

Le **carbone** est un élément important dans la lutte contre le réchauffement climatique. La **séquestration carbone** participe à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. Elle est devenue **une obligation réglementaire** dans l'élaboration du Plan Climat Air Energie Territorial. Elle participe à la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Entre séquestration, puits ou stockage carbone, que représentent ces mots? Au delà du vocabulaire, quels sont les enjeux sur un territoire tel Mulhouse Alsace Agglomération? La séquestration carbone contribue-t-elle à tendre à la neutralité carbone en 2050, objectif de la loi Energie Climat de novembre 2019.

Sommaire

DE QUOI PARLE-T-ON ? **2**

1/ LES SOLS, STOCKAGE NATUREL DE CARBONE **3**

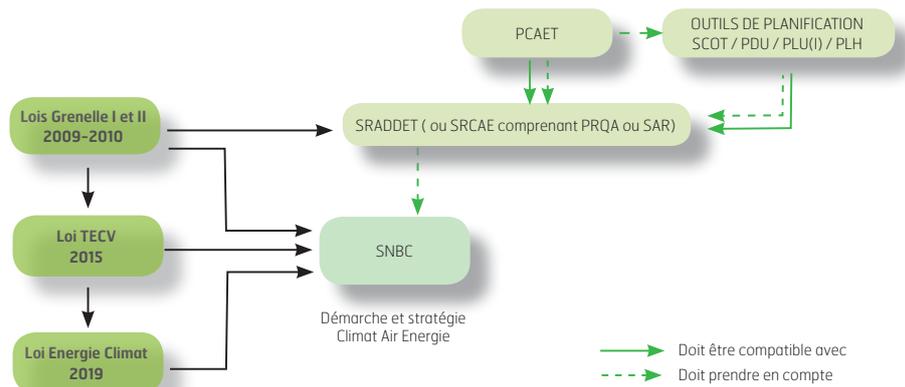
2/L'IMPORTANCE DU CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS **6**

3/ QUEL POTENTIEL DE DÉVELOPPEMENT ? **7**

A RETENIR **8**

Contexte

En 2015, la loi de la **Transition Énergétique pour la Croissance Verte (TECV)** précise que la **Stratégie Nationale Bas Carbone (SNBC)** doit être prise en compte dans les documents de planification et de programmation. Ainsi, le Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) doit intégrer cette obligation. La **séquestration de carbone** devient une composante du diagnostic et de la stratégie territoriale lors de l'élaboration ou révision du PCAET.



Articulation entre les différents documents de planification et la prise en compte de la Stratégie Nationale Bas carbone

Objectifs nationaux Neutralité Carbone pour 2050

pour tendre à limiter le réchauffement global à +1.5°C.

Facteur 6

diviser par 6 les émissions de Gaz à Effet de Serre (GES)

Zéro

émission nette d'ici 2050



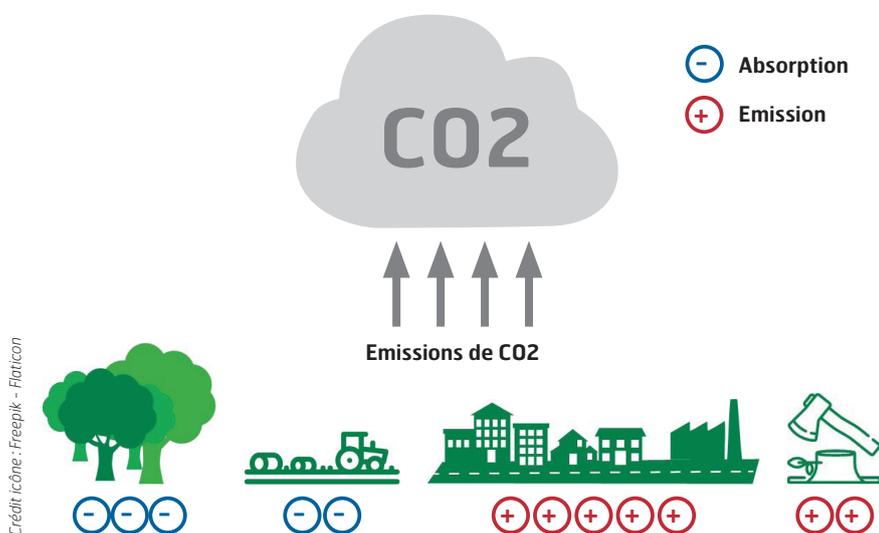


En quoi consiste la séquestration carbone ?

