



**LabEx
Dynamite**

Laboratoire d'Excellence
« Dynamiques Territoriales et Spatiales »

Rapport final du projet Sar-Dyn CONNECT-EURE, « Contribution des vestiges du Canal Louis XIV aux continuités écologiques actuelles et passées »

**François Bétard, Clélia Bilodeau, Céline Clauzel, Etienne Grésillon, Paul Passy,
Théophile Piau, Cédric Beaudoin, Hervé Gallépy, Isabelle Le Tellier-Heitz**



L'aqueduc ruiné de Maintenon et la rivière Eure dans le parc du château de Maintenon. © F. Bétard

A. IDENTIFICATION

Acronyme du projet	CONNECT-EURE
Titre du projet	Contribution des vestiges du Canal Louis XIV aux continuités écologiques actuelles et passées
Coordinateurs du projet	François Bétard (UMR 8586 Prodig) et Clélia Bilodeau (UMR 7533 Ladyss)
Période du projet	2021-2023
Site web du projet	https://valeur.hypotheses.org/projet-connect-eure
Rédacteur de ce rapport	François Bétard
Contributeurs de ce rapport	Clélia Bilodeau, Céline Clauzel, Cédric Beaudoin, Hervé Gallépy, Etienne Grésillon, Isabelle Le Tellier-Heitz, Paul Passy, Théophile Piau
Date de rédaction du rapport	Février 2024
Laboratoires partenaires du LabEx Dynamite engagés dans le projet	UMR 8586 Prodig (F. Bétard, P. Passy, T. Piau), UMR 7533 Ladyss (C. Bilodeau, C. Clauzel, E. Grésillon), Géotéca (V. Jurie, I. Marchand), UMR 8167 Orient & Méditerranée (F. Dugast)
Partenaires principaux du monde socio-économique (engagés activement dans le projet)	Association pour l'étude et la sauvegarde des vestiges du Canal Louis XIV (A. Marsot, J. Galland, H. Gallépy), Eure-et-Loir Nature (Eva Chéramy, C. Beaudoin, P. Mulet), AIRD'ECO-Drone (I. Le Tellier-Heitz), ARMEO (H. Gallépy)
Autres partenaires du monde socio-économique (intéressés par les retombées du projet)	Chartres Métropole (Ph. Rossat), Comité Archéo-logique d'Eure-et-Loir (D. Jagu, H. Gallépy), Conseil départemental d'Eure-et-Loir (H. Sellès, O. Labat), DREAL Centre Val-de-Loire (M. Willmes), Société Archéologique d'Eure-et-Loir (J. Clément)
Laboratoire gestionnaire de la subvention	UMR 7533 Ladyss
GT porteurs du LabEx Dynamite	GT « Biodiversité, savoirs, pratiques et engagements », GT « Changements environnementaux et sociétés dans le passé »

B. RESUME PUBLIC (TEL QU'AFFICHÉ SUR LE SITE INTERNET DU LABEX DYNAMITE)

Ce projet vise à évaluer, par le biais d'une modélisation spatiale, l'apport d'une infrastructure hydraulique abandonnée – le Canal Louis XIV ou Canal de l'Eure – à la connectivité écologique fonctionnelle en termes d'habitats disponibles pour les espèces cibles, de corridors facilitant leurs déplacements entre les habitats, ou au contraire de barrières limitant les déplacements. Il s'appuie notamment sur des images acquises par drone et des analyses d'ADN environnemental.

C. RESULTATS MAJEURS DU PROJET

Les principaux résultats attendus au moment du dépôt du projet étaient les suivants :

- 1) Premier inventaire floristique « féral » du sommet de l'aqueduc de Maintenon à partir d'images drone ;
- 2) Premier inventaire batracologique des mares des Terrasses par traçage ADN environnemental ;
- 3) Modélisation des réseaux écologiques du Canal Louis XIV et apport de cette modélisation pour la gestion de la Trame Verte et Bleue ;
- 4) Cartographie diachronique de l'occupation du sol sur les trois siècles d'évolution du Canal Louis XIV.

