

Principaux ateliers effectués lors de la visite

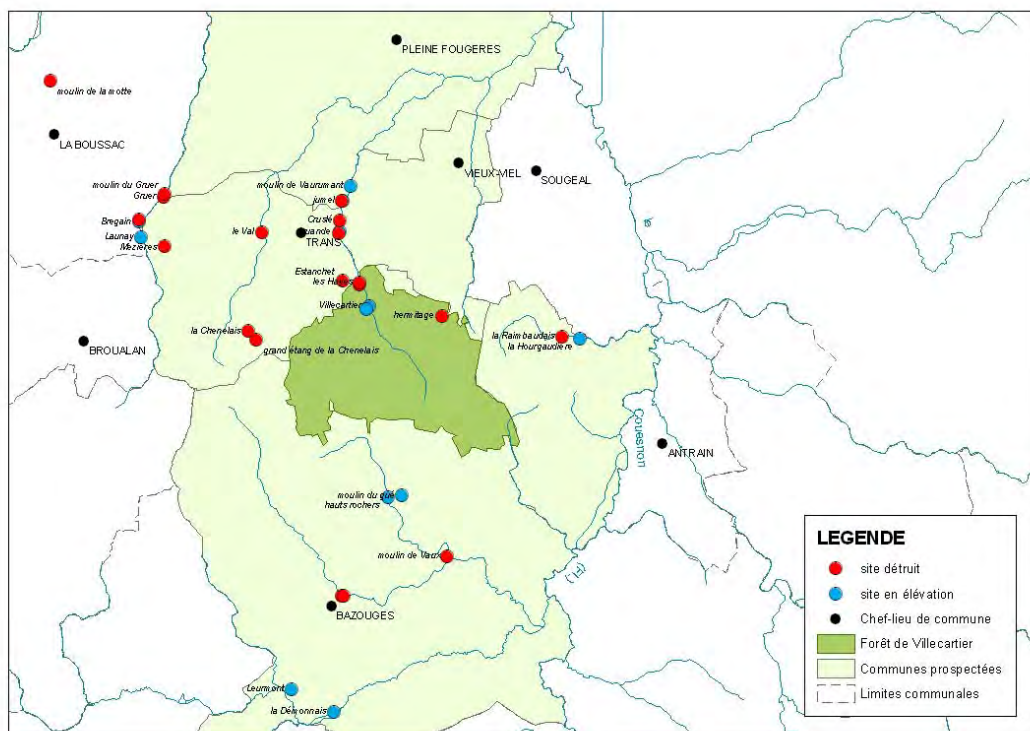
Reconstitution de paysages passés et de leur évolution autour des cours d'eau à partir de l'étude de restes des digues et de moulins médiévaux

> OBJECTIFS :

- Étudier comment l'homme aménage les cours d'eau sur huit siècles et pour quel(s) usage(s)
- Envisager l'impact de ces aménagements ou de leur abandon sur le paysage

> METHODES :

- Recherche des vestiges le long des cours d'eau
- Étude des archives pour relever les mentions de structures et d'activités
- Relevés topographiques des structures archéologiques non détruites



Carte des sites archéologiques repérés sur la Zone atelier en 2011 et 2012

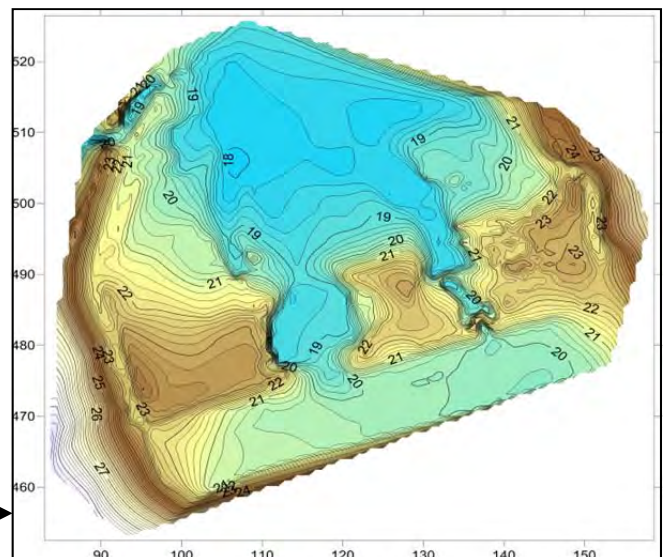


www.cnrs.fr

> RESULTATS :



Relevés archéologiques au tachéomètre laser d'une ancienne digue d'étang



Exemple de relevé topographique : digue de l'étang de Launay (Trans-la-Forêt, 35) (17^e?-20^e siècle)

Longueur : 160 m, largeur : 15 m



www.cnrs.fr

Utilisation des pollens dans les tourbières pour reconstituer les paysages anciens

> OBJECTIF : reconstituer le paysage ancien et son évolution à partir de l'étude des pollens fossiles conservés dans des carottes de tourbe

> METHODES :

