

Note – 7 avril 2022

L'élaboration d'une politique zéro artificialisation nette des sols au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone

par Éloïse Deshayes, assistante de recherche, La Fabrique de la Cité

Résumé à l'intention des décideurs

La Fabrique de la Cité propose de recentrer l'objectif zéro artificialisation nette des sols autour de la problématique environnementale la plus importante pour l'humanité, à savoir le changement climatique. La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), feuille de route de la France pour se conformer aux Accords de Paris, identifie clairement que « l'artificialisation des sols est un sujet à très fort enjeux pour l'atteinte de la neutralité carbone ». La SNBC propose de réduire les émissions de carbone induites par l'urbanisation, de protéger les espaces agricoles, naturels et forestiers et d'augmenter le potentiel de stockage de carbone des espaces agricoles. Or, la manière avec laquelle l'objectif zéro artificialisation nette des sols a été introduit dans la loi Climat et résilience ne donne pas la priorité aux enjeux de stockage de carbone dans les sols, permettant de lutter contre le réchauffement climatique.

Ce que nous avons décrypté

En France, 3 à 4 milliards de tonnes de carbone sont stockées dans les 30 cm supérieurs des sols. C'est trois fois plus de carbone que le bois des forêts françaises. Le lien entre l'artificialisation des sols et le réchauffement climatique soulève trois enjeux majeurs : (1) la protection des sols à fort stockage carbone ou à fort potentiel de stockage carbone additionnel des sols ; (2) l'augmentation de ce stockage via la mise en œuvre d'un ensemble de pratiques, en s'inscrivant dans la logique de l'initiative internationale « 4pour1000 » visant à compenser l'augmentation de nos émissions de gaz à effet de serre ; (3) l'intégration de ces considérations foncières et environnementales dans les politiques d'aménagement du territoire.

Ce que nous proposons

- 1. Donner la priorité à l'objectif climatique dans la définition légale de l'artificialisation et de la compensation**
- 2. Faire du stockage carbone des sols un critère déterminant des politiques d'aménagement**
 - a. *Prendre en compte les stocks de carbone et le potentiel de stockage additionnel dans les différents documents de planification territoriale (PLU(-i), SCOT)*
 - b. *Établir un bilan carbone de l'artificialisation des sols dans les rapports triennaux locaux*
- 3. Renforcer juridiquement la protection des sols aux stocks de carbone élevés via deux mesures**
 - a. *Établir une nomenclature nationale des sols selon leur stock de carbone permettant d'identifier les sols à préserver en priorité*
 - b. *Créer un outil juridique baptisé « Protection des espaces à fort potentiel carbone » à l'usage des collectivités locales*

Précédemment

Au cours de l'année 2021, La Fabrique de la Cité a réuni et auditionné une vingtaine de chercheurs et acteurs de la ville et des territoires dans le cadre d'un groupe de travail sur le « Zéro Artificialisation Nette ». Après avoir réalisé une synthèse de ces auditions, La Fabrique de la Cité propose de recentrer l'objectif zéro artificialisation nette des sols (ZAN) autour de la problématique environnementale la plus importante pour l'humanité, à savoir le changement climatique. La Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), feuille de route de la France pour se conformer aux Accords de Paris, identifie clairement que « l'artificialisation des sols est un sujet à très fort enjeux pour l'atteinte de la neutralité carbone ». Cette priorisation ne revient pas à négliger les autres variables impactées par l'artificialisation des sols (notamment la biodiversité), mais à les traiter sous l'angle des co-bénéfices associés à la lutte contre le réchauffement climatique.

Dans cette perspective, La Fabrique de la Cité propose de poursuivre ses travaux sur l'artificialisation des sols en orientant son agenda de recherche pour l'année 2022 par la publication de trois nouvelles notes portant sur :

- 1. L'élaboration d'une politique zéro artificialisation nette des sols au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone ;**
- 2. La constitution d'un marché des droits à artificialiser visant à faciliter la mise en œuvre opérationnelle de cette politique ;**
- 3. Le développement de nouvelles stratégies foncières permettant de concilier cet objectif avec les besoins économiques et sociaux des territoires.**

La présente note vient traiter la question de l'élaboration d'une politique zéro artificialisation nette des sols au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone.

Sommaire

I. Le rôle déterminant des sols dans la lutte contre le changement climatique	4
A. Pourquoi recentrer le ZAN au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone ?	4
B. En plus d’éviter, réduire et compenser : maximiser le stockage carbone des sols	8
C. Les émissions liées à l’urbanisation et à l’étalement urbain	10
II. Le recentrage de l’objectif ZAN au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone	12
A. Rendre l’objectif climatique prioritaire dans les définitions de l’artificialisation et de la compensation	12
1. Donner la priorité à l’objectif climatique dans la définition de l’artificialisation	12
2. Faire de la compensation un moyen d’augmenter les stocks de carbone présent dans les sols	13
B. Faire du stockage carbone des sols un critère déterminant des politiques d’aménagement	13
1. La prise en compte de l’élément carbone dans les SCOT et dans les rapports concernant l’artificialisation du territoire	13
2. L’établir un diagnostic de l’état des stocks et des potentiels de stockage carbone additionnel dans la révision ou l’élaboration des PLU(-i)	14
C. Renforcer juridiquement la protection des sols aux stocks de carbone élevés	14
1. Etablir une nomenclature nationale des sols selon leur quantité de carbone permettant d’identifier les sols à préserver en priorité	14
2. Créer un outil permettant aux collectivités de protéger sur le long terme leurs sols au potentiel carbone important	15
Conclusion	16
Bibliographie	17
Liste des sigles	18
À propos de La Fabrique de la Cité	19

Introduction

L'objectif de zéro artificialisation nette des sols permet de penser une nouvelle politique d'aménagement du territoire, préservant les stocks de carbone des sols. Sa mise en œuvre doit être cohérente avec les objectifs fixés par la Stratégie Nationale Bas-Carbone.

Selon le Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC), l'atteinte de la neutralité carbone d'ici 2050 est une condition indispensable pour limiter les conséquences d'un réchauffement climatique supérieur à 1,5 °C, limite au-delà de laquelle les conséquences sur les écosystèmes et les sociétés humaines seraient irréversibles. En France, c'est la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), introduite en 2015 par la loi de Transition énergétique pour une croissance verte (LTECV), qui constitue la feuille de route pour atteindre la neutralité carbone en 2050. Afin d'accompagner la baisse des émissions de gaz à effet de serre, elle fixe des budgets carbone par secteur, soit des plafonds d'émissions à ne pas dépasser, par période de 5 ans. Le bilan réalisé sur la période 2015-2018 montre que les premiers objectifs n'ont pas été atteints. En effet, les émissions ont baissé de seulement 1,1 % en moyenne par an (par rapport à la période 2011-2014), là où la décroissance visée était de 1,9 %. De plus, le Haut Conseil pour le Climat souligne que l'approche par les budgets carbone est partielle, ne tenant pas compte des émissions importées qui sont en augmentation (2020). De ces constats, la communauté scientifique rappelle qu'il est urgent, d'une part, de mettre en œuvre tous les moyens possibles pour réduire drastiquement les émissions de gaz à effet de serre et, d'autre part, de favoriser le développement de puits de carbone.

