LIFE18NAT/FR/000906

EVALUATION DE LA SUBSIDENCE DES VALLEES TOURBEUSES DES HAUTS-DE-FRANCE ET DE WALLONIE

SUBSIDENCE MONITORING OF THE PEAT VALLEYS OF NORTHERN FRANCE AND WALLONIA

Adrien Berquer

Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France, 80460 BOVES

Protocole d'étude scientifique

Juillet 2023

1. RESUME / ABSTRACT

For several centuries, Humans deeply transformed ecosystems for the urbanization and the exploitation for energy and food consumption. Main human population (around 75%) is indeed located along coasts or rivers, including wetlands. The soils in these areas are often soft e.g. composed of mud, clay or peat. Due to numerous anthropic pressures like drainage, urbanization and exploitation of peat, gas or water, large areas undergo a subsidence effect, i.e. the lost of altitude due to the lost of organic solid matter, and the compaction. While the drainage and the degradation of organic matter contribute to the release of large amount of greenhouse gas in the atmosphere, the subsidence increase the vulnerability of people living and the activities taking place in these modified wetlands. As far as we know, the subsidence effect in the valleys of Hauts-de-France and Wallonia regions, hosting urban areas and activities like agriculture, is not yet monitored, although its consequences might be dramatic in case of flooding. We develop in this article a protocol allowing the monitoring of the subsidence in three valleys of the Somme district (France). In these valleys, some alkaline fens are monitored due to natural conservation considerations, including the monitoring of waterlevels, water dynamics between aquifer and phreatic waters, peat characteristics and flora/fauna survey. This study therefore aims at document and explain the subsidence in these valleys by factors including the water dynamics. The conclusion of this study might be used by stakeholders to give insights for a better water resource management meeting both human activities and ecosystem functioning.

Depuis plusieurs siècles, les Hommes ont profondément transformé les écosystèmes en vue de leur exploitation pour l'énergie, l'alimentation ou le logement. La population humaine sur la planète se répartit principalement le long des côtes ou des rivières et fleuves, incluant certaines zones humides. Les sols dans ces dernières zones sont particulièrement meubles, puisque composés de matériaux mous comme l'argile, la boue ou la tourbe. En raison de nombreuses pressions anthropiques comme le drainage, l'urbanisation ou l'extraction de tourbe, de gaz ou d'eau, de grandes étendues subissent un effet de subsidence. Cet effet provoque la perte d'altitude en raison de la perte de matière solide et la compaction. Alors que le drainage et la dégradation de la matière organique solide contribue au relargage de grandes quantités de gaz à effet

de serre dans l'atmosphère, la subsidence augmente par ailleurs la vulnérabilité des habitants et des activités se trouvant dans ces écosystèmes. Actuellement, l'effet de subsidence dans les vallées des Hauts-de-France et de Wallonie, particulièrement peuplées et actives économiquement, n'est pas encore suivi, bien que ses conséquences pourraient être particulièrement dramatiques, en cas de crue. Nous proposons dans cet article un protocole permettant de suivre la subsidence sur le long terme dans trois vallées du département de la Somme (France). Dans ces vallées, plusieurs tourbières alcalines sont gérées dans un but de protection de la biodiversité, et dans lesquelles des suivis ont lieu : les niveaux d'eau, les dynamiques hydrologiques entre aquifère et eaux alluviales, la composition tourbeuse, la faune et la flore patrimoniales. Cette étude a donc pour objectif de documenter et d'expliquer la subsidence dans ces vallées par des facteurs incluant les dynamiques d'eau. La conclusion de cette étude pourra être utilisée par les décideurs politiques pour impulser des perspectives de meilleure gestions de la ressource en eau conciliant activités humaines et fonctionnement des écosystèmes.

2. INTRODUCTION

De nombreux fonds de bassins versants, comme les vallées ou les littoraux sont constitués de zones humides ayant pu par le passé être colonisées par la végétation. Au fil des millénaires, l'accumulation des végétaux morts et sa dégradation nulle ou partielle a permis de constituer respectivement des tourbières et des marécages, stockant d'importantes quantités de matière organiques. Non décomposée, cette matière constitue la tourbe, qui totalise environ 550 Gt (42%) du stock de carbone terrestre sur 3% des terres émergées de la planète (IUCN, 2021). Depuis plusieurs siècles, la tourbe a été exploitée afin de servir de combustible et de source d'énergie mais aussi pour d'autres besoins comme l'horticulture. Par ailleurs, les tourbières ont pu être exploitées par l'agriculture, d'abord d'élevage extensif, en laissant paître les animaux, puis par des champs cultivés. En parallèle l'accroissement de la population le long des littoraux et des grandes vallées a provoqué une urbanisation importante des zones marécageuses et tourbeuses. Toutes ces activités anthropiques ont été permises et facilitées par un drainage afin d'évacuer l'eau de ces milieux, pour les exploiter, cultiver ou y construire.

