

Rapport de mission courte durée 2025, complémentaire au rapport précédent, ci-joint annexé

E. Dambrine, 5 nov 2025

Ma mission au CSIC de Saragosse à l'automne 2024 avait été extrêmement informative sur le plan scientifique pour moi du fait du contexte exceptionnel de chercheurs autour de la thématique de l'érosion localisé à Saragosse, mais un peu décevant dans la mesure où les collaborations initiées ne s'étaient pas traduites par une mise en commun des données permettant d'alimenter DeepC en données relatives au stockage du carbone dans les écosystèmes lacustres espagnols et en particulier ceux des Pyrénées. Ceci tenait à tout un ensemble de choses, ma relative méconnaissance du milieu sédimentologique et de la propriété des données, à l'absence lors ce que j'étais là du patron du labo, et aussi d'une méconnaissance de ma part de ce qui motivait la recherche de mes collègues lorsque je suis arrivé. Inversement j'avais pu rencontrer des gens de tout premier plan sur le plan de l'érosion et développer une réflexion assez originale dont j'ai rendu compte lors du précédent rapport.

Dans les conséquences scientifiques de ce séjour, deux sont immédiates et une plus tardive : la première c'est la venue de Blas Valero ainsi que 2 de ses étudiants au colloque de paléolimnologie qui s'est tenu à Aix-les-Bains au début du mois de d'octobre 2025 et qui a permis de conforter les contacts avec Jean-Philippe Jenny et tout le groupe de de DeepC. La seconde, c'est la participation d'une chercheuse du CSIC, Pénélope Gonzales, au comité de thèse de Marie Néri, thésarde dont j'avais initié le travail de thèse avant de partir à la retraite (maintenant suivie par David Etienne et Erwan Messenger) et dont j'attends beaucoup puisque c'est à la fois une paléo-sédimentologue de renom et qu'elle ouvre une vision en terme d'érosion susceptible de faire bien avancer la thématique de Marie.

La conséquence plus éloignée est l'approfondissement de l'analyse des érosions de sols sur marne, que j'ai pu faire grâce aux discussions/observations initiées à Saragosse. Je crois que ces affaires d'érosion sur marne sont liées à la présence dans les sols d'argiles gonflantes, de type smectites et interstratifiés.

J'ai présenté nos travaux et illustré cette idée autour des sols et des lacs de Lignin, au Colloque européen de science du sol.

Dambrine, E et al. (2025) Eyes half shut: Long term global change, soil erosion, eutrophication and the shrinking of mountain lakes. Communication, Eurosoil 2025, Séville, 8-11/09/2025.

Ce travail est en cours de publication, avec deux aspects.

Dambrine et al. (2025) Soil erosion on marlstone at high altitudes in the southern alps.

Dambrine et al. (2025) Long term dynamics of lake sedimentation and filling in a high altitude context on marlstone in the southern alps.

En parallèle et depuis quelques années, j'avais construit en France avec un partenaire musicien un spectacle associant la thématique scientifique des sols et en particulier de la perte des sols avec un développement musical et théâtral. L'idée était de couvrir un public beaucoup plus large que le public scientifique classique, sans tomber dans les travers d'une vulgarisation enfantine ou ennuyeuse, et de développer l'idée que le sol était une richesse qu'il ne fallait pas ignorer, que les services que rendait le sol étaient immenses et que la société devait s'en préoccuper.

Avant de quitter Saragosse en décembre 2024, j'avais présenté les prémisses de ce spectacle au CSIC, et ce projet avait été bien reçu par mes collègues. Depuis, nous avons développé ce spectacle (il dure maintenant 45 min) et retravaillé pour construire une version espagnole qui puisse faire écho aux préoccupations de cette communauté telle que je la connais à travers mes séjours. Je rappelle qu'avant mon séjour à Saragosse, j'ai passé un an à l'université de Saint-Jacques-de-Compostelle où j'ai travaillé sur les thématiques de cycles biogéochimiques (à l'époque c'était ma thématique de recherche).