Dans cette perspective, la manière avec laquelle la France élabore ses politiques d'aménagement du territoire peut jouer un rôle déterminant dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Il convient donc d'éclaircir les enjeux suivants : dans quelle mesure l'artificialisation des sols contribue-t-elle au réchauffement climatique ? Comment élaborer une politique zéro artificialisation nette des sols au service de la neutralité carbone en 2050 ?

I. Le rôle déterminant des sols dans la lutte contre le changement climatique

Les sols constituent un puits de carbone, en contribuant à réduire directement la concentration de CO₂ dans l'atmosphère. Il est essentiel dans un premier temps de mettre en évidence le rôle, relativement peu connu, joué par les sols sur le climat, à travers leur capacité effective ou potentielle de stockage de carbone. L'artificialisation des sols vient directement impacter cette fonction de puits de carbone, d'où la nécessité de la limiter. De plus, elle est également source de nombreuses émissions indirectes de gaz à effet de serre, liées plus directement à l'étalement urbain. C'est dans cette perspective que l'objectif zéro artificialisation nette des sols (ZAN) peut contribuer à la lutte contre le réchauffement climatique.

A. Pourquoi recentrer le ZAN au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone ?

Support de nos logements, industries, infrastructures et autres activités humaines, le sol est avant tout régi par des propriétés biophysiques et fait partie intégrante du système climatique. Dans une approche plutôt anthropocentrée (Walter et al., 2015), la littérature scientifique a mis en évidence la notion de services écosystémiques, soit les « *bénéfices que les populations humaines peuvent tirer des écosystèmes* » (Blanchart et al., 2017). Autrement dit, il s'agit des services rendus par les sols à la population humaine, à la fois directement et indirectement. Selon les considérations, le nombre de services écosystémiques retenus peut être plus ou moins élevé. Le CEREMA, par exemple, retient les 4 fonctions suivantes : la régulation du cycle de l'eau, la production de biomasse, le sol comme réservoir de carbone et le sol comme réservoir de biodiversité. La FAO, de son côté, propose une liste plus extensive en retenant 11 fonctions

écosystémiques¹. Dans le cadre de la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC), la fonction de puits de carbone est particulièrement intéressante puisqu'elle contribue directement à faire baisser la concentration de CO₂ dans l'atmosphère.

L'article 192 de la loi du 22 août 2021, dite loi Climat et résilience, définit l'artificialisation en énumérant trois fonctions écologiques principales du sol : « *L'artificialisation est définie comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et*

climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage ». Bien qu'il s'agisse d'une loi nommée « Climat et résilience », le lien entre les sols et les gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique n'a pas été particulièrement mis en avant dans les débats parlementaires et n'a pas fait l'objet d'une priorité dans la définition retenue par le législateur.

Les sols agissent comme un puits de carbone naturel², puisqu'ils captent davantage de CO₂ qu'ils n'en émettent dans l'atmosphère, contribuant directement à l'atténuation du

Rappel des définitions

Il convient de distinguer :

Les réservoirs de carbone (C) : à l'échelle planétaire, l'atmosphère, la biosphère (végétaux, animaux et autres organismes vivants), la lithosphère (sols et sous-sols) et l'hydrosphère (mers, océans, lacs et rivières) sont les principaux réservoirs de carbone.

Le cycle du carbone : le cycle du carbone constitue l'ensemble des échanges entre les différents réservoirs de carbone. L'essentiel du cycle se fait entre l'atmosphère, les couches superficielles du sol et des océans, et la biosphère (végétaux, animaux...) qui échangent du carbone *via* des processus naturels.

Le stock de carbone organique : « *Le stock de carbone organique est la quantité totale de carbone contenue dans un volume de sol donné* ». Cette quantité est généralement exprimée en tonne par hectare (tC/HA).

Le stockage de carbone : « *Le stockage de carbone est l'augmentation du stock de carbone dans le temps* ». Cette notion s'oppose au déstockage qui est une diminution du stock de carbone dans le temps.

La séquestration du dioxyde de carbone (CO₂) : « *La séquestration de carbone dans le sol est le retrait net de CO₂ de l'atmosphère résultant du transfert de son carbone dans des compartiments à temps de renouvellement lent du carbone organique du sol* ». Contrairement à la notion du stockage de carbone, elle implique un stockage à très long terme. C'est la séquestration qui est visée par les textes nationaux et internationaux et qui est considérée comme une source d'émissions négatives.

Le stockage additionnel : le stockage additionnel est lié à la mise en place d'une nouvelle pratique. « *Le stockage additionnel lié à la pratique agricole B est la différence entre le stock de carbone dans un sol sous la pratique B et celui d'un sol sous une pratique de référence A à partir d'un état initial commun de ces 2 sols* ». L'INRA identifie un ensemble de pratiques permettant le stockage additionnel.

Sources : INRA, CEA

¹ Les fonctions écosystémiques retenues sont : régulation du climat, cycle des éléments nutritifs, habitat pour une multitude d'organismes, régulation des crues, source de composants pharmaceutiques et de matériel génétique, fondement pour les infrastructures humaines, fourniture de matériaux de construction, patrimoine culturel, fourniture d'aliments, de fibres et de

combustibles, séquestration du carbone, purification de l'eau et réduction des contaminants du sol.

² Selon l'article 1.8 de la Convention-cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (1992), un puits désigne « tout processus, toute activité ou tout mécanisme, naturel ou artificiel, qui élimine de l'atmosphère un gaz à effet de serre, un aérosol ou un précurseur de gaz à effet de serre ».

changement climatique. D'un côté, une partie du carbone présent dans l'atmosphère est captée par la biomasse (tel que les arbres) *via* le mécanisme de photosynthèse. De l'autre, une grande partie du carbone est directement captée par les sols. Ainsi, l'importance des sols est double : ils constituent un puits de carbone naturel à part entière, tout en étant un support de végétation, captant elle-même du carbone.

Ce carbone se fixe dans la matière organique du sol, située dans ses 30 premiers centimètres. Il en devient d'ailleurs le principal composant, constituant environ 50 % de cette matière organique. Ainsi, chaque sol contient des stocks de carbone dont la teneur varie amplement selon la localisation géographique, mais également selon les usages passés et actuels des sols par les humains.

