

Dynamique prévisible des  
formations végétales suite à une  
variation soudaine et pérenne du  
niveau de la nappe alluviale.



Mémoire de Licence 3

*Forêt, gestion et préservation de la ressource en eau.*

Alexandre NOLIN

Avril - Août 2014

*"Un système alluvial cesse d'être un hydrosystème lorsque les racines des phanérophytes ne bénéficient plus des remontées capillaires à partir de l'aquifère."*

Guy PAUTOU, 1996.

**RAPPORT DE STAGE POUR L'ÉPREUVE DE SOUTENANCE,  
et l'obtention du diplôme  
DE LICENCE PROFESSIONNELLE DE L'UNIVERSITEE DE TOURS**

**Option « Forêts : Gestion et Préservation de la ressource en Eau »**

<b>AUTEUR :</b>  NOLIN Alexandre Florent	<b>DATES du stage support du rapport :</b>  14/4/2014 – 1/8/14	
<b>LIEU DE STAGE :</b>  Centre d'Ingénierie Aquatique et Ecologique 11, rue Alfred SISLEY 77140 NEMOURS	<b>MAITRE DE STAGE :</b>  M. Christian MARTIN Docteur es Sciences Naturelles 01 64 29 84 76	
<b>TITRE DE L'ÉTUDE :</b>  Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.		
<b>Mots clés :</b>  effacement d'ouvrage / continuité écologique / ripisylve / phytosociologie / nappe /	<b>Nombre de pages de chapitres de rapport :</b>	33
	<b>Nombre d'annexes :</b>	8
	<b>Nombre de pages d'annexes :</b>	31

# Remerciements

---

Merci à l'équipe du CIAE qui m'a accueilli et guidé durant cette étude, ainsi qu'à l'équipe pédagogique.

Merci à Paul qui a fait face et qui a survécu fièrement aux moustiques !

Merci à Jean-Noël GAUTHIER pour son investissement dans ma problématique et la mise en contact avec Nicolas BOILEAU, qui m'a communiqué ses retours d'expériences sur les bassins Jouanne-Vaige-Vicoïn.

# Sommaire

Résumé .....	7
Introduction .....	8
1. Recherche bibliographique .....	9
1.1 Facteurs d'organisation et de dynamique des végétaux en bords de cours d'eau .....	9
1.1.1 Facteurs topographiques .....	9
1.1.2 Facteurs botaniques .....	10
1.1.2.1 Zonations écologiques des communautés végétales de rives .....	10
1.1.2.2 Adaptations morphologiques des végétaux à la plaine alluviale .....	11
1.1.2.3 Retours d'expériences - Cas des bassins Jouanne -Vaige-Vicoïn.....	13
1.1.2.3.1 Sensibilité au Phytophthora alni. ....	14
1.1.2.4 Suivis de re-végétalisation après enfoncement de nappe. ....	14
1.1.2.4.1 Installation des plantes herbacées et héliophytes. ....	14
1.1.2.4.2 Installation de la végétation arborée .....	14
1.1.2.4.3 Installations d'exotiques envahissantes .....	15
1.1.2.4.4 Schémas de re-végétalisation .....	15
1.1.3 Facteurs pédologiques .....	16
1.1.3.1 Particularité des sols alluviaux .....	16
1.1.3.2 Phénomène de remontée capillaire .....	17
1.1.3.3 Retrait vertical de l'eau dans les sols et reprise de l'érosion fluviale. ....	18
1.1.3.4 Minéralisation des sédiments exondés et structuration des horizons de surface. ....	18
1.1.4 Facteurs hydrologiques .....	18
1.2 Conclusion de l'étude bibliographique .....	19
2. Méthodologie.....	20
2.1 Relevés de terrain.....	20
2.1.1 Topographie.....	20
2.1.2 Végétation.....	20
2.1.3 Pédologie .....	20
2.2 Analyses des résultats .....	21
3. Analyse et synthèse des résultats.....	21
3.1 Végétation en place .....	22
3.1.1 Sur le Calavon.....	22
3.1.2 Sur le Ru de Genainville.....	23
3.1.3 Conclusion de l'étude de la végétation.....	23
3.2 Topographie .....	29

3.2.1 Profils en long.....	29
3.2.2 Profils en travers.....	30
3.3 Pédologie.....	33
3.3.1 Hydrologie.....	35
4. Discussion.....	36
4.1 Eléments de dynamique de végétation des rives après enfoncement de la nappe.....	36
4.1.1 Résistance des formations végétales.....	36
4.1.2 Influence de la fermeture du couvert et de la richesse spécifique.....	36
4.1.3 Prospections racinaires par types de végétation.....	37
4.2 Dynamiques prévisibles d'évolution des communautés végétales selon différents degrés d'abaissement de nappe.....	38
4.3 Exemple d'utilisation des clés sur le site de Hodent.....	39
5. Conclusion de l'étude.....	42
6. Perspectives.....	43

# Résumé

---

Dans le cadre de la restauration écologique sur les rivières, les gestionnaires suppriment des ouvrages de retenues. Ces projets abaissent durablement la ligne d'eau et la nappe alluviale, impactant de manière variable les végétaux.

La présence d'eau en abondance et facilement mobilisable est un facteur prépondérant dans l'écologie des formations végétales riveraines. Leur morphologie y est adaptée c'est pourquoi leur sensibilité à l'enfoncement de nappe est corrélé à leur profondeur de prospection racinaire.

La modification de sa disponibilité entraine des évolutions des groupements végétaux contrôlés par l'hydrologie qui procure les flux d'eau et de nutriments, la pédologie qui permet l'accès à ces flux et la topographie qui positionne ces flux. Les formations riveraines sont en interactions et réagissent à la baisse de nappe en développant leurs systèmes racinaire jusqu'au nouveau niveau de nappe et en fructifiant abondamment en cas de stress hydrique intense. Ce phénomène permet de conserver à terme les zonations écologiques qui se rééquilibrent selon la nouvelle position du cours d'eau. Les formations végétales persistent, évoluent, ou disparaissent selon le niveau de perturbation.

Quatres sites de projet d'effacement ont été étudiés, deux sur le Calavon dans le Vaucluse et deux sur le ru de Genainville dans le Val d'Oise. Un diagnostic écologique a permis de tester ces facteurs de contrôle de la dynamique de la végétation par la réalisation de profils topographiques, de sondages pédologiques et d'une cartographie de la végétation notamment. Cette étude a permis de proposer des évolutions prévisibles par grands types de végétation selon différents niveau d'abaissement.

- - - -

In the ecological restoration context, river managers have to remove dams. These projects used to lower the water-table level which impact riparian vegetation.

The ecology of that vegetation is regulated by surface water in abundance which adapts the morphology of flora. Sensibility to lower water-level is linked to roots depth prospection.

Riversides flora evolutions depends on changes of availability of water which are controlled by hydrology which procures water and nutrient flux, by pedology which allows access to these flux and by topography which positions these flux. The riparian vegetations are interacting together and react at lower water-table by developing their roots systems as far as new water level and by fructifying when the hydric stress become too intense. These reactions allow to keep the ecological gradient areas which progress from the higher hard wood up to the soft wood on riversides. The vegetations persist, evolve, or disappear according to the level of disturbance.

Four areas of dam removal projects in France have been studied. Two on the Calavon river in Vaucluse and two in the Genainville small river in Val d'Oise.

An ecological diagnosis allowed to test vegetation dynamic control factors by topographic profiles, pedological analysis and vegetation inventory and cartography. This study product keys by type of vegetation, soils parameters and water levels fluctuations to predict vegetation dynamic following dam removal.

# Introduction

Les milieux aquatiques sont parmi les écosystèmes les plus riches et diversifiés de la planète. Les habitats rivulaires reflètent la santé de ces environnements et de la biodiversité qui en dépend.

L'objectif de ce rapport est de répondre à une problématique d'enfoncement de nappe dans un contexte d'effacements d'ouvrages transversaux en rivière, pour lesquels une étude de diagnostic écologique de la végétation est nécessaire, sur plusieurs cours d'eau en France. Il s'agit de prévoir l'évolution des formations végétales rivulaires en axant la réflexion sur des facteurs déterminants leur lien avec l'eau.

La construction d'ouvrage de retenue constitue une perturbation majeure aux niveaux chimique, physique et biologique. L'ONEMA recense dans sa base ROE<sup>1</sup> plus de 550 grands barrages, 3000 ouvrages hydro-électriques, et 60 000 seuils et déversoirs en rivière (données 2013).

Aujourd'hui, la suppression d'ouvrages en travers est un enjeu majeur pour le rétablissement de la continuité écologique et l'atteinte du bon état écologique des cours d'eau. Mais le rétablissement de la continuité longitudinale se traduit par une discontinuité verticale entre les racines des végétaux et la nappe alluviale.

Depuis la Convention de Ramsar, les sommets de la Terre et la définition du « *développement durable* » à Rio en 1992 dans un objectif de préservation de la biodiversité, les autorités européennes et françaises ont instaurées un cadre règlementaire visant à réduire les perturbations impactant les milieux aquatiques (figure 1).

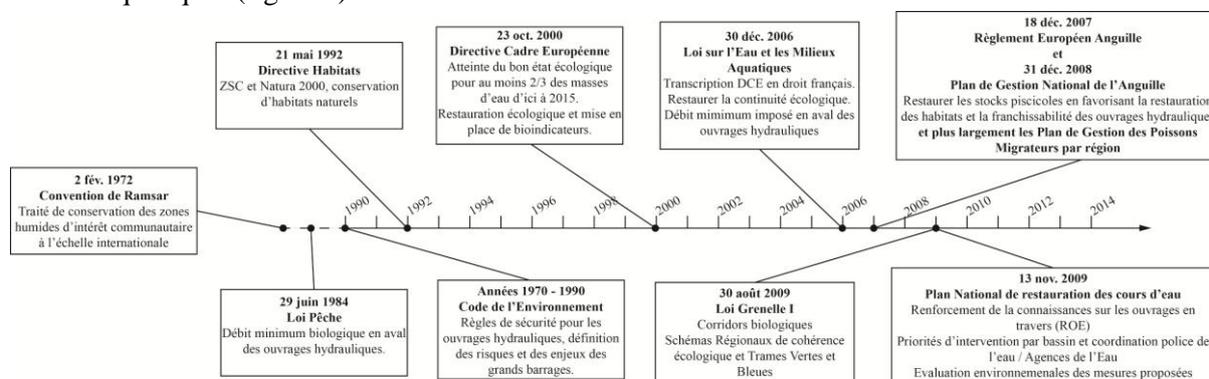


Figure 1 - Contexte règlementaire de la restauration de la continuité écologique sur les cours d'eau en France.

Cette étude s'articule autour d'une recherche bibliographique identifiant les facteurs de contrôle de la répartition et de l'évolution des formations végétales ; une étude de diagnostics écologiques sur plusieurs cours d'eau en France selon un protocole adapté testant les facteurs mis en évidence ; et enfin la détermination de l'évolution prévisible de la végétation rivulaire après enfoncement de nappe.

Ce stage a été réalisé au sein du Centre d'Ingénierie Aquatique et Ecologique de Nemours, bureau d'études environnementales, composé de 11 personnes. Ses principales missions concernent les études naturalistes, les études d'impact, les dossiers loi sur l'eau, la rédaction de documents de planification ou de gestion, mais aussi la maîtrise d'œuvre de travaux. Le siège de Nemours et les antennes de Valence et Orléans lui permettent d'intervenir sur l'ensemble des cours d'eau français.

<sup>1</sup> Référentiel des Obstacles à l'Écoulement sur les cours d'eau.

# 1. Recherche bibliographique

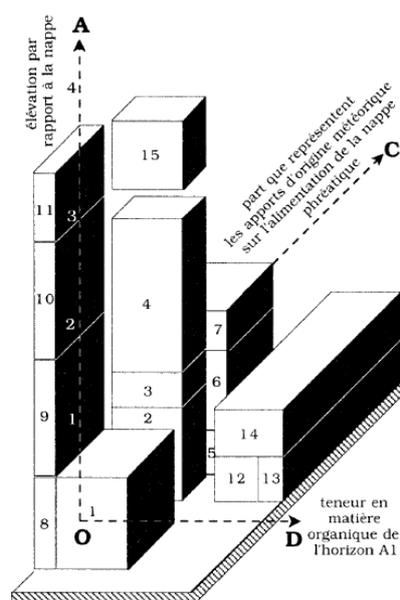
La grande majorité des études ciblées sur le suivis de la végétation rivulaire après effacement d'ouvrage de retenue a été réalisée aux Etats Unis sur des grands barrages (*Lenhart 2000 ; Bednareck 2001; Shafroth et al. 2002; Orr & Stanley 2006 ; Auble, Shafroth et al. 2007*) ou des seuils de 5 à 10 m en rivière (*Stanley et Doyle 2003*) et en Suède sur des grands barrages (*Isaksson, 2010 ; Lejon, 2012*).

En France, l'évolution des cours d'eau après arasement est activement étudiée, mais peu sous l'angle de la ripisylve. Seuls les travaux de phytosociologie et de paléopalinologie de Pautou et al. (*1986, 1988, 1996*) et *Dufour, 2005*, sur le bassin rhodanien, et ceux de Bournérias et al. 2001, sur le Bassin Parisien, apportent des éléments sur l'organisation des végétaux dans la plaine alluviale et leur réponse aux changements de niveau de nappe.

Plus généralement, les données grand public, directement destinés aux gestionnaires sont des observations de dépérissement des ligneux et des prescriptions de gestion, d'accompagnement des pertes écologiques (*Malavoi & Salgues, 2011 ; Bramard 2012*).

