

Évaluation de l'état des terres affectées par la désertification en France métropolitaine

M. Bouvier, F. Montfort, C. Grinand, M. Nourtier

Juillet 2024





Résumé :

- En 2022, 973 700 ha (1,8%) de la France métropolitaine présentent un climat aride semi-aride et subhumide sec, dans un périmètre circonscrit au pourtour méditerranéen.
- Au cours de période 1993-2022, près de 32,6% du territoire hexagonal a vu son climat tendre vers un climat plus sec.
- 1 735 200 ha (3,2%) du territoire sont considérés comme dégradés sur la base des trois indicateurs de la convention (changements d'occupation des terres, productivité de la végétation et stocks de carbone organique du sol), dont 76 200 ha (0,1%) spécifiquement affectés par la désertification (dégradation dans les zones arides).
- Cependant, la prise en compte d'autres indicateurs de dégradation des sols, préconisés notamment par le JRC, révèle une dégradation bien plus importante. Ainsi, en intégrant ces indicateurs, la désertification en France métropolitaine affecte 751 700 ha (1,4% du territoire).
- À ce stade de l'étude, il n'a pas été possible de préciser les projections à l'échelle de la France, les estimations mondiales prévoyant une augmentation de 7 % à 11 % de la superficie des zones arides d'ici 2100.

1. Introduction

1.1. La France dans l'agenda international de lutte contre la désertification

La France s'engage depuis longtemps à soutenir les efforts des pays menacés par la désertification. Elle a ratifié la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNUCLD en français, UNCCD en anglais), adoptée à Paris en 1994, pour aider les pays gravement touchés par la sécheresse et/ou la désertification, en particulier en Afrique. La France a rédigé sa stratégie à l'international dans Document d'Orientation 2020-2030 de la France à l'internationale pour lutter contre la dégradation des terres et la désertification.

La CNUCLD incite les pays déclarés affectés par la désertification à élaborer des Plans d'Actions Nationaux (PAN) pour lutter contre la désertification, à mettre en place des systèmes de surveillance, et à promouvoir des pratiques de gestion durable des terres.

Pour renforcer le dialogue entre les scientifiques et les décideurs politiques sur ces enjeux, une Interface Science-Politique (SPI) a été créée en 2013 lors de la onzième Conférence des Parties (COP11). Deux ans plus tard, à l'occasion de la conférence sur le climat à Paris, les pays ont adopté des Objectifs de Développement Durable (ODD) ambitieux pour 2030. Parmi ces objectifs, l'ODD 15.3.1 se concentre spécifiquement sur la lutte contre la désertification. Il stipule que les pays signataires doivent *"d'ici à 2030, lutter contre la désertification, restaurer les terres et sols dégradés, notamment les terres touchées par la désertification, la sécheresse et les inondations, et s'efforcer de parvenir à un monde neutre en dégradation des terres"* (Orr et al., 2017). Cette notion, connue sous le nom de "Land Degradation Neutrality" (LDN), a suscité un vif intérêt et a été affinée en 2018 par la communauté scientifique pour renforcer la coopération entre scientifiques, politiques et société civile, et identifier des solutions de gestion durable des terres à la fois écologiquement viables et socialement acceptables.



L'évaluation de la désertification a été approfondie en 2017 avec la publication de la première version de "Perspectives Territoriales Mondiales" ("Global Land Outlook") par l'UNCCD, révélant que 25 % des terres émergées sont affectées par la désertification. La deuxième version, publiée en 2022 à l'occasion de la COP15 à Abidjan, a permis formaliser une base solide pour l'action internationale.

Au cours des dernières années, les 124 pays engagés dans la lutte contre la désertification ont élaboré leur état de référence des terres affectées, défini des objectifs de réduction de la désertification et mis en place des programmes d'action incluant des cadres de mesure, de suivi et de rapportage. Pour soutenir ces initiatives, des moyens financiers ont été levés, notamment avec la création d'un Fonds LDN en 2015, qui finance des projets nationaux et transnationaux tels que le programme de la Grande Muraille Verte¹. La France est activement engagée dans ces différentes initiatives internationales de lutte contre la dégradation des terres. Elle a lancé l'initiative "4 pour 1000" et participe au Fonds LDN, témoignant de son engagement constant. Le 12 septembre 2023, des membres de la SPI et du Groupe de Travail sur la Désertification (GTD), animé par le Comité Scientifique Français sur la Désertification (CSFD), se sont réunis pour discuter des exemples concrets des travaux du SPI, renforcer l'intégration des questions liées aux terres dans l'agenda du développement durable grâce à une stratégie d'action multi-acteurs, et préparer la prochaine Conférence des Parties de l'UNCCD en 2024.

Sur le territoire métropolitain, bien que la France soit moins impactée en comparaison à d'autres pays de la zone intertropicale, plusieurs initiatives ont été lancées pour répondre à ce défi. Des programmes de recherche comme "Les futurs du climat" et des projets interrégionaux tels que "CLIMFOUREL" (climat-fourrages-élevage) fournissent des données cruciales pour comprendre et anticiper les impacts du changement climatique sur les régions vulnérables (Lelievre et al., 2011). De plus, des efforts sont faits pour promouvoir l'agroécologie², réduire l'urbanisation excessive³ et restaurer les écosystèmes dégradés dans de nombreuses régions de France à travers le label bas-carbone⁴.

1.2. Contexte et objectif

Une première étude réalisée en 2015 par le CSFD (Bernoux et al., 2015) a montré qu'une portion limitée du territoire français est caractérisée par un climat aride, semi-aride et sub-humide sec. Ces zones, dans les régions méditerranéennes et la Corse du Sud, présentent des caractéristiques climatiques et hydrologiques qui les rendent vulnérables. Ces régions connaissent un déficit hydrique significatif, où les précipitations annuelles sont inférieures à l'évapotranspiration potentielle, augmentant ainsi le risque de désertification. Les auteurs de cette étude indiquent également que l'urbanisation rapide, l'agriculture intensive et les pratiques non durables exacerbent la vulnérabilité de ces régions en altérant les caractéristiques naturelles des sols et en augmentant leur exposition à des phénomènes de dégradation tels que l'érosion. Ce rapport se fonde sur des résultats d'études scientifiques datant de 2008 (carte de vulnérabilité à la désertification) et 2010 (carte de l'aléa érosion des sols). Au cours des dernières années, de nombreuses études globales sur le climat et les sols ont

¹ <https://www.grandemurailleverte.org/>

² <https://agriculture.gouv.fr/transition-agroecologique>

³ <https://www.vie-publique.fr/eclairage/287326-zero-artificialisation-nette-zan-comment-protger-les-sols>

⁴ <https://label-bas-carbone.ecologie.gouv.fr/>



été réalisées, stimulées par l'accessibilité croissante aux données climatiques et environnementales issues des technologies d'observation de la Terre et par le développement des algorithmes de calcul.