L'exploitation des images acquises par drone au-dessus de l'aqueduc de Maintenon en juillet-août 2022 est en cours (en lien avec le stage de M1 d'Adèle Guignard, sous la supervision de François Bétard) et devrait déboucher sur les résultats suivants : 1) premier inventaire floristique du sommet de l'aqueduc, inaccessible en prospection pédestre (identification au genre *a minima*), 2) caractérisation de la structure verticale de la végétation (recouvrement en % des différentes strates végétales) et 3) évaluation quantitative du bois mort sur pied et au sol

(nombre de troncs/ha, quantification des volumes de bois mort). Ces différents éléments permettront pour la première fois d'évaluer la biodiversité potentielle du sommet de l'aqueduc de Maintenon en termes de diversité floristique, de potentiel d'accueil pour la faune saproxylique (*i.e.*, liée au bois mort), de zone de repos ou de nidification pour l'avifaune ou encore de corridor de circulation pour l'entomofaune (lépidoptères, odonates).

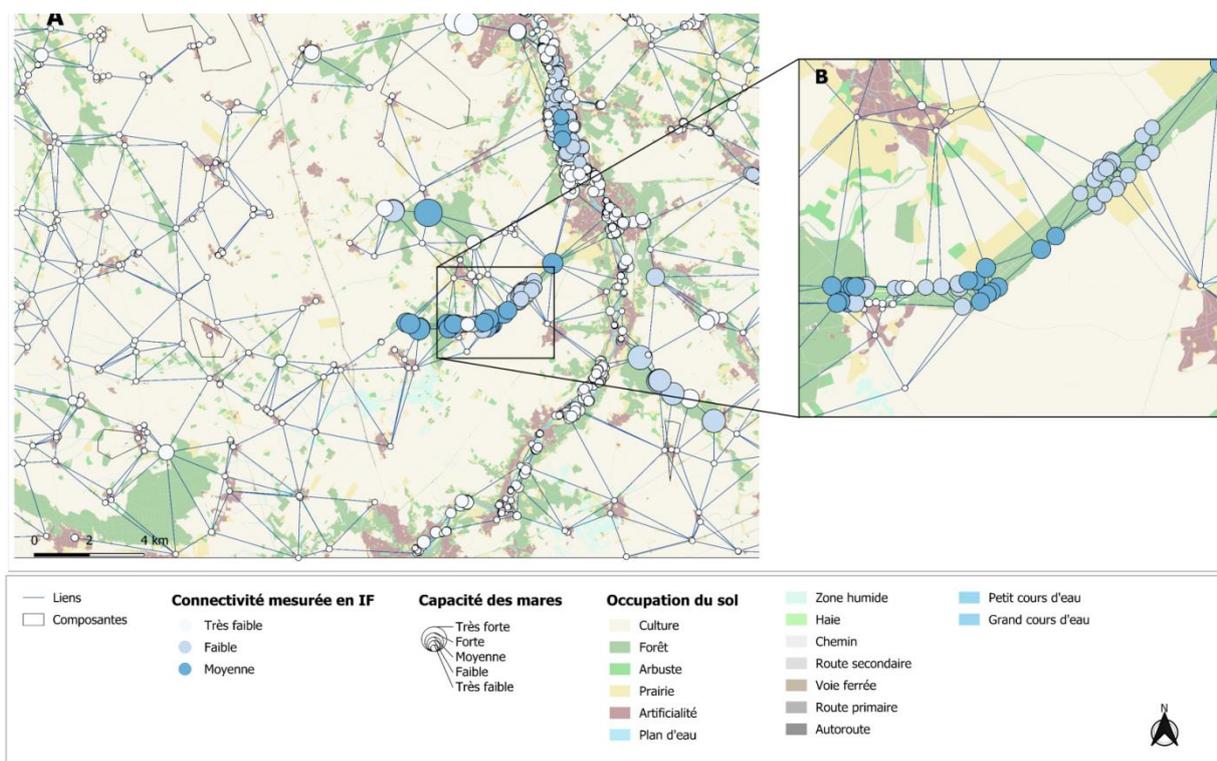
Les 20 mares échantillonnées en mai 2022 (F. Bétard, C. Bilodeau, C. Clauzel, E. Grésillon, P. Passy, T. Piau) pour des analyses ADN ont permis de consolider l'inventaire batracologique des mares des Terrasses de Maintenon et du plateau agricole environnant (fig. 1), avec sept espèces confirmées dont trois espèces de tritons (*Ichthyosaura alpestris*, *Lissotriton vulgaris*, *Triturus cristatus*) classées espèces déterminantes de ZNIEFF en région Centre Val-de-Loire. Ces données ADN, combinées aux données d'inventaire issues des bases SINP, OpenObs et Obs'28, ont servi de socle à la modélisation des réseaux écologiques (voir *infra*). Parallèlement, d'autres inventaires faunistiques ont pu être confortés par les partenaires du projet (Cédric Beaudoin, Eure-et-Loir Nature) sur la période couverte par le programme Sar-Dyn (2021-2023), en particulier l'inventaire des chiroptères et le suivi des effectifs hivernants dans les ouvrages souterrains du Canal Louis XIV (9 espèces de chauve-souris hivernantes).



