
Journée technique - Le LiDAR un outil au service de la connaissance des territoires // 4 octobre 2022

Flux trophiques et tourbières : le LiDAR, une donnée qui enrichit l'approche fonctionnelle

Alexandre POIRAUD et Pierre GOUBET



- ❑ Les tourbières sont des écosystèmes rendant des services écosystémiques majeurs en particulier dans les domaines suivant:
 - ❑ La biodiversité (Réserves naturelles, sites Natura 2000, etc.)
 - ❑ Le cycle de l'eau (en tant que zones humides)
 - ❑ Le cycle du carbone (stocks massifs de carbone du sol, puits ou sources potentielles suivant l'état)
 - ❑ Support de recherche en écologie, paysages spécifiques, etc.
- ❑ Comprendre le fonctionnement des tourbières pour en conserver les services écosystémiques impose une démarche scientifique et technique organisée, intégrant de nombreuses disciplines et résumé sous le terme de "diagnostic fonctionnel"
- ❑ Le relief est une donnée majeure du diagnostic fonctionnel, car il est en rapport avec les écoulements et les variations topographiques induites par la production ou la dégradation de la tourbe

- ❑ L'eau en tourbière : une contrainte majeure pour le sol et les plantes et, aussi, le principal vecteur des nutriments
- ❑ La démarche du diagnostic fonctionnel - concepts et méthode
- ❑ Le LiDAR et son utilisation "classique" dans les diagnostics fonctionnels
- ❑ Vers la modélisation des flux trophique...
 - ❑ *présentation succincte du modèle SCIMAP*
 - ❑ *application aux flux de phosphore dans le bassin versant : ex. de la Godivelle (63)*
 - ❑ *application aux flux de phosphore dans le BV et dans un système semi-lacustre : ex. du Jolan (15)*

- ❑ Les tourbières sont des écosystèmes caractérisés par l'existence d'un processus créant un sol spécifique nommé tourbe ou Histosol.
- ❑ Ce processus ne se réalise qu'à la condition d'une saturation hydrique du sol la quasi totalité du temps, les logiques de saturation se réalisent à l'échelle décimétrique en z.
- ❑ Le relief joue un rôle essentiel dans les processus d'engorgement, et il est "évolutif" dans le sens où la tourbe créée est un élément de relief inédit. La tourbière se différencie des autres zones humides car malgré la construction de la tourbe qui modifie le relief (souvent plusieurs mètres), la saturation hydrique du sol se maintient.
- ❑ Les espèces ingénieuses de tourbière ont en effet capacité à modifier le relief et de nombreuses relations interspécifiques (compétition, facilitation, mutualisme, etc.) se réalisent sur des gradients, à travers des seuils ou suivant des boucles de rétroactions en lien avec le couple relief/saturation hydrique.



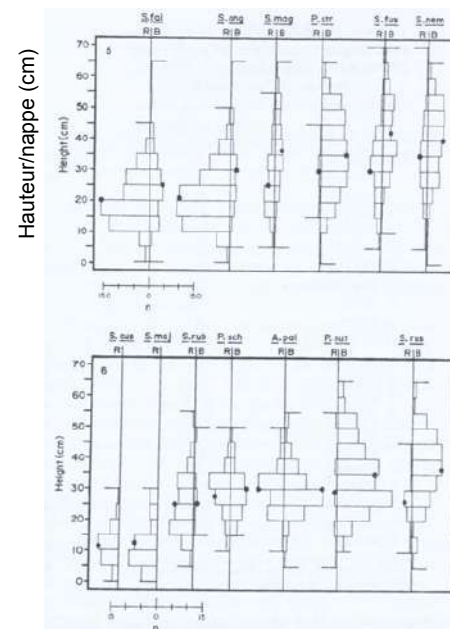
Tourbière de la Plaine-Jacquot (La Godivelle)



Tourbe à roseau et bouleau

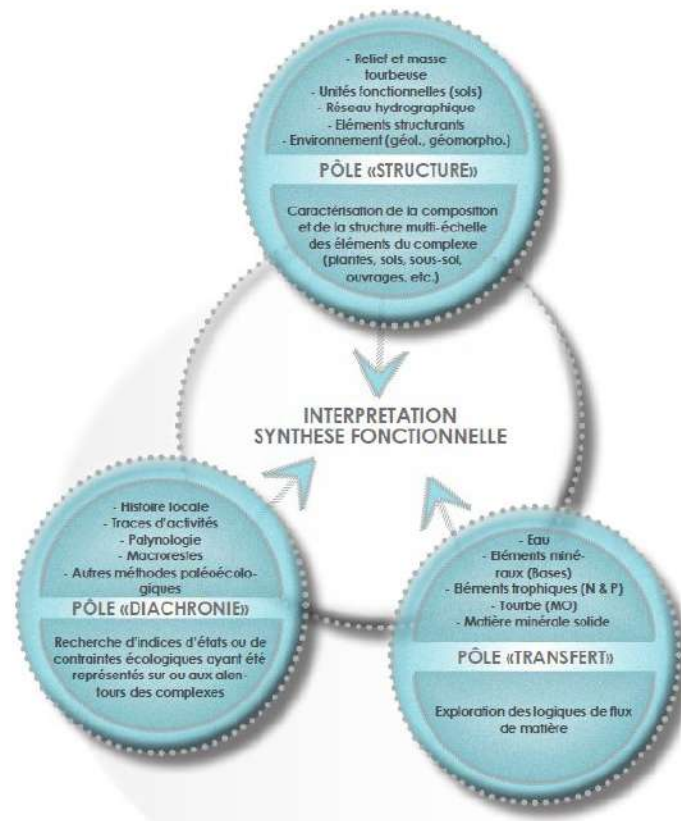
- ❑ Mais l'eau joue aussi un rôle majeur en termes de vecteur trophique (azote, phosphore) et minéral (calcium, magnésium, etc.), avec une action essentielle sur l'expression locale de la niche écologique des plantes. On parle de centimètres en z.
- ❑ Ainsi, pour simplifier: l'eau est une condition essentielle à l'existence d'une tourbière, dans le cadre d'un engorgement qui se maintient malgré les modifications du relief inhérentes à la production de la tourbe. La charge trophique et minérale de l'eau qui assure l'engorgement du sol est quant-à elle le facteur de diversification majeure des tourbières. Autrement dit, les différents types de communautés de tourbière s'organisent en fonction de cette charge.

Espèces de mousses de tourbière



FIGS. 5 and 6. Height profiles of abundant mosses in Raybrook Bog (R) and Bloomingdale Bog (B). Each block represents the number of observations (n) in a 5-cm height class. Upper and lower bars delimit vertical ranges. Dots designate mean heights. Fig. 5. *S. fal* = *Sphagnum fallax*, *S. ang* = *S. angustifolium*, *S. mag* = *S. magellanicum*, *P. str* = *Polytrichum strictum*, *S. fus* = *S. fuscum*, *S. nem* = *S. nemoreum*. Fig. 6. *S. cus* = *S. cuspidatum*, *S. maj* = *S. majus*, *S. rub* = *S. rubellum*, *P. sch* = *Pleurozium schreberi*, *A. pal* = *Aulacomnium palustre*, *P. nut* = *Pohlia nutans*, *S. rus* = *S. russowii*.

- ❑ La compréhension du fonctionnement d'un écosystème tourbeux, dans ses multiples composantes, fait appel à des aspects directement liés aux plantes, au sol, à l'eau et aux nutriments.
- ❑ "Comprendre" le fonctionnement d'un écosystème, c'est définir d'où il vient, pourquoi il est dans un état plutôt qu'un autre, et déterminer comment il évoluera en fonction des changements dans les paramètres écologiques qui le contrôlent.
- ❑ Les disciplines scientifiques mobilisées sont nombreuses, botanique, pédologie, hydrologie-géologie, paléoécologie, etc., sans compter la diversité des techniques applicables. L'ensemble des résultats est intégré à travers le paradigme de l'écologie des écosystèmes.
- ❑ Le diagnostic fonctionnel est organisé en 3 pôles de données et le relief constitue une donnée essentielle du pôle "structure", mais qui sera corrélé aux données de "transfert" ou de "diachronie" ou exploiter pour enrichir toutes les autres types de données.