Le principe est de retirer durablement du carbone de l'atmosphère pour éviter qu'il ne participe au réchauffement climatique. Pour cela, il faut au préalable le capturer, soit directement dans l'atmosphère, soit dans les fumées d'échappement des installations émettrices. Dans un objectif de neutralité carbone, c'est-à-dire de capturer autant de carbone que ce qui est rejeté, la séquestration a toute sa place dans le dispositif de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La séquestration carbone s'appuie sur les puits naturels existants d'un territoire, notamment constitué par les sols. Ceux-ci émettent et absorbent du CO₂ selon leur affectation. Une modification de l'occupation du sol peut avoir une incidence notable sur l'absorption ou l'émission du carbone.

Les milieux qui absorbent et ceux qui émettent



Crédit icône : Freepik - Flaticon

Les sols cultivés, prairies et les forêts constituent les principaux puits carbone.

Chiffres clés du territoire de m2A

16 Millions de tonnes de CO₂

stockés

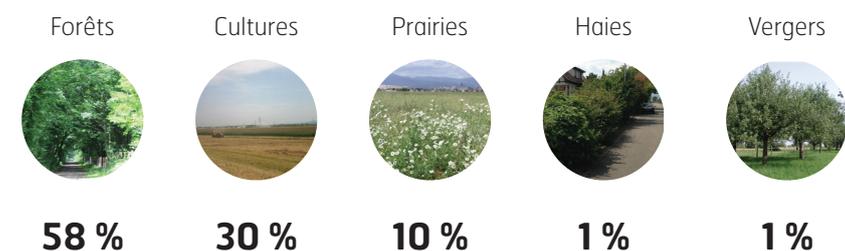
Source : Outil Aldo ⁽¹⁾ + BDOCS 2012

283 Millions de tonnes de GES

émis en 2016, soit 10 T/habitant

17 X la surface de m2A (avec l'occupation du sol de 2012) seraient nécessaires pour absorber les émissions du territoire en 2016

Répartition du stock de carbone de m2A selon le type de végétation



Ce stock de carbone correspond à 16 millions de tonnes d'équivalent CO₂.

Source BDOCS 2012

Définitions

Le stockage de carbone

est l'augmentation du stock de carbone dans le temps. Le déstockage (stockage négatif) est sa diminution.

La séquestration de carbone

est le stockage à long terme du dioxyde de carbone hors de l'atmosphère. C'est l'une des technologies et mesures envisagées pour atteindre les engagements climatiques et énergétiques de la communauté internationale (Accord de Paris). Stockage et séquestration sont deux notions distinctes.

Le puits de carbone

désigne un réservoir permettant d'absorber et stocker le carbone (océan, forêt, sol pour les puits naturels). Ce stockage peut être réversible.

Zéro Emission Nette (ZEN)

est atteint lorsque les émissions sont compensées par les absorptions anthropiques de gaz à effet de serre sur une période spécifique¹.

La neutralité carbone

est l'équilibre entre les émissions et les absorptions liées aux activités humaines de gaz à effet de serre. Ce principe impose de ne pas émettre plus de gaz à effet de serre que le territoire peut en absorber via notamment les forêts ou les sols².

Le rapport³ de l'INRA de juillet 2019 "Stocker du carbone dans les sols français : quel potentiel au regard de l'objectif 4 pour 1000 et à quel coût ?" propose les définitions ci-dessus.

Outil Aldo ⁽¹⁾

est proposé par l'ADEME aux EPCI. L'outil détermine des valeurs par défaut pour :

- L'état des stocks de carbone selon l'occupation du sol ;
- La dynamique actuelle de stockage ou de déstockage liée aux changements d'affectation ;
- Les potentiels de séquestration nette de CO₂.

¹ GIEC - 2018

² Projet de loi relatif à l'énergie et au climat du 30 avril 2019

³ Rapport commandité par le ministère de l'Agriculture et de l'Alimentation et de l'ADEME