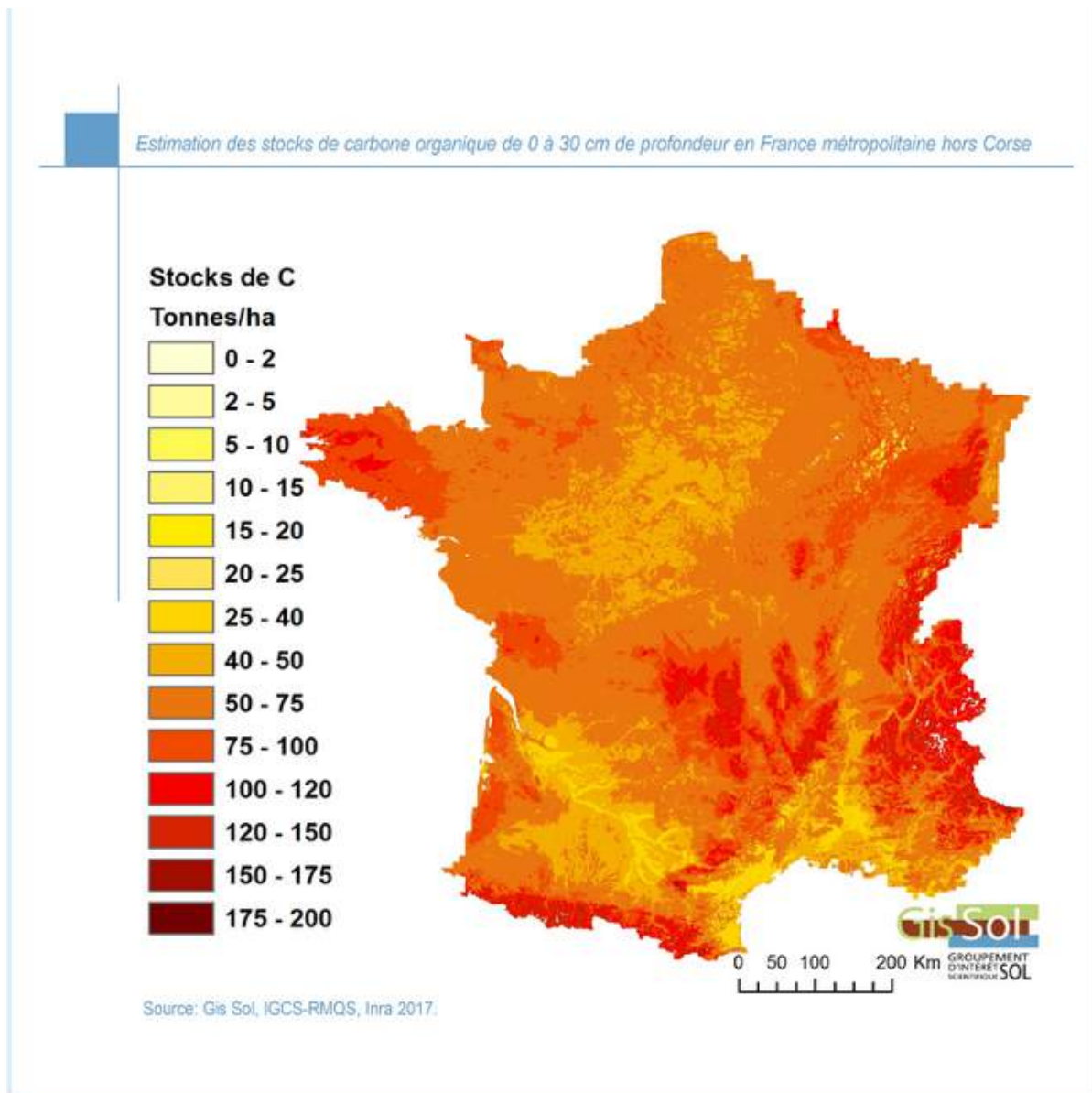


Figure 1: Les stocks de carbone dans les sols français.
Source : GISSol

Les stocks de carbone varient amplement selon les modes d'occupation. Les stocks les plus importants se trouvent au sein des sols forestiers (38 % du stockage total), suivis des prairies permanentes (22 %). Les sols de grande culture et les prairies temporaires représentent 26,5 % du stockage total en raison de leur surface importante, mais leur capacité de stockage à l'hectare est plus faible (Pellerin et al., 2020).

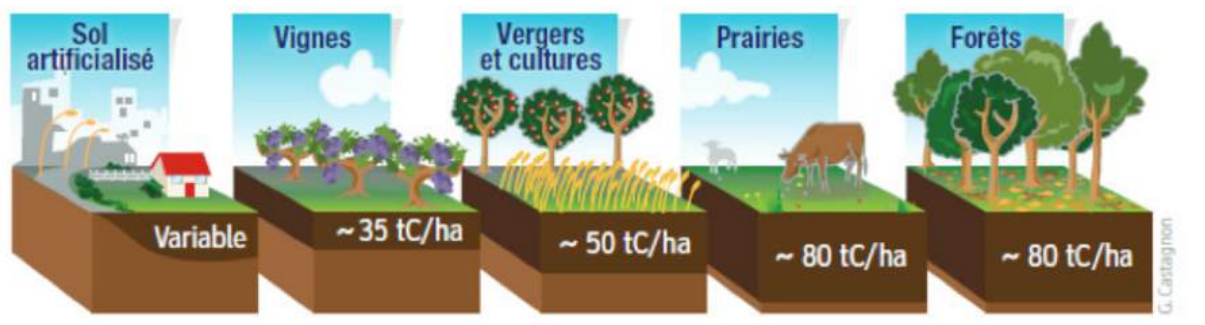


Figure 2 : Variation des stocks de carbone organique selon l'affectation des sols en France. Source : ADEME, 2014

Afin d'atteindre l'objectif de neutralité carbone, la séquestration carbone des sols joue un rôle de premier plan. A l'échelle planétaire, ils constituent un stock de carbone majeur, après l'océan et les roches sédimentaires, et contiennent trois à quatre fois plus de carbone que ce qui est présent dans l'atmosphère. En France, c'est 3 à 4 milliards de tonnes de carbone qui sont stockées dans les 30 premiers centimètres du sol³. Limiter l'artificialisation des sols, c'est conserver ces stocks extrêmement importants afin d'atteindre les objectifs de neutralité carbone à horizon 2050.

Selon le Haut Conseil pour le Climat, les tendances actuelles ne sont pas encourageantes : les capacités de stockage du secteur statistiquement appelé UTCATF (Utilisation des terres, changement d'affectation des terres et foresterie) sont en diminution depuis 2006. Trois phénomènes sont en cause : (1) la diminution considérable des capacités de stockage des forêts (Cf. l'encadré 1 ci-dessous), (2) la diminution plus faible mais tout de même marquée des capacités de stockage des prairies et (3) les émissions croissantes issues de l'artificialisation.

L'artificialisation induit un processus de décapage, soit le fait d'enlever les premières couches du sol, ce qui implique un fort déstockage. En 2019, 11,7 Mt éqCO₂ ont été libérées en France, représentant 2,7 % des émissions annuelles. Ce pourcentage prend seulement en compte les émissions directes liées

à l'artificialisation, et ne tient pas compte des émissions engendrées par les nouvelles activités supportées par les sols artificialisés (constructions, utilisation de l'automobile, etc.).

Si la tendance actuelle d'artificialisation des sols se poursuit, il est estimé qu'à horizon 2050, le déstockage cumulé serait équivalent à 75 % des émissions annuelles françaises de 2015.

³ Ce qui représente trois fois plus de carbone que les bois des forêts

Le stockage carbone des forêts françaises en péril

Recouvrant 17 millions d'hectares soit un tiers du territoire de la surface métropolitaine, la forêt française a gagné du terrain ces dernières années. Depuis 1985, la forêt s'étend de plus de 80 000 hectares par an. Mais derrière cette surface importante, la situation de la forêt française ne fait que se dégrader, remettant en cause sa capacité à être un puits de carbone.