Analyses géologiques (validation de contours des cartes, systèmes de fracturation, etc.)

Réseau hydrographique, ouvrages hydrauliques (drains, etc.)

Analyses géomorphologiques (structures spécifiques (cônes de déjection, thermokarst), limites de dépôts, etc.)

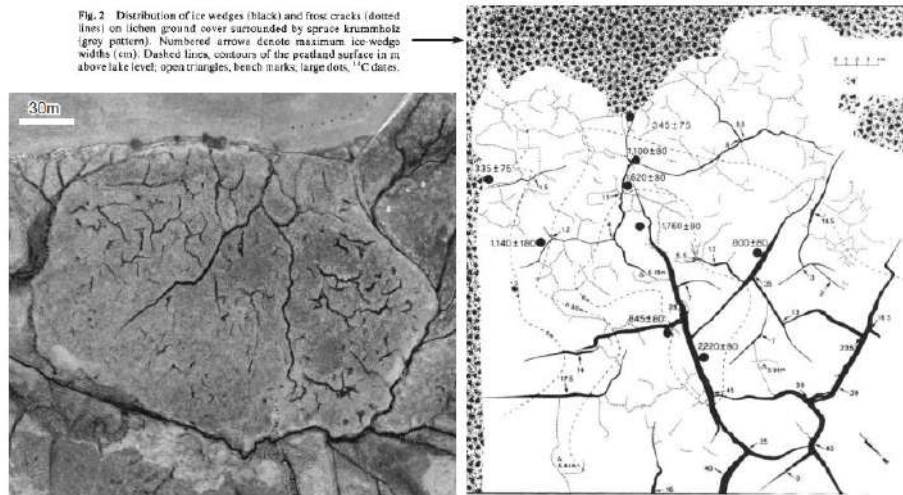
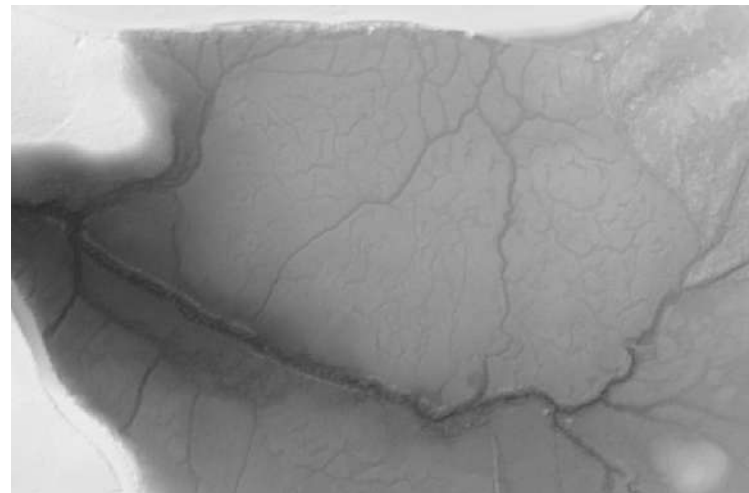


Figure 3-10: comparaison des structures du complexe de Crespy-Greloux de la photographie de l'IGN de 1963 et de celles de systèmes périglaciaires de réseau de tente de gel et de cônes de glace dans l'arctique canadien (Payette et al., 1986). Les échelles indiquées dans chacun des cas montrent une différence de taille des structures, bien que leurs formes soient très proches.



MNT_50cm Lidar CRAIG-CEN Auvergne 2016

Structures historiques (rideaux de culture, chemins, fosses de tourbage, etc.)

Calages stratigraphiques et piézométriques

Corrélation plantes/(micro)relief

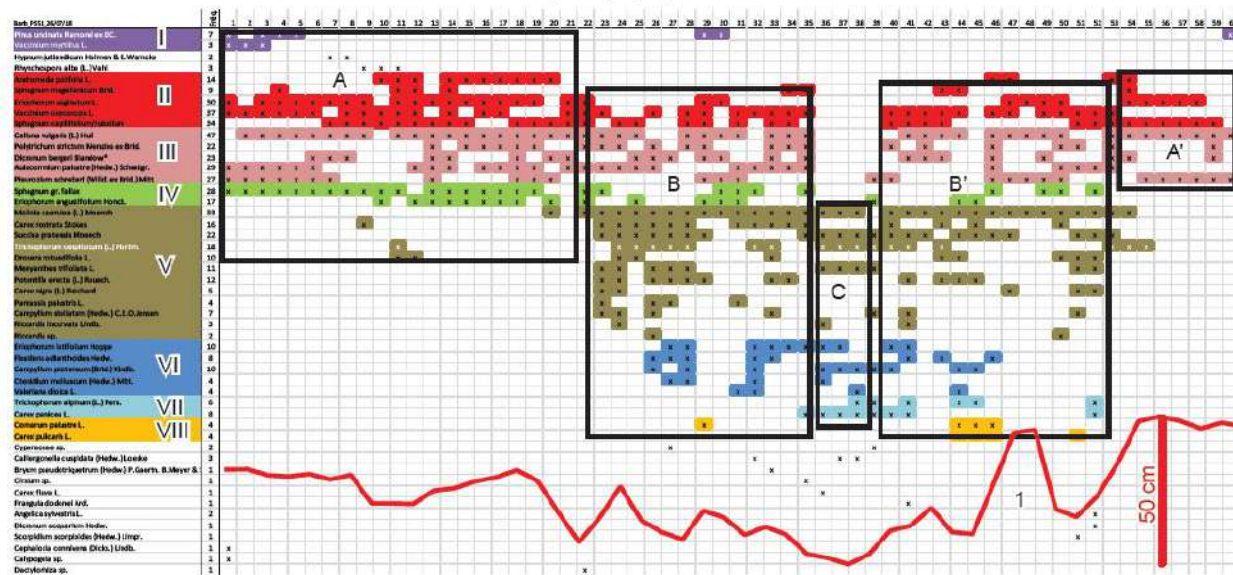


Tableau 3-4-9: profil de structure et de suivi 1 réalisé sur la Seigne des Barbouillons et profil topographique correspondant (en rouge). Issu du MNT du SMMAH. Les cortèges sont figurés par des couleurs et des chiffres romains, les phytocénoses par des cadres et une numérotation en lettres capitales.

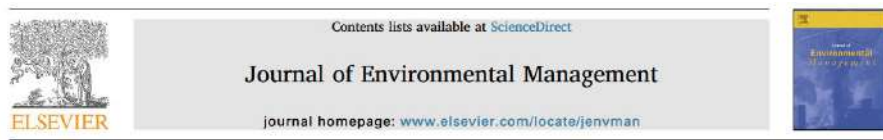
Modèles d'inondation



Figure 3-2-1: proposition d'un modèle d'inondation sur la durée du suivi à partir du croisement des données piézométriques et de celles du MNT. Le nombre de jours d'inondation correspond aux nombres de jours pendant lesquels le niveau d'eau du lac noie un secteur, calculé en réalisant un compte automatique des valeurs entre deux bornes choisies, ici tous les 10 cm en commençant à 1202 m. Autres explications dans le texte.