De ces contacts et collaborations sont venus une proposition de jouer notre spectacle au cours d'une mission qui prend l'occasion de la journée mondiale des sols le 5 décembre, et profite de la mise en exergue du sol en ce moment à l'échelle européenne, à travers différents projets dont le SoilScape auquel je participe en tant qu'évaluateur.

Cette mission, nous allons l'effectuer du 1 au 6 décembre. Le 3 nous allons jouer au CSIC de Saragosse et le 5 décembre à Saint-Jacques-de-Compostelle où je dois donner en outre une présentation scientifique sur l'écologie historique.

Annexe

Rapport de mission longue durée à l'IPE de Saragosse

E. Dambrine

Cette mission à l'IPE (Institut Pyrénéen d'Ecologie) de Saragosse s'est déroulée du premier septembre au 20 décembre 2024. L'IPE regroupe une centaine de chercheurs dans la banlieue Nord (Montanana) de Saragosse où il voisine avec un centre de recherche du CSIC (l'équivalent du CNRS), et une école d'agronomie orienté vers l'agriculture des pays secs et tropicaux. Saragosse (Cesar-Augusta) est issue d'une colonie romaine fondée dans la vallée de l'Ebre, à mi-chemin entre Barcelone et Madrid. L'Ebre court d'Ouest en Est le long des Pyrénées et débouche par un delta dans la Méditerranée quelques 100 km au sud de Barcelone. Sur le plan géologique cette vallée occupe l'espace d'un ancien lac endoréique car l'Ebre ne débouchait pas sur la Méditerranée pendant la fin de l'ère tertiaire. Pour cette raison les terrains qui forment la dépression de l'Ebre sont des dépôts de sels, d'argiles et de gypses au centre et de calcaires à la périphérie. Le climat est semi-aride, il pleut environ 350 millimètres par an essentiellement

durant l'automne et le printemps et parfois sous forme d'averses brutales. L'orientation de la vallée conduit à la formation d'un vent sec quasi-permanent (le Cierzo) de sorte que l'évapotranspiration est plus de 3 fois supérieure aux précipitations. Le paysage s'ordonne autour de l'Ebre : une bande verte intensément irriguée est bordée par des plateaux semi-désertiques à végétation steppique. Au sud et à l'ouest des sierras souvent gréseuses et d'altitude moyenne (<1500 m) bloquent les précipitations méridionales. Au nord, la chaîne des pré-Pyrénées est un peu l'analogue des pré-Alpes françaises calcaires. Plus au Nord les Pyrénées sont la source de nombreux torrents qui alimentent barrages et canaux irrigant la vallée de l'Ebre.

Ce paysage a fait l'objet de recherches pluri-disciplinaires extrêmement originales de nos collègues Aragonais. L'érosion des sols, parce que c'est une figure objectivement majeure de tout le paysage, et son corolaire, la sédimentation dans les lacs et barrages ont été très intensément étudiées et ceci en considérant les aspects climatiques et humains (*Garcia Ruiz et Lopez Bermudez 2009*).

C'est cette association de compétences scientifiques uniques et de paysages plus secs que les nôtres, entendus comme un défi à réfléchir l'avenir possible de nos paysages provençaux, qui m'a incité à m'installer là.

Les chercheurs avec qui j'ai pris contact pour organiser cette mission se nomment Blas Valero-Garces, paléo-limnologue de premier plan, auteur d'un article récent (Vicente de Vera García et al., 2023) sur l'augmentation du stockage de carbone sédimentaire dans les lacs, et Ana Moreno-Caballud dans les spécialités sont voisines avec une orientation particulière vers la reconstitution des climats du passé. Au cours de mon séjour, j'ai pu rencontrer de nombreux collègues spécialistes de l'érosion (Estela Nadal-Romero, Ana Navas-Izquierdo et Leticia Gaspar-Ferrer), de paléopaysages (Graciela Gil-Romera et Penelope Gonzales-Samperiz) et tout particulièrement trois « savants », retraités actifs, auprès desquels j'ai énormément appris (Juan Hérero, pédologue minéralogiste et micromorphologue des sols sur gypse ; José Maria Garcia-Ruiz, géomorphologue, auteur d'un traité magistral (2010, non traduit) sur l'érosion des sols en Espagne et José Luis Pena-Moné, géographe-archéologue, académicien des sciences, figure tutélaire du domaine des relations entre paysage et usage des sols.