L'objectif de ce rapport est de fournir un état des lieux des zones de France hexagonales soumises à des climats arides, semi-aride et sub-humides sec en s'appuyant sur les données récentes de la littérature et sur les données spatiales accessibles et pertinentes. Ce rapport commencera par définir les différents concepts (désertification, aridité, dégradation des terres) puis abordera leur traduction biophysique à travers des indicateurs spécifiques, en particulier les bases de données disponibles pour les représenter dans le temps et l'espace. Enfin, il proposera quelques recommandations pour améliorer la mesure de la désertification en France.

2. Mesure de la désertification, un croisement entre l'aridité et la dégradation des terres

La désertification est définie par la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (CNULCD/UNCCD), comme **"la dégradation des terres dans une zone aride, semi-aride ou subhumide sèche due à divers facteurs, parmi lesquels les variations climatiques et les activités humaines"**. Cette définition souligne l'importance d'identifier les zones où l'aridité et la dégradation des terres convergent pour quantifier la désertification sur un territoire. Pour mieux comprendre ce phénomène, il est essentiel de préciser ce que l'on entend par "aridité" et "dégradation des terres".

L'aridité est une caractéristique climatique essentielle qui influence de manière significative les écosystèmes, les ressources en eau et les activités humaines. Elle permet de caractériser les zones à risque de désertification en décrivant un climat où les précipitations sont nettement inférieures à l'évapotranspiration potentielle, créant ainsi un déficit hydrique. Il existe un gradient d'aridité qui varie selon l'intensité de ce déficit. Ce rapport abordera plus en détail les méthodes de calcul de l'aridité et la disponibilité des données correspondantes.

La dégradation des terres est définie par l'UNCCD comme *"la réduction ou la perte de la productivité biologique ou économique et de la complexité des terres cultivées non irriguées, des terres cultivées irriguées, des pâturages, des forêts et des zones boisées, résultant d'une combinaison de pressions"* (UNCCD, 1994). Elle englobe des processus tels que la perte à long terme de la végétation naturelle, l'érosion hydrique et éolienne, ainsi que la détérioration des propriétés physiques, chimiques ou biologiques des sols. Le guide de bonnes pratiques de l'UNCCD⁵ pour mesurer la dégradation précise le cadre de calcul de la dégradation des terres (indicateur ODD 15.3.1) à partir de trois sous-indicateurs : les tendances à la diminution de la fertilité des sols, la baisse du stock de carbone du sol et certains changements d'occupation du sol, comme déforestation. Ces trois sous-indicateurs seront également développés plus en détail dans ce rapport.

De plus, deux notions complémentaires ont été définies par l'UNCCD pour déterminer la dégradation des terres, i) le concept de « convergences of evidences », ou convergence des preuves, qui consiste à identifier les zones de convergence de la dégradation obtenues par différents

⁵https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2021-09/UNCCD_GPG_SDG-Indicator-15.3.1_version2_2021.pdf



modèles ou indicateurs et ii) la règle du « one out, all out », qui considère qu'une terre est dégradée dès qu'au moins un indicateur la signale comme telle.

Il existe 3 méthodes principales pour caractériser les deux composantes de la désertification et leurs indicateurs : la télédétection, la modélisation du climat et les réseaux de stations météorologiques.

Les technologies satellitaires d'observation de la Terre fournissent des données essentielles pour surveiller l'évolution du couvert végétal, des propriétés du sol, et d'autres indicateurs de dégradation des terres. La télédétection permet une surveillance à large échelle et en quasi temps réel, ce qui en fait aujourd'hui un outil indispensable pour mesurer et suivre la désertification. Les modèles climatiques permettent de spatialiser les données à partir de données ponctuelles, produire des séries temporelles historiques homogènes, simuler et de prévoir les impacts futurs du changement climatique sur la désertification. Pour calibrer des modèles climatiques robustes, des réseaux de stations météorologiques sont nécessaires. Ces données ponctuelles sont très hétérogènes d'un point de vue spatial et de disponibilité historique selon les pays.

3. Outils et indicateurs de mesure de la désertification

Pour comprendre et mesurer la désertification, des outils et des indicateurs dédiés sont nécessaires, impliquant deux dimensions essentielles : l'évaluation de l'aridité et la dégradation des terres.

3.1. Mesurer l'aridité

La mesure de l'aridité repose sur plusieurs méthodes et indicateurs développés pour évaluer l'étendue et l'intensité de ce phénomène. **L'indice d'aridité (IA) est l'indicateur le plus couramment utilisé pour mesurer l'aridité** (Figure 1). Il est défini comme le ratio entre les précipitations annuelles moyennes et l'évapotranspiration potentielle (ETP). Cet indice permet de classer les régions selon leur niveau d'aridité, avec des catégories allant de hyper-aride à humide (UNEP, 1992). L'ETP peut être estimée à l'aide de diverses formules, dont la plus couramment utilisée est la méthode de Penman-Monteith (Monteith, 1965). Cette méthode intègre plusieurs variables climatiques, notamment la température de l'air, l'humidité relative, la vitesse du vent et le rayonnement solaire net. Dans la seconde partie de ce rapport nous utiliserons cette dernière méthode qui est souvent préférée pour sa robustesse, sa simplicité et dont l'utilisation est recommandée par l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO - Allen et al., 1998). Les terres arides (arides, semi-arides ou subhumide sèche) sont les zones présentant un indice d'aridité compris entre 0.05 et 0.65 (IPCC, 2019) et correspondent à 41 % des terres émergées sur la période 1970-2000 (Figure 1).



Indice d'aridité (période 1970 - 2000)