Le drainage consiste à creuser des pièces d'eau dans lesquelles l'eau contenue dans les tourbes peut s'évacuer. Ces drains relient ensuite des canaux plus importants puis des rivières ou fleuves s'évacuant vers l'aval. Les tourbes n'étant plus immergées, elles sont au contact de l'atmosphère, riche en oxygène et pouvant faciliter le développement de bactéries, de champignons et de faune du sol, qui utilisent cette matière comme ressource nutritive. Les processus de dégradation d'une tourbe émergée peuvent se mettre très rapidement en place, notamment lors d'épisodes de sécheresse estivale. Ainsi les horizons superficiels des tourbes, sont beaucoup plus enclins à subir ces processus de minéralisation, altérant la composition physico-chimique de la surface, avec des conséquences sur la faune et la flore de ces milieux riches en biodiversité. Si ce processus est vrai pour les tourbes, qui sont définies par une composition en matière organique importante (>50%), des horizons plus minéraux mais contenant également de la matière organique telles que la gyttja, mais aussi certaines vases et argiles peuvent être concernées.

La décomposition de la matière organique du sol provoque la transformation des éléments solides carbonés et azotés en éléments gazeux, dont plusieurs gaz à effet de serre tels que le méthane (CH4), le dioxyde de Carbone (CO2) ou encore le protoxyde d'azote (N2O). Ces gaz contribuent directement à l'effet de serre et donc au réchauffement climatique qui menace actuellement la survie de l'Humanité (Hatala et al., 2012). De nombreuses décisions politiques récentes ont pour but de réduire ces émissions, même si ces décisions n'ont pas encore permis de freiner l'augmentation de ces émissions. D'autre part, le carbone émis sous forme de gaz n'étant plus présent dans les sols, ces sols perdent donc de la matière solide et se tassent, entraînant la perte de niveaux topographiques. Ainsi, les sols qui ne sont plus constamment immergés perdent de l'altitude et sont donc d'autant plus sujets aux inondations lors d'épisodes de crues. La subsidence est le mot qui décrit ce phénomène d'altération de la topographie des bassins versants (Herrera-García et al., 2021).

Par ailleurs, la perte de la capacité de rétention d'eau des tourbières par minéralisation ne permet pas de maintenir un pouvoir tampon pour d'une part soutenir les niveaux d'eau en aval en cas de sécheresse, et d'autre part réguler les inondations en captant un volume d'eau et réguler les qualités d'eau par le passage à travers la végétation des tourbières, stockant les nutriments mais aussi certains flux de matières telles que les vases ou autres matières en suspension (Allott et al., 2019; Zanello et al., 2011).

Plusieurs régions du monde ont déjà pu subir les conséquences de l'artificialisation des zones humides. En Europe, les Pays-Bas, comme leur nom l'indique, sont situés à une altitude particulièrement basse. Cette région a été façonnée par une forte exploitation de la tourbe entre les XV et XIXèmes siècles et une riche industrie textile, ayant créé un essor dans la population. Pour fournir les ressources alimentaires à la forte densité de population, les autorités ont ordonné des drainages importants pour la production alimentaire intensive (pâturages, production de viande et de fromages, céréales, sucre, fleurs). Ces drainages ont pu libérer des grandes superficies de terre cultivables et urbanisables, mais en conséquence étant particulièrement vulnérables aux inondations. En effet, le drainage et le pompage excessif des eaux souterraines ont provoqué une subsidence généralisée d'une grande partie des Pays-Bas et notamment des provinces les plus peuplées (Hollande du Sud, Brabant et Zélande ; Boersma, 2015). Cette subsidence est documentée depuis de nombreuses années et fait l'objet de programmes nationaux tels que le présente le rapport de Stouthamer et al., 2020. Ces suivis sont particulièrement cruciaux puisque ces régions sont situées dans le delta formé par les fleuves Rhin, Meuse et Escaut. Craignant les crues importantes de ces fleuves, les autorités n'ont eu d'autre choix que d'investir dans d'importants travaux pour faire face à une crue centennale, 13 milliards d'Euros, et prévoient un renforcement de l'investissement à 2100 à plus de 100 milliards d'Euros, pour faire face à l'augmentation du niveau de la mer du Nord due au réchauffement climatique (Rijcken, 2015).