Plusieurs phénomènes sont responsables d'une dégradation de l'état de la forêt française conduisant à une diminution de sa capacité de stockage¹. La multiplication des maladies et des parasites (champignons chinois, larves de hanneton, etc.), venant de l'étranger et dont le développement est favorisé par les canicules et les hivers doux, conduit de plus en plus les forêts à être placées en « état de crise sanitaire »¹. Dans le Grand-Est, 30 000 hectares de forêt ont déjà été perdus à cause des pathogènes. La multiplication des incendies provoque la perte d'environ 11 000 hectares en moyenne par an. Le stress hydrique, favorisé par les canicules des dernières années, freine la croissance des arbres, augmente leur mortalité et favorise le développement des pathogènes. Selon l'Office National des Forêts¹, depuis 2018, plus de 300 000 hectares sont touchés par ces dépérissements. Deux conséquences sont directement liées à ce phénomène. Tout d'abord, la capacité de la forêt à être un puits de carbone diminue. En 2019, le stockage du carbone observé dans le secteur des UTCATF est significativement plus faible que ce qui avait été retenu dans le scénario initial de la SNBC2. En effet, l'inventaire national des émissions de gaz à effet de serre estime que le puits de carbone de ce secteur représente moins de 80 % de ce qui avait été initialement prévu (Haut Conseil pour le Climat, 2021, p. 97). De plus, cela vient directement mettre à mal la capacité de production de bois, alors même que la SNBC suppose une augmentation de la récolte de bois de 70 % d'ici à 2050.

Le développement d'une gestion durable des forêts, un effort massif de protection, la fin des repeuplements monospécifiques ou encore le fait de laisser des pans entiers de forêts évoluer librement sans intervention de l'homme sont autant de méthodes mentionnées pour permettre de sauvegarder la forêt. D'un point de vue global, la déforestation importée, pour laquelle l'Union européenne est en deuxième place, est également à l'origine d'un déstockage massif de carbone.

Face à ce constat, et au vu des objectifs fixés par la Stratégie Nationale Bas-Carbone, il est nécessaire de mettre en place des mesures pour protéger les stocks de carbone présents dans les sols. Selon l'INRA, il est essentiel de prendre en compte la dimension du stockage carbone afin de limiter la hausse de la température à 1,5°C. En effet, leurs travaux estiment que pour ce faire *« tout doit être fait pour accroître la séquestration de CO₂ par la biosphère, en favorisant le stockage de C dans des compartiments à temps de résidence long comme les sols ou la biomasse ligneuse »* (Pellerin et al., 2020, p. 12), parallèlement à la baisse des émissions.

B. En plus d'éviter, réduire et compenser : maximiser le stockage carbone des sols

L'objectif ZAN s'inscrit pleinement dans la séquence Eviter-Réduire-Compenser (ERC)⁴. En limitant la consommation d'espaces naturels, agricoles et forestiers (ENAF), l'objectif vise en premier lieu à éviter l'impact de l'artificialisation sur ces espaces ou à le réduire. En dernier recours, si les effets n'ont pu être évités, la compensation est nécessaire pour atteindre le zéro artificialisation nette. Mais plutôt que de limiter, voire de compenser notre impact sur les sols, un autre levier est présenté comme une solution afin d'atteindre la neutralité carbone : celui de maximiser, dans la mesure du possible, le stockage carbone des sols. Il s'agit là d'une réflexion qui va donc au-delà du cadre du ZAN et de la séquence ERC et qui doit être intégrée de manière globale dans la mise en œuvre des

⁴ Article L110-1 du Code de l'environnement pose le principe d'action préventive et de correction, qui est un principe général du droit

politiques sectorielles (politiques foncières, agricoles, etc.).

Si les sols disposent de stocks de carbone qu'il faut protéger, il est également possible d'augmenter ces stocks *via* la mise en œuvre d'une série de pratiques. En complément de la baisse des émissions, l'augmentation du stockage carbone est considérée comme un levier majeur pour atteindre la neutralité carbone. C'est dans cette optique que la France, à la suite de la COP21, a lancé l'initiative internationale « 4p1000 »⁵ visant à augmenter de 0,4 % par an le stockage de carbone des sols mondiaux. Une telle augmentation du niveau du stockage serait équivalente à l'augmentation annuelle des émissions de gaz à effet de serre et permettrait donc de compenser leur augmentation.

Mandaté par l'ADEME et le ministère de l'Agriculture, l'INRA a conduit une étude pour évaluer le potentiel de la France d'atteindre cet objectif. Le rapport insiste sur la nécessité d'augmenter le stockage carbone là où les stocks sont faibles, soit principalement dans les sols de cultures. Pour ce faire, neuf pratiques (principalement des pratiques agricoles) ont été identifiées afin de permettre un stockage additionnel dans ces sols. Avec ces techniques, il serait possible d'avoir un stockage additionnel annuel allant de 0,09 % pour les prairies permanentes et pouvant aller jusqu'à 0,5 % pour

les sols de grandes cultures. Selon l'INRA, la mise en œuvre de ces méthodes rend possible un stockage additionnel de 0,19 % par an. Le potentiel de stockage se trouvant en très grande majorité (86 %) dans les sols agricoles, cela montre le besoin de politiques publiques agricoles prenant en compte ce phénomène.

De manière corollaire, il est indispensable de protéger les sols dont le stockage carbone est élevé. C'est notamment le cas des sols forestiers, des prairies permanentes et des zones humides. L'INRA indique que « *des politiques publiques favorisant le maintien des prairies permanentes, des zones humides et des forêts et stoppant l'artificialisation des sols sont donc indispensables et complémentaires de celles visant l'augmentation des stocks de carbone à même usage du sol* ». Ces deux actions complémentaires permettraient d'atteindre l'objectif d'augmentation de 0,4 % des stocks de carbone par an au sein des sols de la France métropolitaine.

C'est bien par la mise en œuvre de multiples actions complémentaires, qui dépassent le cadre du ZAN, qu'il est possible d'augmenter la capacité des sols dans leur ensemble à stocker du carbone. C'est justement *via* plusieurs politiques différentes que la SNBC vise à faire augmenter le puits de carbone que constitue les sols.

⁵ Lien de l'initiative : <https://4p1000.org/>

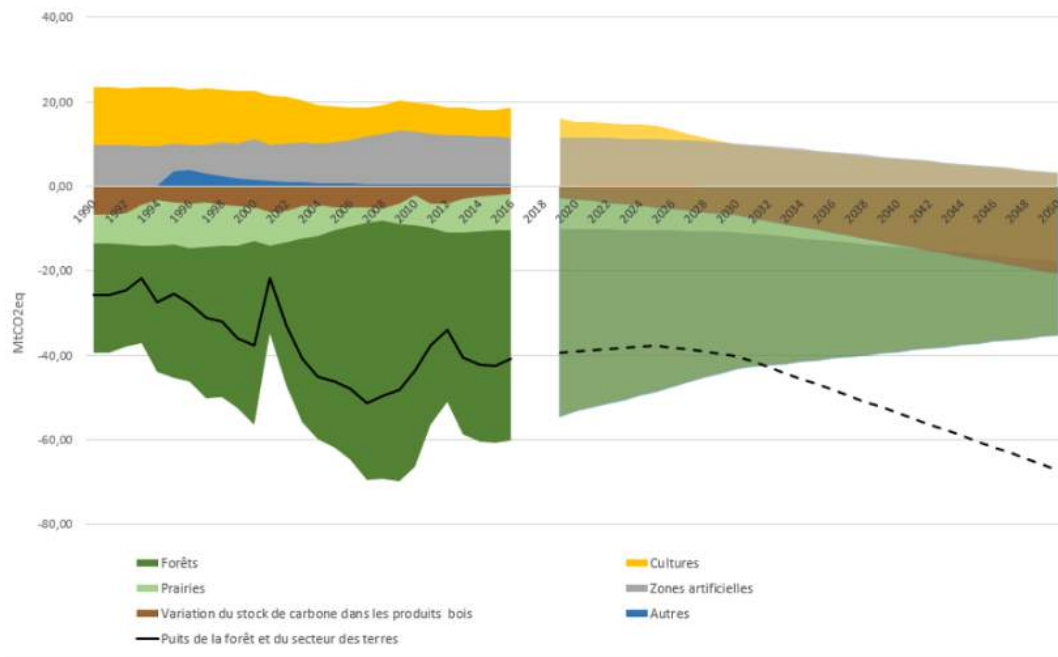


Image 3 : Projection de la fonction de puits de carbone des sols (trait pointillé). Source : SNBC, Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020, p. 187