## 1.1 Facteurs d'organisation et de dynamique des végétaux en bords de cours d'eau

La plaine alluviale est colonisée par des plantes adaptées aux contraintes du milieu. D'une manière générale, les groupements végétaux alluviaux se répartissent selon la dynamique des flux d'eau, de sédiments, de nutriments et de matériel biologique. Selon un transect transversal à la rivière, les communautés végétales vont se distribuer selon trois facteurs en interactions : la topographie, l'hydrologie et la pédologie (figure 2) (*Barnaud & Fustec 2007 ; Dufour, 2005 ; Dufour, Piégay et al. 2004 ; Piégay & Pautou 2003 ; Bournérias et al. 2001 ; Pautou, 1996*).



1. saussaie à *Salix* divers, 2. saussaie à *Salix alba* et *Impatiens glandulifera*, aulnaie à *Alnus incana*, *Equisetum hiemale* et aulnaie à *Alnus incana*, *Fraxinus excelsior* et *hedera helix*, 4. chênaie-frênaie à *Populus alba*, *Arum maculatum* et chênaie-frênaie à *Populus alba* et *Aegopodium podagraria*, 5. saussaie à *Salix triandra*, saussaie à *Salix alba* et *Carex acutiformis*, saussaie à *Salix cinerea*, 6. ornaie à *Ulmus minor*, 7. chênaie-frênaie à *Populus alba* et *Carex pendula*, 8. saussaie à *Salix elaeagnos*, 9. peupleraie clairière à *Populus nigra* et *Fraxinus excelsior*, 10. peupleraie clairière à *Populus nigra* et épinieux, 11. lande à *Robinia pseudacacia*, 12. aulnaie à *Alnus glutinosa*, *Carex elata* et aulnaie à *Alnus glutinosa* et *Fraxinus excelsior*, 13. fourré à *Frangula alnus*, 14. frênaie à *Alnus glutinosa* et *Carex remota* et frênaie à *Allium ursinum*, 15. chênaie-charmaie à *Carpinus betulus*

Les chiffres figurant à côté de l'axe OA indiquent la profondeur moyenne de la nappe en mètres. Le zéro indique que la nappe est en surface pendant une grande partie de l'année.

Figure 2 - Position de quelques cortèges végétaux typiques des cours d'eau dans un bloc diagramme à trois dimensions reprenant les trois facteurs de répartition des communautés végétales : topographie (AXE A), hydrologie (AXE C) et pédologie (AXE B). Tiré de Pautou, 1996.

### 1.1.1 Facteurs topographiques

La topographie conditionne l'élevation par rapport au toit de la nappe en étiage, et par rapport aux niveaux des crues. Elle détermine l'atténuation ou l'amplification des autres facteurs structurant la

végétation, depuis le lit mineur jusque dans la plaine d'inondation. La profondeur de nappe conditionne le développement racinaire, la composition floristique (tolérance à l'engorgement des sols) et la probabilité de rajeunissement des formations végétales (fréquence, durée, amplitude des crues).

Les travaux de Piégay, Pautou et al. 2003 et de Dufour, Piégay et al, 2004, ont démontré ces gradients écologiques<sup>2</sup> et ont mis en évidence une répartition des cortèges végétaux selon le niveau de "perturbation" qu'ils subissent, depuis les héliophytes et la ripisylve de bois tendres (niveau de perturbations élevé) jusqu'à la ripisylve de bois durs (niveau de perturbations faible) (figure 3).

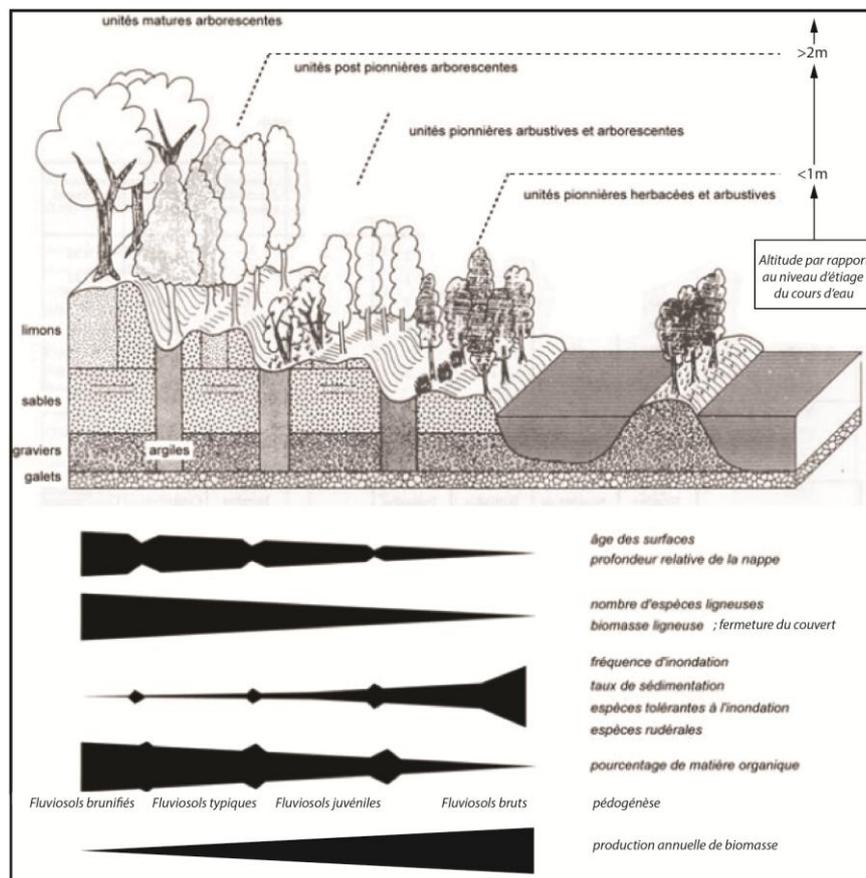


Figure 3 - Représentation schématique des gradients écologiques en bordure de cours d'eau. Tiré de Dufour, Piégay et al. 2004. D'après Pautou 1984 ; Pautou et Wuillot, 1989 ; Pautou et al. 1996. Modifié d'après les données de Dufour, Piégay et al. 2004.

## 1.1.2 Facteurs botaniques

### 1.1.2.1 Zonations écologiques des communautés végétales de rives

Le terme "*ripisylve*" définit les communautés forestières de rives en connexion avec la nappe alluviale et regroupe les bois tendres et les bois durs, en excluant les héliophytes.

Les héliophytes sont des groupements à la limite entre les systèmes aquatiques et terrestres au fil de l'eau en étiage et submergés en hiver. Saussaies, peupleraies, aulnaies et betulaies constituent les premiers cordons arborescents le long de la rivière jusqu'à une altitude qui ne dépasse généralement pas 2 m par rapport au niveau d'étiage. Ils colonisent les zones les plus instables du cours d'eau et sont

<sup>2</sup> Désigne un continuum dans lequel les paramètres écologiques de l'environnement varient de manière continue (Ramade F. 1998).

rajeunies fréquemment par les crues. Ce sont des végétaux pionniers qui fixent les sédiments récemment déposés. Plus loin dans la plaine alluviale, les ceintures de bois durs Frênaies, Ormaies, Chênaies forment des peuplements forestiers denses, à architecture complexe, avec des reliques de bois tendres. Les bois durs sont alimentés pour partie par la nappe et pour partie par les apports météoriques qui la recharge.

Les formations végétales riveraines sont donc constituées d'un ensemble de groupements végétaux en connexion avec la rivière, en interaction, se succédant par répétition depuis le chenal principal, jusqu'à sa périphérie avec une large gamme de variations.

### 1.1.2.2 Adaptations morphologiques des végétaux à la plaine alluviale

Les racines prospectent le sol pour assurer les fonctions de stabilité, d'alimentation en eau et en nutriments, et de stockage des réserves carbonées. La morphologie générale du racinaire des ligneux est constituée de deux réseaux, pivotant et traçant, se mettant alternativement en place durant la croissance de l'arbre jusqu'à la phase de sénescence. Ces réseaux sont complétés de racines fines prospectant essentiellement en surface, et environ, autant en profondeur que les pivots qui les supportent.

Les travaux de Drénou, 2006, mettent en avant les différences de profondeur de prospection racinaire tout au long de la vie d'un arbre (figure 4).

Pour une même station, et une même essence, un arbre adulte prospecte plus en surface et en profondeur qu'une jeune perche et dans une moindre mesure, qu'un arbre sénéscent. La sensibilité à la baisse de nappe diminue donc du stade perche au stade adulte, mais augmente à la phase de sénescence.

Les résultats de cette étude démontrent également un âge optimum pour la fructification situé juste avant la phase de sénescence, et, plus le milieu devient contraignant, plus les végétaux utilisent leur énergie pour la reproduction sexuée. L'âge des végétaux est donc un facteur à prendre en compte pour déterminer leur sensibilité à la baisse de nappe.

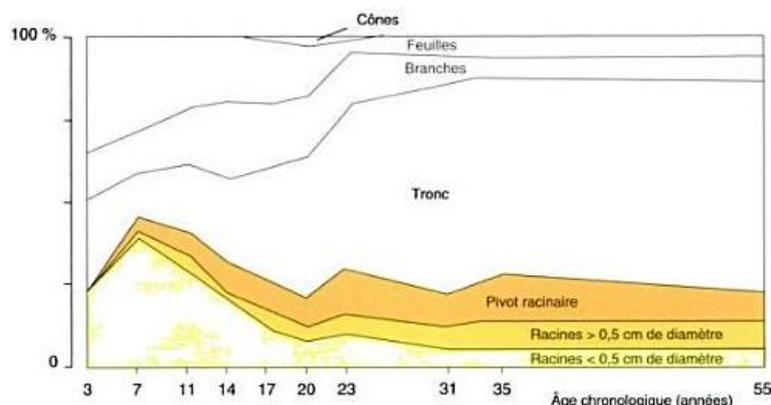


Figure 4 - Evolution en pourcentage de la masse en matière sèche des différentes parties de Pinus sylvestris (tiré de Drénou, 2006, d'après Ovington, 1957)

Comparé à des végétaux de station sèche, le rapport masse aérienne / masse racinaire est inversé. Le système racinaire des arbres de stations humides est moins développé en surface et en profondeur que ceux des stations sèches puisque la réserve en eau est bien disponible et plus proche en sous-sol. La masse aérienne engendrant plus de besoins en eau, leur sensibilité au stress hydrique est donc accrue.

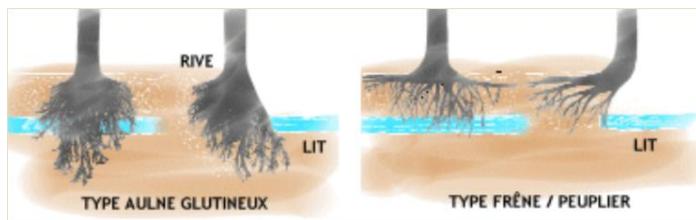
Cette morphologie est adaptée, selon les essences, à l'environnement et particulièrement à ses contraintes hydriques (niveau de la nappe) et physiques (granulométrie du substrat, aération et remontée capillaire). Dans les plaines alluviales, l'enracinement des ligneux est dicté par la recherche de l'eau (*op.cit.*; Zaneti, Vennetier et al. 2008).

Les végétaux rivulaires puisent l'essentiel de leurs besoins en eau et en minéraux dans la solution du sol apportée par la rivière. L'écologie de ces formations est rythmée par la fluctuation de l'eau dans le sol et l'énergie des crues, pouvant rajeunir brutalement l'écosystème. Les arbres de la ripisylve sont capables de compenser très rapidement la perte de leur système racinaire noyé par la pousse de nouvelles racines fines. Inversement, un déficit en eau dans le sol stimule la croissance des racines fines vers le nouveau niveau de nappe. Si la nappe descend trop profondément, les racines se développent jusqu'à l'épuisement des ressources absorbables en eau et dépérissent (*Drénou, 2006*).

La vitesse de croissance des racines est donc supérieure, physiologiquement, à celle des arbres de stations sèches.

La majorité des essences ligneuses ne semble pas prospecter à une profondeur supérieure à 1,5 m. Au-delà les racines ne se développent que si les conditions hydriques sont limitantes.

Les essences ripicoles bénéficient d'une nappe accessible au-dessus de laquelle ils développent leurs pivots pour soutenir les déficits estivaux en eau. La profondeur maximale de prospection est donc celle du niveau d'étiage du cours d'eau, sauf pour quelques essences comme les Aulnes, dotés de tissus aérifère leur permettant de s'accommoder des sols anoxiques (figure 5).



**Figure 5 - Schémas des systèmes racinaires de l'Aulne glutineux, du Frêne commun et du Peuplier selon leur position sur la berge et l'altitude de la nappe. D'après LACHAT 1991, tiré de SIVOA 1998.**

La thèse de *Dufour, 2005* démontre que la présence d'un toit de galet et sa profondeur vis-à-vis du niveau de la nappe augmente les risques de dépérissements de la plupart des ligneux. Les essences comme le Frêne commun n'ont pas l'aptitude racinaire de dépasser cet horizon. (figure 6). Les Aulnes glutineux, les Peupliers noirs, les Erables *negundo* s'en accommodent.