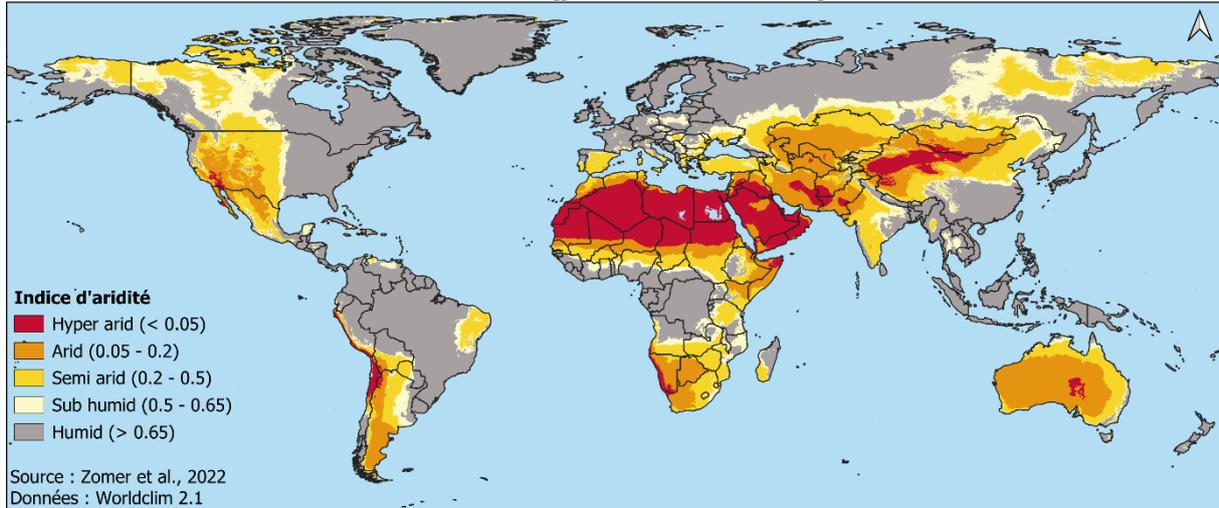


Figure 1. Carte mondiale de l'indice d'aridité (IA) de 1970 à 2000. (Zomer et al., 2022)

Outre l'indice d'aridité, plusieurs autres indicateurs existent pour évaluer l'aridité. L'indice de Lang, par exemple, est calculé comme le rapport entre les précipitations annuelles et la température moyenne annuelle (Lang, 1920). L'indice d'aridité de Martonne est défini comme le rapport entre les précipitations annuelles et la somme de la température moyenne annuelle plus dix (Martonne, 1926). L'indice pluviothermique d'Emberger prend en compte les précipitations et les températures saisonnières pour évaluer les conditions climatiques (Emberger, 1962). Ces indices combinent des variables climatiques pour fournir une mesure plus complète de l'aridité. Les méthodes de mesure de l'aridité incluent également des indices combinant le climat et les variables hydrologiques. L'indice de Holdridge est utilisé pour classifier les zones de vie en fonction des précipitations et de l'évapotranspiration (Holdridge, 1967). Ces indicateurs permettent d'inclure des aspects hydrologiques dans l'évaluation de l'aridité, offrant ainsi une perspective plus holistique.

3.2. Limites de l'évaluation de l'aridité

Ces indicateurs climatiques d'aridité sont utilisés pour leur simplicité et leur capacité à fournir une **évaluation globale et cohérente de l'aridité**. Cependant, ils présentent certaines limites. Certains indices peuvent simplifier à l'excès la complexité des interactions hydrologiques et biophysiques. La disponibilité et la qualité des données climatiques peuvent varier, influençant la précision des indices calculés. De plus, les caractéristiques uniques de chaque région, telles que les sols et la végétation, peuvent rendre difficile l'application universelle des mêmes indices. Une autre limitation importante concerne la période utilisée pour calculer ces indicateurs. **Pour limiter la variabilité interannuelle et obtenir des résultats plus fiables, il est nécessaire d'utiliser des périodes de calcul longues.** Cependant, cela limite notre capacité à observer et à réagir aux changements récents, car les indices calculés sur de longues périodes peuvent ne pas refléter les variations climatiques récentes. **Cette dualité entre la nécessité d'une période d'observation prolongée et la réactivité aux changements climatiques récents constitue une contrainte significative dans l'utilisation de ces indicateurs.**



3.3. Indicateurs de dégradation des terres

3.3.1. Bonnes pratiques de l'UNCCD pour l'estimation de la dégradation des terres

La dégradation des terres, affectant environ 25 % de la surface terrestre et entre 1.3 à 3.2 milliards de personnes, est reconnue comme l'un des plus grands défis environnementaux actuels (Právělie et al., 2021). Elle a des répercussions sévères sur les écosystèmes et interagit de manière complexe avec le changement climatique (Olsson et al., 2019). Elle représente un problème environnemental complexe affectant de manière significative la biodiversité, la productivité agricole, et la stabilité climatique. La mesure de la dégradation des terres nécessite une approche multidimensionnelle intégrant divers indicateurs. Ainsi pour la caractériser, et calculer l'indicateur 15.3.1 des Objectifs de Développement Durable (ODD), qui mesure la proportion de terres dégradées sur l'ensemble de la surface terrestre (UNCCD, 2017), l'UNCCD a défini trois sous-indicateurs :

- **Les changements d'occupation des terres** : Cet indicateur analyse les variations dans l'utilisation des terres, permettant de détecter les zones qui subissent des transformations importantes, souvent liées à des activités anthropiques. Ces transitions peuvent indiquer des processus de dégradation ou d'amélioration. Par exemple, la conversion de forêts en terres agricoles peut être considérée comme une dégradation, tandis que la reforestation pourrait être vue comme une amélioration.
- **Les tendances de la productivité des terres** : Cet indicateur mesure la capacité de la terre à produire de la biomasse, c'est-à-dire la productivité végétale. Une diminution de la productivité des terres peut indiquer une dégradation, car elle reflète une perte de fertilité du sol, de biodiversité, et une capacité réduite à soutenir la vie végétale.
- **Les changements de stock de carbone organique du sol** : Cet indicateur évalue la quantité de carbone organique présente dans le sol, qui est un élément clé de la fertilité du sol et de sa santé globale. Une diminution des stocks de carbone organique est souvent un signe de dégradation des terres, car elle indique une perte de matière organique essentielle pour le maintien de la structure et de la fertilité du sol.

Dans la seconde partie de ce rapport, nous nous appuyerons sur ces 3 sous-indicateurs définis par l'UNCCD pour analyser les tendances de la dégradation des terres en France.

3.3.2. Autres méthodes alternatives européennes

Malgré l'existence du « guide de bonnes pratiques⁶ » reconnu internationalement (Sims et al, 2021), il n'existe pas un consensus scientifique sur le choix des sous-indicateurs pour estimer la dégradation des terres. Les avancées récentes en matière de modélisation et de collecte de données offrent de nouvelles opportunités pour mieux évaluer la dégradation des terres à l'échelle globale. Le Centre européen de données sur les sols (ESDAC) du Centre Commun de Recherche (JRC) fournit notamment depuis 2021, un ensemble de sous-indicateurs de dégradation des sols à l'échelle de l'Europe, qui s'ajoutent à ceux présentés précédemment pour soutenir les politiques de l'Union européenne, la recherche, et les initiatives privées (Panagos et al., 2022) (Figure 2). Les sous-indicateurs de la dégradation fournis par le JRC sont les suivants:

⁶https://www.unccd.int/sites/default/files/documents/2021-09/UNCCD_GPG_SDG-Indicator-15.3.1_version2_2021.pdf



- **Érosion hydrique et éolienne** : Ces processus sont modélisés à partir de données sur la topographie, l'utilisation des sols, et les précipitations, avec des simulations pour estimer la perte de sol.
- **Salinisation des sols** : Basées sur des analyses de sol et des cartes de susceptibilité des sols à ces processus.
- **Acidification des sols** : Évaluée par des modèles de susceptibilité basés sur l'usage des sols et les caractéristiques physiques des sols.
- **Biodiversité des sols** : Évaluation des menaces potentielles pour les organismes du sol, incluant des paramètres comme la biomasse microbienne et la respiration du sol.
- **Glissements de terrain** : Cartographie de la susceptibilité aux glissements de terrain et inventaire des glissements de terrain à l'échelle nationale.
- **Déséquilibres nutritifs** : Calculés à partir de bilans de nutriments et de données sur la fertilisation et la production agricole.
- **Pollution des sols par les pesticides et les métaux lourds** : Modélisée à partir de données sur les concentrations de pesticides et de métaux lourds.