Déroulement en bref :

Septembre : installation familiale et professionnelle, rencontre-lectures, participation à un colloque d'Ecologie pyrénéenne (Huesca, 2 jours), rédactions en lien avec l'érosion des sols au lac de Lignin (cf plus bas).

Octobre : Lecture et visites de terrain de sites érodés (sites de Monegros, Bardenas), présentations (Saragosse et Huesca) de mes thématiques de recherche (effets à long terme des changements d'usage des sols sur l'écologie des forêts et lacs).

Novembre : Lectures et prospection des bassins versants des lacs d'Estanya (pré-pyrénées karstiques) et d'Acheritos (Pyrénées centrales calcaires), prospection de sols/paléosols autour de Saragosse.

Décembre : Identification des sites/thèmes de recherche communs. Réalisation d'une interview illustrée de JM Garcia-Ruiz sur « L'érosion des sols méditerranéens, leçons de l'expérience espagnole » pour mise en ligne sur le site de l'association Française d'Etude des Sols.

- Benefice Pour Deep C.

Au départ, le chercheur sollicité (Blas Valero-Garces) pour alimenter la base de données de Deep C avec les données des lacs du versant sud des Pyrénées a été un peu « circonspect » quant à la mise en circulation de ses données et ceci malgré la libre disposition qu'il m'a laissée aux thèses et recherches en cours. J'ai cependant été très bien accueilli, et les témoignages reçus au cours du séjour et lors de mon départ laissent peu de doutes sur la relation de confiance établie. Les deux rapports que j'ai effectués suite à mes visites de terrain (Estanya et Acheritos) ont été bien reçus, comme des contributions à la réflexion. Le message envoyé par Blas Valero-Garces à JP Jenny le 10 Décembre est cependant très explicite de sa volonté de collaborer.

Dear Jean-Phillipe,

Sorry for my very late reply. December has been busier with fieldwork and end of the year meetings and reports. I will be very happy to collaborate with you in the DEEP C project and provide the information we have for lakes in Spain and in South America. It sounds as a very exciting synthesis exercise!

All the best

Blas

Que manque-t-il : du temps et probablement une incitation du type temps de stagiaire, ou une ouverture facilitée vers des instruments de mesure comme le Core scanner/Ban Geotech qui manquent à Saragosse, et/ou intégration officielle dans le réseau ou un projet de type européen. L'IPE n'est pas riche, et la France fait figure de parent amical mais...fortuné !

Quelques points

1. L'érosion des sols est une figure majeure du paysage, et la paléo-sédimentologie contribue avec d'autres techniques à sa mesure. La combinaison de mesures sédimentologiques avec des mesures sur les sols utilisant des traceurs comme le ^{137}Cs et/ou le ^7Be est extrêmement instructive (*Navas et al., 2008 ; 2013 ; 2014*). Dans ce cadre, les bilans de carbone ne sont pas une priorité, et le débat sur l'érosion en tant que mécanisme de stockage de carbone n'est pas pertinent parce que la cicatrization des sols en climat sec est extrêmement lente. Le carbone stocké dans les sédiments est du carbone déplacé à partir des sols et sédiments anciens, moins du carbone minéralisé sur le chemin. Par contre, les mesures visant à reforester les sols érodés sont extrêmement pertinentes malgré le climat semi-aride, et des chercheurs se sont attelés à montrer leur portée en termes de bilan carbone.
2. Un bilan carbone positif se paye par un bilan d'eau négatif. Cette idée que nous avons testée dans le sud du Massif central avec Vazken Andréassian est aussi défendue sur la base de bilans hydrologiques à Saragosse (*i.e. Lopez Moreno et al., 2006*).
3. Dans les pays secs, les barrages stockent l'eau d'irrigation qui participe à l'augmentation en aval de la production végétale, donc des stocks de carbone du sol irrigué. Outre le stockage sédimentaire, ici très discutable, les barrages sont des outils remarquables de stockage « déporté » de carbone.