1/ LES SOLS, STOCKAGE NATUREL DE CARBONE

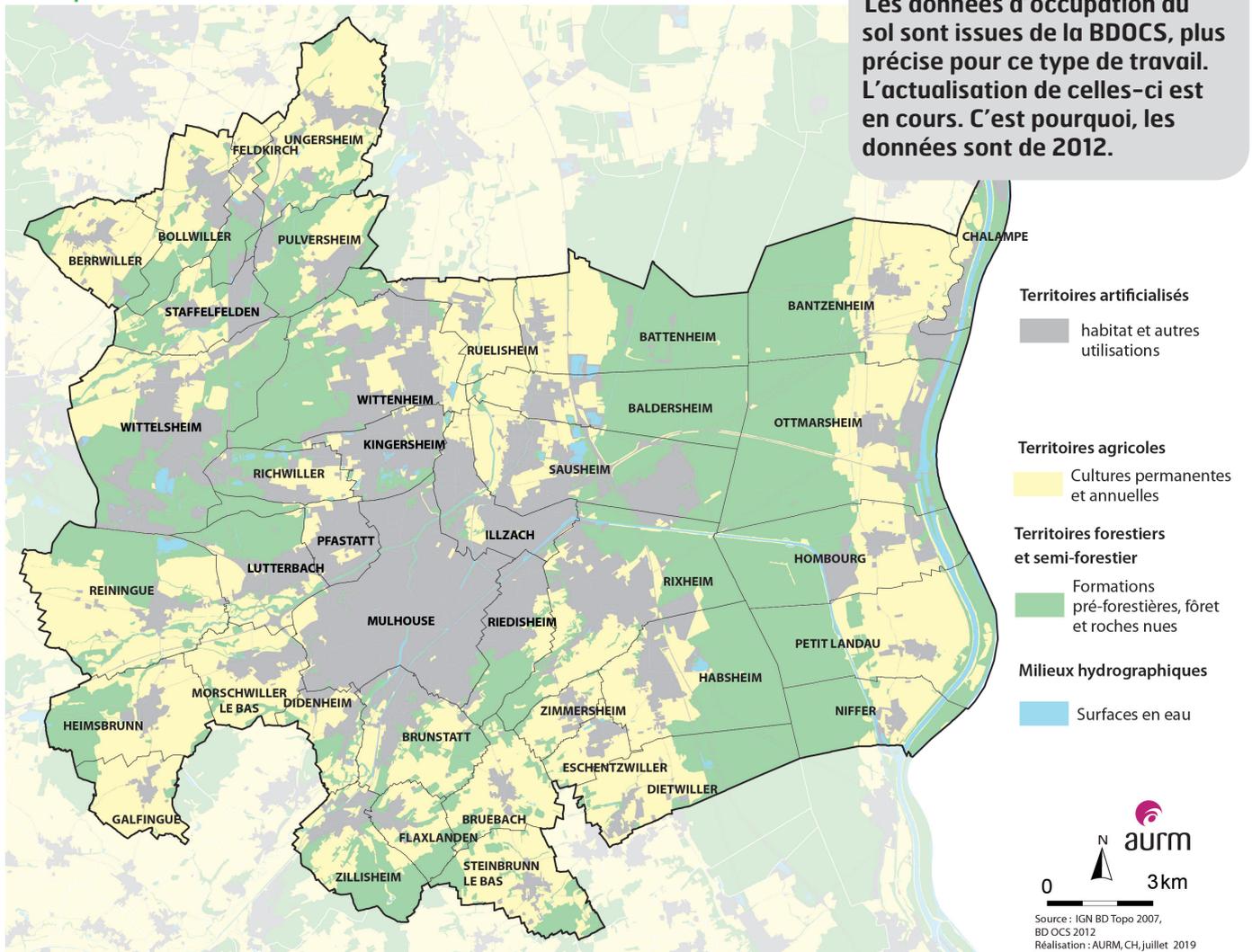


➔ Les sols, premiers réservoirs majeurs

Les sols sont des puits carbone, réservoirs naturels qui absorbent le carbone de l'atmosphère et donc contribuent à diminuer la concentration de CO₂ atmosphérique.

Chaque surface hérite d'un **stock de carbone** dans le sol issu des pratiques culturales. Le potentiel de séquestration carbone actuel est lié à l'activité de croissance végétale à travers la photosynthèse et la dynamique de récolte.

L'occupation du sol en 2012 (source BDOCS)



Les données d'occupation du sol sont issues de la BDOCS, plus précise pour ce type de travail. L'actualisation de celles-ci est en cours. C'est pourquoi, les données sont de 2012.

Les surfaces naturelles (forêts, boisements, prairies humides,...) et agricoles occupent près de 75 % du territoire de l'agglomération.