Un autre exemple particulièrement spectaculaire se trouve en Indonésie, archipel constitué de nombreuses forêts équatoriales et humides, dont une bonne partie de tourbières (Evans et al., 2019; Hein et al., 2022). La capitale, Jakarta, est située sur la grande plaine nord de l'île de Java, une grande zone humide récemment et densément urbanisée, le reste étant dédié à la riziculture. Cette concentration de bâtiments sur des sols alluviaux, combiné au drainage de la plaine pour éviter les inondations, et au pompage d'eau potable souterraine, provoque l'enfoncement de la ville dans le sol de l'ordre de 30 cm/an, augmentant la vulnérabilité aux inondations (Wu et al., 2022), et portant atteinte à la structure des édifices (van Lenteren, 2019). La subsidence, une fois effective, étant définitive, les autorités ont pris la décision d'évacuer la capitale vers une autre zone, montagneuse, sur l'île de Kalimantan, au cours des prochaines décennies.

Certaines vallées des Hauts-de-France et de Wallonie sont constituées d'un substrat tourbeux de parfois plusieurs mètres d'épaisseur (Somme, Authie), sur lesquels d'importants drainages ont été mis en place, pour le tourbage, aujourd'hui arrêté, et l'agriculture. De plus, ces vallées, situées dans des régions plutôt urbanisées, abritent des constructions à vocation de logement principal ou touristique. Sillonnant le plateau calcaire picard et alimentée principalement par des résurgences, la Somme a pu constituer des bourrelets de tufs le long de son cours, correspondant à des zones d'accrétion de calcaire précipité, en milieu aquatique. Le fond du fleuve était donc probablement à cette altitude à leur formation. Actuellement, ces bourrelets de tufs dominent le fond de vallée de parfois plusieurs mètres, et il est donc probable que ces bourrelets soient les témoins d'un phénomène de subsidence dans la vallée. Cet affaissement général aurait pu être causé par l'extraction de la tourbe et sa minéralisation consécutifs aux phénomènes d'asséchement dus au drainage.

En 2001, un épisode de fortes crues de la Somme a conduit au drainage intensif et préventif de la vallée. De plus, récemment, les épisodes de sécheresse intense subies dans cette région d'Europe avec le réchauffement climatique, combiné à une non-adaptation des pratiques agricoles, a conduit aux pompages intenses de la nappe souterraine qui alimente les tourbières des vallées. Ces phénomènes récents risquent d'augmenter la subsidence de ces vallées, d'engendrer une perte topographique, et de rendre vulnérable aux crues l'ensemble du fond de vallée dont de nombreuses zones habitées. De plus, en parallèle de la

subsidence, ces facteurs, s'ils sont maintenus de façon aussi intense, risquent de conduire au relargage d'une grande partie des tourbes sous forme de gaz à effet de serre, renforçant la boucle du dérèglement climatique et ses nombreuses externalités.

Pour restaurer et conserver certains habitats d'intérêt communautaire, riches en biodiversité, des tourbières alcalines des Hauts-de-France et de Wallonie, le projet Life Anthropofens a équipé les sites contractualisés par le Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France et de ses partenaires du projet d'un réseau important de piézomètres, permettant de surveiller l'état d'humectation des tourbes. Une émersion prolongée ou intense des tourbes conduit à leur minéralisation avec les conséquences exposées précédemment. Cependant, si le Life suit particulièrement les conséquences des niveaux d'eau sur les habitats d'intérêt communautaire, les conséquences sur la subsidence restent imprécises pour l'instant.

Cet article propose donc un protocole de suivi à long terme de la subsidence des principales vallées tourbeuses. Ce suivi a pour but d'être complété par les données recueillies dans les piézomètres mesurant i) l'eau de surface, témoin de l'engorgement des tourbes, ii) l'eau souterraine issue des résurgences, permettant une soutenabilité de l'humectation des tourbes en quantité, et en qualité alcaline, iii) le niveau de l'aquifère mesuré sur le plateau, via le réseau de piézomètres du Bureau de Recherche Géologique et Minière (BRGM) disponible sur son portail ADES. Ces données permettront d'établir, par des modélisations statistiques, l'effet de ces différents niveaux d'eau sur la subsidence.

