CONNAISSANCE DU TERRITOIRE
PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Mai 2026

À l'essentiel N°4

Les Fabriques de la Connaissance

Suivre le bilan carbone dans les espaces naturels, agricoles et forestiers en Région Provence-Alpes-Côte d'Azur pour faire face aux changements climatiques

Quels outils d'aide à la décision accompagnés par la Région ?

Les sols des espaces naturels, agricoles et forestiers constituent d'importants réservoirs de carbone. L'adaptation et l'atténuation sont essentiels pour le territoire, dans un contexte de changements climatiques. La Région Provence-Alpes-Côte d'Azur soutient des outils d'aide à la décision, qui proposent des bilans à la parcelle ou à l'échelle du territoire, pour orienter les pratiques agricoles et sylvicoles, et éclairer les décideurs sur l'aménagement du territoire.

Avec les changements climatiques, l'**évolution des stocks de carbone organique dans les sols est structurante pour l'atteinte des objectifs de neutralité carbone ainsi que pour l'avenir de l'agriculture méditerranéenne** car ils participent à la bonne santé des sols. Cette agriculture est particulièrement fragilisée par les aléas climatiques (stress hydrique et de température, grêle, gel, etc.) qui impactent tant la qualité et le rendement des cultures que le stockage de la matière organique dans les sols déjà pauvres en carbone. L'agriculture, tout comme la sylviculture, doivent donc anticiper ces risques et s'adapter.

Il apparaît important d'estimer des bilans carbone à diverses échelles (parcelle, exploitation, bassin versant et territoire) dans une région caractérisée par un parcellaire morcelé et une occupation des sols très diversifiée. Pour ce faire, il existe plusieurs méthodes qui présentent chacune leurs avantages et leurs limites, selon l'objectif recherché (précision de la donnée, échelle de territoire) et l'usage qui en sera fait.

Les organismes de recherche tels que l'Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement (INRAe) et l'Institut technique agricole Arvalis ont mis au point des outils validés à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation pour mesurer ces changements.

En revanche, le suivi de l'évolution du carbone s'avère plus complexe à l'échelle du bassin versant ou du territoire en raison de la disponibilité et de la précision des données d'entrée nécessaires aux modèles. Des projets de télédétection sont portés par des structures telles que MEOSS, créateur d'outils de pilotage et de mise en valeur des territoires par l'image satellite qui s'appuient sur les données issues de l'outil ALDO de l'ADEME (l'Agence de la transition écologique), estimant des bilans carbone à plus grande échelle.

Le stockage du carbone par les sols et les végétaux

Les sols et la forêt jouent un double rôle vis-à-vis du dioxyde de carbone en contribuant, d'une part, à en absorber ou en séquestrer et, d'autre part, à en émettre. Les sols et les végétaux représentent en moyenne des stocks de carbone bien supérieurs à ceux de l'atmosphère.

L'objectif est donc d'optimiser leur capacité de fixation du carbone atmosphérique et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

Des bilans carbone : pour quels usages ?

Favoriser des modèles agricoles intégrant les changements pédoclimatiques

La **connaissance des bilans carbone à l'échelle d'un bassin versant agricole** permet de mettre en évidence des scénarios d'usage distincts et de conseiller des pratiques agricoles favorisant le stockage (ou séquestration) du carbone sous la forme organique dans le sol et les plantes selon les contraintes locales.

Les sols et les végétaux (cultures, prairies, forêt) stockent une grande quantité de carbone. Toute variation négative ou positive de ces stocks, même relativement faible, peut influer sur les concentrations de gaz à effet de serre dans l'atmosphère. **Une réduction des stocks génère une source de dioxyde de carbone vers l'atmosphère et, à l'inverse, une augmentation des stocks dans les sols et les végétaux limite les gaz à effet de serre.**

Certains changements d'usages ou de pratiques agricoles favorisent aussi le stockage de carbone dans les sols, comme la conversion des cultures en prairies ou en forêts. Au contraire, la mise en culture des prairies ou des forêts entraîne une diminution du stock de carbone organique et une émission de dioxyde de carbone.