Fig. 1 – Cartographie des mares des Terrasses de Maintenon (sur fond LiDAR en relief ombré) et résultats des analyses d'ADN environnemental (taxon : amphibiens) sur les 20 mares échantillonnées en mai 2022.

Une cartographie détaillée de l'occupation du sol (2 m) de la zone d'étude a été réalisée au printemps 2022 en vue de modéliser les réseaux écologiques (stage de L3 Pro de Mathieu Defaye, ENSG). Parallèlement, la cartographie des mares a été affinée à partir du traitement semi-automatique des données LiDAR (C. Bilodeau, P. Passy). De premiers tests de modélisation des sous-trames « milieux boisés » et « milieux ouverts » ont été réalisés avec le logiciel Graphab dans le cadre du stage de M1 de Paul Khadri (2022) et consolidés avec le stage d'Imène Belazareg (2023) sous la supervision de Céline Clauzel. Les résultats de ces modélisations (fig. 2) ont permis de démontrer que les mares forestières et semi-forestières des Terrasses de Maintenon contribuent fortement à la connectivité des réseaux de mares, aussi bien pour les espèces forestières d'amphibiens (*e.g.*, *Rana temporaria*) que pour les espèces de milieux plus ouverts (*e.g.*, *Triturus cristatus*). Les analyses effectuées ont également permis d'identifier les secteurs d'intérêt potentiel pour la création/restauration de mares en vue d'une reconnexion entre les sous-réseaux à long terme. L'ensemble de ces résultats (analyses ADN, traitement LiDAR, modélisation des réseaux écologiques) fait l'objet d'une publication internationale (article en préparation).

Le travail de cartographie diachronique de l'occupation du sol sur les trois siècles d'évolution du canal, qui faisait partie des résultats attendus, a finalement été abandonné, en raison de la difficulté à dégager du temps et des moyens humains pour la recherche en archives (en particulier, la consultation systématique des matrices du cadastre napoléonien aux archives départementales d'Eure-et-Loir pour produire une carte d'OS du début 19^e s.).



Réalisation: Imène BELAZEREG, 2023. Source fond de carte: Mathieu DEFAYE, 2022. Logiciels: QGIS, Graphab.

Fig. 2 – Modélisation de la connectivité des réseaux de mares pour les espèces forestières d'amphibiens dans la zone d'étude. Le zoom à droite correspond à la zone centrale du corridor boisé des Terrasses de Maintenon.

D. LISTE DES LIVRABLES

L'ensemble des livrables listés dans le tableau ci-dessous, ainsi que les différents rapports et comptes-rendus, ont été déposés et archivés sur l'espace ShareDocs du projet CONNECT-EURE hébergé par la TGIR Huma-Num.

Date de livraison	N°	Intitulé du livrable	Nature	Partenaires
11/01/2022	1	Extraction des données faune-flore de la base SINP de la région Centre Val-de-Loire sur l'emprise de la zone d'étude	Données	DREAL Centre Val-de-Loire (M. Willmes)
13/02/2022	2	Extraction des données faune-flore de la base d'Eure-et-Loir Nature (Ob's28) sur l'emprise de la zone d'étude	Données	Eure-et-Loir Nature (E. Chéramy)
13/02/2022	3	Mise à disposition des données LiDAR acquises par drone (nuages de points, MNT rasters) sur la partie ouest des Terrasses de Maintenon	Données	AIRD'ECO-Drone (I. Le Tellier-Heitz)
11/03/2022	4	Formation pour 3 personnes aux techniques et protocoles d'échantillonnage pour l'ADNe (protocole VigiDNA) donnant lieu à une certification	Formation	SPYGEN (E. Rostaing)
04/08/2022	5	Livraison des résultats ADNe (amphibiens) et du rapport d'analyses sur les 20 mares échantillonnées sur le terrain en mai 2022	Données	SPYGEN (H. Hutin)
05/10/2022	6	Mise à disposition des données LiDAR acquises par drone (nuages de points, MNT rasters) sur la partie est des Terrasses de Maintenon	Données	AIRD'ECO-Drone (I. Le Tellier-Heitz)
05/10/2022	7	Livraison des images, vidéos et relevés photogrammétriques acquis par drone à l'été 2022 sur l'aqueduc de Maintenon	Données	ARMEO (H. Gallépy)