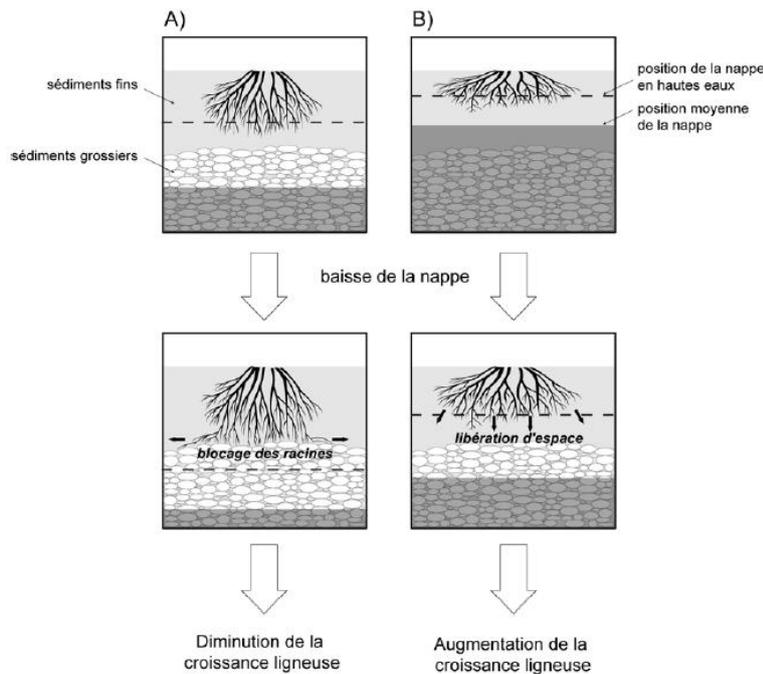


Figure 6 -Représentation schématique de l'influence de l'évolution du niveau de la nappe sur la répartition des racines du Frêne, A) cas d'une nappe relativement basse, B) cas d'une nappe haute. Tiré de Dufour, 2005.

En conclusion, ces différentes études montrent que les groupements végétaux riverains des cours d'eau sont particulièrement vulnérables à l'enfoncement de nappe. Leur adaptation à cet environnement va dans le sens d'une saturation en eau et pas d'une déconnection avec la nappe.

### 1.1.2.3 Retours d'expériences - Cas des bassins Jouanne -Vaige-Vicoïn

Sur des affluents de la Mayenne, les retours d'expériences d'effacement de 35 clapets de retenue en 6 ans, pour des hauteurs de chutes comprises entre 1 et 1,50 m, n'ont démontré quasiment aucun dépérissement (*comm. pers. J-N Gauthier, 2014, Expert hydromorphologue de l'Agence de l'Eau Loire Bretagne*). Les projets d'effacements se sont déroulés de manière progressive, diminuant la hauteur de chute sur plusieurs années avant le démantèlement. L'étude statistique n'a démontré aucune mortalité en lien direct avec l'enfoncement du niveau de nappe des Aulnes, Frênes, Chênes pédonculés composant la ripisylve, sur des sols alluviaux fins sans banc de galets. Les dépérissements constatés concernent des Peupliers de culture ou sont en relation avec une infection des racines d'Aulnes glutineux par le *Phytophthora alni*. Les ligneux, et en particulier les Aulnes, se sont totalement accommodés à la baisse de nappe en développant leurs racines vers le nouveau niveau d'eau.

Dans les cas d'abaissement non progressifs, la croissance des végétaux a été réduite pendant la première saison de végétation.

Les barres sédimentaires ont été colonisées en deux ans par des pousses de 3 à 4m de haut d'Aulnes glutineux et Saules sp. développés sur un tapis d'herbacés ou d'hélophytes (*comm. pers. Nicolas BOILEAU, 2014, Technicien de rivière des Syndicats des bassins Jouanne, Vaige, Vicoïn*).

Les ligneux ont donc supportés un enfoncement de nappe de l'ordre du mètre sur plusieurs années. Les essences comme l'Aulne glutineux, le Frêne commun, le Chêne pédonculé semblent tolérantes, à l'inverse des Peupliers de culture, sur ces milieux. La végétalisation des sédiments exondés a été rapide et les zonations écologiques se sont réajustées selon le nouveau gradient écologique : les bois

tendres ont progressés sur les héliophytes qui ont progressées elles-mêmes sur le lit mineur en moins de deux ans. Ce phénomène est appelé un glissement écologique<sup>3</sup>.

#### 1.1.2.3.1 Sensibilité au *Phytophthora alni*.

Parallèlement, le suivi statistique de la végétation depuis sept ans a démontré une mortalité de la ripisylve par le *Phytophthora alni* plus prononcée sur les zones d'eau retenue qu'en dehors des linéaires d'influence. Le champignon semble avoir plus de facilité à parasiter les racines des Aulnes dans les eaux stagnantes et légèrement plus chaudes (*op.cit.*), mettant en évidence un nouveau facteur de sensibilité des ligneux à l'effacement d'ouvrages de retenue.

#### 1.1.2.4 Suivis de re-végétalisation après enfouissement de nappe.

*Orr et Stanley* ont publiés en 2006 les résultats d'un suivi de re-végétalisation par analyses multivariées sur 13 sites dans le Wisconsin. Les effacements ont été réalisés entre 6 mois et 46 ans avant l'étude, et concernent des ouvrages de 3 à 16 m de haut pour des surfaces de retenue allant de 2 à 41 ha, depuis 55 à 156 ans. Aucune action n'a été réalisée sur la végétation de la part des gestionnaires. L'étude propose les résultats d'évolution spontanée de la végétation.

Les données sont bien sûr à nuancer compte tenu de la répartition phytogéographique des végétaux étudiés (l'Aulne glutineux n'est pas présent, ou *Phalaris arundinaceae* est une plante exotique invasive sur le territoire américain par ex.), mais des schémas de dynamique de végétation après effacement se dégagent et permettent d'étudier les évolutions possibles des formations végétales riveraines.

##### 1.1.2.4.1 Installation des plantes herbacées et héliophytes.

Les jeunes sites d'effacement sont colonisés préférentiellement par une végétation d'herbacées et d'héliophytes à cycle de vie rapide (Epilobes, Phragmites...) et par des jeunes pousses de bois tendres de la famille des *Salicaceae*. Un tapis de plantules est observable 1 mois après l'arasement et de larges communautés s'établissent en 3 à 5 ans (*Lenhart, 2000*). Dans la plupart des cas, les vasières exondées sont colonisées par des plantes communes (*Phalaris arundinaceae*, *Urtica dioica* à plus de 60%) et, à des densités inférieures, par d'autres plantes diversifiant le cortège. Cette végétation « envahissante » semble nuire à la richesse spécifique<sup>4</sup> du milieu, potentiellement soutenue par la banque de graines piégée dans les sédiments. Sur les sites étudiés, malgré la durée de vie de 45 à 400 ans pour certaines graines d'héliophytes (*Shafroth et al., 2002*), l'ensevelissement trop important de la banque de graines empêche la sortie de dormance, ou diminue la vitesse d'apparition des plantules.

La végétalisation des sédiments exondés est donc corrélée à la banque de graines et aux paléorivages ainsi qu'à la présence des formations végétales alentours qui fructifient abondamment avec le stress hydrique. Une fois la végétation en place, la richesse spécifique des cortèges augmente en fonction du temps écoulé depuis l'enfouissement de nappe.

##### 1.1.2.4.2 Installation de la végétation arborée

La première végétation arborée colonisant les alluvions exondés est représentée exclusivement par les Salicacées qui assurent leur caractère pionnier par les facteurs suivants : grande productivité de graines;

<sup>3</sup> Dans les hydrosystèmes fluviaux, un déplacement des caractères écologiques entraîne un déplacement des espèces qui leurs sont inféodées : glissement écologique (*Pautou et al. 1984, 1988, 1996 ; Dufour, 2005*).

<sup>4</sup> Paramètres écologique d'estimation de biodiversité, traduit par le nombre d'espèces présent dans un milieu.

dispersion efficace par le vent et l'eau, germination rapide, croissance racinaire et aérienne rapide, résistance aux inondations, à la sécheresse, à l'ensevelissement sédimentaire, et tolérance pour les sols sédimentaires pauvres ou riches en nutriments (*Johnson & Carter, 1999*).

Les ligneux se développent, en moyenne, un an après l'effacement (*Acer negundo* et autres *Aceraceae* américains, *Salix nigra* et *exigua*, *Populus deltoides*) et représentent environ 5-35% des cortèges végétaux présents. Le couvert est totalement fermé aux environs des 30 ans après l'effacement pour les grands barrages (*Van Looy et al. 2005*).

Sur tous les sites, l'apparition de la végétation arborée est donc dépendante, du temps écoulé depuis la suppression de l'ouvrage, sauf pour les Salicacées.

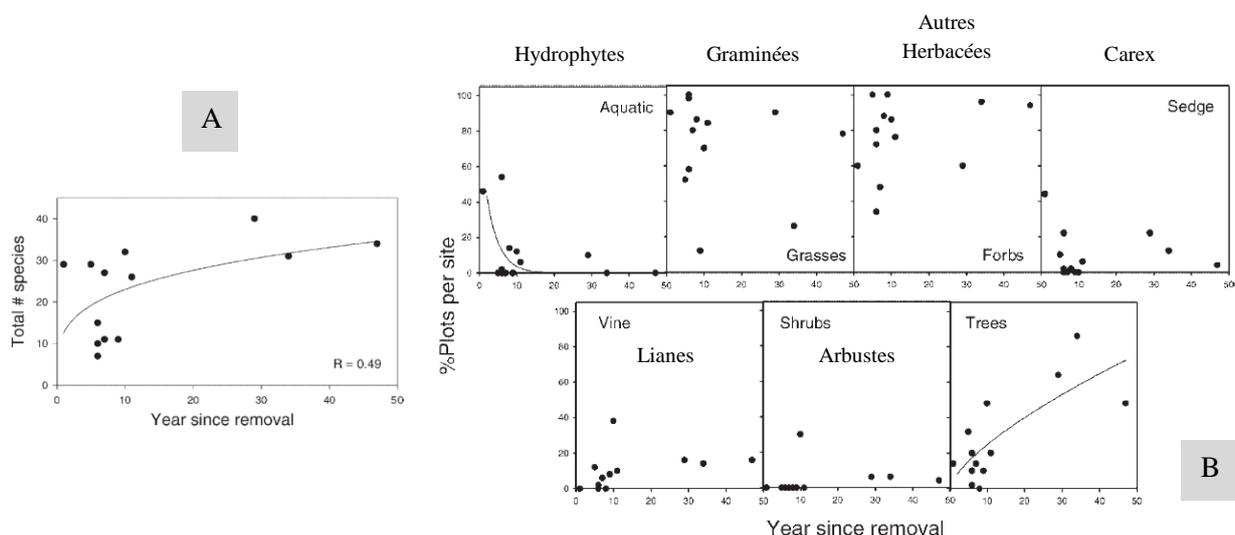
#### 1.1.2.4.3 Installations d'exotiques envahissantes

La probabilité d'installation d'exotiques envahissantes juste après effacement semble forte, lorsque de larges plages de sédiments riches en nutriments, et/ou en métaux lourds, sont mises à jour sans végétation concurrente. D'autant plus si des peuplements d'espèces allochtones sont présents en amont sur le cours d'eau. Ces végétaux présentent une tolérance bien plus accrue à la pollution organique et chimique que les végétaux autochtones et une production rapide d'organes de dispersion (*Hood & Naiman, 2000*).

Les cas de communautés végétales diversifiées et équilibrées rapidement après effacement semblent rares et présentent souvent une forte proportion d'espèces allochtones (*Lenhart 2000*). La présence d'exotiques envahissantes sur l'amont des linéaires d'influence est donc un facteur à prendre en compte pour éviter l'homogénéisation des cortèges végétaux dans les projets d'abaissement de nappe.

#### 1.1.2.4.4 Schémas de re-végétalisation

Au terme de ces différentes études, les auteurs proposent des relations entre diversité taxonomique et âge de l'effacement, par types de végétation (figure 7). On retrouve globalement l'ordre d'apparition des zonations de végétation depuis les hydrophytes jusqu'aux bois durs en relation avec leur caractère pionnier. Seul l'apparition des ligneux et la l'augmentation de la richesse spécifique présentent une corrélation avec le temps écoulé depuis l'enfoncement de nappe.



Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

Figure 7 -(A) Diversité taxonomique en fonction de la durée depuis l'effacement ; (B) Fréquence par type de végétation en fonction de la durée depuis l'effacement ; (Orr et Stanley, 2006)

Dans les conditions optimales, la réalisation totale d'une succession rivulaire depuis les hélophytes jusqu'à la forêt de bois durs s'étale sur plusieurs centaines d'années (Pautou, 1988 ; Lenhart, 2000 ; Bednareck 2001 ; Piégay et Pautou, 2003). L'échelle de temps pour un retour à une phase d'équilibre des formations végétales rivulaires après l'enfoncement de la nappe est donc du même ordre.

Les schémas de revégétalisation tendent donc vers un retour des zonations écologiques initiales selon le gradient hydrologique imposé par le cours d'eau. Les formations sèches du haut de talus progressent vers les formations humides du fil d'eau. Les sédiments exondés sont colonisés préférentiellement par les hélophytes, herbacées et les Salicacées, depuis les banques de graines et les peuplements alentour, qui installent une ambiance végétale apte à soutenir un développement des ligneux. L'apparition de la végétation est rapide, quelques années, mais l'équilibrage des zonations est lent, quelques centaines d'années. Ce cycle semble correspondre à la durée de vie des formations végétales de chaque succession écologique (*op.cit.*).

### 1.1.3 Facteurs pédologiques

#### 1.1.3.1 Particularité des sols alluviaux

Les fluvisols, sont des sols alluviaux peu évolués, régulièrement tronqués, à structure granulométrique variable développée dans des matériaux déposés par les cours d'eau. Ils sont toujours en relation avec la nappe alluviale et constituent le squelette du fond de vallée. La texture peut être très homogène comme très hétérogène, et la nature des matériaux est en relation directe avec la géologie du bassin versant.

Cette variabilité texturale oriente le développement racinaire des végétaux avec des zones préférentielles de croissance (textures fines) et des zones de blocages racinaires, (textures grossières) au-delà du phénomène des bancs de galets exposé plus haut (figure 8).