Surfaces agricoles



39%

Surfaces forestières et semi naturelles



35%

Surfaces artificialisées



25%

Surfaces en eau



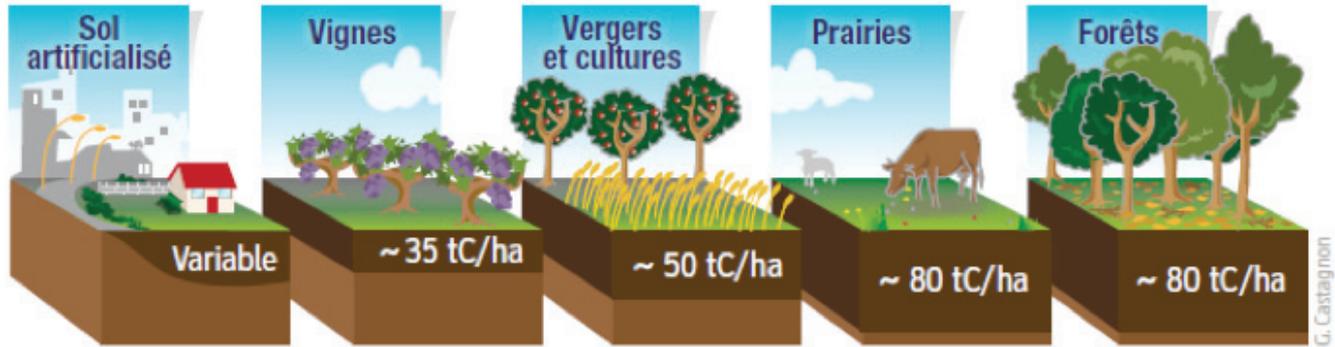
1%

➔ La distinction entre les sols agricoles et la forêt est importante pour déterminer la séquestration brute de CO₂. L'activité biologique est différente selon le couvert végétal. Son potentiel d'absorption l'est tout autant.

➔ Quel stock de carbone sur le territoire de m2A ?

Les ratios de référence sur le contenu des sols permettent de calculer le stock de carbone dans les 30 premiers centimètres. Il varie selon l'affectation des sols. Pour mieux comprendre, l'illustration ci-dessous donne en moyenne par type d'occupation du sol la tonne de carbone (tC) par hectare (ha).

Variation des stocks de carbone organique selon l'affectation des sols en France



Estimation du stock de carbone dans les 30 premiers centimètres du sol
Source GIS sol

16 millions de tonnes de équivalent CO₂

sont stockées directement dans les sols de m2A. Ce calcul a été fait avec l'outil Aldo⁽¹⁾ proposé par l'Ademe, permettant de convertir le stock de carbone en équivalent CO₂ par hectare.

Près de 440 000 ha de forêts seraient nécessaires pour absorber les émissions du territoire, soit près de 10 fois l'agglomération mulhousienne.

Pour calculer le stock, il est proposé des ratios à l'hectare à savoir :

$$1 \text{ eq C} = 3,67 \text{ eq CO}_2$$

Evaluation de la séquestration carbone nette du territoire de m2A en 2012

Réservoirs	Surface en ha	Pourcentage (%)	En Tonne eq CO ₂ /an	
Cultures	16 113	37,06	2 676 544	
Prairies	Zones herbacées	885	2,04	218 812
	Zones arbustives	0		10 894
	Zones arborées	0		-
Forêts	Feuillus	14 165	33,60	9 570 513
	Mixtes	0	0,00	173
	Résineux	96	0,22	62 651
	Peupleraies	36	0,08	18 340
Zones humides	477	1,10	218 405	
Vergers	46	0,11	10 393	
Vignes	28	0,07	4 569	
Sols artificiels imperméabilisés	8948	20,58	984 327	
Sols artificiels enherbés	2060	4,74	562 028	
Sols artificiels arborés et buissonnants	177	0,40	79 510	
Haies associées aux espaces agricoles	110	-	37 443	
TOUTES OCCUPATIONS	43 482	100 %	14 454 601 Teq CO₂/an	
Produits bois (approche consommation : répartition selon habitants)			1 843 236	
TOTAL STOCK			16 297 837 Teq CO₂/an	

Sources BDOCS 2012 et outil Aldo⁽¹⁾

➔ La forêt, principal puits carbone, un stock de carbone insuffisant pour compenser les émissions de CO₂

Les massifs forestiers comme la Forêt de la Hardt, du Nonnenbruch ou de Tannenwald-Zührenwald représentent environ **15 000 ha**, soit 35 % de la superficie du territoire. Les forêts de feuillus sont largement majoritaires. Elles constituent les principaux puits de carbone. Ils représentent seulement **2 à 3 % des émissions globales de CO₂** à l'échelle du territoire.

Evaluation de la séquestration carbone nette des massifs forestiers de m2A

Séquestration	Surface en ha	En Tonne eq CO ₂ /an
Feuillus	14 165	9 570 513
Mixtes	0	173
Résineux	96	62 651
Peupleraies	36	18 340
TOTAL	15 006	9 651 677

Sources BDOCS 2012 et outil Aldo

➔ Les terres agricoles séquestrent aussi du carbone

Elles occupent près de **17 000 ha** soit 39% du territoire. Plus de 90 % des cultures sont céréalières, principalement du maïs.

Evaluation de la séquestration carbone nette des surfaces agricoles de m2A

Séquestration	Surface en ha	En Tonne eq CO ₂ /an
Cultures	16 113	2 676 544
Prairies	885	229 706
TOTAL	16 508	2 906 250

Sources BDOCS 2012 et outil Aldo

➔ L'absorption varie selon l'affectation des sols

Il s'agit de données théoriques valables en France métropolitaine. Elles montrent la variation d'absorption sur l'année 2016 sur le territoire de m2A.