→ **Pour préserver le stockage de carbone, il est essentiel de mettre en place une gestion durable des sols, des cultures et des forêts.**



Atteindre la neutralité carbone en 2050

La Stratégie nationale bas-Carbone 3 affirme l'objectif d'atteindre la neutralité carbone à l'horizon 2050, soit **l'équilibre entre les émissions nationales de gaz à effet de serre et leur absorption par les puits de carbone** (forêt, sols agricoles, prairies, haies…).

Le Schéma Régional d'Aménagement, de Développement Durable et d'Egalité des Territoires (SRADDET) de la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur vise à :

- améliorer la résilience du territoire face aux risques et au changement climatique (objectif 10). Il prévoit une **meilleure gestion des terres et une utilisation plus efficace des ressources des sols** aux différentes échelles du territoire, afin d'atténuer l'impact du changement climatique mais également à adapter les pratiques, techniques et les espèces culturales pour faire face aux contraintes exercées par le changement climatique.
- **accompagner la transition vers de nouveaux modes de production et de consommation agricoles et alimentaires** (objectif 18).

Établir des bilans carbone territoriaux

La connaissance des stocks de carbone dans les sols est également prévue dans le cadre des Plans Climat-Air-Energie Territoriaux (PCAET). Ce bilan informe sur le stockage en fonction de l'état du sol, facilite et guide le choix des décideurs pour les projets d'extension à l'urbanisation. L'objectif est, dans ce cas, de limiter le bouleversement du cycle du carbone et les émissions de gaz à effet de serre dont le principal composant est le dioxyde de carbone. Toutefois, les bases de données, dont celle de l'occupation des sols, utilisées pour réaliser les bilans carbone des PCAET, ne sont à ce jour pas suffisamment précises pour l'aménagement du territoire, notamment pour caractériser les surfaces dédiées à un usage agricole.



Les méthodes d'évaluation de bilans carbone accompagnés par la Région

Pour mener à bien ces bilans à l'échelle du territoire, la Région Provence-Alpes-Côte d'Azur accompagne l'INRAe (Unité Mixte de Recherche EMMAH et l'unité de service Agroclim du centre INRAe PACA) basée à Avignon, dans un projet de recherche pilote à l'échelle de quatre communes du nord Vaucluse ("Scénarios pour une agriculture durable en nord Vaucluse"). Soucieuse d'évaluer et d'investir le champ technique du suivi carbone des territoires, la Région a également répondu favorablement à la sollicitation de la société MEOSS, afin d'accompagner le déploiement et l'expérimentation de l'outil MEO-Carbon sur le département des Bouches-du-Rhône.

Ces outils en cours de construction conjuguent divers niveaux de connaissance et impliquent différentes méthodes de recueil de données (données spatiales, occupation des sols précisant le type de cultures, la qualité des sols, des modèles de simulation).

Le bilan carbone à la parcelle

Avec les outils FORESCEM et Maelia, l'INRAe a choisi une approche de modélisation qui nécessite des informations précises sur les sols, les types de cultures et leur mode de conduite, intégrant ainsi le bilan carbone dans un groupe très large de données recueillies sur un territoire restreint (nord Vaucluse).