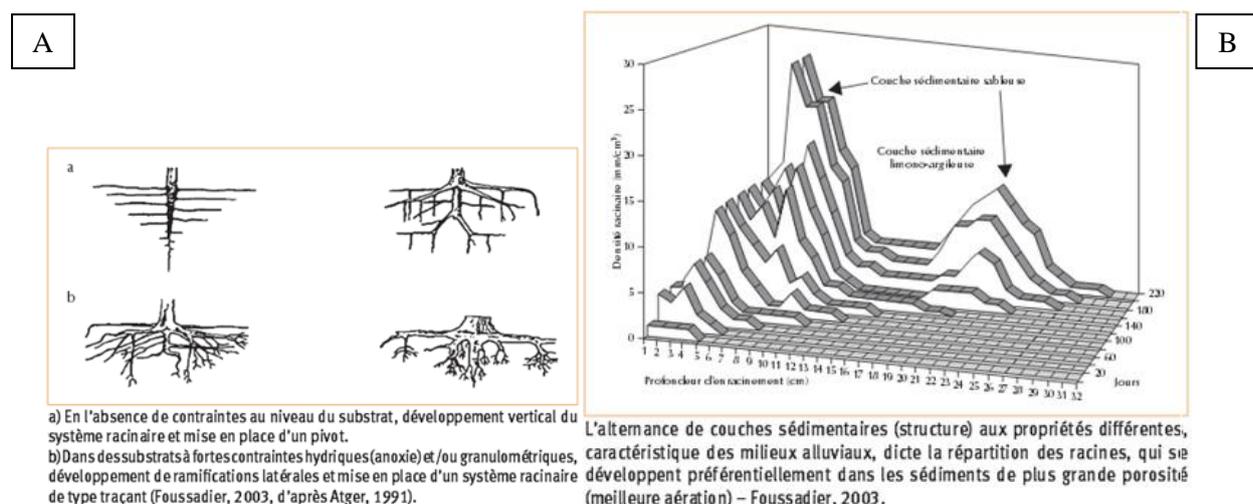


Figure 8 - A) Architecture du système racinaire des espèces ligneuses en fonction de la contrainte d'engorgement (tiré de Zanetti, Vennetier et al. 2008). B) Evolution de la densité racinaire du Saule blanc dans un sol stratifié (tiré de Zanetti, Vennetier et al. 2008).

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

On distingue les fluvisols bruts, matériaux alluvionnaires instables, sans aucune structuration pédologique, qui jouxtent le lit mineur ; les fluvisols juvéniles, évolution des précédents qui présentent des horizons<sup>5</sup> de surfaces légèrement évolués (sédimentation fine et incorporation de matière organique) mais encore régulièrement inondés ; les fluvisols typiques, plus évolués encore que les précédents, à horizon organo-minéral distinct, situés sur des terrasses alluviales plus élevées ; et les fluvisols brunifiés formés dans le lit majeur avec une structuration pédologique avancée en surface (*Baize, AFES, 2008*) (figure 9).

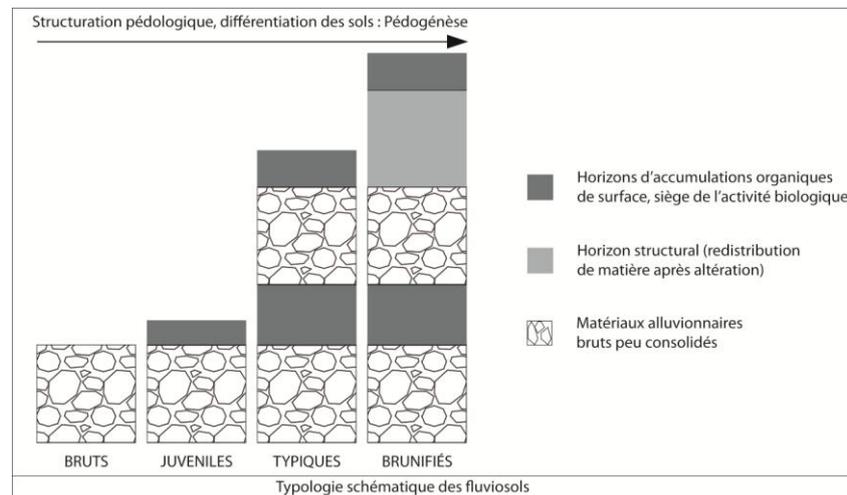


Figure 9 - Coupes schématiques des fluvisols selon la typologie de l'AFES 2008.

### 1.1.3.2 Phénomène de remontée capillaire.

Dans ces types de sols, l'enfoncement du niveau de la nappe est en partie compensée par le phénomène biophysique d'ascension capillaire.

Les végétaux exercent une succion racinaire moyenne de 16 atm, pour chercher l'eau essentielle à leur métabolisme. Les espèces hygrophiles et mésohygrophiles ne supportent pas l'absence d'eau facilement utilisable et produisent une tension de succion inférieure.

En période sèche, ou après un enfoncement de nappe, les couches de surface se désèchent, jusqu'à atteindre ou dépasser le point de flétrissement permanent<sup>6</sup> au-delà duquel les plantes ne peuvent plus abosber l'eau du sol et dépérissent. Cette désiccation provoque un différentiel de tension de succion permettant la mise en mouvent d'un courant ascendant de l'eau, des potentiels matriciels<sup>7</sup> les plus bas (profondeur) vers les plus élevés (surface).

La hauteur de remontée capillaire dans un sol à nappe libre dépend de la granularité du substrat (texture), du débit d'absorption de l'eau capillaire par les racines, et de la durée d'ascension (*Banton et al., 1997 ; Duchaufour, 2004*), (figure 10).

<sup>5</sup> Couche de sol homogène en termes de texture et de structure. L'ensemble des horizons constituent un profil de sol appelé solum.

<sup>6</sup> Valeur limite de l'eau liée, non absorbable par les racines définie pour un potentiel matriciel à 4,2 soit 16 atmosphères. Au delà les plantes ne peuvent plus absorber l'eau du sol et dépérissent (*Duchaufour, 2004*).

<sup>7</sup> Force de succion du sol pour l'eau exprimée en atmosphère ou par son logarithme traduit en centimètre d'eau : exemple : 1 atm = 103 cm d'eau = pF 3 (*Duchaufour, 2004*).

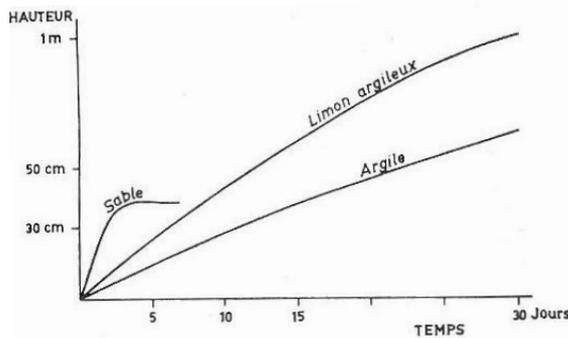


Figure 10 - Remontée capillaire au-dessus d'une nappe d'eau libre, d'après Duchaufour 2004.

Texture du sol	Hauteur de remontée capillaire	Débit d'absorption par les racines
Sable	0,40 m	Rapide
Limon	1,00 m	Moyen
Argile	2,00 m	Lent
Tourbe	qq mètres	Rapide

Selon la texture des sols, il est donc possible d'estimer une hauteur tampon pouvant soutenir les besoins en eau des végétaux, en compensant l'enfoncement de nappe.

### 1.1.3.3 Retrait vertical de l'eau dans les sols et reprise de l'érosion fluviale.

Le retrait vertical de l'eau dans les sols compacte la structure et comble une partie de la porosité avec des matières fines qui percolent dans la solution du sol. Les textures fines (argiles et limons) favorisent une percolation lente et un compactage important, inversement pour les textures grossières (sables et cailloutis). Ce changement physique du milieu édaphique est néfaste pour les héliophytes et herbacées qui sont progressivement remplacées par des plantes tolérantes comme les Joncs (*op.cit.*).

Une baisse de nappe peut aussi se traduire en terme de stabilité des rives. Les sols graveleux stables avec une ligne d'eau fixe, peuvent devenir instables avec le retrait de l'eau qui maintenait une pression stabilisatrice pour la cohésion des éléments. La reprise de l'érosion fluviale affouille les racinaires les plus proches du fil d'eau, et peut entraîner déstabilisation, déracinement ou mortalité selon le degré de mise à nue des racines.

### 1.1.3.4 Minéralisation des sédiments exondés et structuration des horizons de surface.

La mise à l'air libre des sédiments est bénéfique pour les végétaux. La minéralisation de la matière organique la rend assimilable et permet le développement de la faune du sol qui structure les horizons de surface. Cette disponibilité traduit un nouveau facteur de répartition des communautés selon le gradient trophique. Les travaux de *Pautou, 1996*, ont démontré l'importance de la structuration des horizons de surface. Des sols alluviaux brunifiés, avec une nappe à 0,80 - 1,30 m de profondeur accueillent des communautés à bois mixtes d'ormeaie-charmaie à Saule blanc et Aulne blanc. Alors que sur des sols alluviaux bruts et une nappe aussi superficielle, des communautés à bois tendres d'Aulnes glutineux et Saules s'installent.

En conclusion, la pédologie agence le plancher alluvial dans lequel se développe chaque unité végétale avec la granularité des substrats, l'incorporation de matière organique et la structuration des sols par la vie biologique. L'enfoncement de nappe reconfigure ces paramètres, pouvant déplacer les végétaux qui ne trouvent plus les caractères écologiques auxquels ils sont inféodés si les facteurs de compensation de suffisent pas.

## 1.1.4 Facteurs hydrologiques

La baisse de niveau d'eau exonde les sédiments accumulés en front d'ouvrage et le cours d'eau les incise progressivement jusqu'à restaurer sa pente d'équilibre. Les barres sédimentaires de front

d'ouvrage et de dépôt en aval constituent les nouveaux milieux d'accueil des groupements végétaux rivulaires. Les successions végétales vont progresser selon le nouveau gradient hydrologique<sup>8</sup> structuré par l'hydromorphologie du cours d'eau (figure 11). Les végétaux ne s'installent durablement qu'après fixation des banquettes, ressuyage et minéralisation de la matière organique en surface (Doyle, Stanley, Orr et al. 2005). Les substrats sont colonisés d'autant plus rapidement par la végétation que leur temps de ressuyage est court, donc sur les textures grossières.

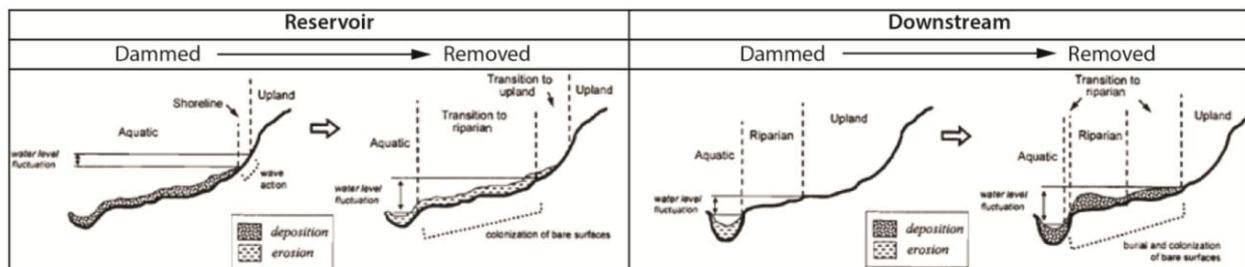


Figure 11 - Changements hydrogéomorphologiques et dynamiques de végétation associées après la suppression d'un ouvrage de retenue, Shafroth et al. 2002 modifié.

L'hydrologie du cours d'eau détermine les territoires d'installation possible des végétaux avec les variations du toit de la nappe sur l'année ainsi que la fréquence et la durée des crues. Elle dicte donc les conditions d'oxydo-réduction des sols et de minéralisation de la matière organique.

## 1.2 Conclusion de l'étude bibliographique

Les formations végétales riveraines sont déterminées par les cycles de la rivière et alternent les phases de structuration, maturité, disparition brutale, reconstitution, selon leur position par rapport au niveau de la nappe et la nature des substrats. Les facteurs qui déterminent leur répartition dans la plaine alluviale sont également ceux qui régissent leur dynamique après enfoncement de la nappe.

La morphologie des végétaux ripicoles est dictée par la recherche de l'eau et la texture des sols, et est adaptée à une abondance d'eau facilement mobilisable et à une régénération rapide des organes racinaires et foliaires. Les végétaux répondent à la baisse de nappe en développant leurs racines jusqu'au nouveau niveau de nappe ou de remontée capillaire et fructifient abondamment pour pérenniser le cortège si le stress hydrique est trop intense (Drénou, 2006).

Déterminer l'évolution des formations végétales riveraines après un enfoncement de nappe ne peut se faire qu'après une étude de l'écologie des formations en place, de leurs conditions édaphiques, et des rapports entre formations végétales pouvant orienter les successions (Pautou et al. 1996 ; Bednarek, A.T. 2001 ; Malavoi J.R. & Salgues D. 2011 ; Bramard M. 2012).

Tous les auteurs s'accordent sur un point : il n'y a pas de règles absolues, même si le glissement des successions des formations sèches du haut de talus vers les formations humides du fil d'eau semble majoritaire. Une approximation des communautés végétales post-effacement est possible en mettant en relation la topographie de surface et le nouveau niveau de nappe, les caractéristiques pédologiques du substrat et la végétation régionale dans un contexte non perturbé (Shafroth et al. 2002).

<sup>8</sup> Cf. définition du « gradient écologique » en <sup>2</sup> : Continuum dans lequel la teneur en eau du sol varie linéairement, depuis l'eau libre du cours d'eau vers les zones sèches, topographiquement plus élevées (Ramade, 1998).

## 2. Méthodologie

### 2.1 Relevés de terrain

La recherche bibliographique a mis en évidence des éléments de dynamique des formations végétales riveraines après enfoncement de nappe. L'objectif est de réaliser un diagnostic de ces groupements végétaux et de leurs caractéristiques stationnelles selon ces facteurs de contrôle.