Ce graphique indique l'évolution du puits du secteur des terres. Le trait en pointillé est une projection montrant l'augmentation de sa capacité à stocker du carbone. Pour parvenir à un tel résultat, trois moyens complémentaires sont mentionnés par la SNBC : l'augmentation du stockage carbone des terres agricoles, la gestion forestière et la mise en place du ZAN pour 2050. Ainsi, si les stocks de carbone dans les sols sont directement à prendre en compte dans le cadre de la mise en œuvre du ZAN, cette considération doit être intégrée de manière transversale dans un ensemble de politiques sectorielles, et notamment dans les politiques publiques agricoles.

C. Les émissions liées à l'urbanisation et à l'étalement urbain

Si l'acte d'artificialiser un sol provoque en lui-même un déstockage du carbone, les activités humaines qui s'y déroulent sont également source de nombreuses émissions de gaz à effet de serre. Dans cette perspective, la Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC) identifie la lutte contre l'artificialisation des sols comme un moyen de réduire les émissions de carbone induites par l'urbanisation. C'est pourquoi il

convient de rappeler quelques enjeux liés à l'urbanisation pour développer une approche systémique du lien entre artificialisation, urbanisation et émissions carbone.

Une première manière d'appréhender les émissions de gaz à effet de serre liées à l'urbanisation peut être établie à travers une approche sectorielle : en France, le secteur du bâtiment (résidentiel et tertiaire) est responsable de 75 Mt eqCO_2 , soit 17 % des émissions nationales annuelles. Toutefois, il existe de grandes disparités d'émissions de carbone suivant la forme prise par l'urbanisation. La réduction des émissions viendra à la fois des limitations à l'étalement et l'émissionnement urbain, et également de solutions techniques. Le choix des matériaux de construction est ainsi déterminant : l'empreinte carbone d'une construction en béton est en moyenne de 199 KgCO_2/m^2 SDP⁶, contre 80 KgCO_2/m^2 SDP pour le bois (cf. Figure 4). Alors que le béton correspond actuellement à 35 % du poids carbone des constructions, des solutions émergent pour diminuer la quantité de béton utilisée ainsi que l'intensité carbone du béton (IFPEB and Carbone

⁶ SDP : surface de plancher.

4, 2020). Les formes urbaines collectives ou intermédiaires

(ex. : maisons de ville mitoyennes) ont un impact positif direct sur les consommations énergétiques liées au chauffage.

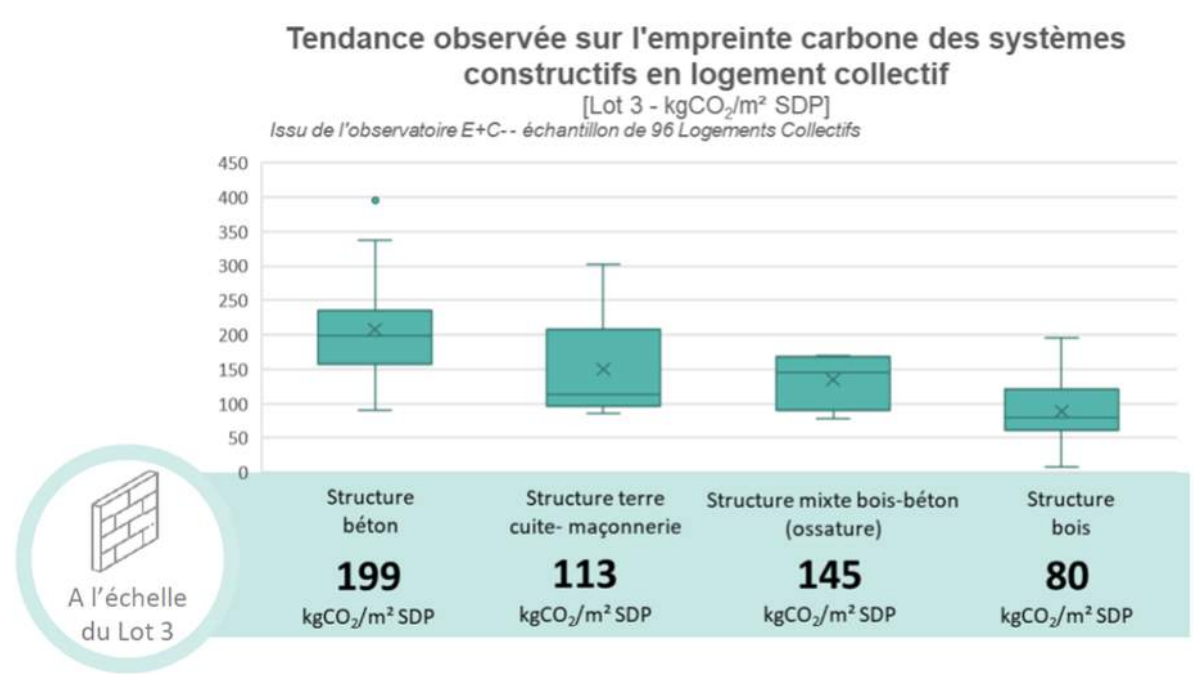


Image 4 : Tendance observée sur l'empreinte carbone des systèmes constructifs en logement collectif. Source : IFPEB and Carbone 4, 2020, p. 13

Les formes urbaines ont également un impact sur les émissions liées aux transports : une étude menée par l'INSEE montrait qu'en 2007, les habitants des pôles urbains émettaient deux fois moins de CO₂, grâce à un usage plus fréquent des transports en commun et de la marche à pied. La part des émissions liée aux transports urbains représente environ 10 % des émissions totales du secteur des transports (de l'ordre de 13 Mt éqCO₂, l'ordre de 136 Mt éqCO₂). La baisse de l'artificialisation viendra dans tous les cas impacter à la baisse les émissions de ces deux secteurs, puisqu'elle limitera l'étalement urbain et poussera à construire au sein de zones déjà urbanisées.

Au-delà de cette approche sectorielle, des travaux plus récents effectuent des comparaisons internationales visant à identifier les zones urbaines ayant les plus fortes empreintes carbone. Les cent zones urbaines les plus émettrices (définies comme des groupes de

population contigus) représentent 18 % de l'empreinte carbone mondiale et rassemblent 11 % de la population mondiale. Ces chiffres méritent d'être mis en perspective. Tout d'abord, ces travaux font ressortir de fortes disparités selon les modèles urbains, les niveaux et modes de vie, et le mix énergétique alimentant ces villes : par exemple, l'empreinte carbone d'une ville est plus ou moins dépendant du scope 1 ou du scope 3⁷, selon son tissu économique, plus industriel ou tertiaire.