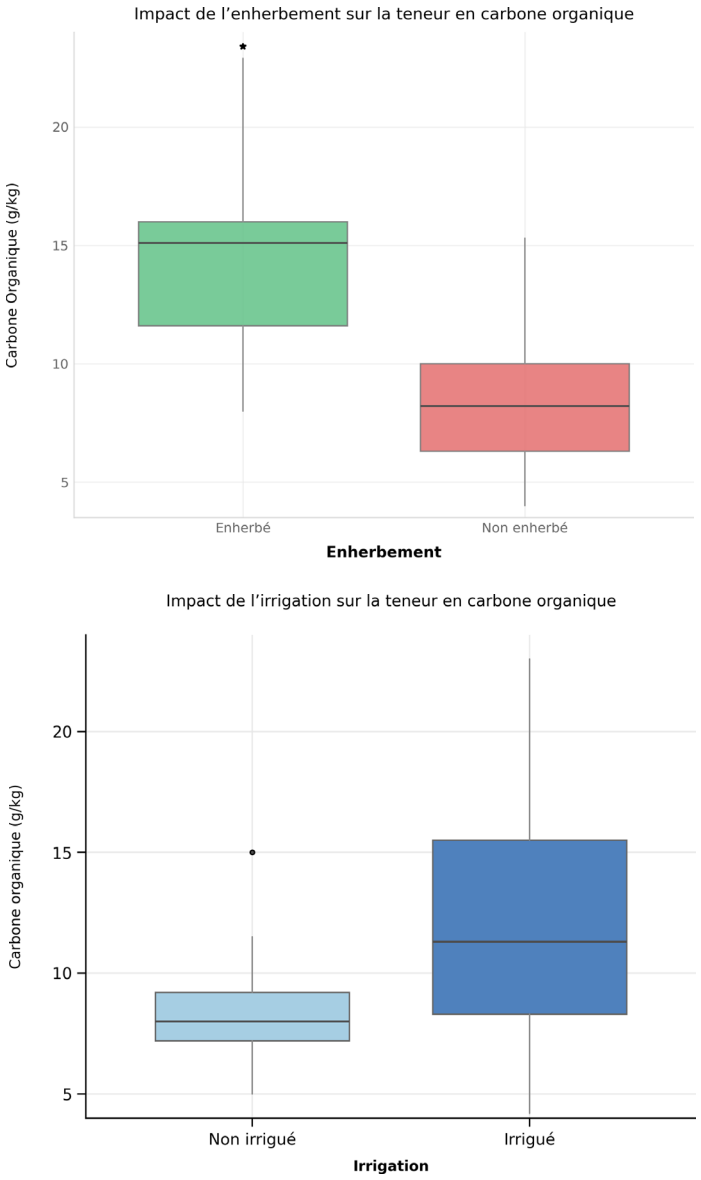
L'outil intègre plusieurs variables :

- des scénarios de pratiques agricoles locales (labour, type de fertilisants, irrigation), obtenus à partir d'enquêtes auprès des agriculteurs,
- des données sur la qualité des sols sur divers horizons (litière, horizon 0-30 cm…),
- des données spatiales générant des cartes d'occupation des sols,
- divers modèles de simulation (Aqyield ou STICS).

Les projets en cours permettront d'automatiser à terme les mesures de bilan carbone. La qualité de la donnée disponible est déterminante, en particulier la qualité pédologique des sols qui doit gagner en précision (maillage trop large). Les premiers résultats, issus des bilans carbone réalisés à l'échelle de la parcelle, mettent en évidence que la **trajectoire d'évolution du carbone organique dans les sols dépend fortement de l'occupation des sols (notamment des cultures en place) mais aussi des pratiques agricoles.**

À ce stade, les travaux en cours ne peuvent encore définir des scénarios plus précis à l'échelle du territoire. Cependant, il est d'ores et déjà démontré, grâce à ceux réalisés à l'échelle de la parcelle, que l'implantation de haies, la pratique de l'agroforesterie, de cultures intermédiaires, le recours aux prairies et les couverts végétaux (par exemple dans les parcelles de vignes), les apports organiques (épandages, fumier…), les rotations diversifiées sur une parcelle, le choix des cultures (en raison de sa capacité à stocker le carbone et de la quantité de biomasse exportée) permettent d'augmenter de manière significative le carbone organique des sols. **L'irrigation et l'activité biologique du sol impactent aussi la quantité de carbone dans les sols.** C'est ce que montrent les prélèvements de sols, conduits par l'INRAe entre 2024 et 2025, sur le rang et l'inter-rang de vignes et de vergers situés sur le bassin de l'Ouvèze. La figure n°1 témoigne de l'impact de procédés tels que l'enherbement et l'irrigation sur la teneur en carbone des sols.

Figure n°1 - Prélèvements de sols traduisant l'impact significatif de l'enherbement et de l'irrigation sur le taux de carbone organique. Source : Emmah INRAe, travail en cours.



Les outils et les données nécessaires à la réalisation des bilans carbone plus précis à l'échelle du territoire sont en cours de développement. Ils permettront d'intégrer les nouvelles contraintes agricoles dans le futur aménagement de notre territoire. Ces indications sont nécessaires pour anticiper les cultures qui seront les mieux adaptées au changement climatique. D'autant que la valorisation et la mise en œuvre de l'ensemble des actions comme les techniques culturales et le choix des espèces végétales préconisées se font sur une durée de plusieurs décennies.