Les forêts ont tendance à absorber davantage que d'autres type de sols. Le changement d'affectation des surfaces boisées diminue fortement cette captation de CO₂, quelque soit le nouvel usage du sol.

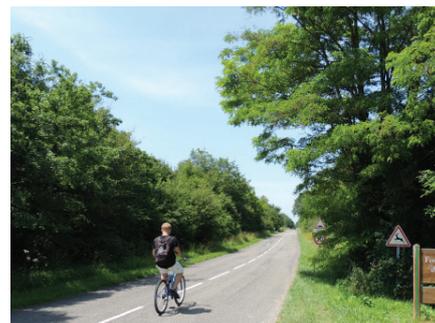
Une jeune forêt va stocker plus de CO₂ qu'un boisement plus âgé. Les essences d'arbres et les types de cultures ou de zones artificialisées ont aussi un effet sur la quantité de carbone séquestré.

Toutefois, la conversion d'une prairie ou d'une forêt en culture ou en zone urbaine engendre une réduction du potentiel de séquestration carbone mais aussi un important déstockage de carbone.

Selon le GIEC, les **stocks de carbone sont plus grands dans le sol que dans la végétation**. Tout changement d'affectation peut fortement modifier les capacités de puits carbone et d'émissions. Le déboisement libère du CO₂ en grande quantité. Le labour des sols accélère la décomposition de la matière organique et produit du CO₂.

En revanche, l'activité bactériologique et racinaire permet de reconstituer le stock de matière organique stable des sols.

1 Groupe d'Experts Intergouvernemental sur l'évolution du Climat



La forêt du Nonnenbruch, au nord de l'agglomération, est classée forêt de protection sur une superficie de 1 340 ha. Composée majoritairement de feuillus, elle représente un fort potentiel de séquestration carbone.



Les cultures sont principalement céréalières. Elles séquestrent proportionnellement moins de carbone qu'une surface en prairie ou une zone humide

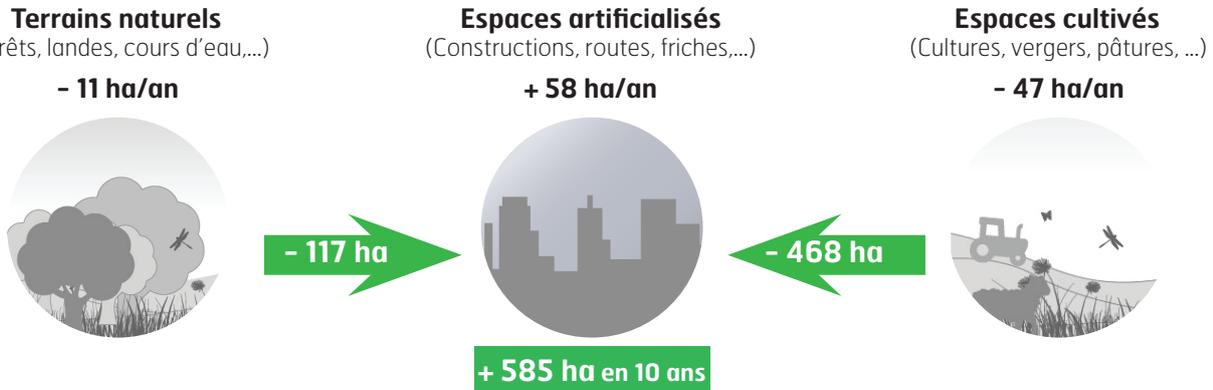
Absorption de CO ₂ en kg/ha en 2016	
Forêts restant forêts	3 708
Cultures devenant forêts	11 350
Prairies devenant forêts	5 369
Zones humides devenant forêts	6 712
Sols artificialisés devenant forêts	6 797
Autres terres devenant forêts	5 633
Cultures restant cultures	188
Forêts devenant cultures	- 15 966
Prairies devenant cultures	- 4 625
Sols artificialisés devenant cultures	171
Prairies restant prairies	37
Forêts devenant prairies	- 3 918
Cultures devenant prairies	4 103
Zones humides devenant prairies	- 16 974
Sols artificialisés devenant prairies	8 596
Autres terres devenant forêts	5 633
Sols artificialisés restant sols artificialisés	- 111
Forêts devenant sols artificialisés	- 17 992
Prairies devenant sols artificialisés	- 7 175
Cultures devenant sols artificialisés	- 791

Source: Inventaire OMINEA, 2018

2/ L'IMPORTANCE DU CHANGEMENT D'AFFECTATION DES SOLS

➔ Le changement d'affectation des sols à l'échelle du territoire de m2A (calcul rétroactif)

Entre 2002 et 2012, les changements d'affectation concernent environ 600 ha, ce qui correspondait à 1,3 % de la superficie du territoire.