Il convient également de rapporter l'empreinte carbone d'un territoire à sa densité de population. Sans cela, Paris apparaît à la 23^{ème} place du classement des aires urbaines présentant la plus forte empreinte carbone, avec un total de 78 millions de tonnes de CO₂. Or, ce dernier chiffre rapporté à la population de 10,120 millions d'habitants retenus par l'étude, l'empreinte carbone par habitant est estimée à 7,7 tonnes de CO₂, faisant sortir Paris du

⁷ Dans le cadre d'un bilan d'émissions de gaz à effet de serre, on emploie les termes « Scope ». Le Scope 1 représente les émissions directes de gaz à effet de serre, le Scope 2 les émissions indirectes

liées aux consommations énergétiques et le SCOPE 3 les autres émissions indirectes.

classement des 500 premières aires urbaines mondiales, selon la métrique de l'empreinte carbone.

Une bonne partie de l'empreinte carbone des principales métropoles à l'échelle mondiale s'explique par le fait qu'elles concentrent sur leur territoire des populations aux revenus importants. Or, les émissions sont fortement corrélées au niveau de revenus. Hubacek et ses collègues (2017) ont estimé que les 10 % des personnes les mieux rémunérées génèrent 30 % des émissions mondiales de GES. Chancel et Piketty ont estimé que le décile supérieur génère 45 % des émissions (2015).

Plus globalement, ces chiffres, notamment au regard de l'objectif ZAN, montrent qu'il est nécessaire de développer des formes urbaines beaucoup moins émettrices en carbone, d'autant plus que l'impact de l'urbanisation sur les émissions s'inscrit sur le long terme. La densification, la redynamisation des cœurs de ville, la rénovation des logements vacants, la prise en compte de la qualité des sols dans les documents d'urbanisme sont autant de moyens qui permettront de baisser l'impact carbone des villes. Le rôle des documents d'urbanisme (SRADDET, PCAET, SCOT, PLU-i, etc.) est extrêmement important pour développer des formes urbaines plus denses et adaptées au changement climatique. Le ZAN implique une révision de ces documents, afin d'intégrer la division par deux de la consommation d'ENAF. Il constitue donc un levier pour prendre en compte l'ensemble de ces considérations dans la révision des documents d'urbanisme.

II. Le recentrage de l'objectif ZAN au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone

Des constats établis précédemment, il convient à présent de tirer un certain nombre de recommandations visant à recentrer l'objectif

zéro artificialisation nette de sols au service de la Stratégie Nationale Bas-Carbone. Cela passe d'abord par la priorisation de l'objectif climatique dans les textes législatifs. Également, il est nécessaire de prendre en compte les stocks de carbone dans l'élaboration des documents d'urbanisme et de permettre la protection des sols les plus riches en carbone.

A. Rendre l'objectif climatique prioritaire dans les définitions de l'artificialisation et de la compensation

La manière avec laquelle l'objectif zéro artificialisation nette des sols a été introduit dans la loi Climat et résilience ne donne pas la priorité aux enjeux de stockage de carbone dans les sols. Cependant, la limitation de l'artificialisation mais aussi les méthodes de compensation peuvent jouer un rôle important dans la sauvegarde ou l'augmentation des stocks de carbone des sols. Pour que cette dimension soit prise en compte concrètement, nous proposons dans un premier temps que cet objectif soit inscrit comme prioritaire dans les définitions législatives.

1. Donner la priorité à l'objectif climatique dans la définition de l'artificialisation

Si la plupart des définitions appréhendent l'artificialisation comme la consommation d'espaces naturels, agricoles ou forestiers⁸, le législateur a privilégié l'atteinte des fonctions écologiques des sols. En effet, l'article 192 de la loi dispose que : « *L'artificialisation est définie comme l'altération durable de tout ou partie des fonctions écologiques d'un sol, en particulier de ses fonctions biologiques, hydriques et climatiques, ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage* ». Comme détaillé dans notre première note sur le ZAN⁹, si cette définition a le mérite de prendre en compte les fonctions écologiques du sol, elle ouvre la voie à la poursuite d'une multitude d'objectifs. Dans le but de rendre le ZAN plus lisible et de lui conférer un réel impact sur l'environnement, nous avons proposé l'idée de le recentrer au service de la SNBC, soit de faire de

⁸ L'INSEE définit l'artificialisation comme la « *transformation d'un sol à caractère agricole, naturel ou forestier par des actions d'aménagement, pouvant entraîner son imperméabilisation totale ou partielle* ».

⁹ <https://www.lafabriquedelacite.com/publications/lobjectif-zero-artificialisation-nette-des-sols-pour-un-recentrage-au-service-de-la-strategie-nationale-bas-carbone/>

l'objectif climatique, à savoir la réduction des gaz à effet de serre, une priorité.

Nous proposons de modifier l'article L101-2-1 de la manière suivante : après « *ainsi que de son potentiel agronomique par son occupation ou son usage* » est ajouté la phrase : « *La préservation de la fonction climatique des sols doit être considérée comme objectif prioritaire* ».

Cette modification permet d'avoir un fondement juridique sur lequel le gouvernement pourra se fonder, notamment pour l'élaboration des décrets d'application du ZAN. Cette évolution législative est une première pierre afin d'inscrire le ZAN en cohérence avec la SNBC.

2. Faire de la compensation un moyen d'augmenter les stocks de carbone présent dans les sols

Dans la séquence « Eviter – Réduire – Compenser » (ERC)¹⁰, la compensation intervient seulement en dernier recours, lorsque certains impacts n'ont pu être évités ou suffisamment réduits. La loi Climat et résilience ne détaille pas les modalités de mise en œuvre de ce principe dans le cadre du ZAN. Elle dispose seulement que des zones de renaturation préférentielles pourront être définies dans le cadre des SCOT, et que les mesures de compensation devront se faire en priorité sur ces zones¹¹.

Aujourd'hui, la compensation est principalement développée sous le prisme de la biodiversité, qui est le critère principal. On recherche une absence de perte nette de biodiversité, voire un objectif de gain de biodiversité¹². Comme le pointe un rapport du Sénat¹³, dans le cadre actuel, la mise en œuvre de la séquence ERC focalise l'évaluation et la définition des mesures compensatoires sur les éléments de biodiversité remarquables, soit sur les espèces protégées et les milieux naturels rares. Si cela est justifié par le danger de disparition qui pèse sur eux, elle laisse de côté une grande partie de la biodiversité dite

ordinaire, ainsi que la considération des autres fonctions systémiques.

Pour ces raisons, et pour remettre l'objectif climatique au cœur de la séquence ERC, nous proposons que les mesures de compensation visent également à compenser le déstockage carbone issu de l'artificialisation.

Cela implique que cette dimension soit prise en compte dans l'ensemble des processus de compensation, à la fois en amont (via le rapport d'impact du projet)¹⁴, et en aval lors de son évaluation.