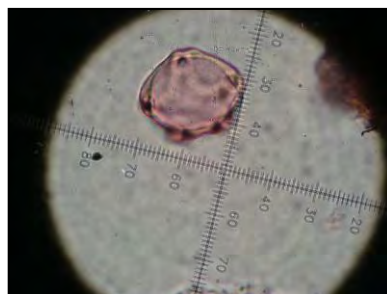


Sondage palynologique sur le marais du Mesnil à l'aide d'un carottier



Partie d'une carotte de sédiment

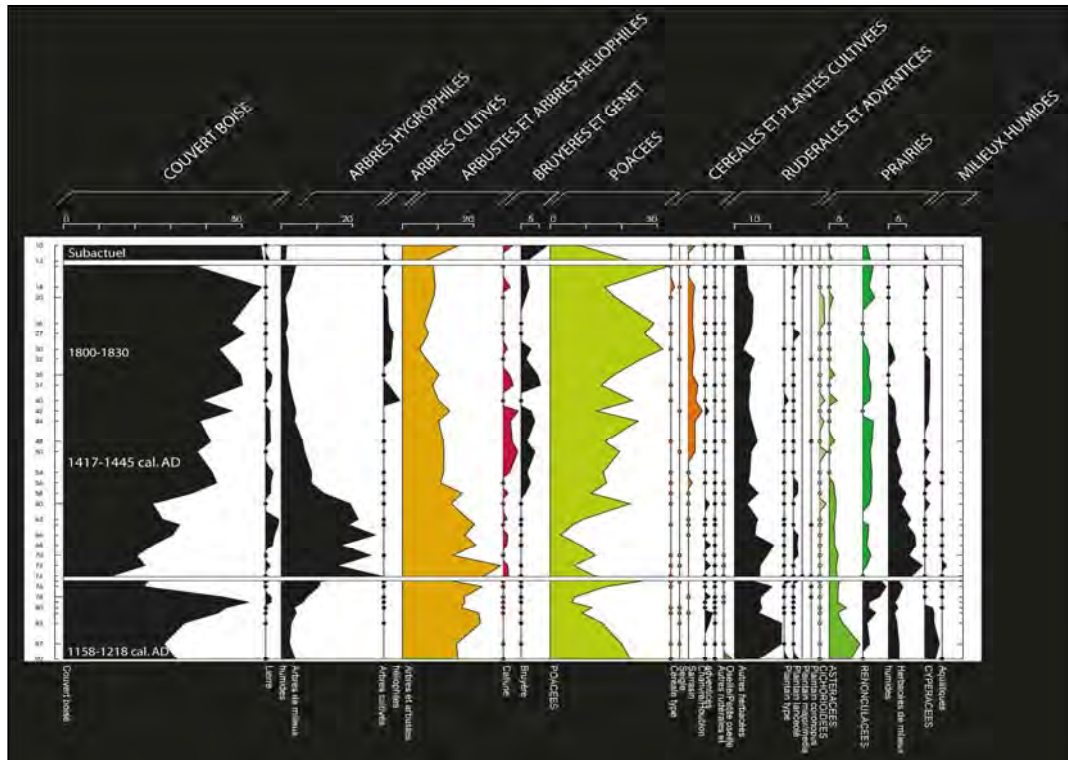
= 1 cm



Détermination de 500 pollens pour chaque centimètre traité.

Ici : pollen d'aulne

Extraction des pollens par traitement chimique pour chaque centimètre



Le graphique ci-dessus représente la quantité de pollen de différents groupes de plantes accumulé à différentes profondeurs dans la tourbe, chaque niveau correspondant à une date (1158, 1417, 1800). Ceci donne une image de l'évolution de la végétation depuis l'an 1200 (environ) jusqu'à l'actuel. Les dates sont déterminées par le carbone 14.

> **RESULTATS :**

L'assemblage des taux de chaque pollen pour chaque centimètre de sédiment traité retranscrit l'évolution de la végétation sur plusieurs siècles.

Les résultats sont présentés dans le schéma ci-dessus sous la forme d'un diagramme palynologique. Les chercheurs ont ainsi pu mettre en évidence, selon toute vraisemblance, la plantation d'une haie de châtaignier vers 1400 car le pollen de cette espèce augmente à cette période alors que celui des espèces des champs et des prairies ne diminue pas, comme c'est le cas en période d'abandon de l'agriculture et de progression des boisements.



www.cnrs.fr

Circulation et qualité de l'eau

La Zone atelier Armorique présente une grande diversité en termes de structures du paysage avec un gradient de densité du bocage décroissant de l'amont vers l'aval du bassin versant. Le réseau hydrographique se caractérise par la présence de **plusieurs zones humides**. Le contexte topographique, géologique et pédologique³ du site de Pleine-Fougères en fait un site privilégié pour étudier les relations entre les structures du paysage et les flux d'azote à l'exutoire des bassins versants qui les drainent (cet exutoire peut être un cours d'eau ou bien la mer).

Les bassins versants de la Zone atelier ont été étudiés dans le cadre du projet ANR Acassya⁴ : un suivi hydrologique et climatique a été installé en 2009. L'instrumentation mise en place permet de suivre les chemins de l'eau à l'échelle du versant (suivi de l'eau du sol, de la dynamique de la nappe et du débit à l'exutoire). Ce suivi a été récemment complété par un suivi hydrogéochimique au niveau de six bassins versants. Six points de mesure sont équipés avec des sondes multi-paramètres qui permettent de **mesurer en continu le nitrate**, l'ammonium, la conductivité électrique, le pH, la température, et le niveau de l'eau dans le cours d'eau.