Le développement du territoire par l'extension urbaine se fait au détriment des **espaces naturels et agricoles**. Depuis 2002, le changement de ces affectations des sols induit une **perte** du potentiel de **séquestration carbone**, étant donné que les surfaces artificialisées séquestrent moins de carbone et en rejettent plus.

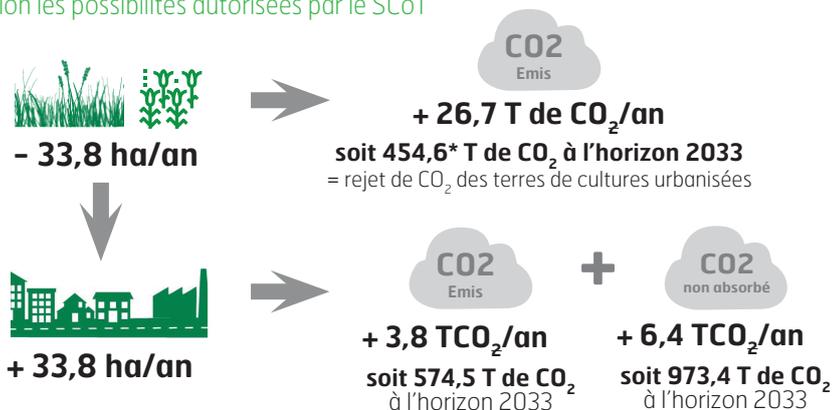
➔ L'évolution de l'occupation du sol à l'horizon 2033 (calcul prospectif)

De quelle manière va évoluer l'occupation du sol dans les 17 prochaines années et donc la séquestration carbone ?

Le calcul du changement d'affectation¹ à l'échelle du territoire de m2A, s'est basé sur les orientations du SCoT et la méthode de calcul OMINEA. Les surfaces autorisées à l'urbanisation en extension ont été évaluées à **575 ha** sur 18 ans, soit une moyenne 33,8 ha/an. Le calcul a été fait en considérant uniquement le passage des espaces cultivés en espaces artificialisés.

¹ Changer d'affectation d'une terre agricole à une zone urbanisée conduit à rejeter dans l'atmosphère une quantité de carbone stockée dans la biomasse et dans le sol. A cela s'ajoute le déficit d'absorption de CO₂ lié à la nouvelle nature du sol. Ainsi la quantité de CO₂ libérée est augmentée par la quantité non absorbée.

Evaluation du rejet de CO₂ par l'urbanisation des sols agricoles sur le territoire de m2A selon les possibilités autorisées par le SCoT



Ces 33,8 ha urbanisés vont rejeter 3,8 TCO₂/an de par leur nouveau statut. Ils ne vont pas contribuer au stockage du carbone à hauteur de 6,4 TCO₂/an. Au final, **2002,6 T de CO₂** seront **rejetées** ou **non absorbées** par le changement d'affectation des **575 ha** terres agricoles de 2017 à 2033.

Détail des calculs

$2002,6 \text{ TCO}_2 = 454,6 + 574,5 \text{ TCO}_2 \text{ rejetées} + 973,4 \text{ TCO}_2 \text{ non absorbées}$ ou perte de stockage
 $454,6 (26,7 \times 17) + 574,5 (3,8 + n1 (3,8 + 3,8) + n2 (7,6 + 3,8) + \dots + n16 (60,1 + 3,8)) +$
 $973,4 (6,4 + n1 (6,4 + 6,4) + n2 (12,7 + 6,4) + \dots + n16 (101,2 + 6,4)) = 2002,6$

Source : OMINEA 2018 + SCoT de la région mulhousienne

MESURES COMPENSATOIRES

Elles permettent aux territoires de répondre à leur obligation d'éviter-réduire-compenser les incidences négatives du projet.

Le SCoT de la région mulhousienne recommande de «prioriser des boisements compensatoires sur des friches économiques non remobilisables pour de nouvelles activités (zone rouge de PPRT, abords de terrils, etc)».

Le SCoT m2A a d'ores et déjà identifié des gisements de potentiel de compensation à hauteur de 280 ha.

Il faudra être vigilant à mobiliser ces espaces avec une affectation du sol la plus judicieuse pour une plus grande séquestration carbone.

OMINEA

C'est l'Organisation et méthodes des Inventaires Nationaux des Emissions Atmosphériques en France.

Ce rapport comprend une description détaillée, par secteur émetteur, des méthodologies utilisées pour estimer les émissions de gaz à effet de serre et de polluants atmosphériques (approche utilisée, données sources, hypothèses, facteurs d'émissions, etc.). Il présente aussi une description du système national d'inventaire. Il est édité par CITEPA, Centre Interprofessionnel Technique d'Etudes de la Pollution Atmosphérique.

3/ QUEL POTENTIEL DE DEVELOPPEMENT ?