Logiques d'écoulement superficiel et de flux hydrosédimentaires (analyse des flux trophiques)

SCIMAP = Sensitive Catchment Integrated Modelling and Analysis Platform



Research article

Identifying critical source areas using multiple methods for effective diffuse pollution mitigation

S.M. Reaney^{a,*,1}, E.B. Mackay^{b,1}, P.M. Haygarth^c, M. Fisher^d, A. Molineux^d, M. Potts^d, C. McW.H. Benskin^c

^a Department of Geography, Durham University, Durham, DH1 3LE, UK

^b Lake Ecosystems Group, Centre for Hydrology & Ecology, Bailrigg, Lancaster, LA1 4AP, UK

^c Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster, LA1 4YQ, UK

^d Tripod Software Ltd, Salford Innovation Forum, 51 Frederick Road, Salford, M6 6PP, UK



Predicting diffuse microbial pollution risk across catchments: The performance of SCIMAP and recommendations for future development

Kenneth D.H. Porter^{a,*}, Sim M. Reaney^b, Richard S. Quilliam^a, Chris Burgess^c, David M. Oliver^a

^a Biological & Environmental Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Stirling, Stirling FK9 4LA, UK

^b Department of Geography, Durham University, Durham DH1 3LE, UK

^c Environment Agency, King's Meadow House, King's Meadow Rd, Reading RG1 8DQ, UK



Risk-based modelling of diffuse land use impacts from rural landscapes upon salmonid fry abundance

Sim M. Reaney^{a,*,1}, Stuart N. Lane^a, A. Louise Heathwaite^b, Lucy J. Dugdale^c

^a Institute of Hazard, Risk and Resilience and Department of Geography, Durham University, Durham DH1 3LE, UK

^b Centre for Sustainable Water Management, Lancaster Environment Centre, Lancaster University, Lancaster LA1 4YQ, UK

^c Eden Rivers Trust, Units 06-0, Skirsgill Business Park, Penrith CA11 0DP, UK

Water Resources Research

Regular Article | [Free Access](#)

Representation of landscape hydrological connectivity using a topographically driven surface flow index

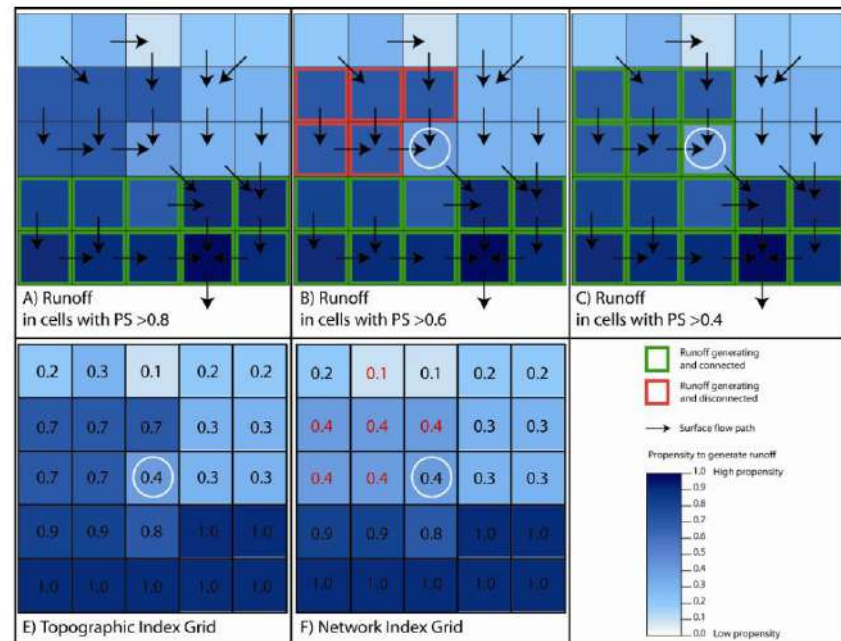
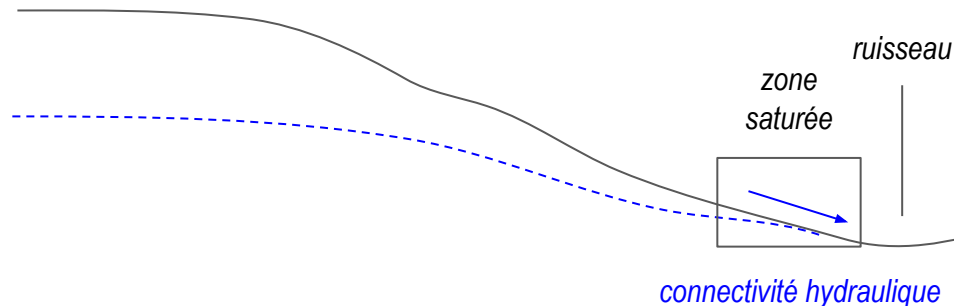
S. N. Lane^a, S. M. Reaney^a, A. L. Heathwaite^a

First published: 15 August 2009 | <https://doi.org/10.1029/2008WR007336> | Citations: 124



SCIMAP => basé sur le concept de connectivité hydraulique et de saturation de surface pour des sols < 1 m d'épaisseur, pour des épisodes orageux (pluies érosives)

La connectivité est assurée entre pixels par la saturation jusqu'aux pixels non saturés.



4 sorties de modèle

Generation Risk : $RUSLE * SPI$ ou $C\text{-Factor} * SPI$ (modèle simplifié)

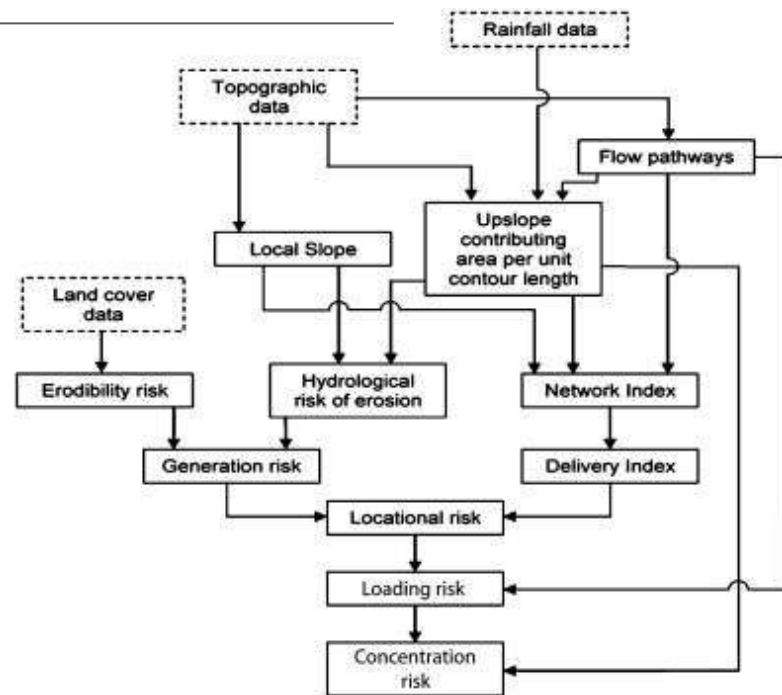
Delivery Index : $TWI * Network\ Index$ (Low TWI along a pathway)

Locational Risk : $Generation\ Risk * Delivery\ Index$

Diffuse Pollution Risk : Somme du Locational Risk le long de l'écoulement (ég. Weighted Flow Accumulation) = *accumulation de sédiments fins et/ou de polluants*

- pas de prise en compte de la dilution le long du continuum hydrologique
- pas de prise en compte des pertes le long du continuum hydrologique par dépôt et/ou transformations chimiques

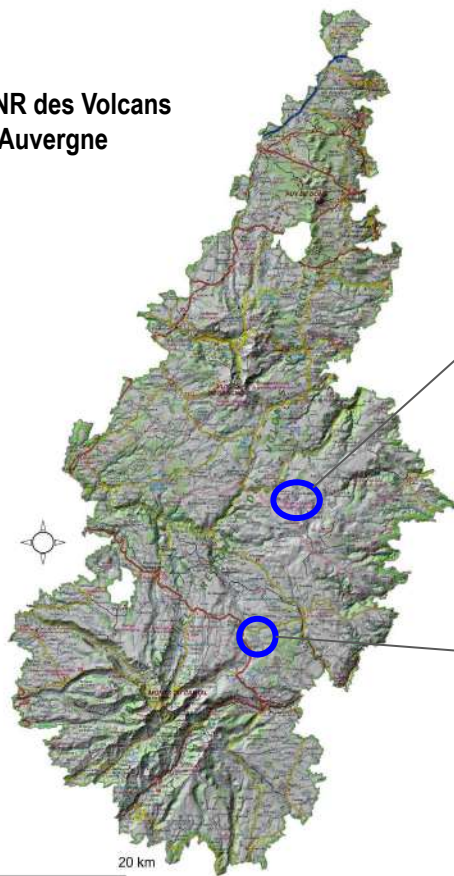
Adapté pour les petits BV, typiquement les Têtes de Bassin Versant à fonctionnement colluvio-alluvial