#### 2.1.1 Topographie

La morphologie du lit et la position des formations végétales dans le lit majeur, ont été appréciés par profil topographiques en travers, réalisés au niveau optique et mire graduée centimétrique ou à la station totale LEICA TS06+ et au prisme constant, de manière perpendiculaire au cours d'eau, dans des zones représentatives.

Ces relevés ont été complétés par des profils en long sur le linéaire d'influence immédiat des retenues, pour apprécier la morphologie des ouvrages et des accumulations sédimentaires.

#### 2.1.2 Végétation

L'écologie des groupements végétaux a été apprécié par un inventaire phyto-sociologique par habitat homogène, sur le linéaire d'influence de l'ouvrage. La composition globale de chaque formation végétale a été alimentée d'une estimation de l'abondance visuelle de la biomasse par les critères de Braun-Blanquet (tableau ci-dessous).

Coefficient Abondance / Dominance	Recouvrement en surface	Coefficient Abondance / Dominance	Recouvrement en surface
5	>75%	1	<5%
4	50-75%	+	Quelques individus
3	25-50%	i	Un seul individu
2	5-25%		

Tableau 1- Critères phytosociologiques sigmatistes de Braun-Blanquet.

En cas de ripisylve linéaire : l'inventaire a été réalisé selon des transects parallèles à la rivière.

En cas de ripisylve large, forestière : les transects linéaires ont été complété par des transects perpendiculaires, régulièrement espacés.

Pour évaluer l'état de stress initial des peuplements, un diagnostic phytosanitaire visuel (couvert, collet, parasites, vitalité générale, sénescence, stabilité...) et une détermination du type de gestion appliquée aux végétaux (pas de gestion, entretien classique, agriculture, urbain/paysager...) ont été réalisés.

#### 2.1.3 Pédologie

Les prélèvements pédologiques ont été réalisés à la tarière à main ou sur fosses pédologiques. Les tarières utilisées dépendent du type de sol : Edelman forestière grand diamètre, Riverside sol sableux, Riverside grand diamètre sols caillouteux (photo ci-après). L'emplacement des sondages est reporté aux figures 13 à 16.

Toutes les observations pédologiques ont fait l'objet d'une caractérisation des sols selon les recommandations de l'AFES, 2008 et du Guide pour la description des sols de Baize et Jabiol, 2011.

La profondeur de prospection des racines a systématiquement été



notée. Les profondeurs de permanence de la nappe a été déterminé par observation des marqueurs de l'hydromorphie et la remontée capillaire a été appréciée au touché.

## 2.2 Analyses des résultats

Les données ont été traitées avec les logiciels ARCGis et Adobe Illustrator pour réaliser les cartes de végétations. Les carottes pédologiques ont été dessinées sous Adobe Illustrator. Les profils topographiques ont été réalisés sous Excel et Géomensura / AutoCAD.

Les principales flores utilisées sont la *Flore Forestière Française Tome I et III* de Rameau, Manson, Dumé et al., 2003, et la *Flore de l'île de France*, de Jauzein et Nawrot, 2013. Les autres ouvrages de détermination sont détaillés dans la bibliographie

# 3. Analyse et synthèse des résultats

---

Douze sites ont été prospectés en France sur deux bassins versants. Quatre sites ont été retenus pour l'étude écologique afin de constituer des situations différentes en termes de formations végétales et de substrats (figure12).

Les données hydromorphologiques des quatre sites étudiés sont reportées en annexe 2, ainsi que les critères de choix de ces stations d'étude parmi l'ensemble des sites prospectés.

Les campagnes de terrain ont été réalisées les 12, 13 et 14 mai 2014 sur le Ru de Genainville et les 27, 28 et 29 juin sur le Calavon, en situation d'étiage peu prononcé.

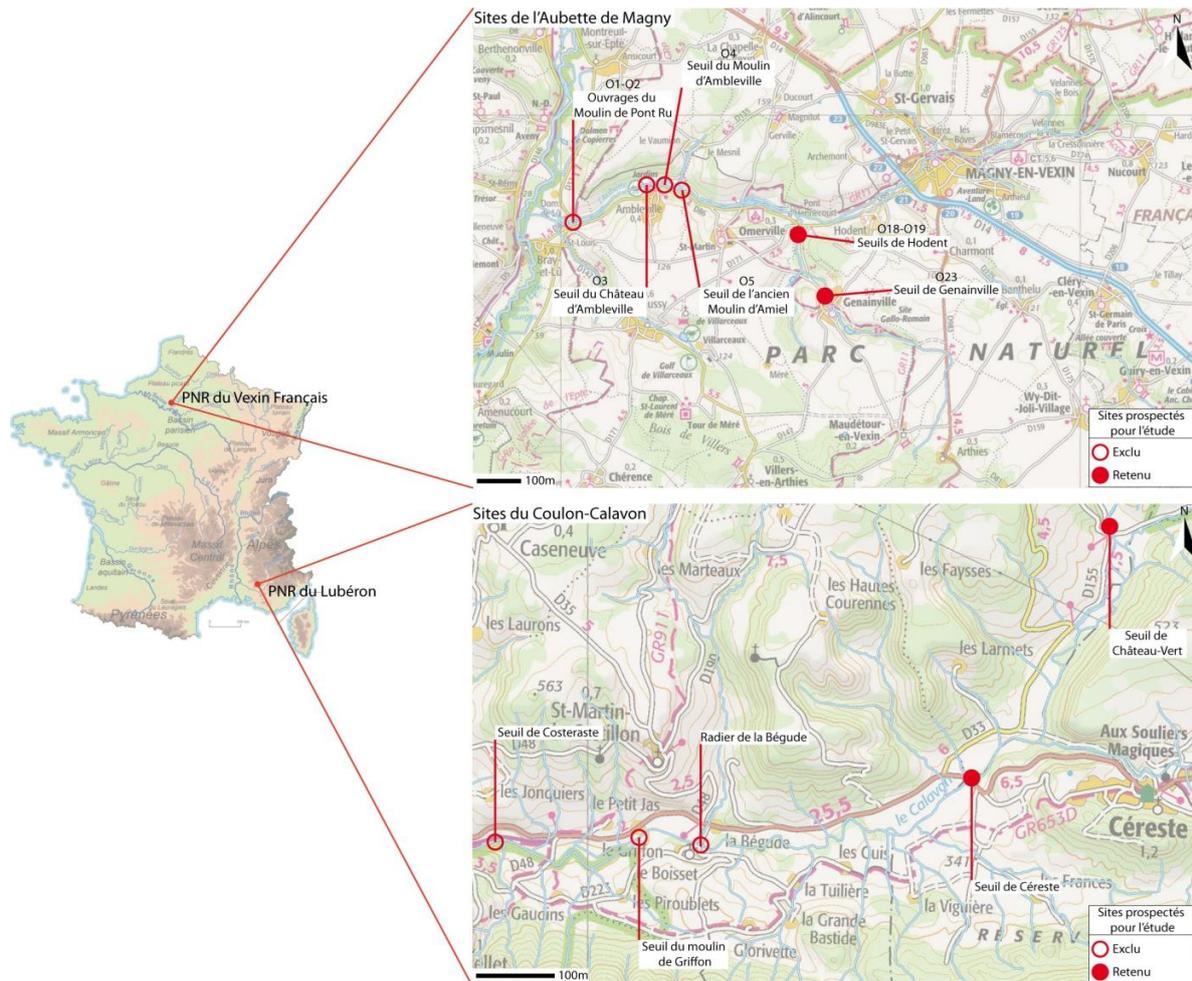


Figure 12 – Localisation géographique des sites d'étude. Fonds IGN et cartedeFrance.fr

### 3.1 Végétation en place

Les listes floristiques des inventaires stratifiées sont reportées en annexes 4 à 7, selon le code couleur des cartes de végétation présentées ci-après. Les grands types de végétation sont commentés par site.

#### 3.1.1 Sur le Calavon

Sur Château-Vert, l'Aulne glutineux est l'essence majoritaire, en mélange avec du Chêne pubescent en rive gauche, associé au Peuplier noir et au Robinier en rive droite. Les hélophytes sont peu représentées, avec le Scirpe-Jonc et le Roseau commun (figure 13). La ripisylve est gérée de manière classique par recépage ou sans gestion.

La végétation de Céreste s'apparente en rive gauche à une ceinture de *Phragmites australis* et de *Carex acutiformis* en mosaïque, évoluant vers un sous-étage de fruticée humide sous une Peupleraie blanche (figure 14). La dynamique est celle d'une forêt alluviale mûre avec une structure de peuplement régularisée gros bois, mais diversifiée en classes d'âges, assurant son renouvellement par trouées<sup>9</sup>, à bois mort très présent au sol.

En rive droite, la végétation est de type Aulnaie glutineuse à Frêne oxyphyllé en sous-étage. Le Robinier partage l'étage dominant. Le cordon d'hélophytes est similaire à la rive droite.

<sup>9</sup> Ouverture temporaire du couvert d'un peuplement végétal.

Au-delà des 25 m longeant le Calavon le milieu est ouvert, de type prairie sèche à *Crassulaceae* et Orchis pourpre avec quelques dépressions humides à Scirpe-Jonc et *Salix viminalis*. La végétation ligneuse s'établit spontanément avec des essences comme l'Orme champêtre, le Chêne pubescent, le Robinier, l'Aubépine et l'Églantier.

Les banques de graines et paléorivages sont bien présents et attendent la baisse du niveau de la rivière à l'étiage pour s'exprimer rapidement et densément. La colonisation des vasières après effacement semble assurée.

*Germination de la banque de graine dans une barre sédimentaire exondée du Calavon →*



Sur les deux sites, aucune flore patrimoniale n'a été relevée, l'état sanitaire est très bon hormis quelques arbres sénescents, et la gestion appliquée est l'entretien classique des arbres au fil de l'eau par recépage.

La végétation rivulaire du Calavon est donc de type medio-méditerranéenne avec des cordons alluviaux denses et continus sur les deux rives.

### 3.1.2 Sur le Ru de Genainville

Les formations végétales riveraines du Ru de Genainville sont continues mais peu denses, comparé au Calavon. La ripisylve est majoritairement constituée d'Aulnes ou d'Aulnaie-frênaie sur les deux sites, gérée de manière classique par recépage ou sans gestion.

Le site de Genainville présente de larges formations de fruticée humide à végétation de mégaphorbiaie luxuriante (figure 15). Les Tilleul à petites feuilles, Sureau noir, Frêne commun et Erable sycomore composent l'étage arbustif sur une végétation herbacée haute de *Crisium oleraceum*, *Filipendula ulmaria*, *Mentha pulegium*, *Pulicaria dysenterica* et *Symphytum officinale* pour les plus hygrophyles.

Un peuplement dense de Laurier palme est installé au droit de l'ouvrage sur les deux rives.

Une large roselière à Baldingère à *Iris pseudacorus*, *Lythrum salicaria*, *Scrophularia nodosa*, *Carex riparia* s'est installée dans les accumulations sédimentaires de front d'ouvrage sur le site de Hodent. Cette formation est bordée par une Chênaie mixte en rive gauche composée d'essences collinéennes non inféodées aux cours d'eau comme le Noisetier, l'Erable plane, le Douglas vert (figure 16). Cette formation est très étalée en classe d'âge et présente une dynamique de renouvellement importante avec des bois morts présents au sol. *Anacamptis pyramidalis* a été observée dans cette formation.

Les cortèges végétaux du Ru de Genainville sont donc essentiellement représentés par des formations herbacées et héliophytes hautes et des groupements mixtes à bois durs et tendres ou des fruticées humides.

### 3.1.3 Conclusion de l'étude de la végétation

Les végétaux se distribuent depuis le lit mineur jusqu'au haut de talus selon leur optimum écologique dans des groupements à richesse spécifique élevée. Plusieurs éléments de dynamique de leur évolution après enfoncement de nappe peuvent être distingués.

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

Aucune espèce exotique envahissante n'a été répertoriée sur les sites hormis le Laurier palme sur Genainville. La répartition en classe d'âge est étalée avec des peuplements probablement établis depuis la création de l'ouvrage qui se régénèrent par trouées ou progressent à la faveur des crues. La présence de bois mort au sol et le nombre de perches sont importants pour toutes les formations arborées.

Cette diversité structurale offre une meilleure résistance à l'enfoncement de nappe en assurant un potentiel de régénération important, et une large gamme de prospections racinaires.

La luxuriance et la densité de ces formations assurent un ombrage prononcé au sol qui limite le développement d'une flore de sous-étage plus mésophile capable de supplanter rapidement le peuplement déséquilibré par la baisse de nappe.

Certains peuplements progressent déjà sur d'autres. Cette agressivité est visible par la présence, en proportion importante, d'espèces du cortège voisin en sous-étage. Cette progression écologique lente fait partie de la dynamique des successions végétales alluviales.

Les formations végétales riveraines étudiées sont donc stables, équilibrées autant en espèces qu'en structure de peuplement, selon des zonations écologiques similaires. Leur état de stress initial n'est pas important en relation avec une gestion extensive et un bon état phytosanitaire.

Les successions végétales rencontrées sur les quatre sites sont synthétisées en fonction du type de sols dans le tableau de l'annexe 3.

Les figures 13 à 17 présentent les cartes de végétation, les photographies des quatre sites et l'emplacement de tous les relevés de terrain (végétation, topographie, pédologie).