Ces différents sous-indicateurs spatialisés peuvent être agrégés pour estimer le degré de vulnérabilité des sols à la dégradation (Figure 2), en utilisant le concept de convergence des preuves de l'UNCCD.

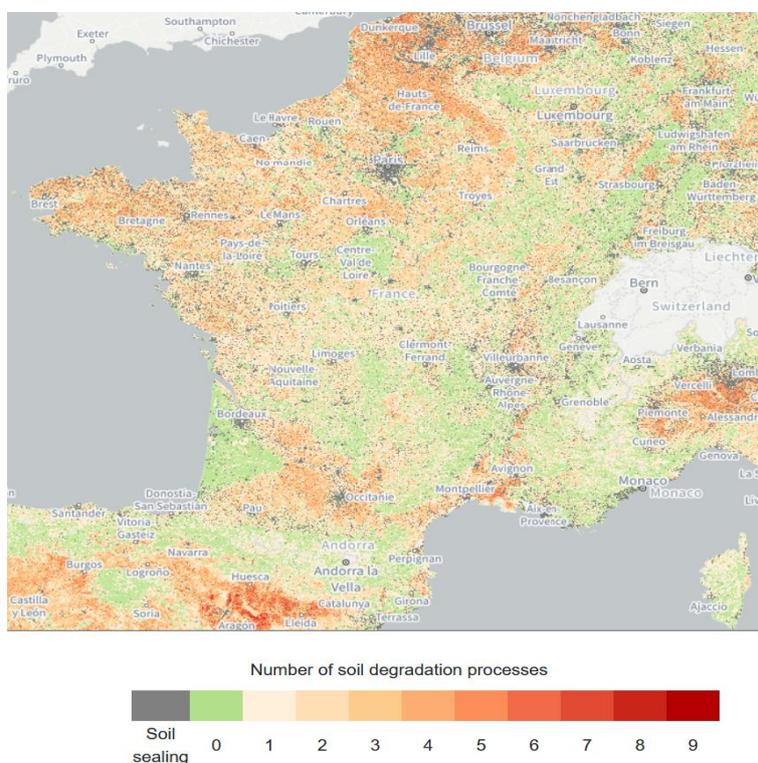


Figure 2. Nombre de processus convergents de dégradation des terres⁷ (ESDAC/JRC)

⁷ Cartographies des différents processus de dégradation des sols :



3.3.3. Limites de l'évaluation de la dégradation des terres

Que ce soit le mode de calcul UNCCD ou Européen, la dégradation des sol résulte de différents processus de dégradation en interaction (par exemple : la baisse du stock de carbone du sol est lié à un changement d'occupation du sol entraînant une diminution de la productivité des terres). La convergence des preuves permet d'évaluer les changements dans l'état des écosystèmes en utilisant un ensemble d'indicateurs (Cherlet et al., 2018; Gianoli et al., 2023). Cette approche intègre les indicateurs pour évaluer les tendances à court et long termes de dégradation, d'amélioration ou de stabilité des écosystèmes. Une illustration récente de cette approche est l'étude de Právělie et al. (2024), qui examine non seulement chaque processus individuellement, mais également leur co-occurrence et leurs interactions dans les paysages agricoles et arables de l'Europe. Les auteurs utilisent un indice de multi-dégradation des terres (LMI) pour montrer comment les terres agricoles continentales sont actuellement affectées de manière cumulative par plusieurs processus. Cette analyse met en évidence les motifs spatiaux complexes des processus interactifs de dégradation des terres.

Cependant les sous-indicateurs de dégradations présentent plusieurs limites qui peuvent affecter leur précision et leur utilité. Tout d'abord, la précision des indicateurs dépend fortement de la qualité et de la disponibilité des données. De plus, les indicateurs peuvent ne pas refléter adéquatement l'hétérogénéité spatiale et temporelle des processus de dégradation. Certains indicateurs peuvent simplifier à l'excès la complexité des interactions écosystémiques. Les problèmes d'échelle sont également une limitation majeure. Les indicateurs globaux peuvent ne pas être adaptés aux évaluations locales et vice versa. Il existe également une diversité d'approches et de méthodologies pour calculer ces indicateurs de dégradation des terres, et l'absence de standardisation complique la comparaison des résultats entre différentes études et régions. Enfin, l'interprétation des indicateurs de dégradation peut être subjective et dépendre du contexte spécifique. Des indicateurs identiques peuvent être interprétés différemment selon les objectifs de gestion et les priorités locales.

4. État des lieux de la désertification en France

Bien que la France soit actuellement moins affectée par la désertification que d'autres pays méditerranéens, le phénomène représente une menace croissante, surtout à la lumière des changements climatiques à venir. En 2015, le Comité Scientifique Français de la Désertification (CSFD) a identifié les hotspots de vulnérabilité à la désertification en France dans la partie sud de la zone méditerranéenne et les zones côtières de Corse du Sud. Le climat de ces régions se caractérise par des étés longs, chauds et secs, des hivers doux et humides, et des précipitations qui, bien qu'irrégulières, peuvent être intenses. **Ces conditions climatiques tendent à accélérer l'érosion du sol et à dégrader la couverture végétale, plaçant ainsi 15 % du territoire métropolitain français en risque de désertification** (Bernoux et al., 2015). Toutefois, les formes de dégradation des terres observées dans ces régions ne sont pas radicalement différentes de celles présentes sur le reste du

<https://esdac.jrc.ec.europa.eu/esdacviewer/euso-dashboard/>



territoire français. Depuis 2015, des études supplémentaires et des observations climatiques ont montré une augmentation des températures et des changements dans les régimes de précipitations, exacerbant les conditions propices à la désertification (IPCC, 2023). Comme mentionné précédemment, **il est essentiel d'évaluer à la fois l'aridité et la dégradation des terres pour décrire l'état de la désertification en France.**

4.1. Evaluation de l'Indice d'aridité en France

Dans cette étude, nous utilisons les **données mensuelles Météo-France de précipitation et d'évapotranspiration potentielle, calculée selon la méthode de Penman-Monteith.** Ces données sont issues du modèle de simulation des schémas de surface (Safran - Isba) simulant les flux d'eau et d'énergie à la surface terrestre⁸. Les données sont disponibles depuis 1958 avec une résolution de 8 km.