> **OBJECTIF** : relier les flux d'éléments dissous mesurés dans la nappe et à la sortie des bassins versants aux structures du paysage en amont (bocage, ripisylve⁵, pratiques agricoles, étendue des zones ripariennes – ce sont des zones plus ou moins larges longeant un cours d'eau soumises à des inondations et recouvertes de végétation⁶, ...).

La connaissance des sources et des puits de l'azote dans les versants et dans la zone riparienne est nécessaire pour différencier les processus hydrogéochimiques du sol et de la nappe de ceux des cours d'eau.

> **EXPERIENCES PRESENTEES** :

- Au niveau du versant, réaliser des mesures de la teneur en eau du sol (sonde capacitive), du haut de la nappe (capteur de niveau et sonde lumineuse) et analyser la composition chimique de la nappe en utilisant la sonde UV (scan)
- Au niveau du cours d'eau, mesurer la minéralisation des nitrates et de l'ammoniaque grâce à la sonde scan

³ Relatif à l'étude des sols

⁴ Accompagner l'évolution agro-écologique des systèmes d'élevage dans les bassins versants côtiers

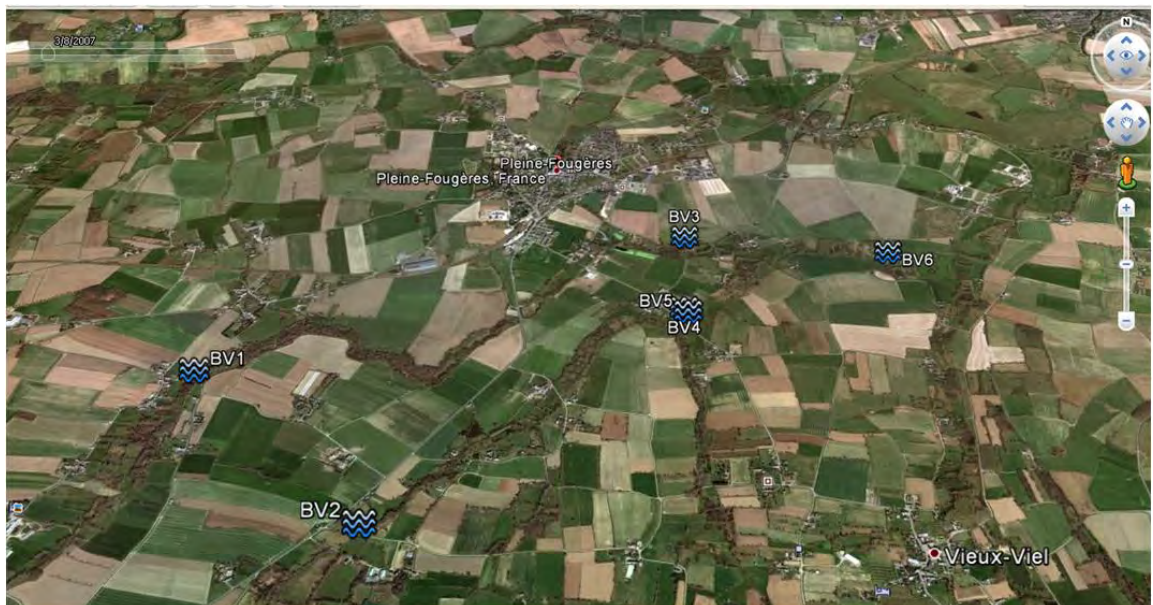
⁵ Végétation bordant les milieux aquatiques

⁶ Cette bande est une véritable zone tampon entre le cours d'eau et les terres environnantes. Ces zones ripariennes sont très importantes d'un point de vue écologique mais aussi pour la gestion du territoire, car, en plus d'être un écosystème riche, elles jouent un rôle important contre l'érosion des sols.



www.cnrs.fr

> DISPOSITIF de SUIVI des BASSINS VERSANTS :



Vue oblique de la position des points de prélèvements d'eau pour en mesurer les caractéristiques (image Google Earth)

> PRINCIPAUX RESULTATS :

Que ce soit pour la qualité physico-chimique de l'eau (teneur en nitrates, phosphates) ou la biodiversité aquatique, **le rôle du paysage du bassin versant est essentiel car il contrôle les relations entre le milieu terrestre et le milieu aquatique.** Les chercheurs ont montré que la charge en nutriments augmente des bassins forestiers aux bassins dominés par les cultures annuelles. *A contrario*, les prairies permanentes et les haies jouent un rôle tampon qui limite les apports en nutriments (azote, phosphore) du bassin versant au ruisseau.



www.cnrs.fr

Rôle des bandes enherbées

Réduction des contaminations environnementales d'origine agricole : importance du compartiment végétal dans les fonctions épuratrices des bandes enherbées

Depuis plusieurs décennies, l'agriculture s'est fortement intensifiée, ce qui s'est accompagné d'une très forte utilisation des produits phytosanitaires et des fertilisants. Or, une faible proportion des substances épandues atteint *in fine* leurs cibles. Le reste est dispersé dans l'environnement (eau, sol, atmosphère) aboutissant à une contamination générale des milieux (Inra/Cemagref, 2005). En Bretagne, 50% des rivières dépassent les seuils de contamination autorisés (Observatoire de l'eau, données 2006-2007). Ces **contaminations en produits azotés et phytosanitaires** ont des impacts significatifs sur l'environnement (dysfonctionnement des écosystèmes, modifications, voire érosion locale de la biodiversité) et en santé humaine (effets hormonaux, neurotoxiques et carcinogènes). La **réduction de la contamination des milieux** est donc aujourd'hui un sujet majeur d'actualité.