B. Faire du stockage carbone des sols un critère déterminant des politiques d'aménagement

Par leur caractère opérationnel, les documents d'urbanisme sont des éléments essentiels pour prendre en compte les fonctions des sols dans la planification. Afin de protéger les sols avec un taux de carbone élevé, il est nécessaire que cette considération soit prise en compte dans les documents d'urbanisme à différentes échelles et notamment au niveau du PLU(-i).

1. La prise en compte de l'élément carbone dans les SCOT et dans les rapports concernant l'artificialisation du territoire

En droit, les PLU(-i) doivent être conformes aux Schémas de cohérence territoriale (SCOT), il convient donc que ces derniers intègrent cette considération à la fois en amont, via leurs différents documents, qu'en aval. Dans la rédaction des différents documents composant un SCOT (rapport de présentation, projet d'aménagement et de développement durable, document d'orientations et d'objectifs), il est nécessaire d'intégrer cette dimension, pour que les PLU(-i) puissent s'y fonder. L'évaluation de cette prise en compte peut être effectuée par le bilan de la conférence des SCOT, instituée par la loi Climat et résilience, qui doit avoir lieu au maximum trois ans après la première réunion. Ce bilan pourra intégrer des données relatives à

¹⁰ Article L110-1 du Code de l'environnement

¹¹ Article 197 loi climat et résilience « Les mesures de compensation sont mises en œuvre en priorité au sein des zones de renaturation préférentielle identifiées par les schémas de cohérence territoriale en application du 3° de l'article L. 141-10 du code de l'urbanisme et par les orientations d'aménagement et de programmation portant sur des secteurs à renaturer en application du 4° du I de l'article L. 151-7 du même code, lorsque les orientations de renaturation de ces zones ou

secteurs et la nature de la compensation prévue pour le projet le permettent. Un décret en Conseil d'Etat précise les modalités d'application du présent alinéa. »

¹² Article 163-1 du Code de l'environnement

¹³ (Dantec, 2017)

¹⁴ Lorsqu'un projet est soumis à évaluation environnementale, un rapport d'impact doit être produit et doit détailler les mesures de compensation à prendre

l'impact de l'artificialisation sur le déstockage de carbone organique présent dans les sols sur le territoire du SCOT.

Également, toujours dans une optique d'évaluation, la loi Climat et résilience impose aux communes et EPCI couverts par un document d'urbanisme de présenter « *au moins une fois tous les trois ans, un rapport relatif à l'artificialisation des sols sur son territoire au cours des années civiles précédentes* » (article 206). Nous proposons que ce rapport intègre un bilan carbone de l'artificialisation. Pour les EPCI de plus de 20 000 habitants, ce bilan peut également permettre de faire d'évaluer le respect de leurs objectifs fixés dans leur Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) qui, depuis un décret de 2016¹⁵, doit prévoir « *une estimation de la séquestration nette de dioxyde de carbone et de ses possibilités de développement* ».

2. Établir un diagnostic de l'état des stocks et des potentiels de stockage carbone additionnel dans la révision ou l'élaboration des PLU(-i)

Afin que les stocks de carbone des sols et leur potentiel de stockage additionnel soient pris en compte de la manière la plus opérationnelle possible, il faut que cette considération soit intégrée lors de l'élaboration des PLU(-i). Le but est d'orienter la définition du zonage afin de protéger les sols d'une plus grande qualité et donc de limiter l'impact carbone de la consommation d'espaces.

Ainsi, la prise en compte des stocks de carbone dans les sols doit être effectuée aux différents niveaux d'élaboration du PLU(-i), soit au niveau du rapport de présentation, des orientations d'aménagement et de programmation ou encore du règlement. Nous formulons alors deux propositions relatives à la prise en compte du stockage carbone des sols dans les PLU(-i).

Premièrement, nous proposons que les orientations d'aménagement prioritaires (OAP) aient la possibilité de définir des zones à protéger en priorité de l'urbanisation en raison du niveau de leur stockage carbone ou de leur potentiel de

stockage additionnel. Cette première étape d'identification permettra au règlement, établissant les règles générales d'utilisation des sols sur le territoire du PLU, de prendre en compte ces sols et d'orienter le zonage et l'ouverture des zones à urbaniser (AU) en ce sens.

Deuxièmement, au sein du règlement, nous proposons que pour toute nouvelle parcelle cadastrale déclarée zone à urbaniser (AU), dans le cadre de la révision ou de l'élaboration d'un PLU(-i), soit réalisé un diagnostic de l'état des stocks et des potentiels de stockage carbone additionnel sur les sols de la parcelle en question.

C. Renforcer juridiquement la protection des sols aux stocks de carbone élevés

Alors que l'artificialisation d'un sol conduit à un déstockage carbone immédiat, la reconstitution de ce stock de carbone peut mettre plusieurs dizaines d'années. La priorité doit donc surtout être de protéger les sols aux stocks de carbone importants. Pour ce faire, il est nécessaire de concevoir des outils permettant aux collectivités de protéger ces sols.

1. Etablir une nomenclature nationale des sols selon leur quantité de carbone permettant d'identifier les sols à préserver en priorité

Afin de pouvoir hiérarchiser les sols selon leur taux de carbone (en tonne de carbone par hectare – tC/HA), nous proposons qu'une nouvelle nomenclature soit élaborée. Le but est de permettre aux collectivités de s'y référer pour orienter leurs prises de décision. Cette nomenclature pourrait par exemple être élaborée de la manière suivante :

¹⁵ Décret 2016-849 du 28 juin 2016 relatif au plan climat-air-énergie territorial

Catégorie de surface	Echelle d'appréciation (tC/HA)
Taux de carbone faible à moyen	0-40 tC/HA
Taux de carbone moyen à élevé	40-80tC/HA
Taux de carbone très élevé	80tC/HA

Tableau 1 : Exemple de nomenclature des sols selon leur quantité de carbone en tC/HA

Les données fournies dans ce tableau sont proposées à titre indicatif, à partir des premiers travaux expérimentaux réalisés par le CEREMA. Une telle nomenclature devra être élaborée de concert entre experts et acteurs territoriaux.

Des outils, tels que l'outil ALDO développé par l'ADEME, permettent aux collectivités d'estimer les stocks de carbone au sein de leurs sols. Cet outil permet notamment de savoir : (a) l'état des stocks de carbone organique dans les sols, (b) la dynamique actuelle de stockage ou déstockage lié au changement d'affectation des sols, (c) le potentiel de séquestration nette de CO₂ lié à diverses pratiques agricoles pouvant être mises en place sur le territoire¹⁶. L'outil permet d'estimer rapidement le potentiel de stockage carbone selon chaque type de sol et donc de pouvoir utiliser une telle nomenclature.

2. Créer un outil permettant aux collectivités de protéger sur le long terme leurs sols au potentiel carbone important

Pour aller plus loin vers la protection de ces sols, il pourrait être possible de les protéger en amont via la création d'un outil à disposition des collectivités. C'est notamment une idée développée par l'ADEME qui propose de « sanctuariser » les ENAF les plus intéressants, d'autant plus que « *les zones humides et les massifs forestiers [qui ont généralement des stocks de carbone organique élevés] ne font pas l'objet de protection réglementaire* ». (Ménard et al., 2021, p. 83).