3. MATERIEL ET METHODES

L'étude porte sur le territoire couvert par le projet Life Anthropofens, à savoir les Hauts-de-France et la Wallonie. Une première expérimentation commence en 2023 dans le département de la Somme et plus particulièrement sur trois vallées : Au Nord, l'Authie, fleuve partagé entre la Somme et le Pas-de-Calais, Au Centre, la Somme reliant par ailleurs les deux principales aires urbaines du département : Amiens et Abbeville, et Saint-Quentin dans l'Aisne, et l'Avre, affluent de la Somme parcourant principalement le Sud-Est du département dont plusieurs villes comme Roye, Moreuil et Longueau (Carte S1).

Les sites choisis sont ceux contractualisés par le CEN et ses partenaires. Dans un premier temps, nous incluons les sites sur lesquels un suivi régulier des niveaux a lieu et sur lesquels une étude éco-hydrologique a permis de connaître le fonctionnement (van Diggelen 2023, in prep). Cette étude a permis la pose d'équipement de suivis des niveaux d'eau de surface et de résurgence que nous pouvons réutiliser pour ce protocole. Il s'agit du marais de Génonville à Moreuil (49.7563, 2.5099) sur l'Avre, le marais de Morcourt pour la vallée de la Somme amont (49.8953, 2.6660), le grand marais de Belloy-sur-Somme (49.9667, 2.1162) sur la moyenne vallée de la Somme, le marais communal de Mareuil-Caubert (50.0820, 1.8229) pour la Somme aval, les marais du Haut-Pont à Douriez (50.3239, 1.8808) et Roussent (50.3616, 1.7854) sur la moyenne et basse vallée de l'Authie.

La provenance de l'eau engorgeant les tourbes peut être mesurée par les couples de piézomètres profond et de surface (Figure 1 ; Berquer & Gazaix in prep). Lorsque la pression de résurgence mesurée dans le piézomètre profond est plus importante que la pression mesurée dans le piézomètre de surface ($Paq > Pph$), l'eau engorgeant les tourbes provient des eaux alcalines souterraines via des sources sous-jacentes. A l'inverse, si cette inégalité n'est pas respectée ($Paq \leq Pph$), alors les tourbes ne sont alimentées que par des eaux de surface ou météoriques. Dans ce cas sur le long terme, les tourbières alcalines vont perdre en alcalinité et s'acidifier avec un changement d'habitats d'intérêt communautaire.