Afin de diminuer les contaminations d'origine agricole, de nouvelles législations ont été mises en place (Directive-Cadre sur l'Eau, 2000). Parmi elles, la mise en place le long des cours d'eau de dispositifs végétalisés agro-paysagers appelés **bandes enherbées** vise à limiter les flux de polluants, qu'il s'agisse de pesticides ou de fertilisants, en aval des cultures. Elles constituent des zones tampons capables de réduire la contamination des écosystèmes terrestres et aquatiques (Marshall et Moonen, 2002).

Le fonctionnement des bandes enherbées est en partie lié aux actions physiques et chimiques des plantes sur le sol. Ces bandes favorisent les phénomènes d'infiltration, de rétention, et de dégradation microbienne des contaminants. Dans un tel schéma, les plantes constituent des acteurs indirects de la réduction des contaminations environnementales. Cependant, les plantes peuvent présenter différents niveaux de sensibilité aux contaminants ainsi que différentes capacités d'absorption de polluants (i.e. pesticides). Le compartiment végétal, qui détermine le maintien pérenne de la couverture herbeuse, et qui représente une source potentielle de rétention des contaminants peut donc être aussi un acteur majeur du rôle tampon des bandes enherbées.

> OBJECTIF : caractériser le rôle du compartiment végétal dans la fonction épuratrice et remédiatrice des bandes enherbées

> PROBLEMATIQUES et PREMIERS RESULTATS :

Pour cela, trois questions sont posées :

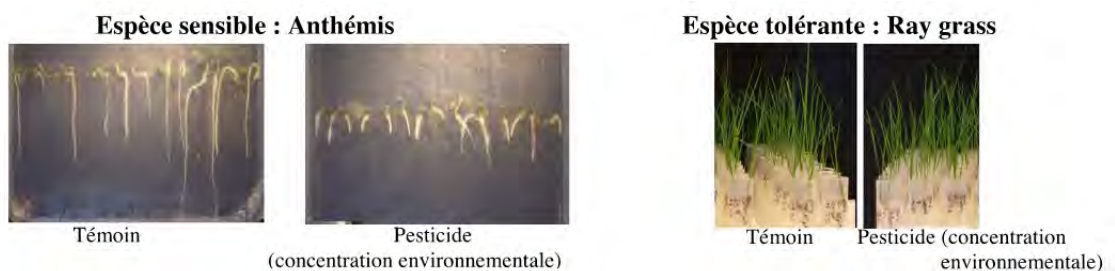
1. *Quelles espèces végétales utiliser pour l'installation de bandes enherbées ?*

Il n'existe en effet aucune recommandation quant à la composition végétale des bandes enherbées. Or, les flux récurrents de contaminants sur ces bandes représentent pour les plantes un stress chimique. Les capacités des espèces à se développer et se maintenir en présence de contaminations agricoles constituent donc la clé de l'établissement et de la pérennité du couvert végétal de la bande. Ce projet cherche à caractériser au laboratoire le niveau de sensibilité ou de tolérance aux contaminations environnementales en pesticides de différentes espèces végétales susceptibles d'être implantées dans les bandes enherbées. **Parmi les espèces testées, certaines graminées** (par exemple, le ray-grass, une des graminées fourragères les plus utilisées en France et notamment en Bretagne) **se sont révélées**



www.cnrs.fr

particulièrement tolérantes aux contaminants et constituent donc de bonnes espèces candidates à planter en bordure de champs.

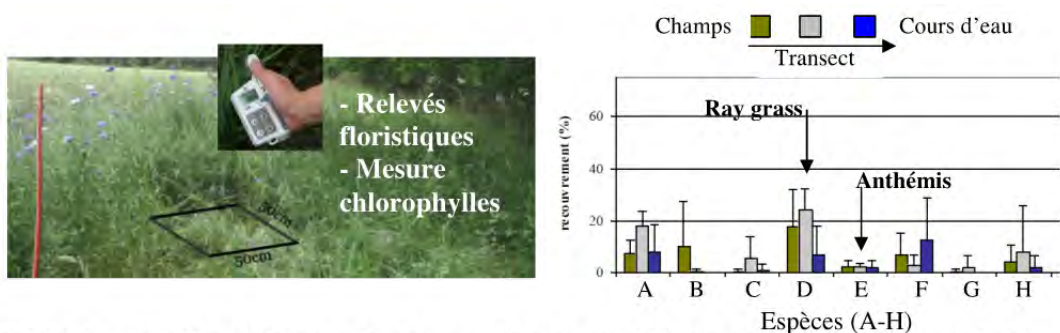


Mise en évidence des différences de réponses aux pesticides chez les espèces végétales testées.

2. Comment évolue au cours du temps la composition floristique des bandes enherbées ?

A partir d'un semis initial (2010) composé d'une dizaine d'espèces, la végétation a été suivie pendant deux ans afin de mettre en évidence l'évolution de la végétation sur des zones soumises à des flux récurrents de contaminants agricoles. Le niveau de pigments photosynthétiques a également été quantifié pour chaque espèce comme marqueur du stress subi par les plantes. L'un des objectifs était de voir si les espèces identifiées comme tolérantes aux pesticides en laboratoire présentaient une bonne capacité d'implantation au sein des bandes enherbées.