Reaney et al., 2011
doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2010.08.022



PNR des Volcans
d'Auvergne



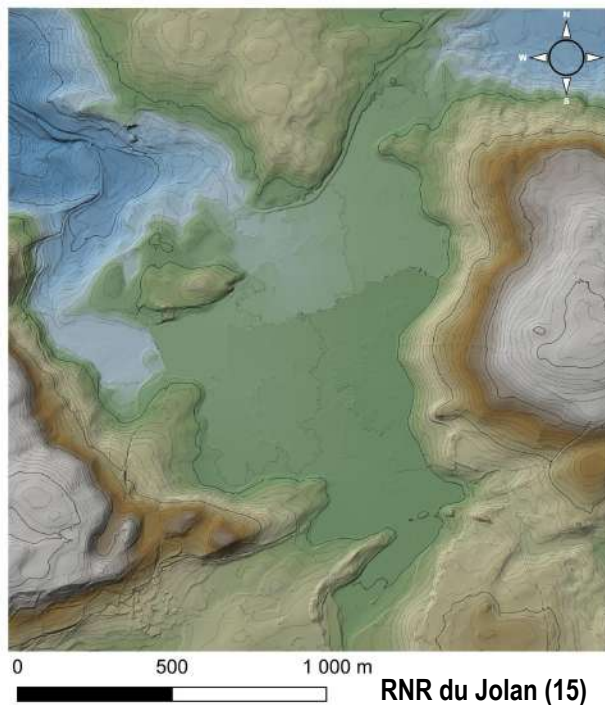
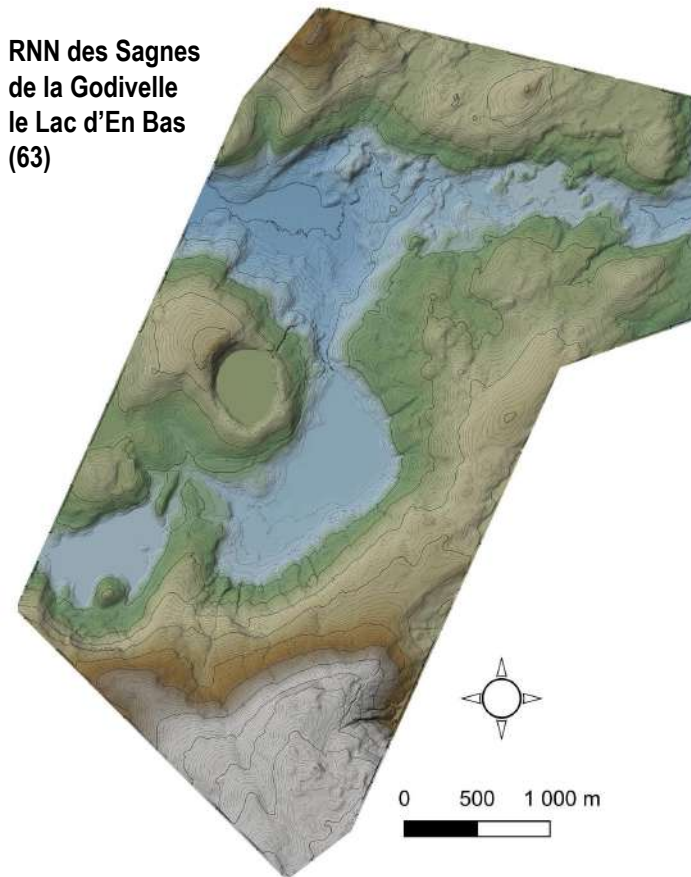
RNN des Sagnes de la Godivelle - le Lac d'En Bas (63)



RNR du Jolan (15)



RNN des Sagnes
de la Godivelle
le Lac d'En Bas
(63)



Spécificités techniques

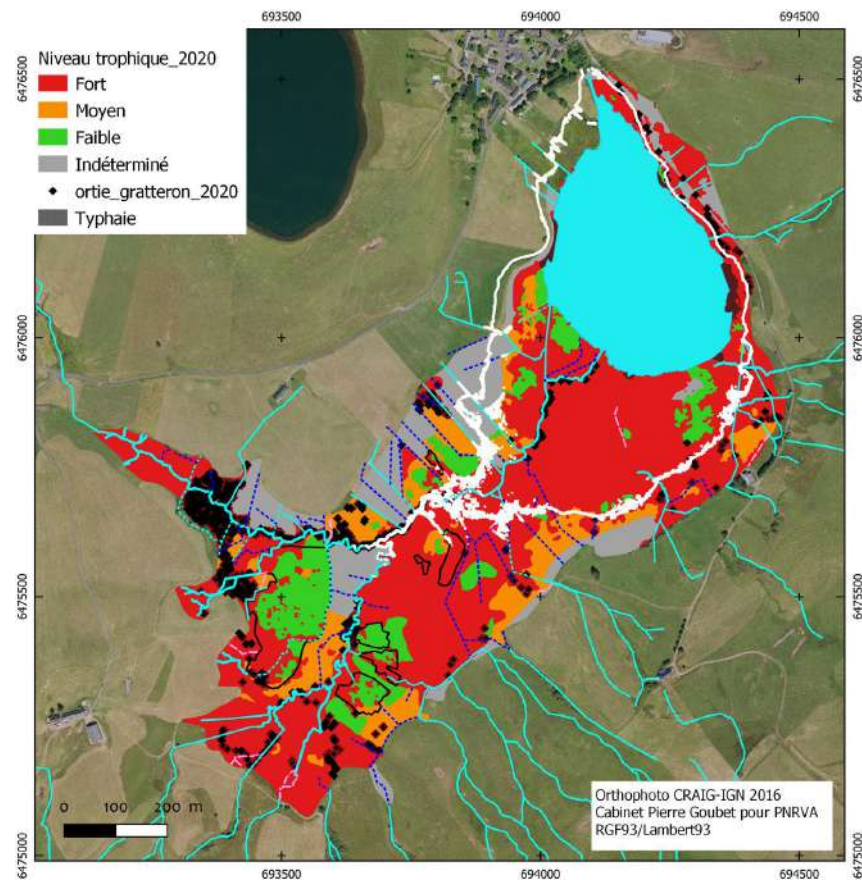
Réalisation des levés et du post-traitement :
SETIS

Précision planimétrique : infradécimétrique

Précision altimétrique : infradécimétrique

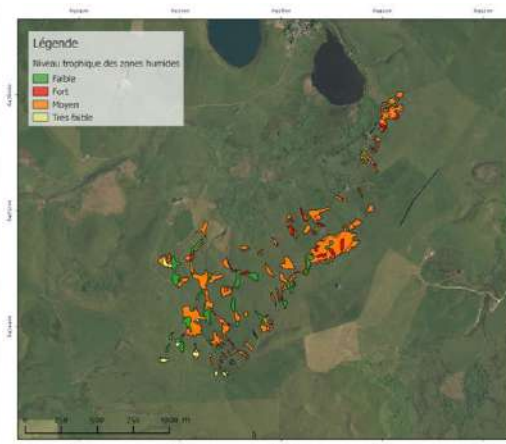
Densité après filtrage : 10 pts/m²

Vers la modélisation des flux trophiques...Le Lac d'En Bas



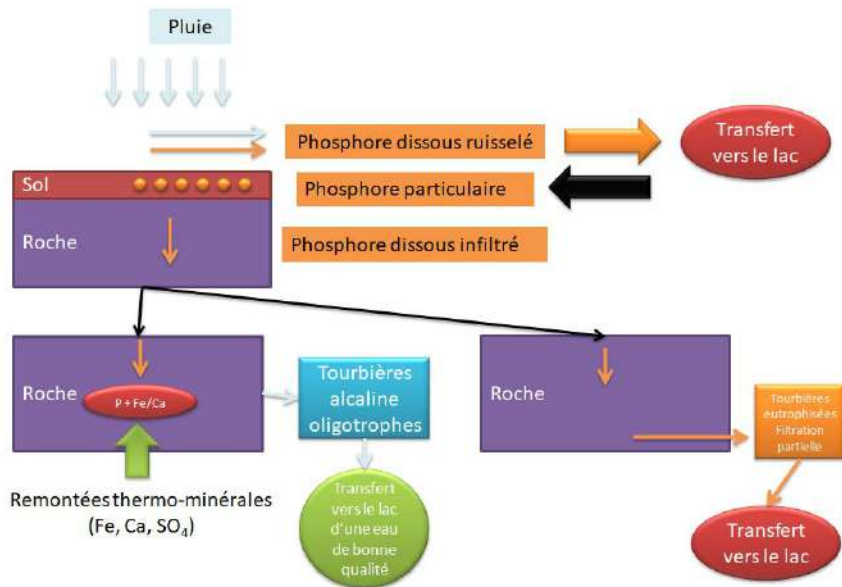
Problème récurrent d'eutrophisation du complexe depuis une bonne quinzaine d'années