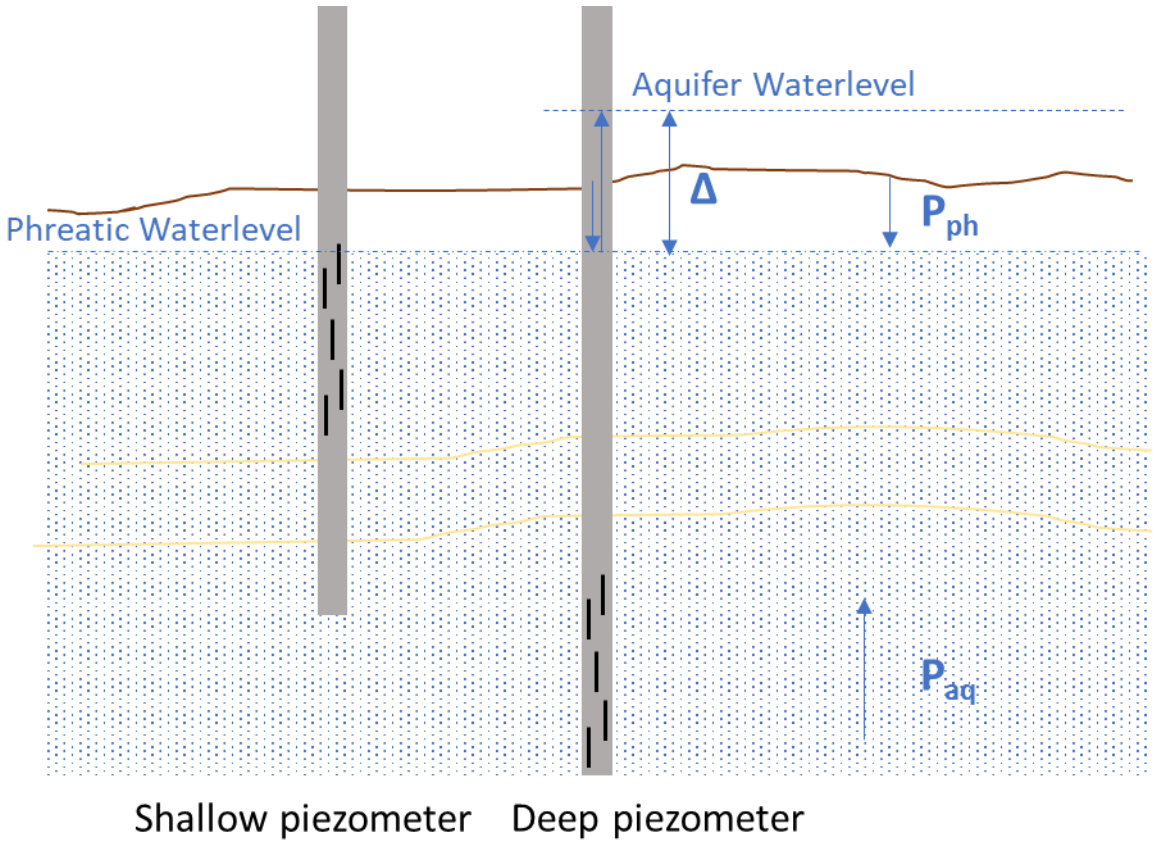


Figure 1: Schéma représentant le couple de piézomètres mesurant la pression d'eau de surface P_{Ph} (gauche) et de profonde P_{aq} (droite).

Chaque piézomètre est équipé d'un capteur de pression permettant d'estimer le niveau d'eau. La pression est relevée chaque heure depuis juin 2022. Une correction barométrique, permettant de soustraire la pression due à l'atmosphère est appliquée systématiquement, grâce à des baromètres placés à proximité. Le niveau d'eau par rapport au sol est estimé grâce à la mesure de l'altitude du sol à l'endroit où est placé le piézomètre. Cette mesure est réalisée au GPS différentiel utilisant la technologie RTK, conférant une précision centimétrique (GNSS SP20, Spectra Precision).

La mesure de la subsidence est réalisée à des points précis de façon régulière. Le même GPS différentiel est utilisé pour relever exactement le même point au fil du temps. Pour éviter un effet dû à la croissance de la végétation et de la microtopographie, les points ont été sélectionnés de manière à ne pas tomber sur une souche, un touradon ou une forte accumulation de litière. Pour le relevé de l'altitude du sol sans l'effet de la végétation, nous prenons soin de laisser cet espace libre d'embroussaillement et de densification de la végétation. Nous relevons l'altitude au centre d'un disque rigide et fin de 10 cm de diamètre dans le but d'éviter un effet d'enfoncement de la canne sur laquelle repose le GPS. Trois mesures sont effectuées autour des couples de piézomètres.

Les mesures sont réalisées deux fois par an de manière à prendre en compte l'éventuel effet éponge des tourbes, qui peuvent se tasser lorsqu'elles s'assèchent dans la saison estivale. Nous choisissons de prendre des mesures à la mi-septembre pour la saison sèche et mi-mars pour la saison humide. Le relevé des piézomètres est également effectué lors de cette mesure.

Pour prendre en compte la durée et l'intensité de l'émersion des tourbes, nous calculons une variable représentant la profondeur d'émersion multipliée par le temps. Cette variable peut être calculée par l'aire algébrique contenue entre la courbe représentant le niveau du sol, et celle du niveau d'eau (Equation 1), en unité mètre heure, entre les temps t et t+1.

Équation 1 : $A = \int_{t}^{t+1} P(x)\, dx$

Nous chercherons à expliquer par des modèles bayésiens, et éventuellement des modèles additifs généralisés (lorsque plusieurs années de données seront disponibles), les facteurs influençant la subsidence. Si le modèle attendu est de trouver un effet positif de l'émersion sur la subsidence, nous pourrons améliorer le modèle par des covariables relevées sur le terrain, telles que la végétation, l'usage du site, l'importance du drainage ou des prélèvements d'eau potable ou d'irrigation, ainsi que la composition des alluvions. Ces dernières variables pourront également permettre de modéliser les variations d'eau dans les piézomètres (Equation 2).