Les résultats de la première année ont montré que certaines espèces tolérantes aux pesticides présentaient sur le terrain une abondance significative. La quantification des pigments photosynthétiques semble toutefois indiquer que les plantes se trouvent, au sein des bandes enherbées, en situation de stress modéré.



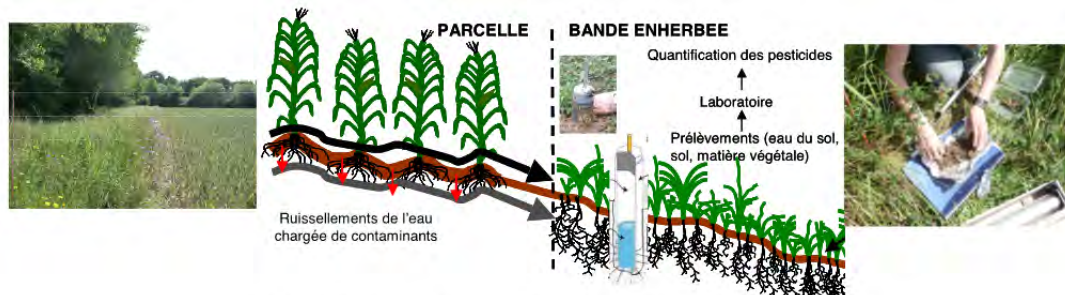
Suivi de la composition floristique et d'un marqueur de stress associé du couvert végétal d'une bande enherbées

3. Le compartiment végétal constitue-t-il un compartiment de rétention des contaminants au sein des bandes enherbées ?

Des échantillons de sol, d'eau du sol et de végétation ont été prélevés juste après les épandages et en fin de saison de culture (contamination résiduelle) dans les parcelles cultivées et à différents niveaux des bandes enherbées. Ces échantillons ont été analysés afin de quantifier leur teneur en pesticides. Les résultats sont en cours d'analyse.

Ils permettront :

- de caractériser le niveau de contamination et par conséquent de stress chimique auquel la végétation est soumise au sein des bandes enherbées,
- de déterminer l'efficacité rémédiatrice de ces dispositifs enherbés en terme d'amélioration de la qualité de l'eau,
- de mettre en évidence le potentiel d'absorption et d'accumulation de pesticides du compartiment végétal.



Etude *in situ* des capacités rémédiatrices des bandes enherbées



www.cnrs.fr

Etude des relations entre paysages et risques sanitaires

Le projet OSCAR : Outil de simulation cartographique à l'échelle du paysage agricole du risque acarologique

> OBJECTIF : comprendre le rôle du paysage – dont la mosaïque de milieux est fréquentée et parcourue de façon différentes par les tiques, les hôtes et les réservoirs des agents pathogènes (micromammifères, chevreuils, animaux de rente...) dans l'épidémiologie des maladies transmises par les tiques (maladie de Lyme, anaplasmose et piroplasmose bovine).

Il s'agit d'un projet pluridisciplinaire impliquant cinq laboratoires de l'Inra et du CNRS (Nantes, Rennes, Clermont-Ferrand, Montpellier et Toulouse) et associant des spécialistes de l'écologie des tiques, des micromammifères, des chevreuils ainsi que des dynamiciens et généticiens des populations et des épidémiologistes.

> METHODES d'ECHANTILLONNAGE (présentées sur le terrain) :

1. Les tiques / Collecte par la méthode du drap



Les tiques, attendant le passage d'un hôte à l'affût à l'extrémité de brins d'herbe, s'accrochent à un tissu (drap) qu'on passe sur la végétation. On peut ainsi estimer leur densité et une fois au laboratoire faire des analyses après tri, identification et extraction de l'ADN (recherches d'agents pathogènes ou mesure de flux de gènes entre populations avec des outils de biologie moléculaire).

90 lignes de 10 fois 10 m² réparties dans 4 secteurs de la Zone atelier (cœur de forêt, lisière de forêt, bocage dense, bocage ouvert) sont ainsi échantillonnées deux fois par an (printemps et automne).

2. Les micromammifères / Piégeage avec appât

Les micromammifères (principalement mulots sylvestres et campagnols roussâtres) sont capturés vivants dans des pièges « couloir » (avec bascule et dortoir) où sont placés des appâts (morceaux de pommes, mélange de graines). Au laboratoire, les tiques et des tissus (sang, rate) sont prélevés pour rechercher des agents pathogènes.



www.cnrs.fr

24 lignes de 32 pièges (placés sur un transect de 100 m de long) réparties dans les 4 secteurs sont ainsi échantillonnées deux fois par an (printemps et automne).



3. Les chevreuils / Indice kilométrique d'abondance (IKA)



La densité de chevreuils est mesurée au moyen d'indices kilométriques d'abondance (IKA) : le long d'itinéraires (constants) parcourus en voiture, on estime ainsi le nombre de contacts visuels de chevreuils, ainsi que la distance du chevreuil à l'observateur grâce à un télémètre laser. En raison de la visibilité variable des animaux dans les différents milieux traversés (plus ou moins ouverts/denses...), ces IKA sont corrigés par la prise en compte de l'hétérogénéité du paysage.