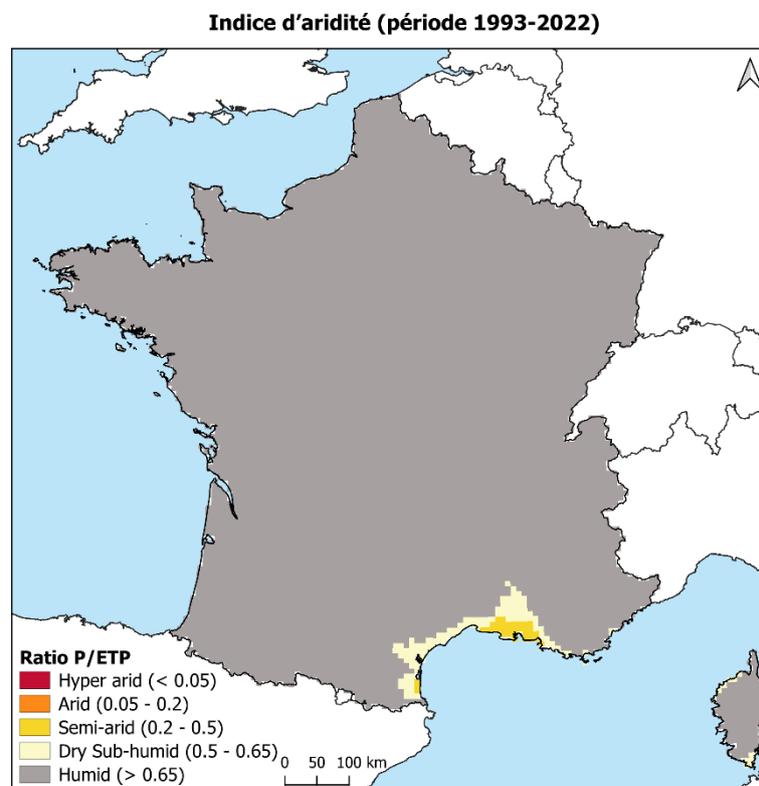


Figure 3. Indice d'aridité (AI) en France métropolitaine calculé sur la période 1992-2022 (source : cette étude)

L'indice d'aridité (AI) est classifié en cinq catégories distinctes : les zones humides ($AI > 0,65$), les zones subhumides sèches ($0,50 < AI \leq 0,65$), les zones semi-arides ($0,20 < AI \leq 0,50$), les zones arides ($0,05 < AI \leq 0,20$) et les zones hyper-arides ($AI < 0,05$). Plus généralement, on considère que la désertification se produit dans les zones avec un AI de 0,65 (UNCCD 1994), ce qui signifie que l'évapotranspiration potentielle est au moins 50% supérieure à la précipitation moyenne réelle. La carte ci-dessus montre l'étendue de ces zones en France métropolitaine moyennée sur une période

⁸ <https://meteo.data.gouv.fr/datasets/65e040c50a5c6872ebeb711>



de 30 ans, de 1973 à 2022 (Figure 3). Il est important de noter l'absence de zones hyper-arides et arides. Sur cette période, **0.39 % des terres se trouvent en zone climatique semi-aride et 1.40 % en zone sub-humide sèche**. Ainsi, pour la période 1973-2022, les zones susceptibles à la désertification en France sont estimées à **1.79 % du territoire (soit 973 700 ha)** circonscrites au bassin méditerranéen. Il reste à évaluer l'évolution de cet indice d'aridité durant la période considérée et à estimer la dégradation des terres sur ces zones.

- **Analyse de l'évolution de l'indice d'aridité sur la période 1993-2022**

Pour évaluer l'évolution de l'indice d'aridité sur la période considérée : 1993-2022, nous avons appliqué une analyse de Mann-Kendall. C'est un test non paramétrique utilisé pour identifier les tendances monotones (croissantes ou décroissantes) dans une série chronologique de données (McLeod, 2005). La carte suivante (Figure 4) permet d'évaluer la tendance à l'augmentation ou à la diminution de l'indice d'aridité. La significativité statistique de la tendance observée, permet de filtrer les valeurs significatives uniquement (avec p -value < 0.05 : la tendance est statistiquement significative au niveau de confiance de 95%). Les résultats (Figure 4) montrent une tendance statistiquement significative à la diminution de l'indice d'aridité sur 32.59 % du territoire (soit 17 727 000 ha), principalement dans la moitié sud.

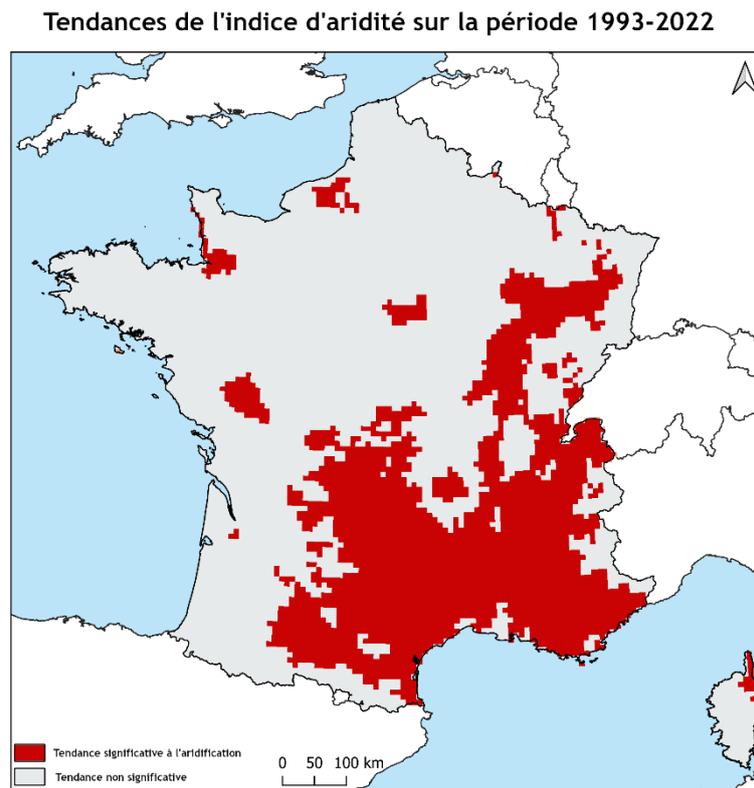


Figure 4. Carte des tendances de l'indice d'aridité selon le test de Mann-Kendall appliqué sur la période 1993-2022 (source : cette étude)



- **Projection de l'indice d'aridité en France**

Le projet Explore2, porté par INRAE et l'Office International de l'Eau (OiEau), vise à actualiser les connaissances sur l'impact du changement climatique sur l'hydrologie en France, en utilisant les publications récentes du GIEC et des modèles climatiques et hydrologiques avancés (Sauquet et al., 2024). Les projections d'Explore2 soulignent l'importance de prendre en compte les scénarios d'émissions contrastés pour anticiper les impacts du changement climatique sur l'aridité en France.