**SITE DE CHATEAU VERT SUR LE CALAVON**

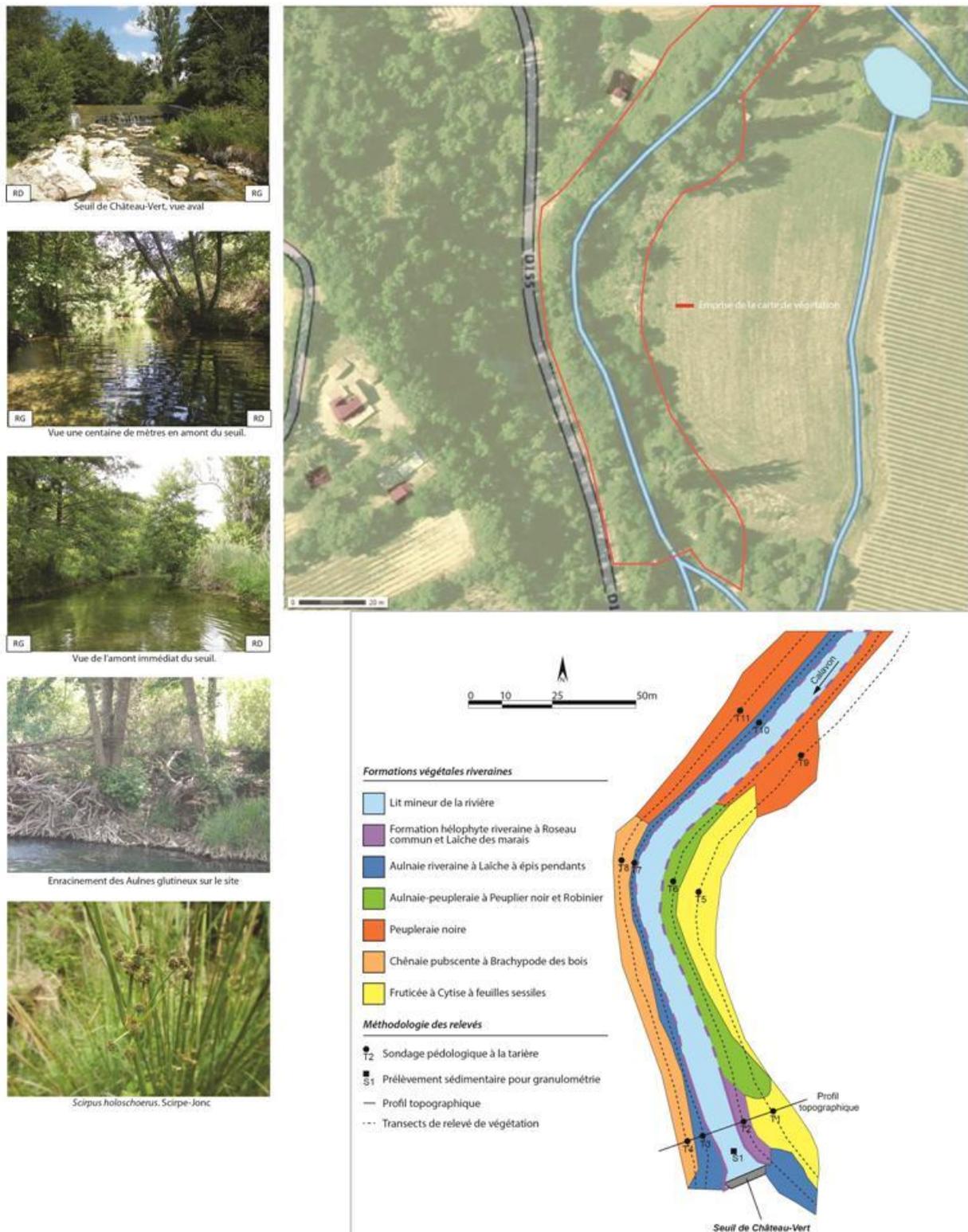


Figure 13 - Présentation du site de Château-Vert. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 paysage en annexe

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

### SITE DE CERESTE SUR LE CALAVON

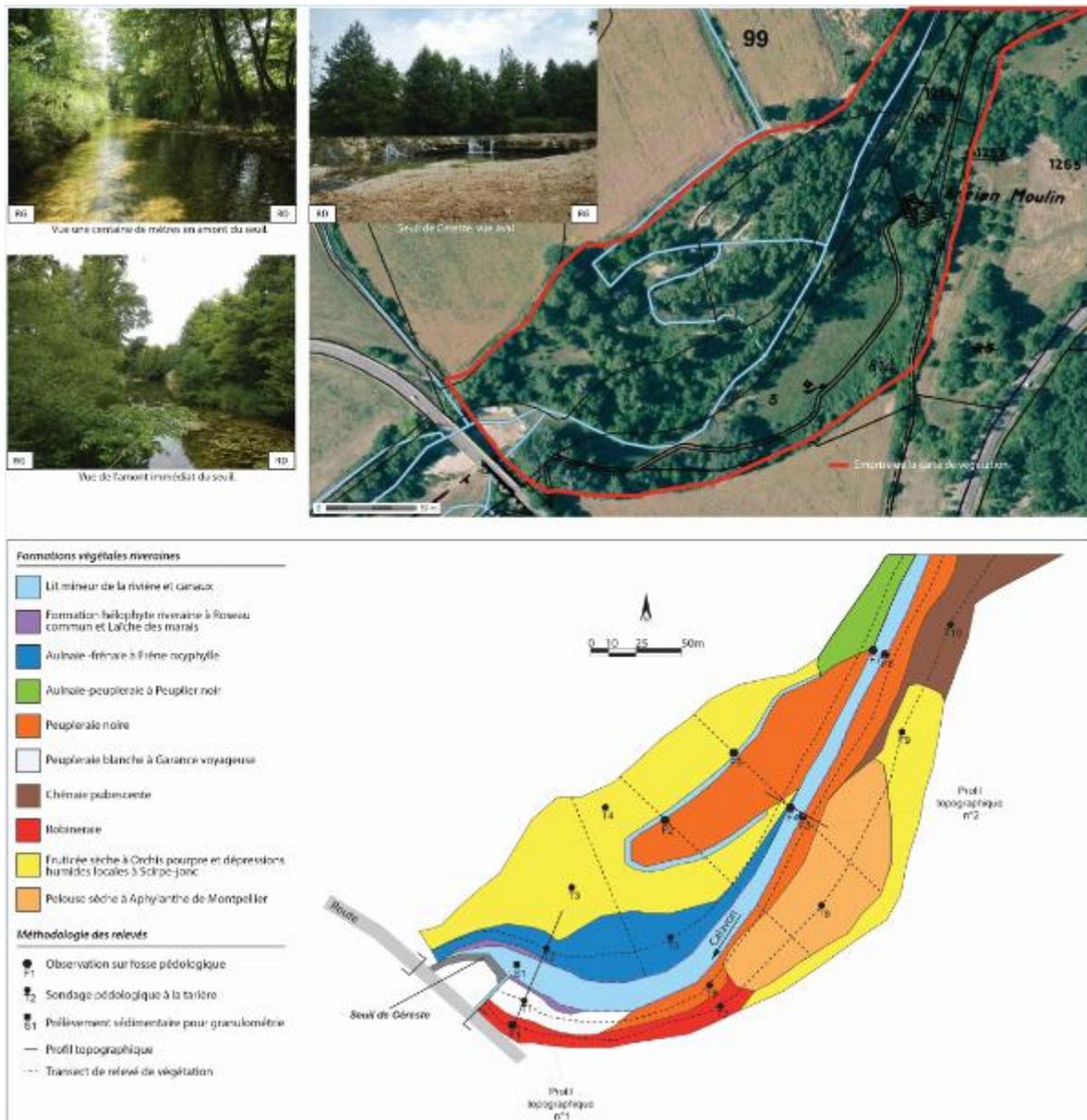


Figure 14 - Présentation du site de Céreste. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 paysage en annexe.

## SITE DE GENAINVILLE SUR LE RU DE GENAINVILLE

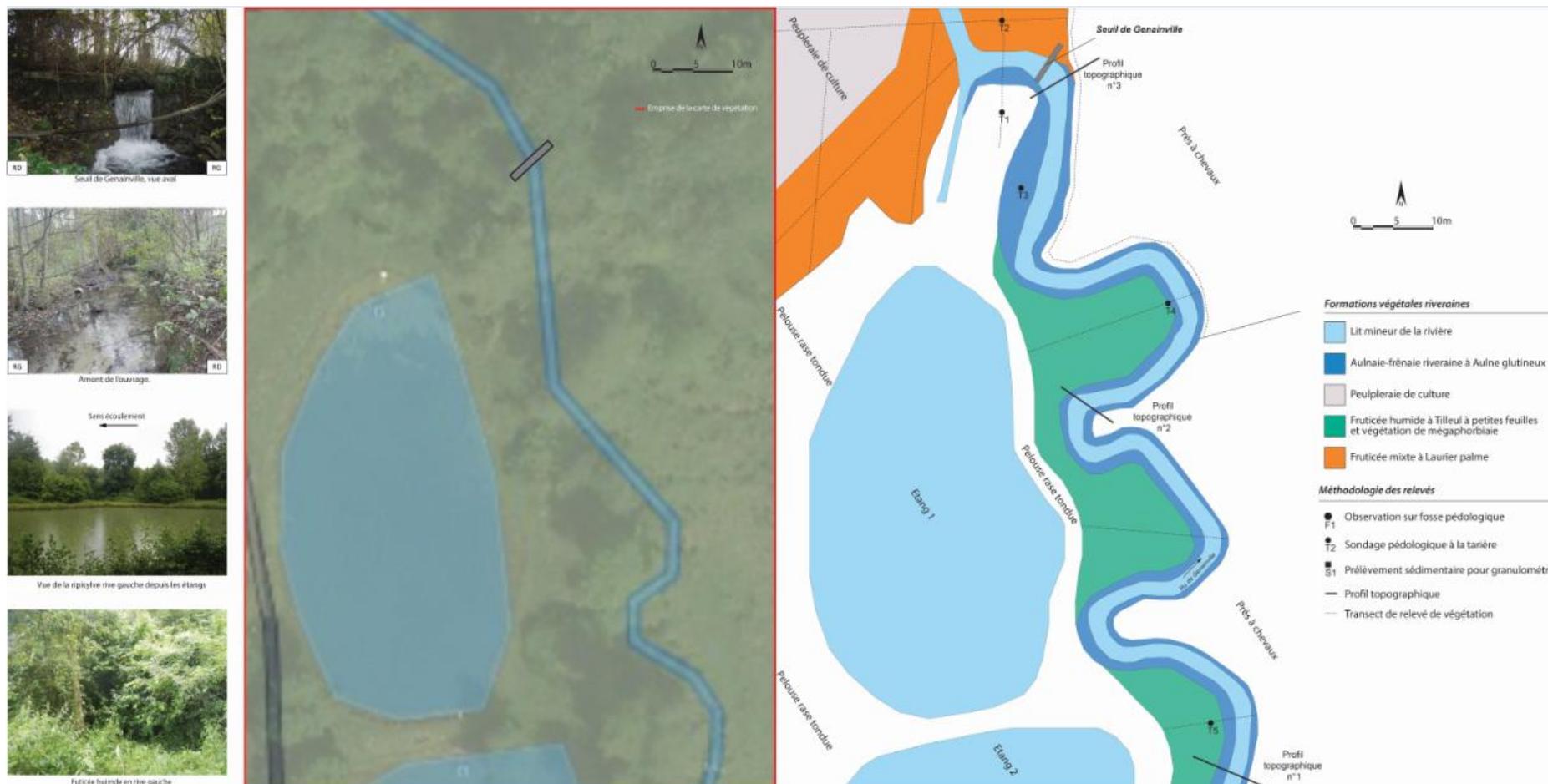


Figure 15 - Présentation du site de Genainville. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 en annexe.

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

## SITE DE HODENT SUR LE RU DE GENAINVILLE

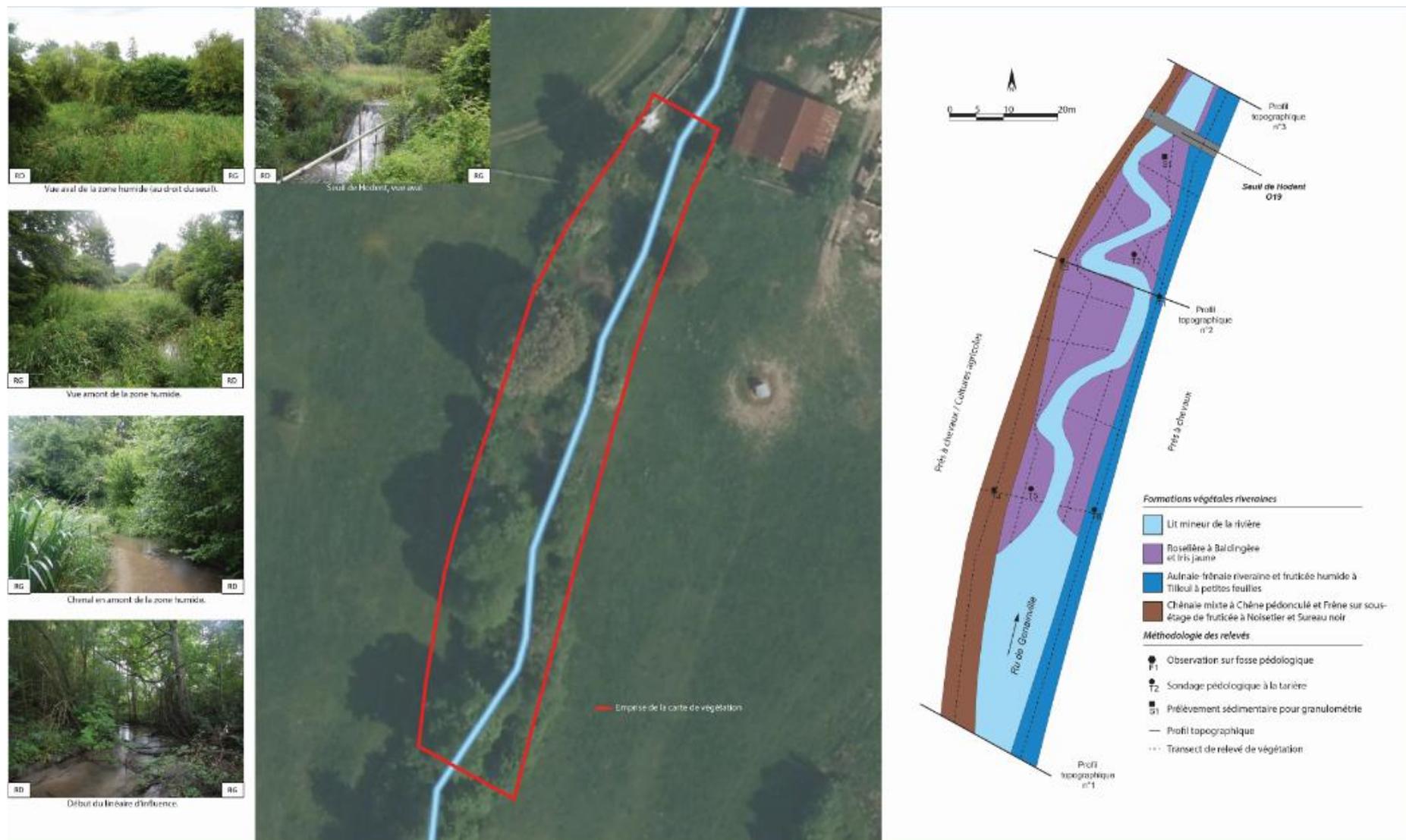


Figure 16 - Présentation du site de Hodent. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 en annexe.