Ainsi, un outil tel que celui des PENAP (Protection des espaces naturels et agricoles périurbains),

institué par la loi relative au développement des territoires ruraux de 2005, pourrait être répliqué pour les sols aux stocks de carbone élevés. Les PENAP visent à stabiliser sur le long terme la destination d'un espace naturel ou agricole situé en zone périurbaine. Si une zone est protégée par ce dispositif, il n'est théoriquement pas possible de modifier sa destination, même en cas de modification du PLU. Seul un décret du ministère de la Transition écologique ou de l'Agriculture permet de retirer des parcelles de la zone définie.

Ainsi, un tel outil, que l'on pourrait intituler Protection des espaces à fort potentiel carbone (PEFPC), pourrait être proposé aux collectivités souhaitant aller plus loin et protéger leurs sols les plus riches en carbone. L'idée est aussi, en comparaison aux PENAP, de ne pas se limiter aux seuls sols périurbains et de pouvoir protéger les sols forestiers, très riches en carbone, voire certaines zones urbaines comme les jardins publics. L'utilisation du zonage par ENAF au sein des documents d'urbanisme permet de faciliter la mise en place rapide d'une telle mesure, contrairement à la création d'un nouveau type de zone. La prise de décision pourra être guidée par la mise en place d'une nomenclature selon le taux de carbone présent dans les sols, ce que nous proposons ci-dessus.

¹⁶ (Perez et al., 2018)

Conclusion

Le lien entre l'objectif de zéro artificialisation nette des sols et la Stratégie Nationale Bas-Carbone souligne l'importance des politiques de planification territoriale pour limiter les émissions de gaz à effet de serre. A travers cette note, nous avons surtout voulu rappeler le rôle primordial joué par le sol pour atteindre la neutralité carbone *via* sa capacité de séquestration carbone. Nous avons également présenté plusieurs pistes de solution pour que la politique du zéro artificialisation nette soit recentrée au service de la SNBC. Cela passe notamment par la prise en compte des stocks de carbone dans l'élaboration des documents d'urbanisme. La priorisation de l'objectif climatique dans la mise en œuvre de l'objectif ZAN permet de lui assigner un but de grande ampleur justifiant sa mise en place et renforçant son portage politique.

Cependant, de nombreux questionnements persistent concernant sa mise en œuvre opérationnelle. Pour cette raison, nous souhaitons continuer notre réflexion sur cette nouvelle mesure avec deux prochaines notes : (1) la constitution d'un marché des droits à artificialiser visant à faciliter la mise en œuvre opérationnelle de cette politique, (2) le développement de nouvelles stratégies foncières permettant de concilier cet objectif avec les besoins économiques et sociaux des territoires.

Bibliographie

ADEME, 2014. Carbone organique des sols. L'énergie de l'agro-écologie, une solution pour le climat.

Blanchart, A., Sere, G., Cherel, J., Warot, G., Stas, M., Consales, J.N., Schwartz, C., 2017. Contribution des sols à la production de services écosystémiques en milieu urbain – une revue. Environ. Urbain Urban Environ. 11.

Chancel, L., Piketty, T., 2015. Carbon and inequality: From Kyoto to Paris. Trends in the global inequality of carbon emissions (1998-2013) & prospects for an equitable adaptation fund. Paris School of Economics. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3536.0082>

Dantec, R., 2017. Sur la réalité des mesures de compensation des atteintes à la biodiversité engagées sur des grands projets d'infrastructures, intégrant les mesures d'anticipation, les études préalables, les conditions de réalisation et leur suivi (Rapport de la commission d'enquête No. 517). Sénat.

Haut Conseil pour le Climat, 2021. Renforcer l'atténuation, engager l'adaptation. Rapport annuel 2021 du Haut Conseil pour le Climat.

Haut Conseil pour le Climat, 2020. Maîtriser l'empreinte carbone de la France. Haut Conseil pour le Climat.

Hubacek, K., Baiocchi, G., Feng, K., Patwardhan, A., 2017. Poverty eradication in a carbon constrained world. Nat. Commun. 8, 9.

IFPEB, Carbone 4, 2020. Le Hub des prescripteurs bas carbone; Brief de filière. Biosourcé - Les messages clés.

Ménard, S., Mouton, T., Magnier, D., Cormier, T., Benet, J., 2021. Etat de l'art analytique et contextualisé - Objectif "zéro artificialisation nette" (ZAN) et contribution de l'ADEME : état de l'art, ressources et plan d'actions.

Ministère de la transition écologique et solidaire, 2020. Stratégie Nationale Bas-Carbone. La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone.

Pellerin, S., Bamière, L., Launay, C., Martin, R., 2020. Stocker du carbone dans les sols français. Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût? - Résumé de l'étude.

Pellerin, S., et al., 2020. Stocker du carbone dans les sols français, Quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ? Rapport scientifique de l'étude. INRA.

Perez, L., Buitrago, M., Eglin, T., 2018. Notice technique : outil ALDO. Estimation des stocks et des flux de carbone des sols, des forêts et des produits bois à l'échelle d'un EPCI.

Walter, C., Bispo, A., Chenu, C., Langlais, A., Schwartz, C., 2015. Les services écosystémiques des sols : du concept à sa valorisation. Cahiers Demeter 53–68.

Liste des sigles

CEREMA : Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement

ENAF : espaces naturels, agricoles et forestiers

EPCI : établissement public de coopération intercommunale

FAO : Organisation des nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

GIEC : Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat

INRA : Institut National de Recherche Agronomique

LTECV : Loi de transition énergétique pour une croissance verte

OAP : orientations d'aménagement prioritaire

PCAET : Plan climat-air-énergie territorial

PENAP : protection des espaces naturels et agricoles périurbains

PLU(-i) : Plan local d'urbanisme communal ou intercommunal

SCOT : Schéma de cohérence territorial

SNBC : Stratégie Nationale Bas-Carbone

SRADDET : Schéma régional d'aménagement, de développement durable et d'égalité des territoires

ZAN : Zéro artificialisation nette des sols

À propos de La Fabrique de la Cité

La Fabrique de la Cité est un think tank dédié à la prospective et aux innovations urbaines.

Dans une démarche interdisciplinaire, des acteurs de la ville, français et internationaux, se rencontrent pour réfléchir aux bonnes pratiques du développement urbain et pour proposer de nouvelles manières de construire et reconstruire les villes. Mobilité, aménagement urbain et bâti, énergie, révolution numérique, nouveaux usages sont les cinq axes qui structurent nos travaux. Créée par le groupe VINCI, son mécène, en 2010, La Fabrique de la Cité est un fonds de dotation, dédié de ce fait à la réalisation d'une mission d'intérêt général. L'ensemble de ses travaux est public et disponible sur son site et son compte Twitter.



<https://www.lafabriquedelacite.com>



twitter.com/fabriquelacite

À propos de l'auteur



Éloïse Deshayes, assistante de recherche

Passionnée par les enjeux urbains et la transition environnementale des villes, Éloïse a précédemment travaillé à la Métropole de Lyon en tant que chargée de projet dans les mobilités innovantes. Elle a notamment pu travailler sur les problématiques du free-floating et du covoiturage dans la métropole lyonnaise. Titulaire d'une bi-licence en droit et science politique de l'université Jean

Moulin Lyon III, elle a ensuite obtenu un master en Affaires publiques, spécialisé en management du secteur public, à Sciences Po Lyon.

Contact : eloise.deshayes@lafabriquedelacite.com