> PREMIERS RESULTATS (projet ayant débuté en mai 2012) :

- Plus de 3 000 tiques (de 3 espèces dont 99% d'*Ixodes ricinus*, l'espèce de tique la plus répandue en France) ont été collectées en 2012 (90% au printemps). L'abondance locale des tiques est fortement liée à la présence d'éléments boisés (massif forestiers, bois, larges haies) et elles sont absentes des bordures de pâtures où il n'y a pas suffisamment d'arbres.
- L'année 2012 a montré une **abondance record de micromammifères** dans la Zone atelier (501 animaux capturés ; 57% à l'automne ; 4 espèces dont 73% de mulots sylvestres).
- 3% des tiques ou des micromammifères analysés sont porteurs d'*Anaplasma phagocytophilum*, agent infectieux de l'ehrlichiose granulocytaire bovine et de *Borrelia spp.* ; la prévalence de *Babesia spp.* est de l'ordre de 5%.



www.cnrs.fr

Comment circulent les espèces en fonction du paysage (bocage, parcelles agricoles)

> OBJECTIF : mettre en relation les cartes de structures paysagères et les pratiques agricoles en lien avec la distribution des espèces animales et végétales (dont la liste est obtenue par échantillonnage)

> METHODES d'ECHANTILLONNAGE (présentées sur le terrain) :

1. Les insectes marcheurs



Pot piège dans lequel tombent les insectes marcheurs

Paroi en plexiglas qui permet de stopper les mouvements entre deux parcelles et d'évaluer, ainsi, les variations de déplacement entre cultures



Exemple : *Pterostichus melanarius*

2. Les insectes volants



Exemple : l'abeille



www.cnrs.fr



Couppelles colorées attirant les insectes se nourrissant sur les fleurs

Filet pour attraper bourdons, papillons et abeilles

> OBSERVATION des ACTIVITES AGRICOLES :

1. Observation sur le terrain



Talud fauché fleuri



Talud fauché



Talud traité à l'herbicide

2. Cartographie par télédétection (cf. fiche sur la télédétection)

À partir des cartes, il est possible de connaître le paysage environnant, son histoire récente pour en mesurer l'effet sur la biodiversité.

3. Enquête auprès des agriculteurs

De nombreuses pratiques comme la fertilisation, les dates de semis et de récolte, ne peuvent être connues que par enquête.



www.cnrs.fr

Ces différents types d'information sont combinés pour voir leur relation avec la présence ou l'abondance des différentes espèces. Un site de recherche à long terme comme la Zone atelier permet de voir si ces relations sont stables ou bien varient au cours du temps.

> PRINCIPAUX RESULTATS RECENTS :

- sur la biodiversité (nombre d'espèces sur le paysage bocager de Pleine-Fougères (9 000 ha))

Plantes à fleur	208	Micromammifères	11
Coléoptères carabiques	65	Abeilles sauvages	53
Papillons	23	Oiseaux nicheurs	84

- L'abondance de prairies, y compris temporaires, dans un rayon de 1 500 mètres augmente la diversité des abeilles et leur abondance (le Féon et al, 2013).

- Les mosaïques de cultures semées en automne (blé) et au printemps (maïs) fournissent des ressources aux coléoptères carabidés sur une période plus longue que l'une ou l'autre culture (Vasseur et al, 2013).



www.cnrs.fr

Analyse de l'occupation des sols et des structures paysagères par télédétection

> OBJECTIF : caractérisation de l'occupation du sol par télédétection (images satellitaires, photographies aériennes)

> METHODOLOGIE GENERALE :

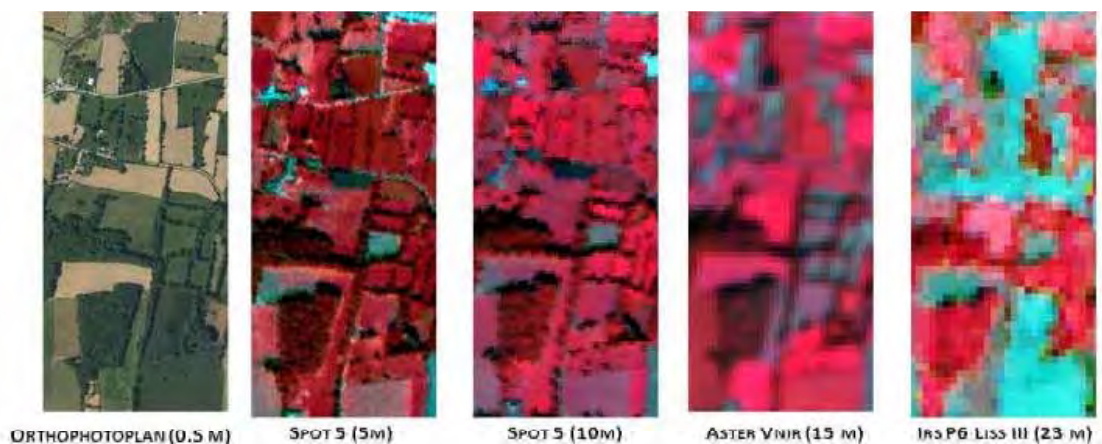
Traitement de l'information spatiale et spectrale des images de télédétection et intégration des résultats dans un système d'information géographique

> SOURCES de DONNEES de TELEDETECTION :