Ces projections climatiques indiquent une augmentation des températures et une variabilité accrue des précipitations. Les précipitations annuelles moyennes présentent une grande incertitude, avec des variations importantes entre les modèles. Cependant, une tendance générale à la diminution des précipitations estivales est observée, ce qui, combiné à l'augmentation des températures, contribue à une hausse de l'aridité estivale, notamment dans le sud de la France. A l'échelle mondiale, la superficie des zones arides pourrait augmenter de 7 à 11 % d'ici 2100 selon les projections climatiques (Koutroulis, 2019). Cependant, il n'a pas été possible de quantifier précisément la superficie en France hexagonale qui sera affectée dans le futur, car les méthodologies utilisées diffèrent de celles de cette étude.

4.2. Evaluation de la Dégradation des terres en France

- **Indicateur 15.3.1 des ODD (UNCCD)**

Pour évaluer la **dégradation des terres**, nous avons utilisé le **module SDG Indicator 15.3.1 de la plateforme de calcul en ligne SEPAL, développé par la FAO**⁹. Mis en œuvre par la Division des forêts de l'Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), le Système pour l'accès, le traitement et l'analyse des données pour la surveillance des terres (SEPAL) est un projet open source qui permet aux agences gouvernementales, aux organismes de recherche, aux organisations non gouvernementales, aux entreprises et aux universités de mieux comprendre la dynamique de la couverture terrestre en utilisant les données, la capacité de traitement et les outils d'analyse offerts par la plateforme. Le module a pour objectif principal de fournir aux décideurs, aux chercheurs et aux gestionnaires des ressources naturelles les moyens de surveiller la dégradation des terres, d'évaluer les efforts de restauration. Il fournit les informations pour la production des rapports nationaux pour la Convention des Nations Unies sur la lutte contre la désertification (UNCCD). **La méthodologie utilisée a été mise en œuvre en consultation avec l'équipe de Trends.Earth¹⁰ et Conservation International et s'appuie sur le guide des bonnes pratiques pour calculer l'indicateur 15.3.1 des ODD, produit par l'UNCCD (Sims et al., 2021)**, en combinant les trois sous-indicateurs présentés précédemment : la productivité de la végétation, l'occupation du sol et le carbone organique du sol. La productivité de la végétation est mesurée par l'Indice de Végétation par Différence Normalisée (NDVI), dérivé des données satellitaires MODIS. Les changements d'occupation des terres sont évalués à partir de la transition des classes d'occupation des terres entre des cartes à deux dates issues des données de l'initiative Climate Change (CCI) de l'Agence Spatiale Européenne (ESA). Le carbone organique du sol est estimé à partir des transitions de

⁹ https://docs.sepal.io/en/latest/modules/dwn/sdg_indicator.html

¹⁰ <http://docs.trends.earth/fr/latest/index.html>



l'occupation du sol et des valeurs de référence issues des données SoilGrids à 250 m pour les 30 premiers cm du profil de sol.

Ces trois sous-indicateurs sont intégrés en utilisant une approche dite "one-out all-out", où toute zone considérée comme dégradée par un des sous-indicateurs est globalement classée comme dégradée. Nous avons calculé la dégradation des terres en France en suivant les recommandations de l'UNCCD (Sims et al., 2021), **qui préconise l'utilisation d'une période de 15 ans pour caractériser les changements et mesurer la dégradation des terres**. Afin d'utiliser les dernières données disponibles, notre analyse s'est concentrée sur la période 2008-2022. Les résultats montrent que **3.19 % (soit 1 735 200 ha) du territoire français est considéré comme dégradé** sur cette période (figure 5).

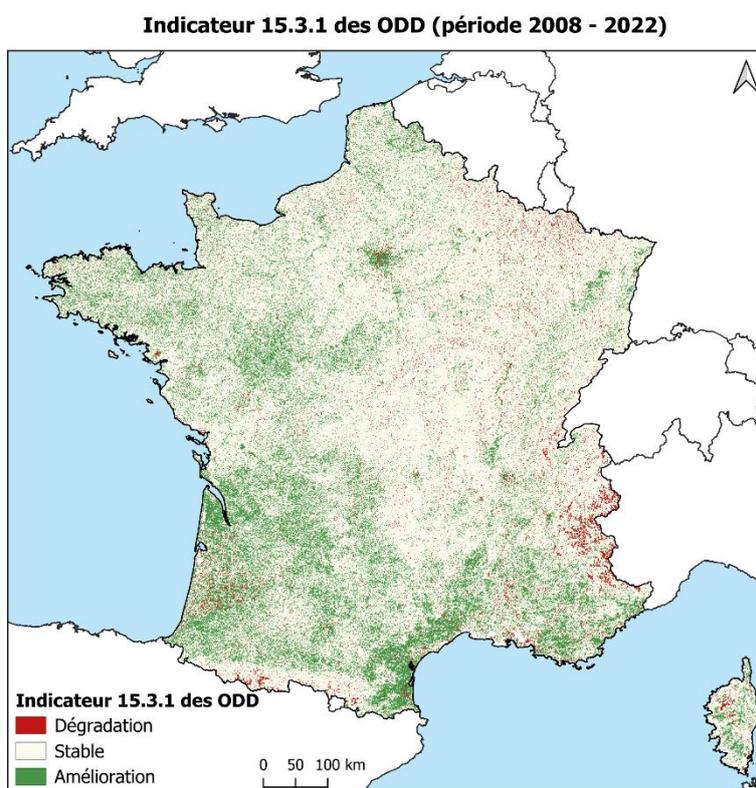


Figure 5. Indicateur ODD 15.3.1 calculé pour la période 2008-2022 (source : cette étude)

- **Indicateur composite de la dégradation des terres**

Cette valeur de dégradation est probablement sous-estimée, car les trois indicateurs utilisés ne reflètent qu'une partie des processus de dégradations existants. Pour s'approcher d'une estimation plus exhaustive de la dégradation des terres en France, nous avons additionné les indicateurs de dégradation des sols fournis par l'ESDAC/JRC (Panagos et al., 2022) cités précédemment aux indicateurs UNCCD, en utilisant l'approche dite "one-out all-out", utilisée pour le calcul de l'indicateur 15.3.1 des ODD. En considérant, l'ensemble de ces indicateurs, **la dégradation des terres est évaluée à 77.08 % (soit 41 929 200 ha) sur la période 2008-2022**.