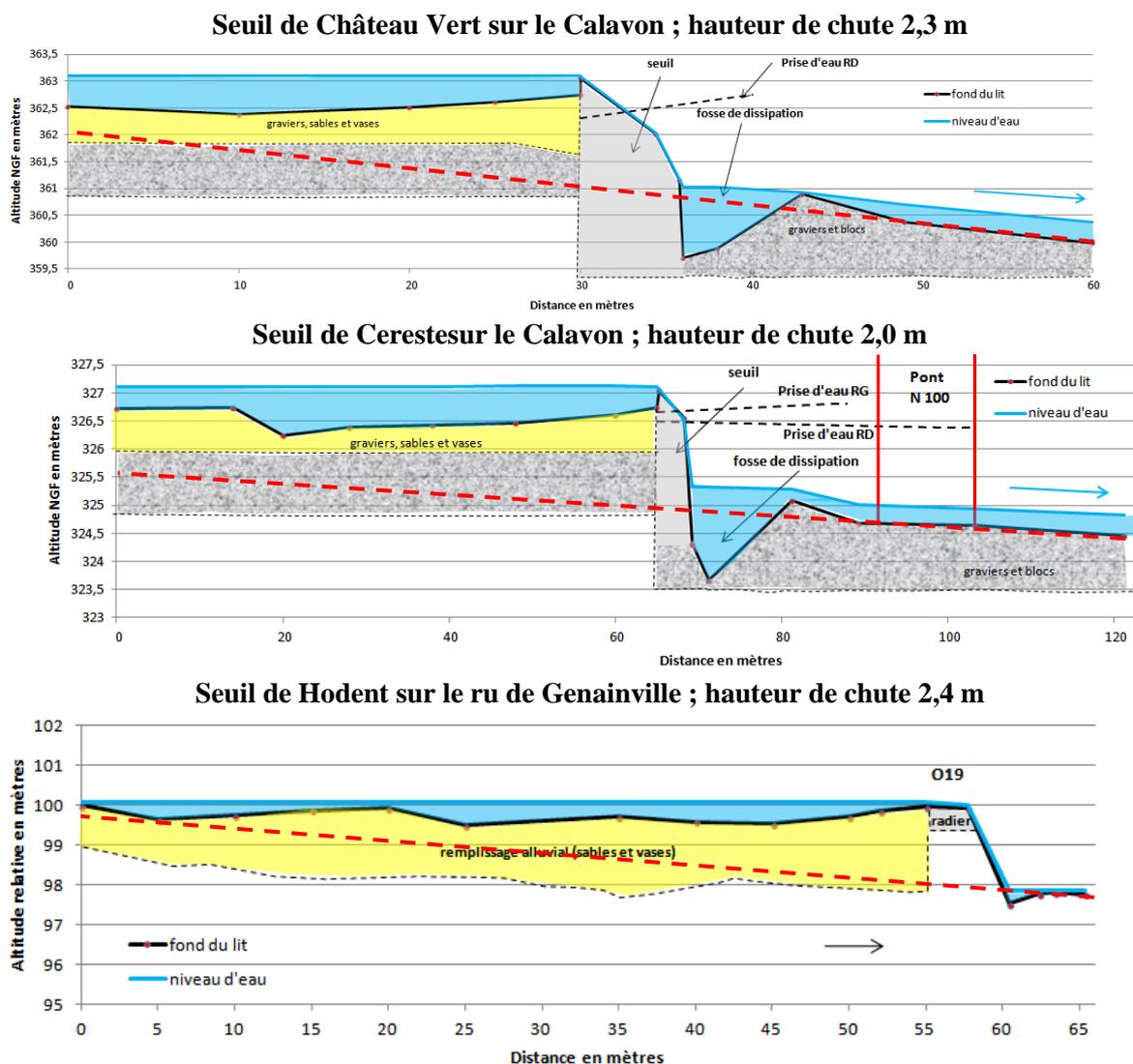
Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

## 3.2 Topographie

Les profils en long et en travers des quatre sites sont présentés et commentés à la suite.

### 3.2.1 Profils en long

Les profils en long sur les linéaires d'influence immédiats des ouvrages des quatre sites sont similaires en terme d'accumulations sédimentaires. Les hauteurs de chute varient de 1 à 2,4m avec des hauteurs d'eau en amont des ouvrages de 30 à 80cm (figure 17). Les profils d'équilibre de pente des cours d'eau ont été tracés sur chaque coupe en long (traits rouges), avec l'aide des ingénieurs du CIAE, et permettent de représenter globalement la baisse du niveau d'eau attendue après effacement de l'ouvrage. Elles sont estimées pour le Calavon et modélisées sous HEC RAS pour le ru de Genainville.



Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

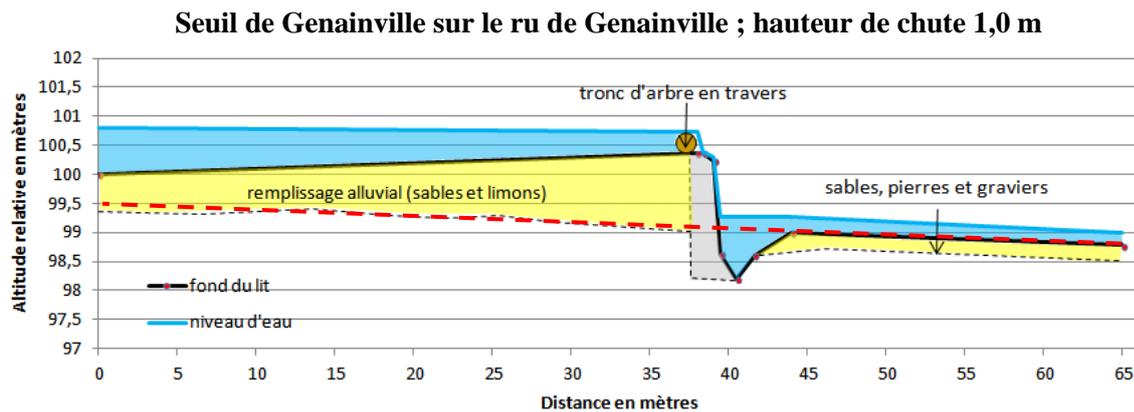


Figure 17 - Profils en longs des linéaires d'influences de tous les sites étudiés.

### 3.2.2 Profils en travers

Les profils en travers présentent la morphologie des rivières étudiées, perpendiculairement à l'écoulement, et positionnent les formations végétales et les sondages de sols, pour apprécier les zonations écologiques de chaque site. La nappe a été figurée autant que possible grâce à ses profondeurs d'apparition dans les sondages pédologiques.

Les altitudes sont données en valeurs relatives depuis le niveau de l'eau qui constitue l'altitude 0 m, sauf pour le Ru de Genainville où la campagne topographique a été géoréférencée à l'aide d'une station totale.

Les berges du site de Château Vert sont abruptes en rive droite, avec le racinaire des Aulnes à nu. Les pieds de berges en rive droite sont moins perchés (30cm) et la pente plus douce permettant l'installation d'une ceinture d'hélophyte large (3m) et diversifiée proche du fil d'eau (figure 18).

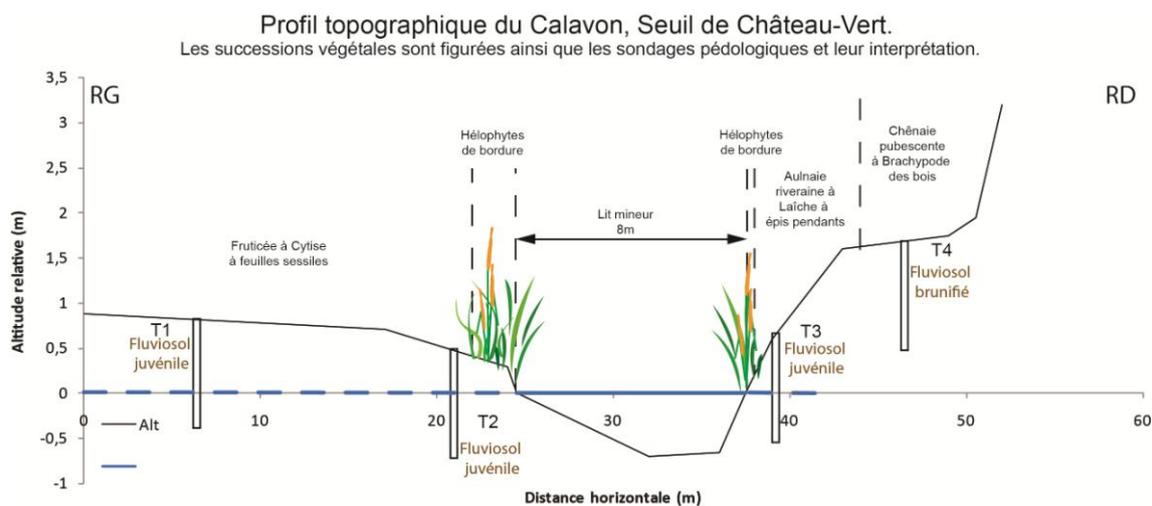


Figure 18 - Profil en travers du site de Château-Vert et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques.

Les berges du Calavon sur le site de Céreste sont en pente douce dans le lit mineur mais l'élévation des terrains augmente rapidement dans le linéaire amont qui présente des berges perchées (élévation de 3 à 3,5m par rapport au niveau d'eau, P1 et P2), (figure 19). En rive gauche, un talus 20 m en retrait du cours d'eau limite le développement des Peupliers au profit des Robiniers ou d'une pelouse sèche.