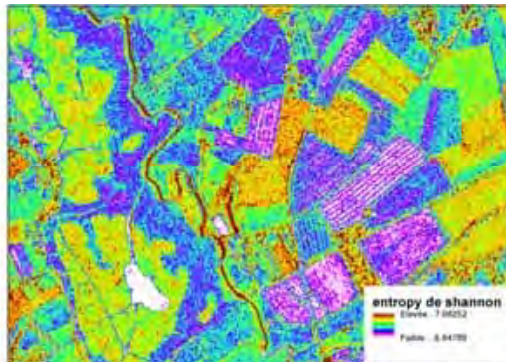
1. Photographies aériennes ULM



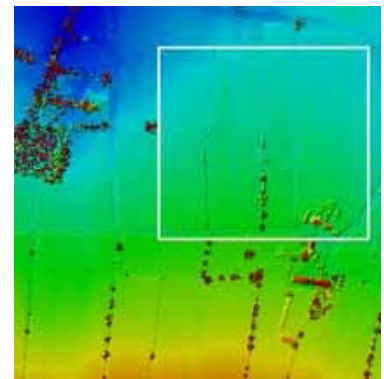
2. Images optiques



3. Images radar et lidar (télédétection par laser)



Entropie de Shannon TerraSAR X (avril 2012)



LIDAR (avril 2009)

> RELEVES de TERRAIN

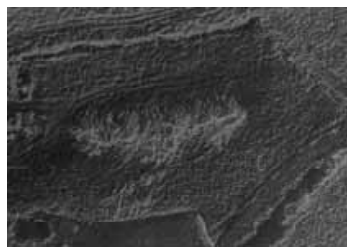
Informations récoltées :

- Occupation des sols
- Densité de végétation
- Hauteur de végétation
- Pratiques agricoles
- Relevés LAI (proportion de la surface du sol recouverte par la végétation) et humidité
- Relevés spectro-radiométriques

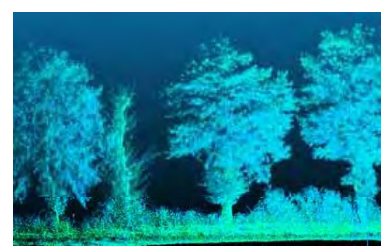
Quelques techniques utilisées :



Image Drone



Modèle numérique d élévation

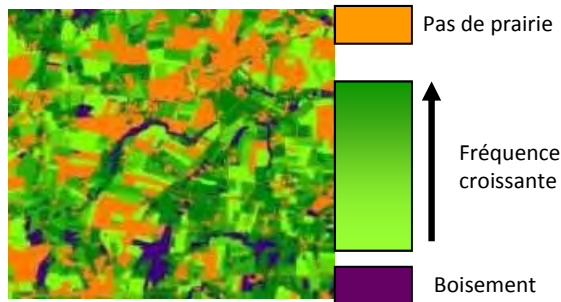


Lidar terrestre

L'image drone, tout comme l'image ULM, permet de cartographier l'occupation du sol. Le modèle numérique d'élévation, obtenu par le lidar, donne le relief avec des différences d'altitude de l'ordre de 50 cm. C'est le même lidar qui permet de donner des images de la végétation, donc de mesurer sa densité et sa hauteur.

> PRINCIPAUX RESULTATS :

**Fréquence de retour des prairies
1996-2006**



1) Images optiques

1) La cartographie ci-dessus a été réalisée à partir de photographies ULM (LETG Rennes). En compilant les cartes, on peut représenter la fréquence des prairies dans les parcelles.



2) Images radar

**Détection et caractérisation
du réseau de haies**



3) LIDAR

2) Le réseau de haies d'une partie du marais du bas-Couesnon est extrait d'une image obtenue par un satellite radar. Les différentes couleurs correspondent à différentes structures de végétation (J. Betbeder, LETG OSUR).

3) Le lidar permet d'obtenir une représentation de la structure des paysages en trois dimensions (J. Nabucet, LETG OSUR).

- Repérage des haies et des structures bocagères ayant un sens écologique (Vannier et al, *Landscape Ecology*)
- Caractérisation des haies par le radar et le lidar : une très bonne correspondance avec les mesures de terrain (Betbeder et al, article en préparation)
- Suivi multi-temporel des zones humides par imagerie radar SAR (Betbeder et al., soumis)
- Cartographie de la fonctionnalité des zones humides (thèse Sébastien Rapinel)
- Cartographie des continuités écologiques (Hubert-Moy et al., 2012)



www.cnrs.fr

Un radar au sol pour mieux décrire les milieux agricoles

Le radar au sol développé par l'équipe télédétection de l'Institut d'électronique et des télécommunications de Rennes (Université de Rennes 1 / CNRS / Insa Rennes / Supelec / Université de Nantes) est un système permettant d'acquérir des images multi-modes (interférométrique, polarimétrique et multifréquences). Cet outil permet d'étudier la réponse électromagnétique des milieux naturels tels que les cultures et les sols agricoles et ainsi de mieux comprendre les images satellitaires. La diversité d'information permet d'estimer à partir d'une image radar les paramètres bio et géophysiques des milieux agricoles (hauteur de végétation, humidité du sol, biomasse).





www.cnrs.fr

Climat et utilisation des terres

> CONTEXTE :