Indicateur 15.3.1 des ODD (UNCCD) + Indicateurs dégradation des sols (ESDAC)

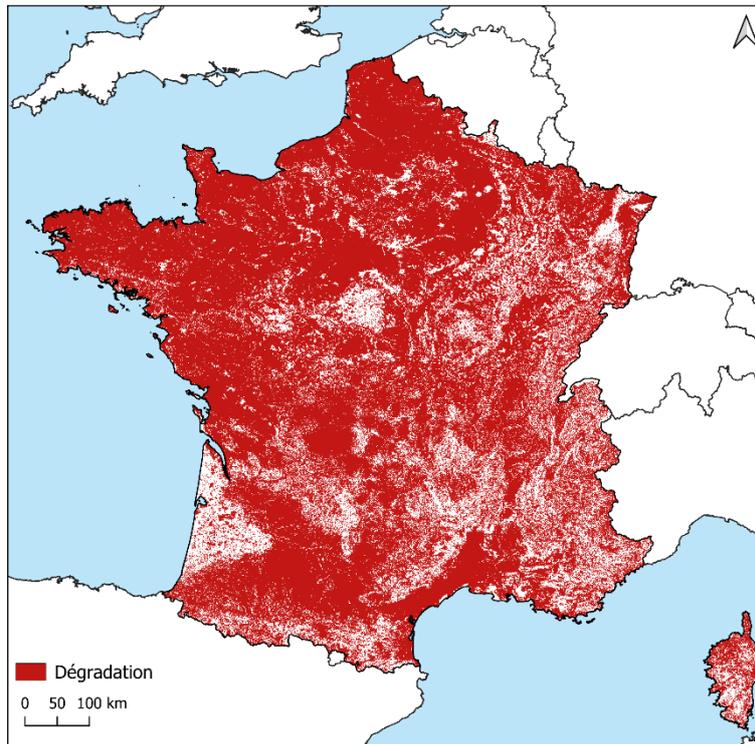


Figure 6. Dégradation des terres sur la période 2008-2022 calculées avec les indicateurs UNCCD et les indicateurs de dégradation des sols ESDAC/JRC. Cette carte représente la combinaison des 3 sous-indicateurs UNCCD avec les sous-indicateurs de dégradation des sols fournis par l'ESDAC/JRC, en utilisant l'approche dite "one-out all-out" (source : cette étude)

4.3. Evaluation de la Désertification en France

Pour mesurer la désertification, nous avons croisé les cartes précédentes de l'indice d'aridité et de la dégradation des terres à partir des 3 sous-indicateurs de l'UNCCD. Ce croisement permet de superposer les zones climatiques susceptibles à la désertification ($IA < 0.65$) avec les zones dont les terres sont dégradées. Avec cette approche, **les zones affectées par la désertification en France métropolitaine sont estimées à 0.14 % du territoire (soit 76 200 ha).**

En utilisant l'estimation de la dégradation des terres, calculée à partir des indicateurs de l'UNCCD et de l'ESDAC, et malgré l'étendue significative de la dégradation d'après nos résultats (figure 6), **les zones affectées par la désertification en France métropolitaine sont estimées à 1.38 % du territoire (soit 751 700 ha).**

Ces résultats montrent i) l'importance du facteur aridité dans le calcul de la désertification) et ii) la grande variabilité des mesure de la dégradation des terres selon les méthodes.



5. Recommandations pour améliorer la mesure de la désertification

Comme mentionné précédemment, il s'agit des résultats d'une étude exploratoire utilisant des données de la littérature et appliquant les méthodes recommandées par l'UNCCD avec les données disponibles (Météo France, JRC). Pour améliorer l'évaluation et le suivi de la désertification en France, il est crucial d'adopter une approche holistique combinant plusieurs techniques et méthodologies avancées. Voici quelques recommandations spécifiques :

- **Développer des indicateurs de dégradation de référence par télédétection** : Certaines données globales ont été utilisées en l'absence de données nationales récentes sur les changements d'occupation des sols, les variations de stocks de carbone et les tendances de productivité des sols. Ces indicateurs peuvent être développés par des experts français et validés par la communauté scientifique. Les données, méthodes et plateformes de calcul, comme celles démontrées dans cette étude, offrent une base solide pour cette initiative.
- **Validation des sous-indicateurs de la dégradation des terres** : Comme indiqué précédemment, il n'existe pas de consensus sur le choix des sous-indicateurs. Il serait donc pertinent de collaborer avec les instances nationales pour sélectionner les indicateurs et les données à utiliser. Travailler à la standardisation des indicateurs de dégradation et valider leur utilisation à travers différentes régions et contextes en France est essentiel pour garantir leur fiabilité et leur comparabilité.
- **Développement d'une plateforme de données ouvertes sur la désertification** : Une telle plateforme permettrait de partager les informations recueillies sur la dégradation des terres et faciliter la collaboration entre chercheurs, décideurs et acteurs locaux. Des solutions françaises existent, comme Data Terra¹¹.
- **Evaluation continue de la désertification**: Mettre en place un système de suivi continu pour observer les changements sur des périodes longues, tout en étant capable de détecter et de réagir aux variations récentes. Cela permet de limiter la variabilité interannuelle tout en étant sensible aux modifications récentes des conditions climatiques et des pratiques humaines.

6. Conclusion

En conclusion, **notre analyse indique qu'entre 76 200 ha (méthode UNCCD) et 751 700 ha (méthode UNCCD et données ESDAC/JRC) des terres en France métropolitaine sont actuellement affectées par la désertification**. Bien que ce chiffre soit inférieur à celui de l'étude du CSDF de 2015, notre étude confirme que les régions du pourtour méditerranéen sont les plus affectées.

Cette étude se concentre sur la désertification en France métropolitaine, cependant il est important de noter que les DROM-COM sont inégalement concernés par l'aridité. L'analyse de l'aridité sur la période 1970-2000, d'après l'étude de Zomer et al. (2022), révèle que la Guyane, la Martinique et la Nouvelle-Calédonie ne sont pas affectées, tandis que La Réunion, la Guadeloupe et Mayotte

¹¹ <https://www.data-terra.org/>



présentent quelques zones proches des côtes en climat sub-humide. Saint-Martin et Saint-Barthélemy sont davantage affectés avec des climats sub-humide et semi-aride.

Les projections sur le changement climatique en Europe de l'IPCC indiquent que le risque de désertification augmente (IPCC, 2019). Il est donc important de mettre en place un système de suivi de la désertification en France. Pour améliorer la précision et l'efficacité de cette surveillance, il est nécessaire de s'appuyer sur les données de Météo-France pour le calcul de l'indice d'aridité et de standardiser les indicateurs de dégradation des terres avec des indicateurs pertinents à l'échelle nationale. Ces mesures permettront de mieux identifier les zones à risque et de mettre en place des stratégies de gestion durable des terres pour prévenir et atténuer les effets de la désertification.