Forte suspicion d'apports phosphatés dans le complexe tourbeux à cause de l'importante couverture d'Andosol à forte rétention de phosphore et sensible à l'érosion et de la présence de sources à forte charge trophique



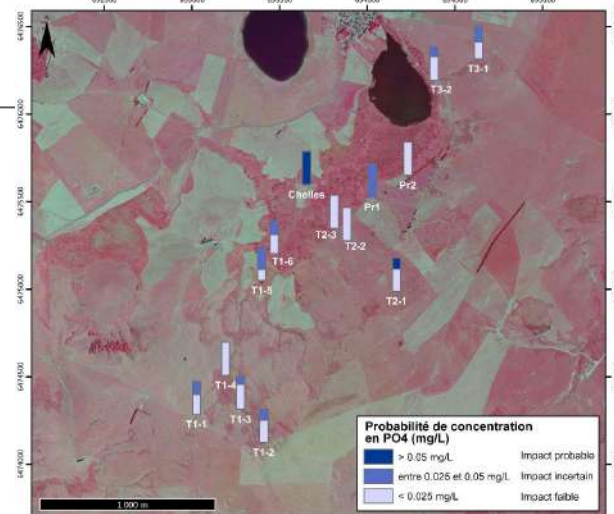
Charge estimée de 30 à 50 kg de PO₄/ha (éq. élevage porcin !)

Vers la modélisation des flux trophiques...Le Lac d'En Bas

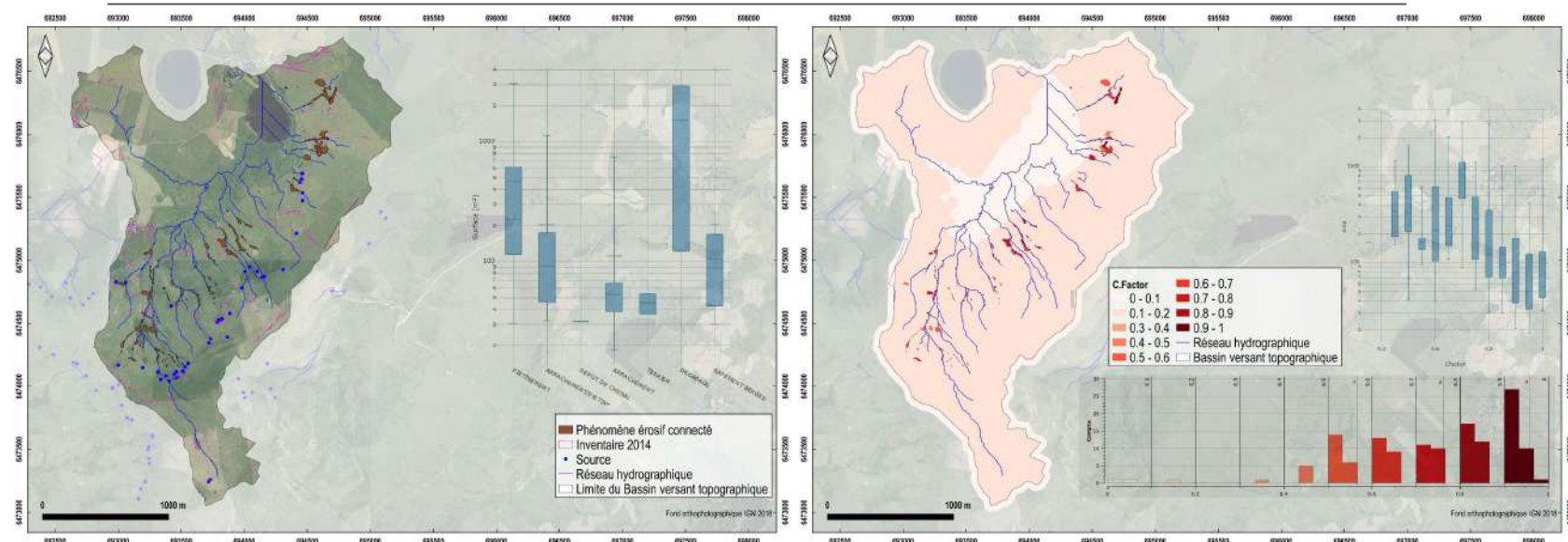


Confirmation de l'existence de Phosphore dans le réseau hydrographique et importance des transferts hydro-sédimentaires de surface dans le modèle conceptuel

=> conditions idéales pour appliquer SCIMAP



Vers la modélisation des flux trophiques...Le Lac d'En Bas

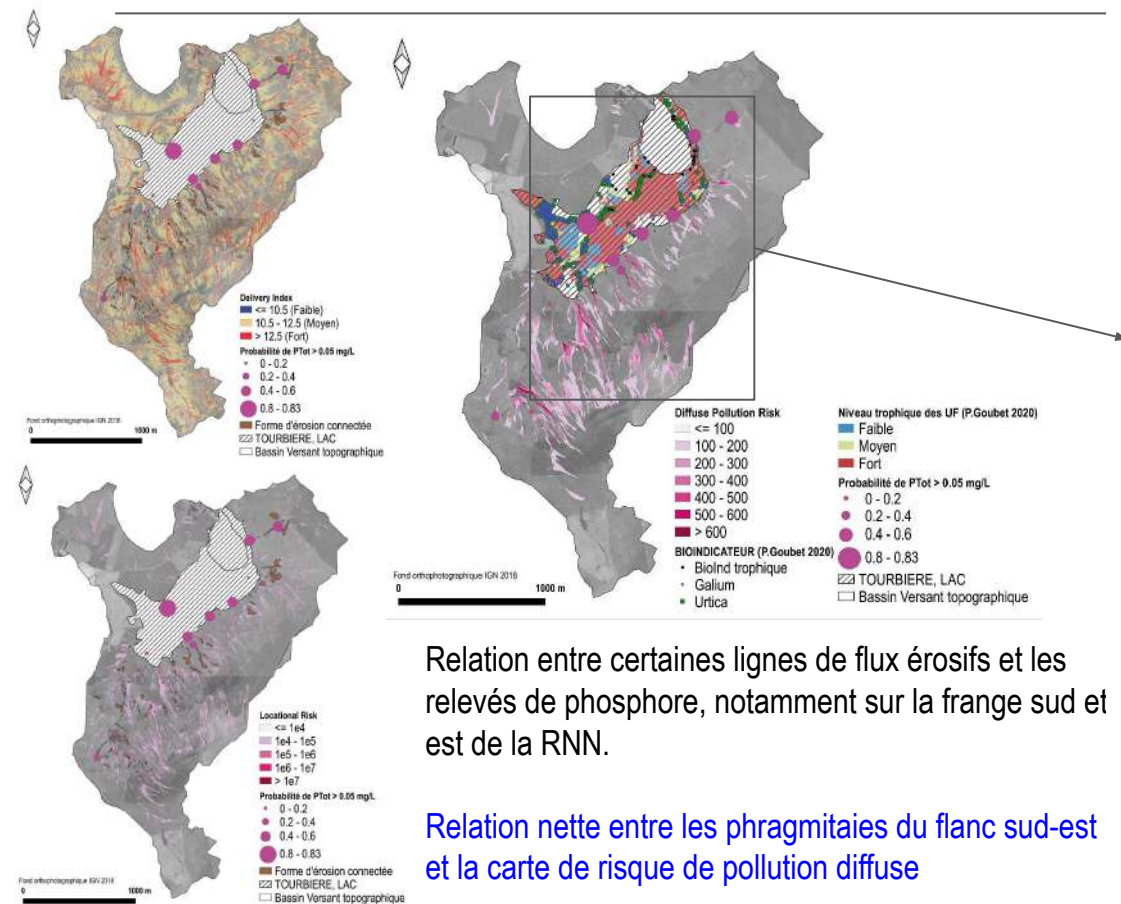


Cartographie des formes d'érosion : Photointerprétation + **analyse visuelle du LiDAR (ombrage + pente)** + terrain