Équation 2 : $Y = a \times A + b \times X_n + \cdots + c$, où *Y* la variable à expliquer (subsidence), *A* l'aire sous la courbe correspondant à la profondeur et durée d'émersion (mètre heure ; Équation 1), et X_n les covariables ; *a*, *b* et *c*, les coefficients associés.

4. Resultats attendus et Discussion

L'hypothèse principale est qu'un maintien de la quantité d'eau dans les tourbes permet de conserver la matière organique et d'éviter son relargage sous forme de gaz à effet de serre. Nous étudierons également si la qualité d'eau, notamment la perte d'alcalinité par le manque d'apport d'eau alcaline des résurgences peut également contribuer à la dégradation de la tourbe. Nous nous attendons à ce que l'effet de la subsidence ne soit visible qu'à partir de plusieurs années d'étude puisque la perte topographique se fait normalement sur des temps assez importants (Ikkala et al., 2021; Nagano et al., 2013). Cependant, dans des cas extrêmes de drainage, la différence topographique peut atteindre plusieurs mètres par siècle (Hirschelmann et al., 2020).

Nous pouvons également faire l'hypothèse, qu'à l'inverse, le maintien d'eau dans les tourbières permet la croissance d'une végétation turfigène avec principalement des grands hélophytes tels que *Phragmites australis*, *Cladium mariscus*, *Carex spp*., ou *Equisetum spp.*. L'accumulation des racines mortes contribuerait dans ce cas à la formation de tourbe et au contraire de la subsidence, une croissance de l'altitude de l'histosol pourrait être détectée au bout d'au moins une décennie, puisque ce phénomène ne peut pas, même dans le meilleur des cas, dépasser 1cm.an^{-1} pour la région (Garcia, in prep).

Cette étude permettra de connaître si certaines pratiques peuvent porter préjudice au fonctionnement des marais tourbeux. En effet, par les fluctuations de la nappe de la craie, et par les fluctuations des eaux de surface, dont l'apport des précipitations, nous pourrons estimer si la quantité d'eau dans les marais et la dynamique de ce niveau sur une année sont suffisantes pour une conservation de l'écosystème. L'étude pourrait également être poursuivie dans un cadre de tests d'actions de protection de la ressource en eau. Nous pourrions par exemple estimer s'il existe une perte de pression dans la nappe de la craie, et donc une baisse des résurgences lors du démarrage des pompages massifs pour l'irrigation agricole. Une meilleure compréhension des relations entre irrigation agricole et présence d'eau dans les marais pourrait être étudiée par la mise en place d'une expérimentation de réduction ou d'annulation de certains pompages à proximité des sites. Un moindre pompage (en intensité ou en durée) permettrait d'éviter la création d'un cône de rabattement au voisinage des résurgences alimentant les tourbières. Ainsi l'expérience pourrait porter sur des restrictions de pompages à des distances de plus en plus importantes de la vallée. Une distance minimale et une intensité de pompage maximale pourrait ainsi être préconisée pour réduire les effets dramatiques que portent ces pompages sur la ressource en eau des marais.

Durant les années de mise en place du Life Anthropofens, certains sites de l'étude comportent des dispositifs de mesure des gaz à effet de serre émis par les tourbières. L'étude de ces prélèvements permet de comparer l'impact sur les émissions des actions de restauration, et notamment le décapage et la restauration hydrologique ayant pour but un meilleur maintien de l'eau dans les tourbières. Cette étude porte sur les sites de Belloy et de Morcourt et les résultats pourront également être intégrés aux résultats de l'étude proposée.

Finalement, l'étude permettra de connaître les vulnérabilités futures des écosystèmes des vallées tourbeuses des régions où porte l'étude, en y incluant les facteurs anthropiques. Cette étude permettra d'identifier de nouvelles perspectives sur lesquelles agir pour la conservation des écosystèmes et la protection des populations.

5. BIBLIOGRAPHIE

Allott, T., Auñón, J., Dunn, C., Evans, M., Labadz, J., Lunt, P., Nisbet, T., Owen, R., Pilkington, M., Proctor, S., Walker, J., 2019. Peatland Catchments and Natural Flood Management. Report to the IUCN UK Peatland Programme's Commission of Inquiry on Peatlands Update.

Boersma, C., 2015. 'The harder we pump, the faster we fall.' Deltares 9–13.