E. IMPACT DU PROJET ET VALORISATION SCIENTIFIQUE ET PEDAGOGIQUE

E1. Liste des publications et communications

Articles dans des revues internationales à comité de lecture

Bétard F., Clauzel C., Bilodeau C., Grésillon E., Passy P., Piau T. (en préparation) – Effects of ancient hydraulic works on amphibian habitat connectivity: A landscape graph modeling approach. *Physical Geography*.

Articles dans des actes de colloque à comité de lecture

Bétard F., Gallépy H., Clauzel C., Bilodeau C., Grésillon E., Passy P., Piau T. (2024) – Les mares des Terrasses de Maintenon (Eure-et-Loir), témoins historiques des grands travaux hydrauliques du 17^e siècle autour du Canal Louis XIV. In : Canivé J., Sajaloli B., Luglia R. (dir.) : *Actes du colloque "Les mares, un patrimoine naturel construit, un patrimoine culturel négligé"*, sous presse.

Chapitres d'ouvrages collectifs

Bétard F. (2021) – Le Canal de l'Eure de Pontgouin à Rambouillet : du réseau hydraulique au réseau écologique. In : F. Dugast (dir.) : *Formation et gestion des territoires de la Préhistoire à nos jours. Approches et perspectives exploratoires autour de la Vallée de l'Eure*, Editions Mergoïl, Collection « Archéologie du paysage », pp. 351-367.

Gallépy H., Galland J. (2021) – Le Canal Louis XIV, les traces actuelles. In : F. Dugast (dir.) : *Formation et gestion des territoires de la Préhistoire à nos jours. Approches et perspectives exploratoires autour de la Vallée de l'Eure*, Editions Mergoïl, Collection « Archéologie du paysage », pp. 333-350.

Communications dans des colloques internationaux

Bétard F., Beaudoin C., Bilodeau C., Chéramy E., Clauzel C., Dugast F., Galland J., Gallépy H., Grésillon E., Le Tellier I., Marsot A., Mulet P., Passy P. (2022) – A multifaceted historical, ecological and stone heritage complex into an agricultural-dominated landscape: the 17th-century French Royal Canal Louis XIV (Eure-et-Loir, France). *IGU Paris 2022 - Centennial Congress of the International Geographical Union*, Paris, 18-22 juillet 2022, e-poster.

Bétard F., Clauzel C., Bilodeau C., Gallépy H., Grésillon E., Passy P., Piau T. (2022) – Semis de mares forestières associés aux vestiges du Canal Louis XIV (Eure-et-Loir) : de la révélation patrimoniale à la modélisation des connectivités écologiques. *Colloque international "Les mares, un patrimoine naturel construit, un patrimoine culturel négligé"*, Laon, 20-22 octobre 2022, communication orale.

Conférences grand public

Bétard F. (2021) – Les vestiges du Canal de l'Eure et leur apport à la biodiversité actuelle. *Conférence organisée par la Société Archéologique d'Eure-et-Loir (SAEL)*, Médiathèque de Chartres, 5 novembre 2021, communication orale.

E2. Mémoires de stages de licence professionnelle et de master

Defaye M. (2022) – *Cartographie et analyse de la trame verte autour du canal de l'Eure*. Rapport de stage, L3PRO Géomatique, ENSG, 22 p. + annexes (36 p.)

Moretti P. (2022) – *Diversité floristique le long du Canal de l'Eure : caractérisation de la végétation des Terrasses de Maintenon dans le cadre du projet Connect-Eure*. Rapport de stage, M1 Risques et Environnement, parcours Ecosystème et Biodiversité, Université Paris-Cité, 29 p.