En perspective, Blas a carotté en Décembre 2024 un lac de Sierra près de Burgos, et m'a demandé d'assurer la partie d'étude des sols du bassin versant avec une comparaison possible

à celui d'Estanya (*Morellon et al., 2008 ; Navas et al., 2014*) que j'ai bien exploré. J'ai acquiescé, comme une forme de monnaie d'échange...

- Benefice général hors bilan C.

En ce qui concerne mon activité de recherche, je suis parti à Saragosse avec une question d'érosion à résoudre, celle de l'érosion des sols sur marne dans le sud du Mercantour, telle que l'illustrent ces images prises autour du lac de Lignin (04). Dans ce projet, j'analyse conjointement les sols et les sédiments du lac pour établir au cours de l'Holocène les rôles respectifs du climat et de l'homme sur l'érosion des sols et l'écologie du lac.



Figure 1. Erosion de sols sur marne dans le Mercantour.

J'ai trouvé à Saragosse les très fortes compétences en termes d'érosion que je recherchais. De telles figures ont aussi été décrites (i.e. *García-Ruiz, & Tomás 1982; García-Ruiz et al., 2016*) dans les Pyrénées, sur flysch et marnes, et attribuées aux conséquences de la déforestation durant le moyen âge. La disparition du couvert forestier (provoquée par l'homme) jouerait en augmentant les flux d'eau à la fonte des neiges et/ou en automne (à l'occasion d'orages violents), et ces flux latéraux, contraints par l'imperméabilité du substrat, favoriseraient la déchirure des pelouses, puis l'érosion. Le pâturage stricto-sensu n'interviendrait que secondairement. Dans le cas du Lignin, nos carottages montrent que l'érosion est initiée dès l'âge de Bronze dans un paysage déjà pâturé, et s'amplifie progressivement pendant la période gallo-romaine, puis médiévale et moderne. Il semble qu'il faille un élément climatique déclenchant, dont l'intensité serait plus faible dans un paysage déforesté. Cet événement pourrait être du type « goutte froide » climatique, associé ou consécutif à un dépérissement forestier (possiblement mais non nécessairement directement lié à l'homme).

Mais au-delà de cet aspect, le paysage de la région de Saragosse autorise une exceptionnelle leçon sur l'érosion que j'ai mis quelques mois à ingurgiter ! L'érosion hydrique des sols est plus forte dans les pays où il pleut très peu (!) car la sécheresse inhibe la cicatrisation végétale. La lenteur de la colonisation végétale explique la convergence des figures d'érosion en climat de haute montagne et en climat aride. Dans les deux cas, le paysage d'origine est forestier et la disparition de ce couvert oriente la dynamique érosive.

Ce paysage recèle aussi de très nombreux exemples d'un mode d'érosion peu étudié en France : l'érosion en tunnel ou « piping » (Fig 2).



Fig 2. Petit « pipe » dans les sols du massif de Monegros, ravine produite par effondrement d'un conduit d'érosion par soutirage profond, et pipes multiples le long d'un berger.