Préparation du LiDAR => algorithme de filling de Planchon et Darboux (2001) adapté aux zones planes

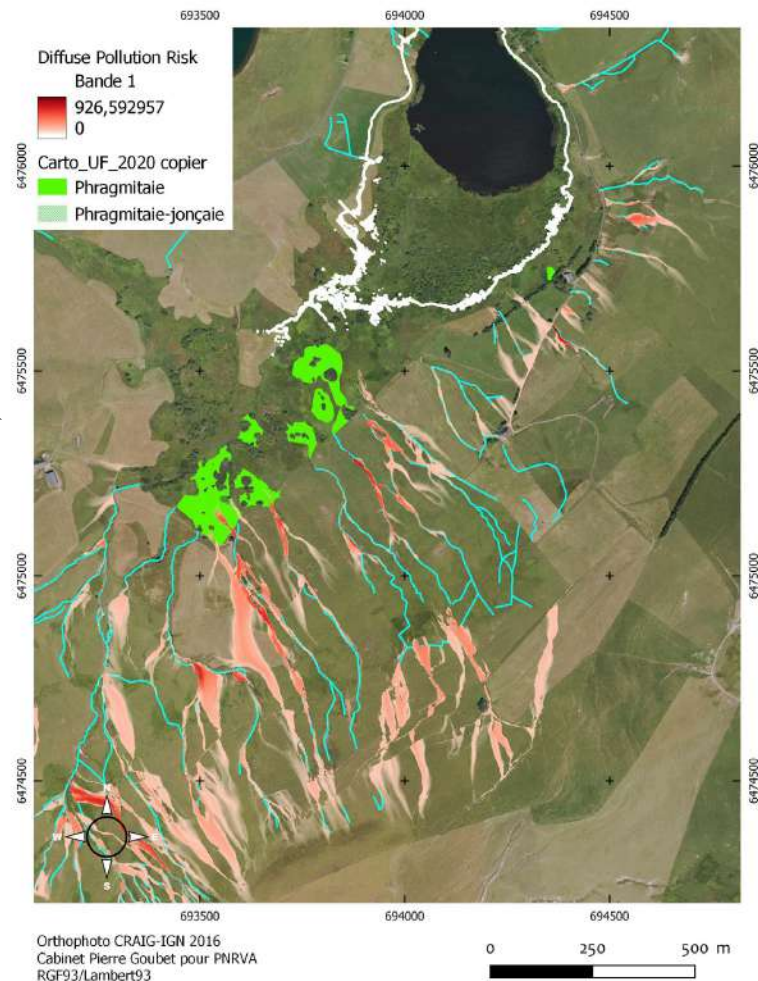
Définition de pluie projet de temps de retour décennal = 120 mm/24h

Vers la modélisation des flux trophiques...Le Lac d'En Bas



Relation entre certaines lignes de flux érosifs et les relevés de phosphore, notamment sur la frange sud et est de la RNN.

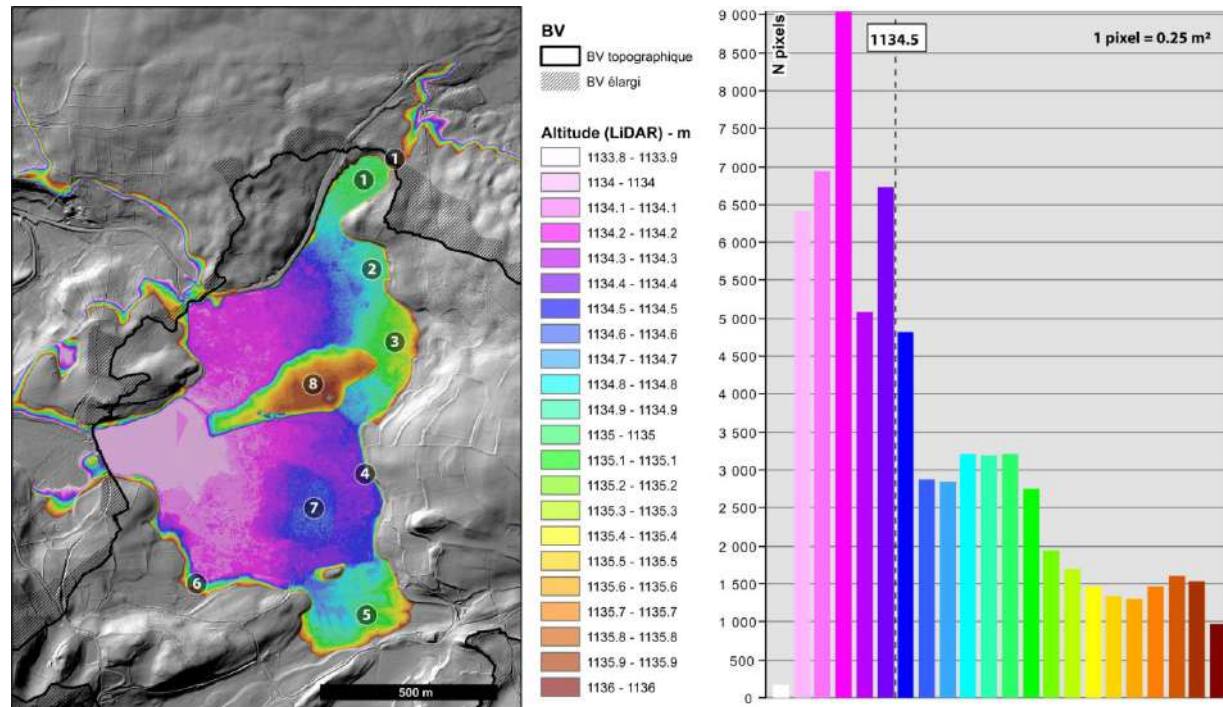
Relation nette entre les phragmitaies du flanc sud-est et la carte de risque de pollution diffuse



Vers la modélisation des flux trophiques...La tourbière du Jolan

Problème de boisement et de fermeture du complexe tourbeux => hypothèse "classique" de diminution de l'alimentation en eau

=> MAIS l'hypothèse d'une pollution au phosphore est également envisageable !!!



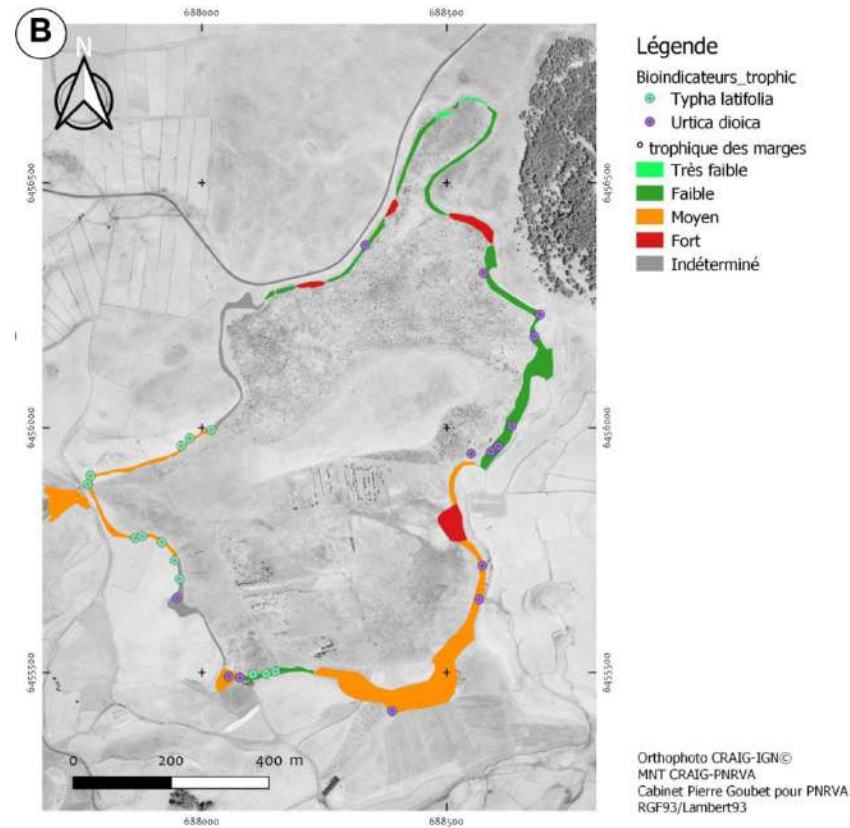
Problématique du micro-relief avec des variations infradécimétriques qui sont importantes du point de vue de l'écologie fonctionnelle et définissent des marges différentes