Khadri P. (2022) – *Diversité faunistique le long du Canal de l'Eure et modélisation des continuités écologiques associées*. Rapport de stage, M1 Risques et Environnement, parcours Ecosystème et Biodiversité, Université Paris-Cité, 32 p.

Belazereg I. (2023) – *Analyse des continuités écologiques et de la diversité des amphibiens autour du Canal de l’Eure*. Rapport de stage, M1 Risques et Environnement, parcours Ecosystème et Biodiversité, Université Paris-Cité, 30 p.

Guignard A. (2024) - *Caractérisation de la végétation du sommet de l'aqueduc de Maintenon (Eure-et-Loir) à partir d'images drone*. Rapport de stage, M1 Risques et Environnement, parcours Ecosystème et Biodiversité, Université Paris-Cité, en préparation (soutenance prévue en juin 2024).

E3. Actions de diffusion et de transfert avec les partenaires du monde socio-économique

Trois actions à vocation de transfert en direction du grand public et des collectivités locales, en relation avec les partenaires du monde socio-économique engagés dans le projet, sont en cours :

- Portage d'un dossier de demande de création de ZNIEFF au niveau des Terrasses de Maintenon, en partenariat avec la DREAL Centre Val-de-Loire, le CBNBP et l'association Eure-et-Loir Nature, pour passage et examen en CSRPN courant 2024 (démarche initiée en 2023) ;
- Projet de valorisation des images/vidéos prises par drone pour une restitution vidéo en ligne (film documentaire de format court valorisant les principaux résultats du projet) en partenariat avec la société ARMEO (Hervé Gallépy) et l'Association pour l'étude et la sauvegarde des vestiges du Canal Louis XIV ;
- Projet de valorisation des données et des résultats du projet (LiDAR, images drone, données de biodiversité...), en partenariat avec le CD28 (Olivier Labat), dans le cadre de la création du futur centre d'interprétation du Canal Louis XIV au château de Maintenon, propriété du département d'Eure-et-Loir.

F. PERSPECTIVES ET PROLONGEMENTS DU PROJET

Outre les perspectives de valorisation des données et des résultats du projet (voir *supra*, E3), d'autres perspectives scientifiques se dessinent aujourd'hui dans le prolongement des actions de recherche collective menées dans le cadre de ce programme Sar-Dyn :

- Exploitation et traitement des données LiDAR HD récemment mises à disposition par l'IGN sur toute la portion du Canal Louis XIV comprise entre Pontgouin et Berchères, en vue de mieux cartographier et comprendre les travaux hydrauliques effectués sur ce tronçon du canal mis en eau en août 1685 (fig. 3) et d'en évaluer les impacts écologiques en termes de modification des milieux naturels et de création de nouveaux habitats pour la faune et la flore locales ;
- Analyse des perceptions et représentations de la biodiversité associée aux vestiges du Canal Louis XIV, à partir d'enquêtes qualitatives menées auprès des habitants, riverains, visiteurs/touristes, naturalistes, élus, etc., en vue d'identifier les leviers sociaux permettant une meilleure prise en compte du patrimoine écologique et des enjeux de biodiversité.

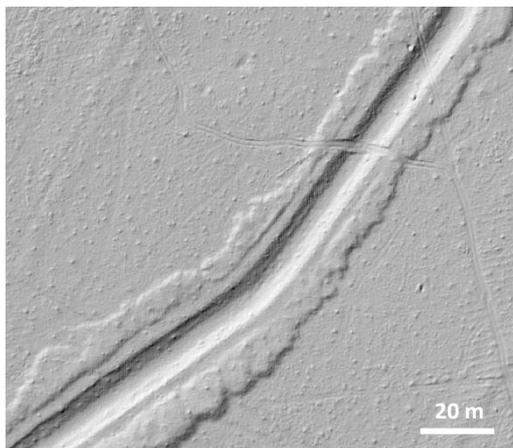


Fig. 3 – Traitement du LiDAR HD de l'IGN (shaded relief) révélant de façon inédite la morphologie du Canal Louis XIV dans la forêt de Bailleau-l'Evêque (28). ©. F. Bétard.

Ces nouvelles pistes de recherche pourront se concrétiser à travers des projets pédagogiques et/ou des réponses à AAP pour le montage d'un nouveau programme de recherche collective, toujours en partenariat étroit avec les acteurs du territoire et du monde socio-économique.