Cette forme est fréquente sous climats secs ou à saisons contrastées, et requiert la présence d'un plancher de faible conductivité hydraulique, d'argiles dispersables, de fortes valeurs du taux de sodium échangeable, d'un gradient hydraulique (terrasses agricoles, bord de cours d'eau) et l'action de la faune (lapins) (Nadal Romero *et al.*, 2018 ; 2024). Curieusement, cette érosion est surtout connue en France dans les digues de barrage et décrite par les géotechniciens comme des « renards » ! Cependant des auteurs belges la décrivent aussi dans les prairies sur loess (i.e. Verachtert *et al.*, 2010 ; Bernatek-Jakiel *et al.* ; 2018) et la considèrent comme l'un des processus majeurs à l'origine des dépressions fermées et des ravines d'érosion. Des auteurs britanniques (i.e. Holden et Burt 2002) la décrivent aussi dans les sols tourbeux dont les horizons profonds sont imperméables en raison de leur saturation permanente en eau. De sorte que l'ensemble des conditions citées plus haut (en particulier celle sur le Na échangeable) n'est pas indispensable. Cette forme d'érosion m'a particulièrement intéressé en raison d'un programme en cours sur l'origine des dépressions fermées des forêts de Lorraine sur marnes du Keuper (Thèse Marie Néri, Carrtel). Avec D. Etienne (Carrtel), nous avons montré que ces dépressions ont été creusées lors de la période gallo-romaine dans un contexte prairial (Etienne *et al.* ; 2011 ; 2023). Mais ces dépressions pourraient avoir été initiées par piping lors de la déforestation. J'ai particulièrement décrit cet aspect lors de ma présentation à l'IPE et cet aspect est aussi envisagé pour une collaboration.

- Perspectives

J'ai trouvé ce séjour passionnant et porteur ! je souhaite donc le renouveler en 2025.

Ces quelques mois m'ont servi à établir les contacts et la confiance. Je crois que c'était l'étape nécessaire à la mise à disposition, auprès de la communauté Deep C, des données sédimentologiques.

L'IPE n'a pas (ou plus) de spécialiste des sols, cela a ralenti les collaborations au départ, mais les rend plus facile maintenant que les contacts ont été pris, si nous parvenons à mobiliser des moyens.

Plusieurs pistes sont ouvertes en rapport avec mes différents programmes de recherche et les leurs.

Références (quelques !)

- Bernatek-Jakiel, A., & Poesen, J. (2018). Subsurface erosion by soil piping: significance and research needs. *Earth-Science Reviews*, 185, 1107-1128.
- García-Ruiz, J. M. et Lopez Bermudez F. (2009). La erosión del suelo en España. *Sociedad Española de Geomorfología* 441p.
- Etienne, D., Ruffaldi, P., Goepf, S., Ritz, F., Georges-Leroy, M., Pollier, B., & Dambrine, E. (2011). The origin of closed depressions in Northeastern France: A new assessment. *Geomorphology*, 126(1-2), 121-131.
- Etienne, D., Georges-Leroy, M., Laplaige, C., Walter-Simonnet, A. V., Ruffaldi, P., & Dambrine, É. (2023). Morphometry, distribution and Holocene dating of closed depressions, called mardelles, in northeastern France. *Quaternaire*. 34(2), 123-134.
- García-Ruiz, J. M., & Tomás, J. P. (1982). Formas de erosión en el flysch eoceno surpirenaico. *Cuadernos de Investigación geográfica*, 8, 85-130.
- García-Ruiz, J. M., Sanjuán, Y., Gil-Romera, G., González-Sampériz, P., Beguería, S., Arnáez, J., ... & López de Calle, C. (2016). Mid and late Holocene forest fires and deforestation in the subalpine belt of the Iberian range, northern Spain. *Journal of Mountain Science*, 13, 1760-1772.
- García-Ruiz, J., Lasanta, T., & Alberto, F. (1997). Soil erosion by piping in irrigated fields. *Geomorphology*, 20(3-4), 269-278.
- García-Ruiz, J. M., Beguería, S., Lana-Renault, N., Nadal-Romero, E., & Cerdà, A. (2017). Ongoing and emerging questions in water erosion studies. *Land Degradation & Development*, 28(1), 5-21.
- Hernández, A., Martín-Puertas, C., Moffa-Sánchez, P., Moreno-Chamarro, E., Ortega, P., Blockley, S., ... & Xu, G. (2020). Modes of climate variability: Synthesis and review of proxy-based reconstructions through the Holocene. *Earth-Science Reviews*, 209, 103286.
- Holden, J., & Burt, T. P. (2002). Piping and pipeflow in a deep peat catchment. *Catena*, 48(3), 163-199.
- Lopez-Moreno, J. I., Beguería, S., & García-Ruiz, J. M. (2006). Trends in high flows in the central Spanish Pyrenees: response to climatic factors or to land-use change?. *Hydrological Sciences Journal*, 51(6), 1039-1050.
- Morellon, M., Corella, P., Delgado-Huertas, A., Engstrom, D. R., González-Sampériz, P., López-Vicente, M., ... & Vegas-Vilarrúbia, T. (2010, May). Solar forcing, climate dynamics and human activities in Mediterranean Mountains during the last millennium: the Lake Estanya record (Southern Pyrenees, NE Spain). In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (p. 4454).
- Morellón, M., Valero-Garcés, B., González-Sampériz, P., Vegas-Vilarrúbia, T., Rubio, E., Rieradevall, M., ... & Soto, J. (2011). Climate changes and human activities recorded in the sediments of Lake Estanya (NE Spain) during the Medieval Warm Period and Little Ice Age. *Journal of Paleolimnology*, 46, 423-452.
- Morellon, M., Valero-Garcés, B., Moreno, A., González-Sampériz, P., Mata, P., Romero, O., ... & Navas, A. (2008). Holocene palaeohydrology and climate variability in northeastern Spain: the sedimentary record of Lake Estanya (Pre-Pyrenean range). *Quaternary International*, 181(1), 15-31.
- Nadal-Romero, E., & García-Ruiz, J. M. (2018). Rethinking spatial and temporal variability of erosion in badlands. *Badlands dynamics in a context of global change*, 217-253.
- Nadal-Romero, E., Cortijos-López, M., Wagner, C., & Lasanta, T. (2024) Soils in the Anthropocene: Hazards, challenges and opportunities. *Geographical Studies*, (175), 35-51.
- Nadal-Romero, E., Rodríguez-Caballero, E., Chamizo, S., Juez, C., Cantón, Y., & García-Ruiz, J. M. (2022). Mediterranean badlands: Their driving processes and climate change futures. *Earth Surface Processes and Landforms*, 47(1), 17-31.