L'imagerie satellitaire pour le suivi des stocks et des flux de carbone – l'outil MEO-Carbon

En partenariat avec la Région, MEOSS a élaboré un outil démonstrateur de diagnostic et de suivi des stocks et des flux de carbone à l'échelle locale : MEO-Carbon. Sa mise en œuvre s'appuie sur l'imagerie satellitaire haute résolution permettant d'obtenir des données du couvert du sol actualisées, à partir desquelles est appliquée la méthode ALDO de l'ADEME.

L'outil propose une interface cartographique et des tableaux de bord dynamiques destinés, lorsqu'ils seront finalisés, à outiller les politiques publiques (SRADDET, SCoT, PCAET) et à renforcer ainsi la capacité des collectivités territoriales à suivre leur trajectoire carbone et leur contribution à l'objectif national de neutralité.

La figure 2 illustre le stockage du carbone selon l'occupation des sols. **La forêt, la prairie et les zones humides représentent plus de 80 % du stockage du carbone.**

La figure 3 met en évidence **le réservoir le plus propice au stockage qui est le sol à plus de 80 %**, bien devant la litière, la biomasse ou la biomasse forestière.

L'implication technique de la Région ainsi que la mobilisation de plusieurs acteurs locaux a permis de consolider et d'enrichir l'outil MEO-Carbon, en apportant une **expertise technique territoriale, des données régionales qualifiées et un cadre d'expérimentation à grande échelle**.

En conclusion, la Région est soucieuse du suivi des bilans carbone pour mieux anticiper nos actions dans un contexte de changement climatique. Les outils doivent être adaptés au contexte méditerranéen avec un parcellaire morcelé et une occupation des sols très diversifiés. Les outils en cours de développement auprès des organismes de recherche et des start-ups sont ainsi construits sur la base des échelles d'études ciblées. Plusieurs bases de données sont nécessaires pour construire un bilan carbone, quelle que soit l'échelle d'étude. La Région emboîte le pas pour accélérer leur mise en œuvre !

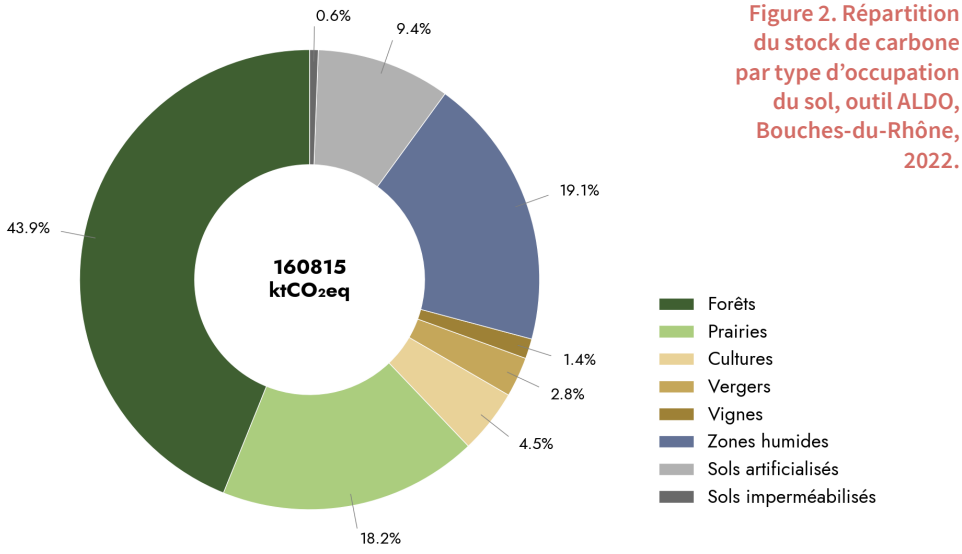


Figure 2. Répartition du stock de carbone par type d'occupation du sol, outil ALDO, Bouches-du-Rhône, 2022.

