser l'imperméabilisation des sols et ces

effets, l'orientation I1 du DOO (Document d'Orientations et d'Objectifs) - *limiter l'imperméabilisation des sols et maîtriser les ruissellements d'eau pluviales à l'échelle des bassins versants* - impose les prescriptions suivantes : la priorité accordée à l'infiltration dans le sol des eaux pluviales à la parcelle ou par opérations d'aménagement, la limitation du débit de rejet au réseau public à 3 l/s/ha.

D'autres prescriptions en faveur de la protection de la trame verte et bleue contribuent non seulement à limiter l'imperméabilisation des sols, mais également à atténuer les effets négatifs liés à l'imperméabilisation des sols (effets ICU, risque ruissellements pluviaux, dégradation de la qualité des eaux...), en préservant les fonctionnalités et les services rendus associés à ces espaces (régulation des crues, épuration des eaux, rafraîchissement des températures, aménités..) :

- **A6** : au sein des espaces de nature urbains, l'imperméabilisation des sols est limitée (emprise cumulée des bâtiments et aménagements plafonnée à 20 % de la superficie), la gestion des eaux pluviales doit être réalisée en aérien sur site et les zones humides sont à préserver et restaurer.

- **B1** : les abords (de 10 à 30 m de large de part et d'autre du lit mineur) de l'ensemble des « fils de l'eau » sont préservés de toute construction, aménagement ou installation susceptible de porter atteinte aux fonctionnalités naturelles des espaces.

- **B2** : les milieux humides doivent être pris en compte, et les documents d'urbanismes locaux doivent étudier la présence de zones humides au sein des zones d'urbanisation future, et privilégier leur préservation.

- **C2** : la limitation de l'imperméabilisation des sols à 20 % en superficie au sein des espaces associés aux liaisons ville nature.

- **C3** : lors de l'ouverture à l'urbanisation d'une zone, 30 % de sa superficie doivent être maintenus ou aménagés en espace vert. L'atteinte de cet objectif doit privilégier le maintien des zones humides et la mise en œuvre de lisières « ville-nature » au contact des espaces agricoles naturels et forestiers.

Glossaire : définitions et concepts importants

Étalement urbain

Selon l'Agence européenne de l'environnement, il s'agit d'un « phénomène d'expansion géographique des aires urbaines par l'implantation en périphérie, au détriment de larges zones principalement agricoles, de types d'habitat peu denses (banlieues pavillonnaires, maisons individuelles). Cette dilatation de l'espace urbain se traduit par une diminution de la densité des zones urbanisées du fait d'une extension géographique plus rapide que la croissance démographique. En d'autres termes, l'étalement urbain décrit le fait que les villes croissent en surface et que le territoire s'artificialise à un rythme beaucoup plus important que ne l'imposerait le seul facteur démographique ».

Corine Land Cover

Base de données géographique produite dans le cadre du programme européen de coordination de l'information sur l'environnement Corine, elle consiste en un inventaire biophysique de l'occupation des terres pour 38 États européens, dont la continuité et la diffusion sont assurées par l'Agence européenne pour l'environnement. Corine Land Cover est issue de l'interprétation visuelle d'images satellitaires, avec des données complémentaires, et ce pour trois années : 1990, 2000 et 2006. Le producteur pour la France est le Service de l'observation et des statistiques du ministère chargé de l'Environnement.

Télédétection

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.

Rayonnement infrarouge et indice NDVI

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.

La réponse au rayonnement, également appelée « signature spectrale ». Ainsi, il est par exemple possible de distinguer les sols minéraux de la végétation. 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).

Pour aller plus loin

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

GisSol (Groupement d'intérêt scientifique sur les sols). *L'état des sols de France*. Novembre 2011.

Citeau L., Bispo A., Bardy M., King D. *Gestion durable des sols*. Ed. QUAE (coll. Savoir faire), Versailles, 2008.

Chevry C., Gascuel C. *Sous les pavés la terre - Connaître et gérer les sols urbains*, Ed. Omniscience, 2009.

Chef de projet

Hélène Bucheli

Sous la direction de

Antonio Gonzalez-Alvarez

Équipe projet

Emmannelle Goussot

Conception graphique

Christine Dubart

Stanislas Besse