Couverture andosolique à forte rétention potentielle en P et pratiques agricoles à apport de nutriments

Méthodologie basée sur la disponibilité d'un LiDAR de haute précision avec mise en place d'une chaîne de modélisation de l'érosion, des relevés de flux de P, des bio-indicateurs

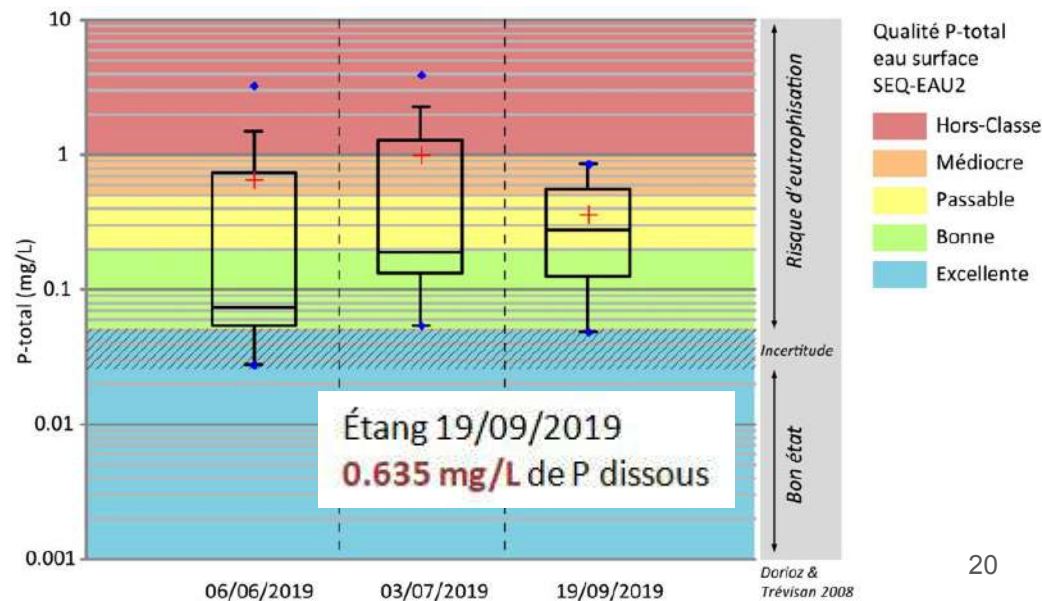
Application de SCIMAP + analyse altimétrique fine au niveau du complexe tourbeux

Vers la modélisation des flux trophiques...La tourbière du Jolan

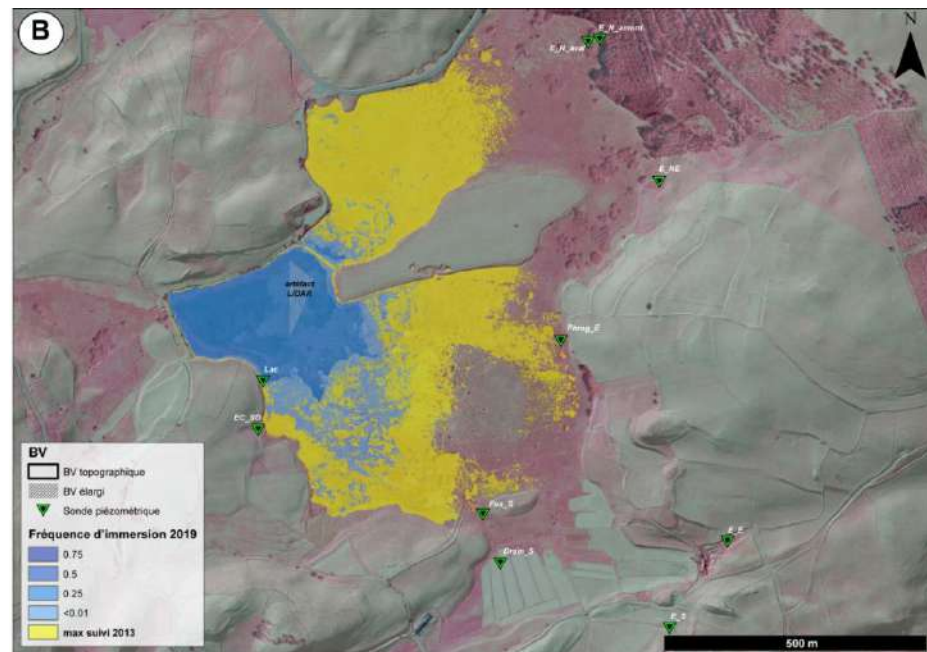
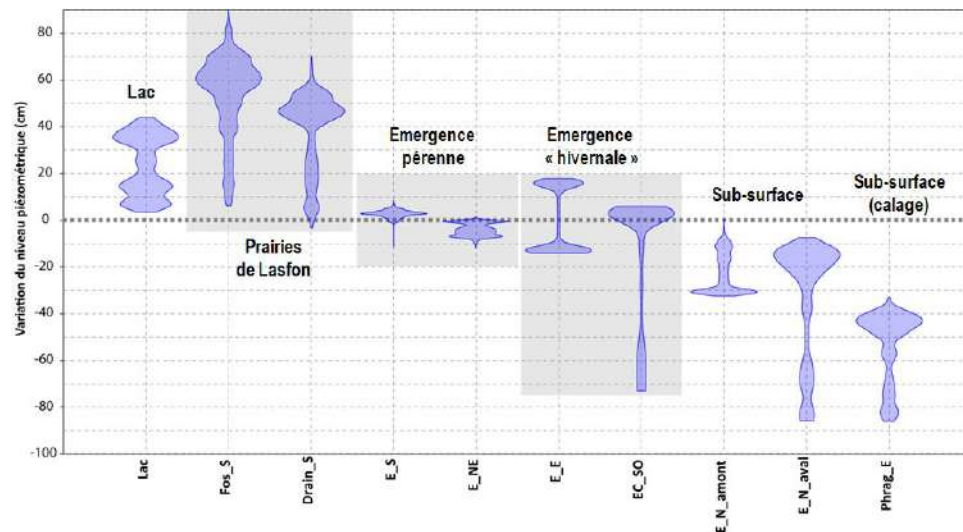


Importance des indicateurs trophiques sur les marges et présence importante de phosphore dans le bassin versant avec des taux médiocres à hors-classe selon les points