Evans, C.D., Williamson, J.M., Kacaribu, F., Irawan, D., Suardiwerianto, Y., Hidayat, M.F., Laurén, A., Page, S.E., 2019. Rates and spatial variability of peat subsidence in Acacia plantation and forest landscapes in Sumatra, Indonesia. Geoderma 338, 410–421. https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.12.028

Hatala, J.A., Detto, M., Sonnentag, O., Deverel, S.J., Verfaillie, J., Baldocchi, D.D., 2012. Greenhouse gas (CO2, CH4, H2O) fluxes from drained and flooded agricultural peatlands in the Sacramento-San Joaquin Delta. Agriculture, Ecosystems & Environment 150, 1–18. https://doi.org/10.1016/j.agee.2012.01.009

Hein, L., Sumarga, E., Quiñones, M., Suwarno, A., 2022. Effects of soil subsidence on plantation agriculture in Indonesian peatlands. Reg Environ Change 22, 121. https://doi.org/10.1007/s10113-022-01979-z

Herrera-García, G., Ezquerro, P., Tomás, R., Béjar-Pizarro, M., López-Vinielles, J., Rossi, M., Mateos, R.M., Carreón-Freyre, D., Lambert, J., Teatini, P., Cabral-Cano, E., Erkens, G., Galloway, D., Hung, W.-C., Kakar, N., Sneed, M., Tosi, L., Wang, H., Ye, S., 2021. Mapping the global threat of land subsidence. Science 371, 34–36. https://doi.org/10.1126/science.abb8549

Hirschelmann, S., Tanneberger, F., Wichmann, S., Hohlbein, M., Couwenberg, J., Busse, S., Schröder, C., Nordt, A., 2020. Moore in Mecklenburg-Vorpommern im Kontext nationaler und internationaler Klimaschutzziele - Zustand und Entwicklungspotenzial. Faktensammlung. Greifswald Moor Centrum - Schriftenreihe 35.

Ikkala, L., Ronkanen, A.-K., Utriainen, O., Kløve, B., Marttila, H., 2021. Peatland subsidence enhances cultivated lowland flood risk. Soil and Tillage Research 212, 105078. https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105078

IUCN, 2021. Peatlands and Climate Change, Issues Brief. IUCN, Gland, Suisse.

Nagano, T., Osawa, K., Ishida, T., Sakai, K., Vijarnsorn, P., Jongskul, A., Phetsuk, S., Waijaroen, S., Yamanoshita, T., Norisada, M., Kojima, K., 2013. Subsidence and soil CO2 efflux in tropical peatland in southern Thailand under various water table and management conditions.

Rijcken, T., 2015. A critical approach to some new ideas about the Dutch flood risk system. Research in Urbanism Series 293-322 Pages. https://doi.org/10.7480/RIUS.3.842

Stouthamer, E., Erkens, G., Cohen, K., Hegger, D., Driessen, P., Weikard, H.P., Hefting, M., Hanssen, R., Fokker, P., Van Den Akker, J., Groothuijse, F., Van Rijswick, M., 2020. Dutch national scientific research program on land subsidence: Living on soft soils – subsidence and society. Proc. IAHS 382, 815–819. https://doi.org/10.5194/piahs-382-815-2020