Citation et disponibilité des données

Bouvier Marc, Montfort Frédérique, Grinand Clovis, Nourtier Marie, Chotte Jean-Luc. (2025). Évaluation de l'état des terres affectées par la désertification en France métropolitaine [Data set]. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14957142>

Remerciements

Nous remercions Agnès Bégué, Yves Trambly et Isabelle Biagiotti pour leurs échanges constructifs et leurs conseils sur les données à utiliser dans ce rapport. Leur expertise et leur disponibilité ont été très utiles pour la réalisation de cette étude.

Références

- Abatzoglou, John T., Solomon Z. Dobrowski, Sean A. Parks, et Katherine C. Hegewisch. 2018. « TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015 ». *Scientific data* 5(1):1-12.
- Allen, Richard G., Luis S. Pereira, Dirk Raes, et Martin Smith. 1998. « Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements—FAO Irrigation and drainage paper 56 ». Fao, Rome 300(9):D05109.
- Bernoux, M., M. Bied-Charreton, A. Cornet, R. Escadafal, et M. Requier-Desjardins. 2015. « La désertification en France ».
- Cherlet, M., Hutchinson, C., Reynolds, J., Hill, J., Sommer, S., & von Maltitz, G. (Eds.), 2018. *World atlas of desertification: Rethinking land degradation and sustainable land management* (3rd ed). Luxembourg: Publication Office of the European Union.
- Cowie A. Barron J.O, Castillo Sanchez V.M. Crossman, N.D., Erlewein A. Louwagie G. Maron M. Metternicht G.I. Minelli S. Tengberg A.E. Walter S, Welton S. 2018. *Land in balance: The scientific conceptual framework for Land Degradation Neutrality*, Environmental Science & Policy, Volume 79, Pages 25-35, ISSN 1462-9011, <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.10.011>.
- Emberger, L. 1962. « The Problems of the Arid Zone ». P. 197 in *Proceedings of the Paris Symposium*. Paris.
- Gianoli, Federico, Mélanie Weynants, et Michael Cherlet. 2023. « Land degradation in the European Union—Where does the evidence converge? » *Land Degradation & Development* 34(8):2256-75.
- Holdridge, Leslie Rensselaer. 1967. « Life zone ecology. » *Life zone ecology*. (rev. ed.).



- IPCC. 2019. « Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems ».
- IPCC. 2022. Climate Change 2022 – Impacts, Adaptation and Vulnerability: Working Group II Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.
- Koutroulis, A. G. 2019. Dryland changes under different levels of global warming. *Science of the Total Environment*, 655, 482-511.
- Lang, Richard. 1920. *Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde*. E. Schweizerbart'sche verlagsbuchhandlung (E. Nagele).
- Lelievre, François, Stéphan Sala, Françoise Ruget, et Florence Volaire. 2011. « Evolution du climat du Sud de la France 1950-2009 ». *Projet Climfourrel PSDR3, Régions LR, MP, RA, Série Les Focus PSDR3*.
- Martonne, Emmanuel de. 1926. « L'indice d'aridité ». *Bulletin de l'Association de géographes français* 3(9):3-5.
- McLeod, A. Ian. 2005. « Kendall rank correlation and Mann-Kendall trend test ». *R package Kendall* 602:1-10.
- Monteith, John L. 1965. « Evaporation and environment ». P. 205-34 in *Symposia of the society for experimental biology*. Vol. 19. Cambridge University Press (CUP) Cambridge.
- Olsson, Lennart, Humberto Barbosa, Suruchi Bhadwal, Annete Cowie, Kenel Delusca, Dulce Flores-Renteria, Kathleen Hermans, Esteban Jobbagy, Werner Kurz, et Diqiang Li. 2019. « Land degradation: IPCC special report on climate change, desertification, land 5 degradation, sustainable land management, food security, and 6 greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems ». P. 1 in IPCC special report on climate change, desertification, land 5 degradation, sustainable land management, food security, and 6 greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Orr, B. J., A. L. Cowie, V. M. Castillo Sanchez, P. Chasek, N. D. Crossman, A. Erlewein, G. Louwagie, M. Maron, Graciela I. Metternicht, et S. Minelli. 2017. « Scientific conceptual framework for land degradation neutrality: a report of the science-policy interface ».
- Panagos, Panos, Marc Van Liedekerke, Pasquale Borrelli, Julia Köninger, Cristiano Ballabio, Alberto Orgiazzi, Emanuele Lugato, Leonidas Liakos, Javier Hervas, et Arwyn Jones. 2022. « European Soil Data Centre 2.0: Soil data and knowledge in support of the EU policies ». *European Journal of Soil Science* 73(6):e13315.
- Pörtner, Hans-Otto, et Debra C. Roberts. 2022. « Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability ».
- Prăvălie, Remus, Pasquale Borrelli, Panos Panagos, Cristiano Ballabio, Emanuele Lugato, Adrian Chappell, Gonzalo Miguez-Macho, Federico Maggi, Jian Peng, et Mihai Niculiță. 2024. « A unifying modelling of multiple land degradation pathways in Europe ». *Nature Communications* 15(1):3862.
- Prăvălie, Remus, Cristian Patriche, Pasquale Borrelli, Panos Panagos, Bogdan Roșca, Monica Dumitrașcu, Ion-Andrei Nita, Ionuț Săvulescu, Marius-Victor Birsan, et Georgeta Bandoc. 2021. « Arable lands under the pressure of multiple land degradation processes. A global perspective ». *Environmental Research* 194:110697.
- Sauquet, Éric; Strohmenger, Laurent; Thirel, Guillaume; Le Lay, Matthieu, 2024, "Synthèse sur les évolutions des régimes hydrologiques en France hexagonale", <https://doi.org/10.57745/TLUTKF>, Recherche Data Gouv, V2
- Sims, N.C., Newnham, G.J., England, J.R., Guerschman, J., Cox, S.J.D., Roxburgh, S.H., Viscarra Rossel, R.A., Fritz, S. and Wheeler, I. 2021. Good Practice Guidance. SDG Indicator 15.3.1, Proportion of Land That Is Degraded Over Total Land Area. Version 2.0. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, German
- UNCCD, 2017. *The Global Land Outlook*, first edition. United Nations Convention to Combat Desertification, Bonn, Germany.



- UNEP, 1992. World Atlas of Desertification [Middleton, N. and D.S.G. Thomas]. UNEP Edward Arnold, London, UK, 69 pp.
- Zomer, R. J., Xu, J., & Trabucco, A. (2022). Version 3 of the global aridity index and potential evapotranspiration database. *Scientific Data*, 9(1), 409.