➔ La séquestration carbone par les espaces naturels ...

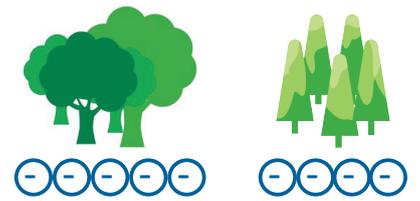
L'artificialisation des sols est un enjeu majeur du territoire, avec des répercussions en termes d'émissions de gaz à effet de serre. La priorité n'est pas, dans un premier temps de vouloir stocker plus de carbone mais bien de **limiter les pertes**.

Comme les espaces naturels et semi-naturels (forêt, zones humides, prairies) captent et stockent plus de CO₂, il paraît évident que leur préservation est importante.

Toutefois il est nécessaire de mettre en perspective la séquestration brute de CO₂ au regard du déstockage carbone par la consommation locale de biomasse. L'usage énergétique du bois va émettre du gaz qui ne sera pas compensé par le stockage de CO₂ assuré par la forêt.

Néanmoins, cette perte de stockage est à relativiser car une forêt jeune va stocker davantage de CO₂.

Plus une forêt sera **composée de feuillus plus elle absorbera de carbone**.



Une forêt de feuillus va absorber plus de carbone que des conifères



Le bois énergie va émettre du CO₂ ainsi que la coupe à blanc d'un boisement.

Impact de substitution énergie et matériaux bio sourcés

L'utilisation de matériaux bio-sourcés pour la construction ou pour la production énergétique est encouragée en tant que ressource renouvelable et locale.

Les effets de substitution peuvent être calculés en appliquant une valeur déterminée par l'ADEME.

L'usage de matériaux biosourcés dans la construction permet de **stocker du carbone à l'intérieur des bâtiments**. Il s'agit d'utiliser des matériaux utilisant de la biomasse d'origine végétale voire animale : bois, liège, paille, chanvre, ouate de cellulose, textile recyclé, laine de mouton.

➔ L'agriculture pour renforcer le stockage de carbone

Le **déstockage de carbone du sol est plus rapide que le stockage**. L'adoption de pratiques "stockantes" sera plus bénéfique si elles sont durables. Il est plus efficace de conserver les stocks existants que d'en créer d'autres.

L'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) a identifié **plusieurs techniques de production agricoles** afin de limiter les émissions et de capter les gaz à effet de serre. Elles concernent :

- L'usage des sols :
 - > développer l'agroforesterie en boisant les terres cultivées,
 - > convertir les terres labourées en prairies permanentes,
 - > allonger la durée des prairies temporaires,
 - > enherber les inter-rangs dans les vignes et les vergers.
- Les pratiques de productions :
 - > proscrire la jachère nue,
 - > pratiquer l'engrais vert entre les cultures,
 - > privilégier les enfouissements de résidus de culture apportant du carbone au sol, le non-labour ou encore le semis sous-couverture végétale
- La forêt :
 - > restaurer les forêts dégradées
 - > mettre en oeuvre une sylviculture efficace qui raisonne au mieux avec le choix d'espèces adaptées aux nouvelles conditions climatiques,
 - > privilégier les essences produisant plus de biomasse (bois, feuillus).

Le 4 pour 1000

Préserver le couvert végétal sous toutes ses formes

L'INRA a lancé une initiative nationale nommée "4 pour 1000" qui propose d'améliorer la teneur en matières organiques et d'encourager **la séquestration de carbone** dans les sols, pour **la sécurité alimentaire et le climat**.

Si on augmente de 4‰ (0,4 %) par an la quantité de carbone contenue dans les sols, on stoppe l'augmentation annuelle de CO₂ dans l'atmosphère.

**Davantage de végétaux
= augmentation de l'absorption
de CO₂**



**Stockage de + 4‰ de carbone
dans les sols**
= des sols + fertiles
= des sols + adaptés aux effets du
changement climatique