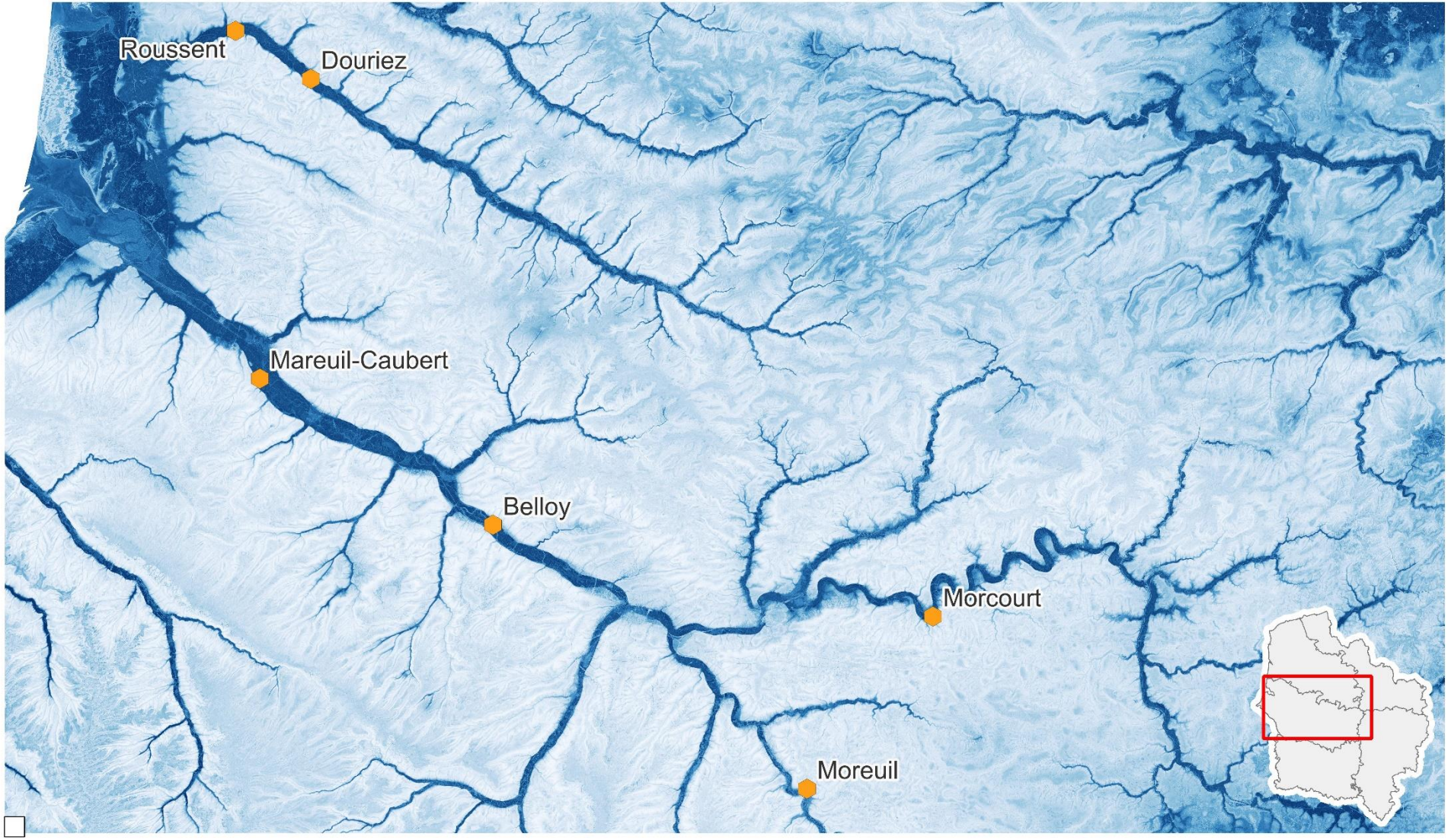
van Lenteren, P., 2019. Italy, America and Indonesia struggle with soft soils. Deltares 14–17.

Wu, P., Wei, M. (Matt), D'Hondt, S., 2022. Subsidence in Coastal Cities Throughout the World Observed by InSAR. Geophysical Research Letters 49. https://doi.org/10.1029/2022GL098477

Zanello, F., Teatini, P., Putti, M., Gambolati, G., 2011. Long term peatland subsidence: Experimental study and modeling scenarios in the Venice coastland. J. Geophys. Res. 116, F04002. https://doi.org/10.1029/2011JF002010

Conservatoire d'espaces naturels Hauts-de-France

Hydrographie et sites d'étude potentiels



PatriNat (2023)

0 9 000 18 000 m

Réalisation : Conservatoire d'espaces naturels des Hauts-de-France - Adrien BERQUER - 18/07/2023

Le LIFE Anthropofens est mis en œuvre par :

Conservatoire d'espaces naturels Hauts-de-France

Conservatoire du littoral

Parc naturel régional Scarpe - Escaut

cbn Conservatoire Botanique National Bailleul

SMOA Syndicat Mixte Oise-Aronde – Marais de Sacy

Conservatoires d'espaces naturels

Syndicat Mixte Baie de Somme Grand Littoral Picard

natagora

Oise le Département

Avec la participation financière de :

Life

République Française – Liberté Égalité Fraternité

Agence de l'Eau Artois-Picardie

Soutien financier – Office Français de la Biodiversité

République Française – Liberté Égalité Fraternité

eau Seine Normandie – Agence de l'eau – Établissement public de l'État

The Coca-Cola Foundation

Oise le Département

Avec le soutien de :

somme le conseil départemental

Région Hauts-de-France

Préfet de la Région Hauts-de-France – République Française

DREAL Hauts-de-France

ameva

L'Aisne Conseil Départemental