Le lac se présente comme une source majeure de phosphore dissous



Vers la modélisation des flux trophiques...La tourbière du Jolan



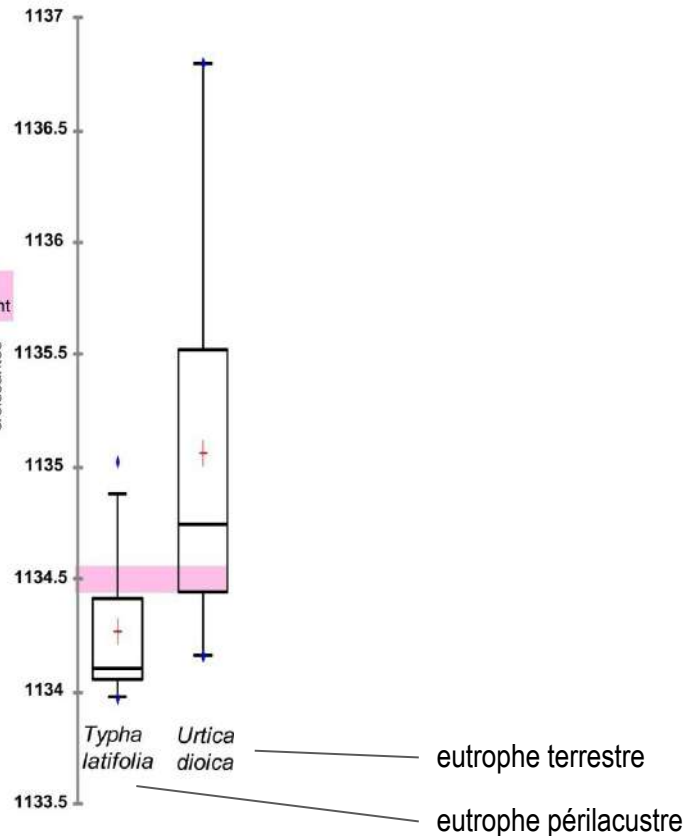
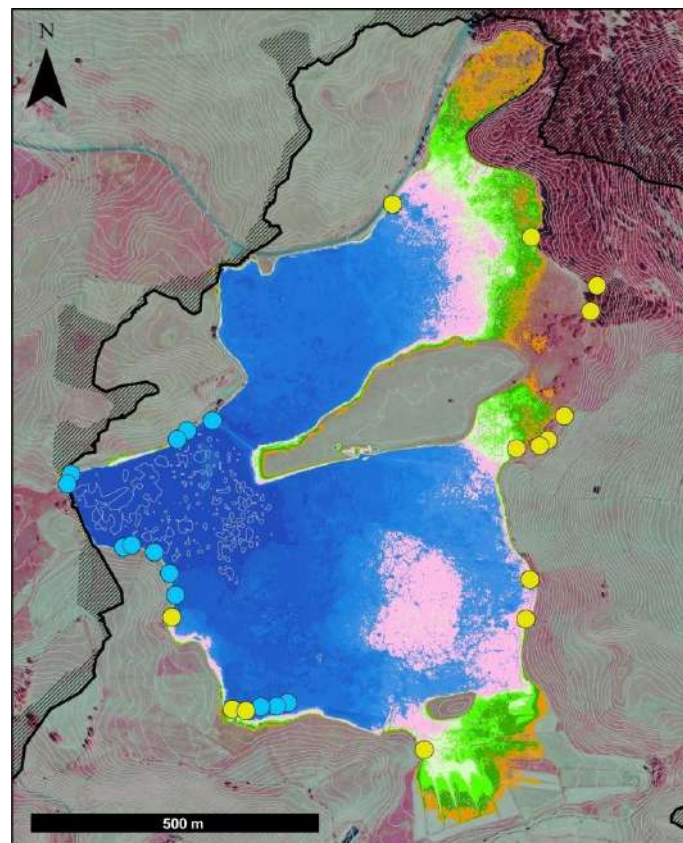
Un système mixte :

- apports de N et P par l'érosion au niveau des marges = SCIMAP
- apports de PO₄ par le lac en fonction des niveaux d'inondation = analyse fine des fréquences d'inondation et importance de la microtopographie

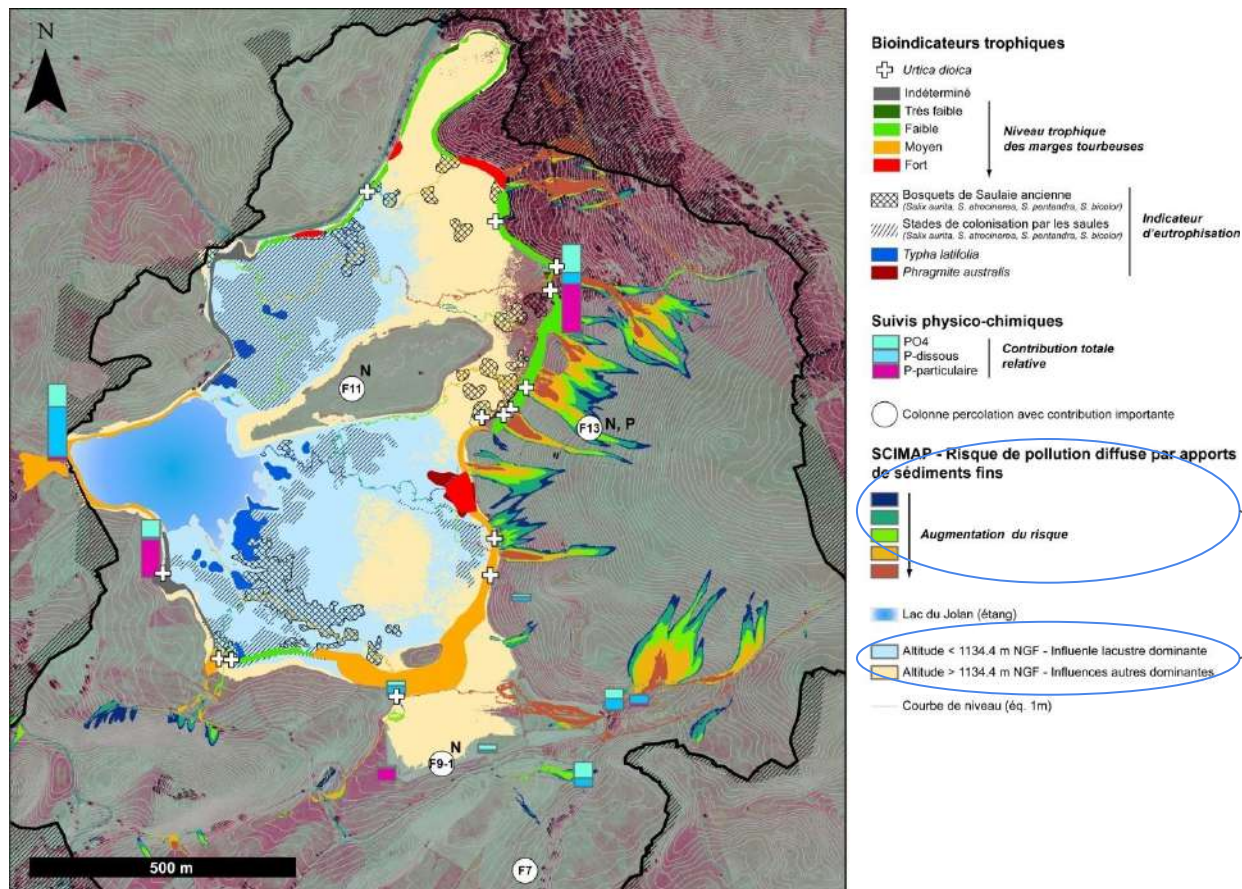
Synthèse des fréquences d'immersion d'après les chroniques de 2018/2019 et 2012/2013.

Importance d'une donnée LiDAR de haute précision

Vers la modélisation des flux trophiques...La tourbière du Jolan



Vers la modélisation des flux trophiques...La tourbière du Jolan



modélisation des deux systèmes de transfert hydro-sédimentaires et trophiques comme dérivées des données LiDAR

Apport indéniable du LiDAR pour la compréhension et la modélisation de processus de transfert hydro-sédimentaires et trophiques fins

MAIS, implique d'importantes études fondamentales en amont pour capter les processus en jeu.

L'analyse LiDAR et la modélisation seules ne peuvent répondre aux enjeux de l'écologie fonctionnelle

LiDAR = outil (formidable) d'assistance à l'analyse fonctionnelle

La disponibilité d'un MNT produit à partir d'un levé lidar devient une des conditions de réalisation d'un diagnostic fonctionnel de complexe humide.

La question devient: faut-il investir dans de la connaissance sans MNT Lidar? La réponse est souvent non.

Merci de votre attention !