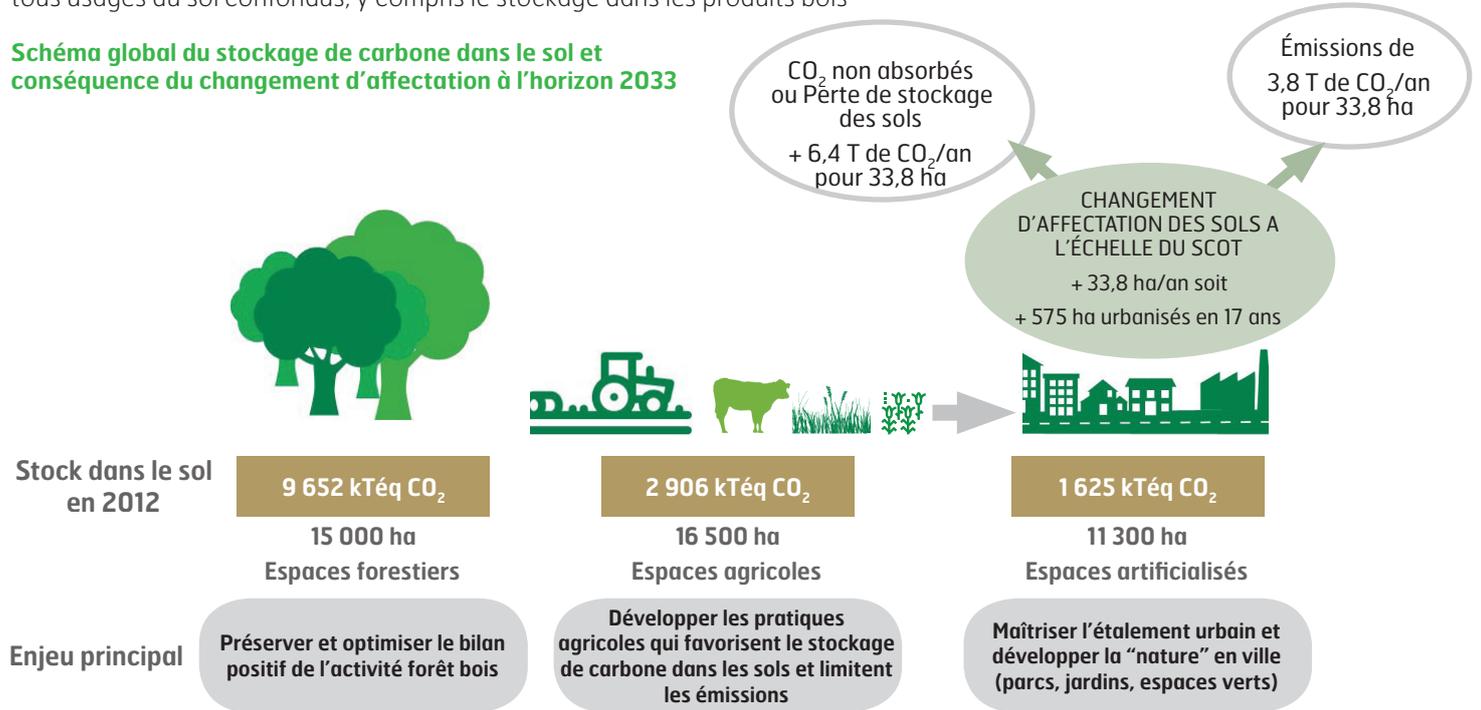
Source : INRA

A RETENIR

⇒ 16 millions de TégCO₂/an = séquestration carbone sur m2A

tous usages du sol confondus, y compris le stockage dans les produits bois

Schéma global du stockage de carbone dans le sol et conséquence du changement d'affectation à l'horizon 2033



ATOUTS

15 000 ha de forêts et espaces boisés (stock carbone)
16 500 ha de surfaces agricoles

OPPORTUNITÉS

Développement de l'agroforesterie et de l'exploitation du bois pour des usages matériaux et énergétiques

ENJEUX

Atténuer les effets des changements climatiques
Réduire les émissions de GES du territoire (neutralité carbone)

FAIBLESSES

Entre 2002 et 2012, 585 ha ont subi un changement d'affectation

MENACES

Changement d'affectation des terres par l'urbanisation

EXEMPLES ET LEVIERS

Développer des haies bocagères pour augmenter le stockage de carbone
Augmenter l'usage du bois en construction

CONCLUSION

- ⇒ Le stock de carbone du territoire de m2A est le plus important dans les milieux forestiers et agricoles.
- ⇒ La séquestration des espaces agricoles pourrait être optimisée par des pratiques comme la gestion forestière durable ou l'agroforesterie en agriculture.
- ⇒ L'artificialisation des sols fait perdre, de manière irréversible, le pouvoir de stockage de carbone.
- ⇒ Les mesures de compensation en réponse à l'artificialisation doivent permettre de créer de nouveaux potentiels de séquestration. Une affectation du sol au fort pouvoir captant comme le boisement est à privilégier.

L'Agence d'Urbanisme de la Région Mulhousienne, 33 avenue de Colmar - 68200 MULHOUSE
Tél. : 03 69 77 60 70 - Fax : 03 69 77 60 71 www.aurm.org

Rédaction : Catherine HORODYSKI et Mathieu LEMBEZAT

Cartographie : Luc CARPENTIER

Sources iconographiques : www.flaticon.com

Edition : Mars 2020

Crédit photo/image : AURM sauf mention contraire - Toute reproduction autorisée avec mentions précises de la source et la référence exacte.