© MEOSS - Date de production : 2025/10

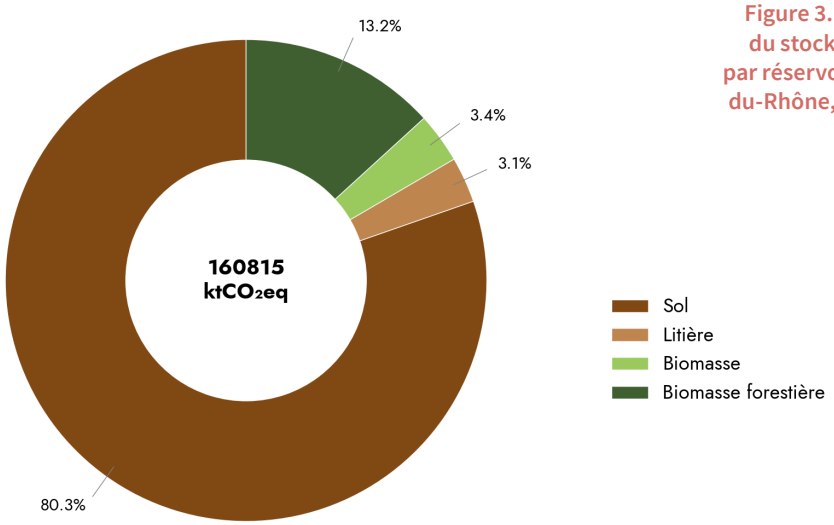


Figure 3. Répartition du stock de carbone par réservoir Bouches-du-Rhône, outil ALDO, 2022.