- Navas, A., López-Vicente, M., Gaspar, L., & Machin, J. (2013). Assessing soil redistribution in a complex karst catchment using fallout ^{137}Cs and GIS. *Geomorphology*, 196, 231-241.
- Navas, A., López-Vicente, M., Gaspar, L., Palazón, L., & Quijano, L. (2014). Establishing a tracer-based sediment budget to preserve wetlands in Mediterranean mountain agroecosystems (NE Spain). *Science of the Total Environment*, 496, 132-143.
- Navas, A., Walling, D. E., Gaspar, L., & Machin, J. (2008). Use of Beryllium-7 to assess soil redistribution by erosion in two contrasting Mediterranean environments. *LAHS publication*, 325, 43.
- Valero-Garcés, B. L., & Moreno, A. (2011). Iberian lacustrine sediment records: responses to past and recent global changes in the Mediterranean region. *Journal of Paleolimnology*, 46, 319-325.
- Vegas-Vilarrúbia, T., González-Sampériz, P., Morellón, M., Gil-Romera, G., Pérez-Sanz, A., & Valero-Garcés, B. (2013). Diatom and vegetation responses to late glacial and early holocene climate changes at lake Estanya (southern pyrenees, NE Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 392, 335-349.
- Verachtert, E., Van Den Eeckhaut, M., Poesen, J., & Deckers, J. (2010). Factors controlling the spatial distribution of soil piping erosion on loess-derived soils: A case study from central Belgium. *Geomorphology*, 118(3-4), 339-348.
- Vicente de Vera García, A., Mata-Campo, M. P., Pla, S., Vicente, E., Prego, R., Frugone-Álvarez, M., ... & Valero-Garcés, B. L. (2023). Unprecedented recent regional increase in organic carbon and lithogenic fluxes in high altitude Pyrenean lakes. *Scientific Reports*, 13(1), 8586.