L'environnement à l'échelle mondiale connaît des changements fondamentaux, à des taux de croissance rapide, en grande partie dus aux activités humaines (Lambin et al., 2001). Les principaux facteurs anthropiques du changement dans les systèmes socio-écologiques sont les changements d'occupation et d'utilisation des sols en liaison avec l'intensification de l'agriculture, auxquels s'ajoute le changement climatique global prévu au cours du siècle devenant le principal facteur de déséquilibre (GIEC, 2007). Les liens entre climat et occupation du sol sont rétroactifs et complexes en raison entre autres, de l'imbrication des échelles spatio-temporelles qu'ils affectent. L'utilisation des terres et les types de sol déterminent les propriétés de surface des sols (albédo, rugosité de surface, évapotranspiration). Ces propriétés ont un effet biophysique sur le climat en modifiant les échanges radiatifs de surface. Par ailleurs, les changements climatiques locaux contribuent à leur tour au changement climatique global.

Depuis plusieurs décennies en Bretagne, le paysage traditionnel de « bocage » a progressivement cédé la place à des champs ouverts. D'autre part, les études climatiques ont démontré que le changement climatique en Bretagne est susceptible d'être caractérisé par une augmentation de la température moyenne et de la survenue d'événements extrêmes comme les vagues de chaleur (Mérot et al, 2012). En conséquence, **le changement climatique local, et plus particulièrement la diminution des ressources en eau, aura des implications sur la quantité et qualité des productions agricoles.**

> OBJECTIFS :

Les pratiques agricoles sont suivies depuis plus de 50 ans sur le site d'origine de la Zone atelier Armorique (site de Pleine-Fougères). Depuis 1993, la Zone atelier est le site expérimental d'études scientifiques pluridisciplinaires sur l'occupation des sols par télédétection à l'échelle des parcelles. Enfin, en complément du réseau national de stations météorologiques, un **réseau d'une trentaine de stations** a été déployé depuis quelques années pour enregistrer des données climatiques aux différentes échelles sur les deux sites (cf. ci-dessous cartes de localisation des stations météorologiques).

Il s'agit :

- d'approfondir les connaissances et la compréhension des interactions entre l'utilisation des terres et le climat à petite échelle ;
- de compléter les études des équipes de recherche de différentes disciplines opérant sur ce site et
- de valoriser les données d'observations environnementales recueillies sur ce site par les différentes structures au sein de l'OSUR.

Il est prévu pour cela d'étudier l'impact des activités humaines sur le climat local en modélisant le système atmosphère - surface continentale à petite échelle sur la Bretagne en utilisant un modèle couplé atmosphère - surface continentale.

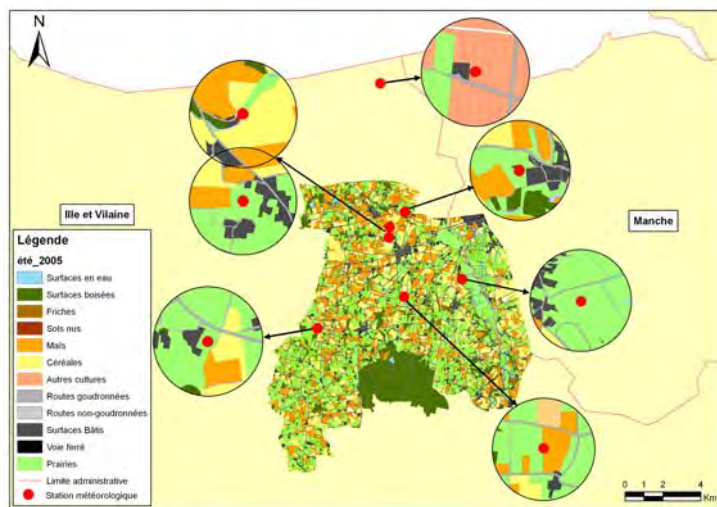
Les résultats permettront de **mesurer les dérèglements que les changements d'occupation du sol occasionnent et / ou pourraient occasionner au cours du siècle, en considérant plusieurs scénarios**



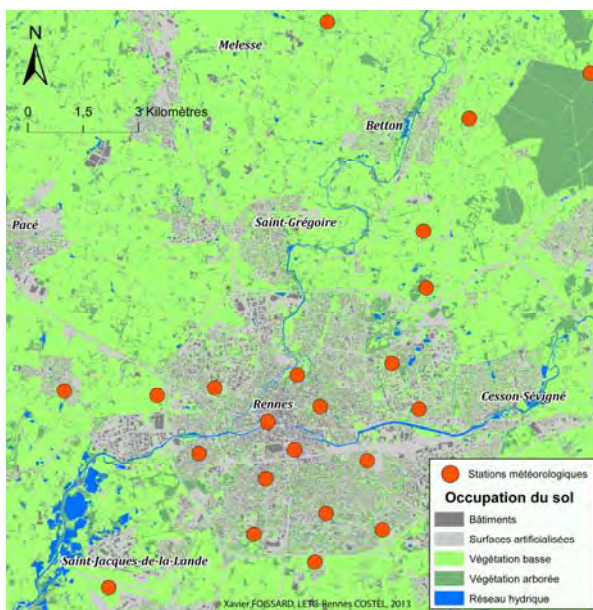
www.cnrs.fr

de changement climatique et de changement d'occupation du sol.

> Dispositif du réseau météorologique sur la Zone atelier :



1. Site de Pleine-Fougères



2. Rennes Métropole