© MEOSS - Date de production : 2025/10

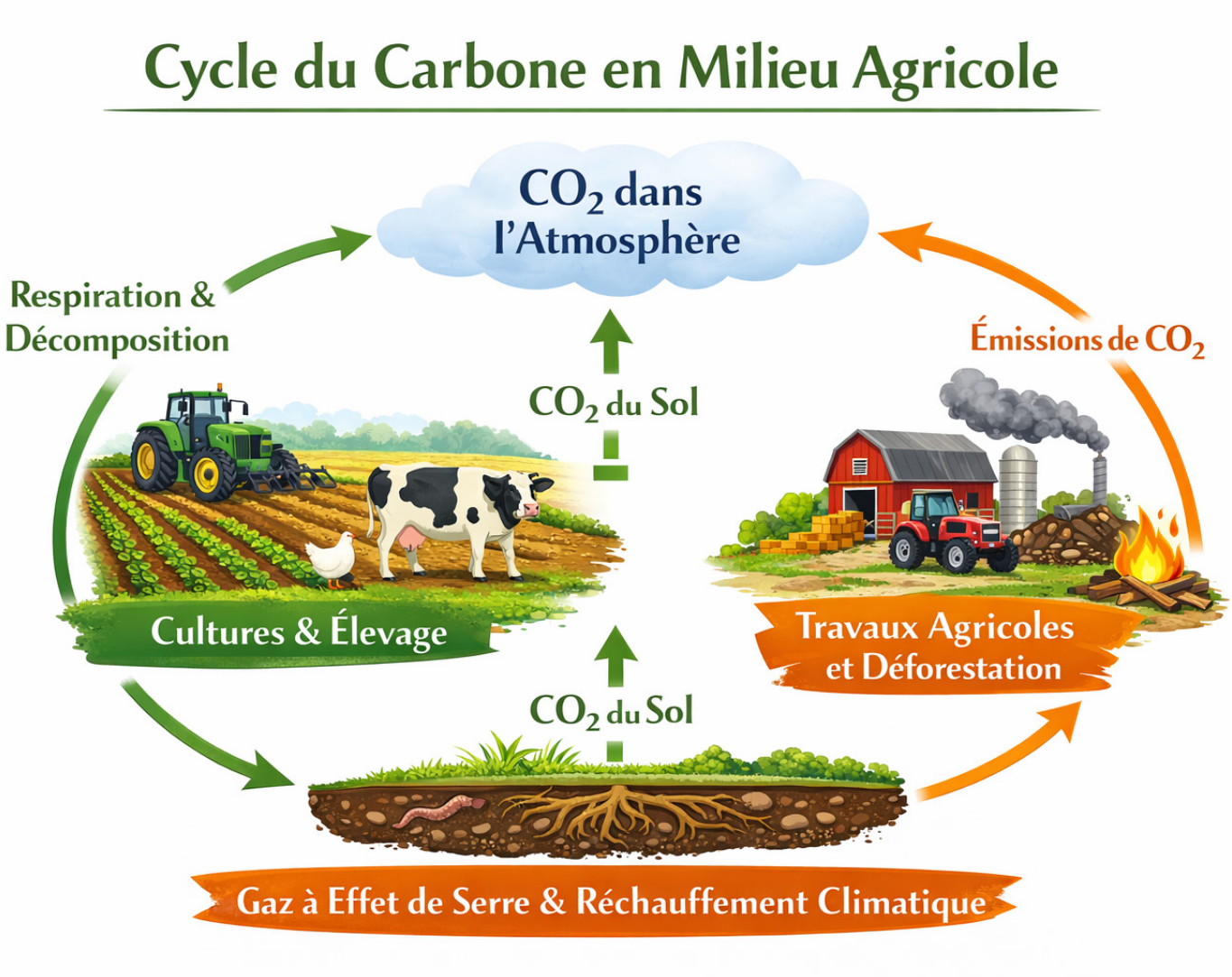
Comprendre le cycle du carbone

Le carbone est le quatrième élément le plus abondant de l'univers et indispensable pour notre planète. Le cycle court du carbone est un processus par lequel le dioxyde de carbone (gaz) passe de l'atmosphère aux organismes vivants et à la Terre (carbone organique), puis y retourne. Il est ainsi présent à la fois dans l'atmosphère (gaz), dans le sol (carbone organique), dans les sédiments (carbone fossile) et dans l'eau (carbone organique et dioxyde de carbone dissous).

Les plantes absorbent le dioxyde de carbone de l'air, ainsi que l'eau et la photosynthèse solaire, et l'utilisent pour produire de la nourriture qui est sous la forme de carbone organique. La décomposition du carbone organique est réalisée par les micro-organismes via leur fonction respiratoire dans les sols et les sédiments, dégageant ainsi du carbone sous forme de dioxyde de carbone (gaz). Toute autre source de dioxyde de carbone peut générer un excès et contribuer à l'effet de serre.

Les changements climatiques (température, régimes hydriques, vent) et les interventions anthropiques (pratiques agricoles, imperméabilisation des sols, etc.) sur les sols méditerranéens en général pauvres en carbone organique vont accélérer la décomposition du carbone organique appauvrissant davantage les sols et modifiant ce cycle par un excès de dioxyde de carbone dans l'atmosphère entrainant lui-même un équilibre plus favorable à sa dissolution dans la mer (avec des conséquences sur le milieu marin) et à l'effet de serre.

Le cycle long du carbone est beaucoup plus long que la durée de vie humaine. Il s'étend sur des millions d'années et implique les processus géologiques qui transforment les minéraux et les roches carbonés. Ce cycle comprend l'altération des roches, le dépôt du carbone sous forme de sédiments et sa réémission dans l'atmosphère par l'activité volcanique.


Cycle du Carbone en Milieu Agricole
CO_2 dans l'Atmosphère
Respiration & Décomposition
Émissions de CO_2
CO_2 du Sol
Cultures & Élevage
Travaux Agricoles et Déforestation
CO_2 du Sol
Gaz à Effet de Serre & Réchauffement Climatique

CONNAISSANCE DU TERRITOIRE
PROVENCE-ALPES-CÔTE D'AZUR

Une coopération entre experts du territoire au service de la connaissance et de l'action publique

› https://connaissance-territoire.maregionsud.fr

Les auteurs

Joanne MUSSET, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur
Claire AJOUC, Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

Ce document a été élaboré avec la contribution des experts métier de la région Provence Alpes Côte d'Azur et de son réseau de partenaires techniques et universitaires. Il participe à la diffusion d'un socle de connaissances élaboré dans le cadre de partenariats public-public et public-privé et mis au service de l'ingénierie territoriale.

Coordination éditoriale : Coline MIAS - Région Provence-Alpes-Côte d'Azur

RÉGION SUD PROVENCE ALPES CÔTE D'AZUR