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

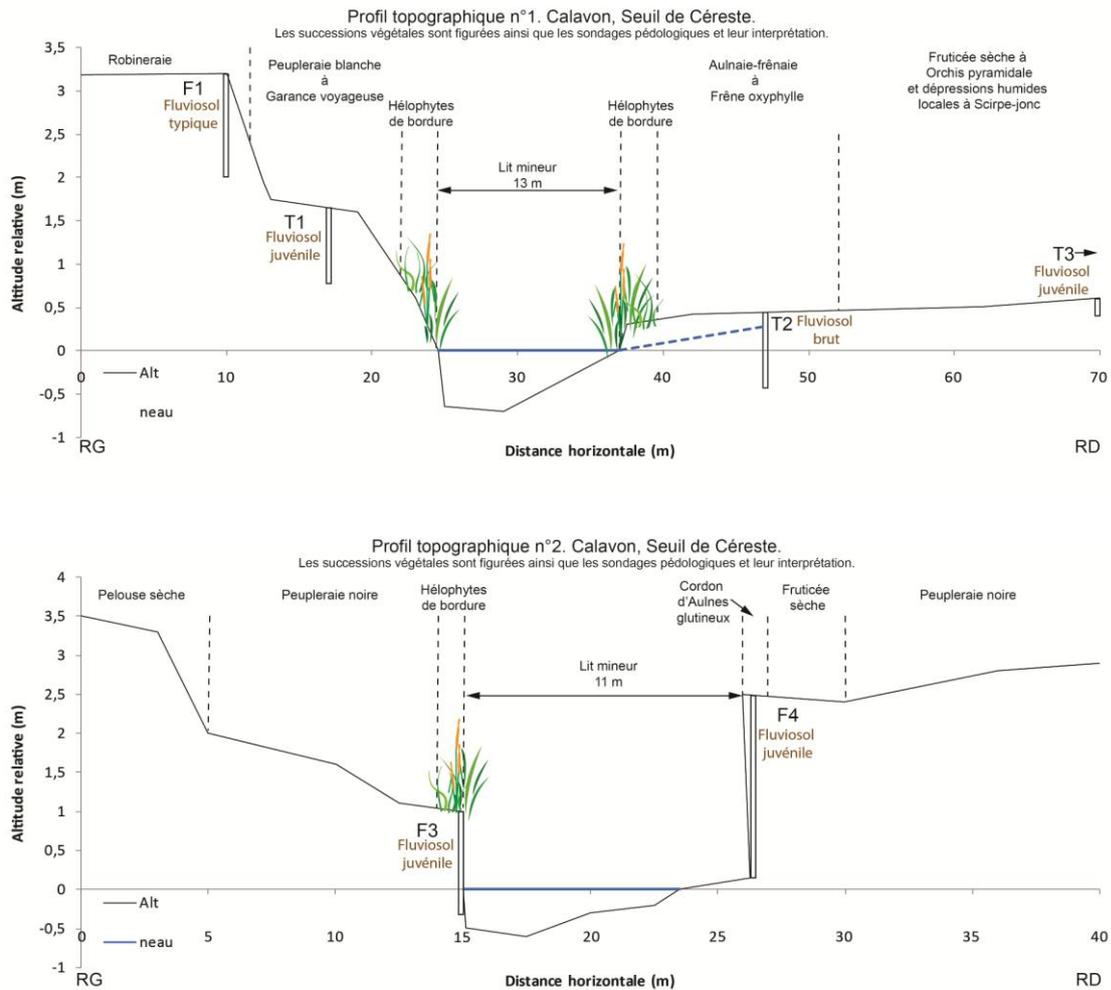
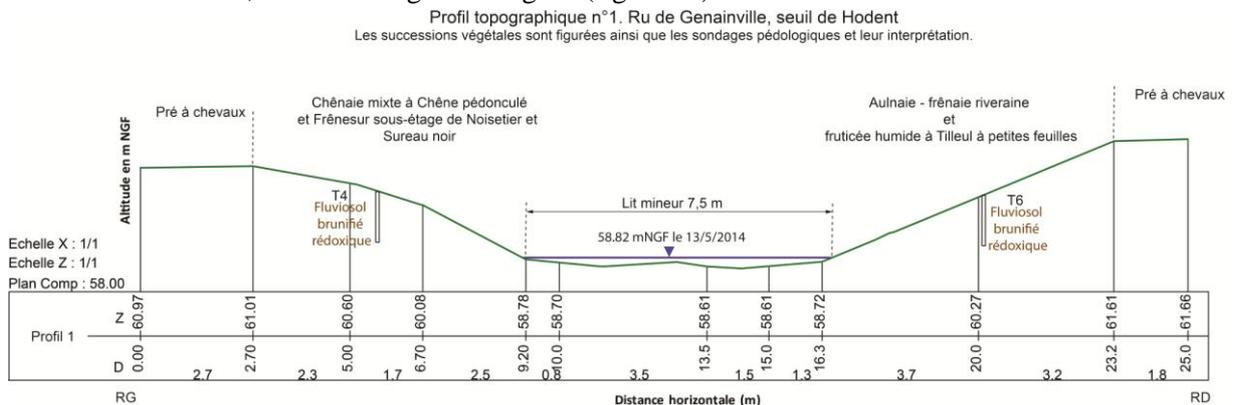
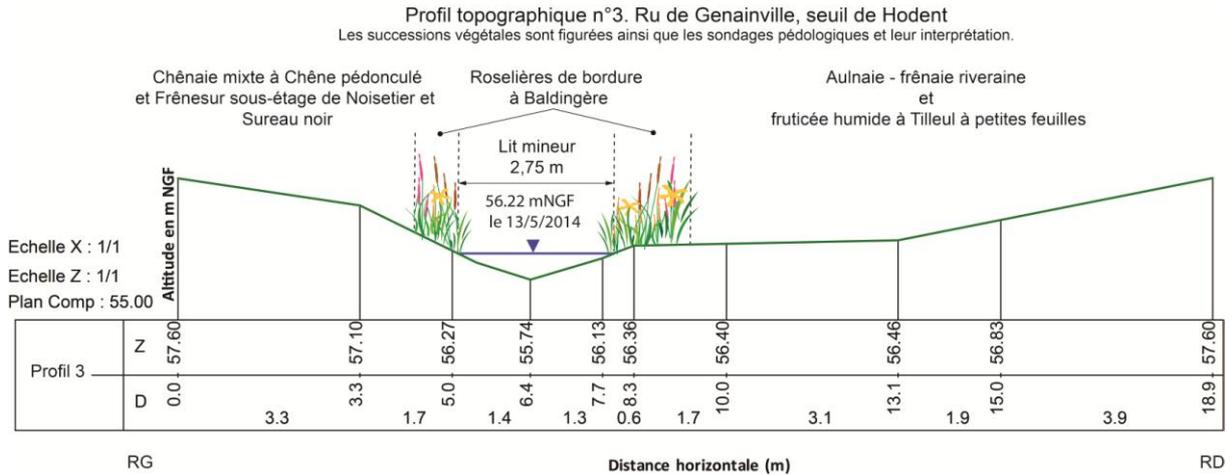
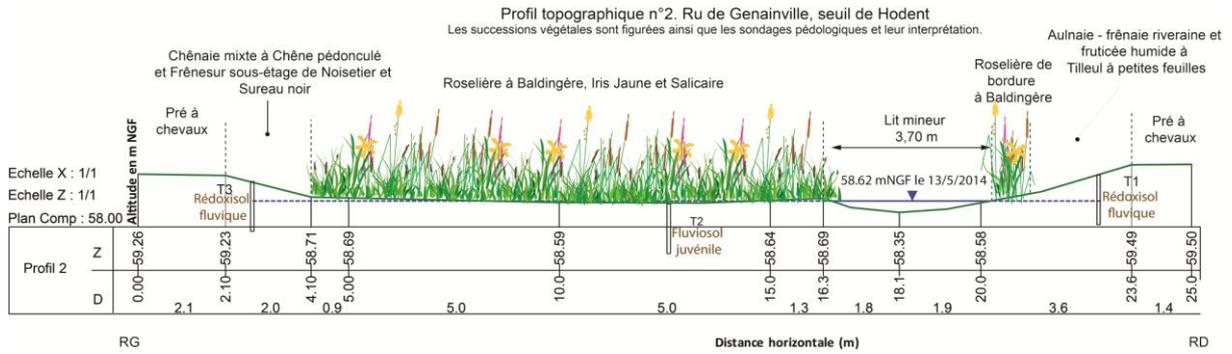


Figure 19 - Profils en travers du site de Céreste et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques.

La morphologie des berges du site de Hodent est effacée par les accumulations sédimentaires constituant le plancher de la zone humide. Le lit en eau est restreint et les talus sont en pente douce (P2 et 3) avec une large zone humide au fil de l'eau (P2). En amont du linéaire (P1), le cours d'eau est encaissé de 3 mètres, avec des berges rectilignes (figure 20).

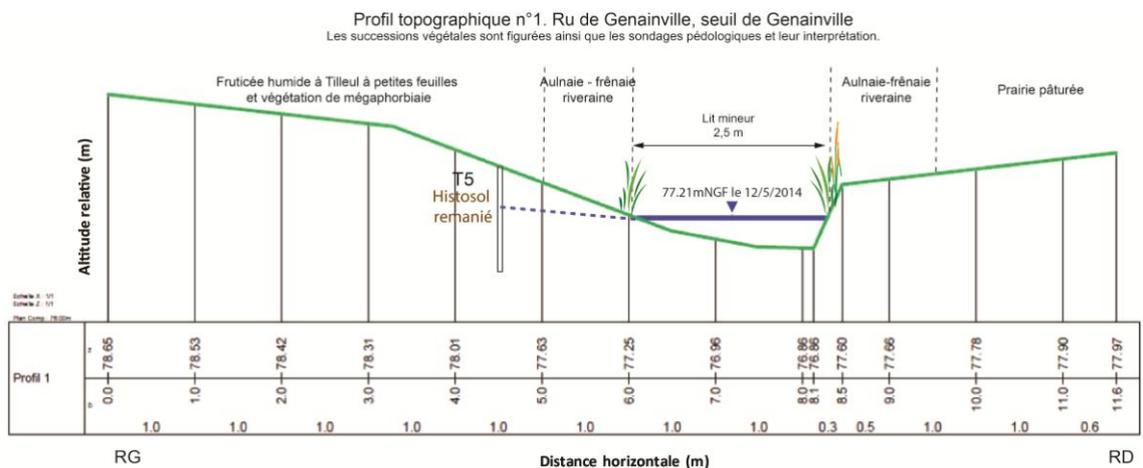


Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.



**Figure 20 - Profils en travers du site de Hodent et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques.**

La morphologie du cours d'eau sur le site de Genainville traduit le tracé en méandres avec des alternances de berges en pente douce (intérieur des méandres, accumulations sédimentaires) et plus pentues (P2) voire verticales (P1) (extérieur des méandres, érosion fluviale). La largeur du lit augmente plus on se rapproche de l'ouvrage (2,5m sur P1, 3,3 sur P3). La nappe est proche de la surface (1,5m environ) (Figure 21).



Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

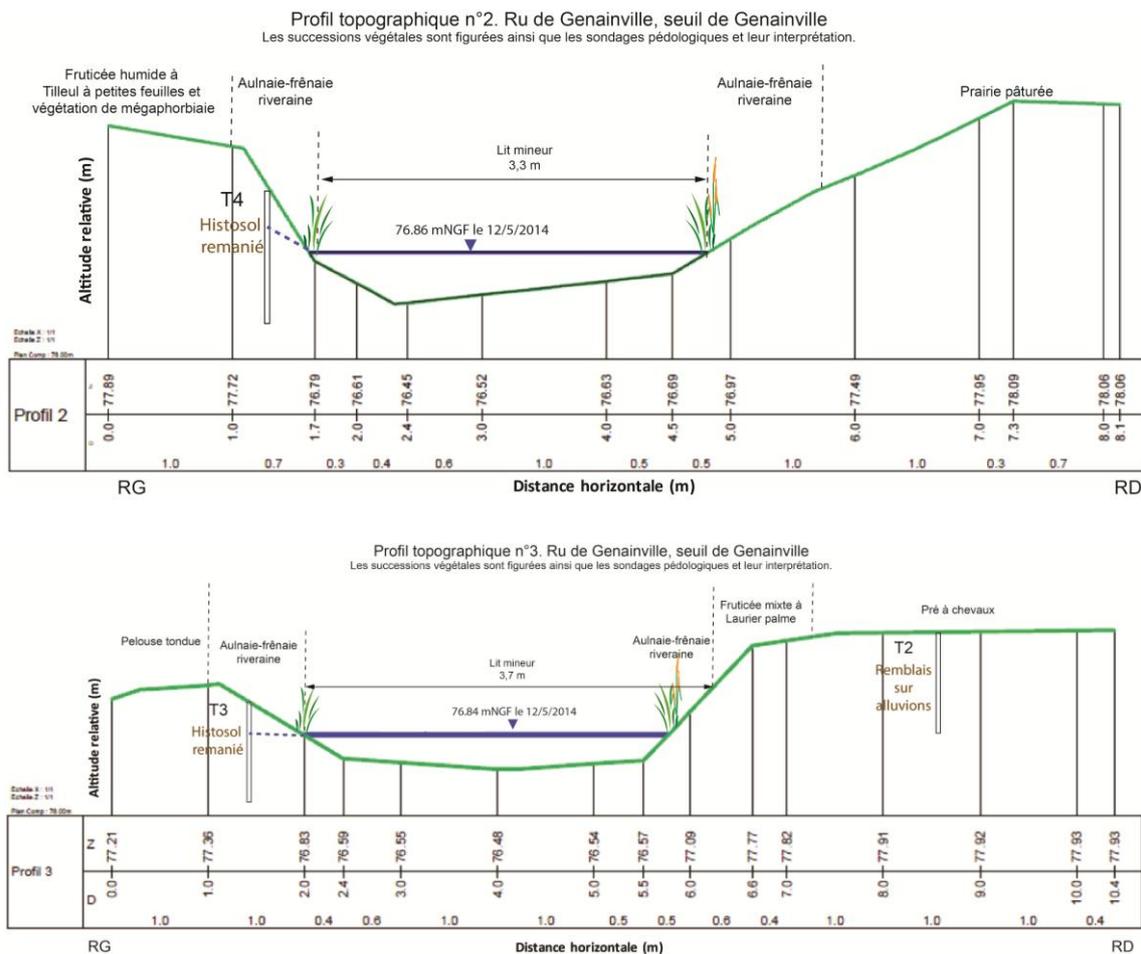


Figure 21 - Profils en travers du site de Genainville et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques.

La morphologie des rivières des quatre sites étudiés est hétérogène mais les zonations de végétations se répartissent de manière similaire avec les successions hélophytes, bois tendres ou fruticées, bois mixtes, bois durs ou formations xérophiles, selon la proximité de la nappe. Ceci est également en relation avec la structuration des sols, croissante du pied de berge vers le haut de talus.

### 3.3 Pédologie

Toutes les observations pédologiques sont reportées en annexe, les principaux types de sols sont commentés par site.

Sur le Calavon, les sols de Château-Vert sont sableux ou sablo-graveleux et drainent largement. La pédogénèse est plus prononcée en haut de talus, avec des fluviosols brunifiés. Le site de Céreste est marqué par des sols fins, limono-sableux, profonds et assez humides au droit de l'ouvrage. Plus en amont, les sols ont une granulométrie beaucoup plus grossière, l'enracinement ne va pas au-delà de 50 cm de profondeur. Les remontées capillaires sont de l'ordre de 15 à 20 cm pour Château-Vert et de 15 à 70 cm pour Céreste.

Les sols du Ru de Genainville sont marqués par un remaniement de surface et des intercalations tourbeuses sur le site de Genainville ; et par une hydromorphie de type redoxique sur le site de Hodent. Les remontées capillaires sont de l'ordre de 30 à 100 cm pour Hodent et dépassent plusieurs mètres sur les sols tourbeux de Genainville.

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

Des bancs de galets ont été relevés sur les sites de Céreste et Château-Vert. Les racines sont bloquées et atrophiées pour certaines essences (Robinier) tandis que d'autres traversent la couche avec un système racinaire puissant, profondément ancré dans le substrat (Aulnes, Peuplier noirs), (figure 22).



Figure 22 - Effet d'un banc de galet sur le système racinaire d'un Robinier et d'un Peuplier noir sur le Calavon. Sites de Céreste et Château-Vert.

La présence de cette seule contrainte écologique conduit à des peuplements grêles et fragiles, peu diversifiés, souvent en limite de leurs exigences écologiques. La remontée capillaire pour cette texture est nulle ou au mieux de 30 cm sur les observations effectuées lorsqu'elle est en mélange avec du sable. La présence de banc de galets est donc un triple facteur de sensibilité pour certains végétaux qui subissent un enfoncement de nappe. Des peuplements déjà peu vigoureux, n'ayant que très peu accès à l'eau ne pourront pas prospecter en profondeur vers le nouveau niveau d'eau.

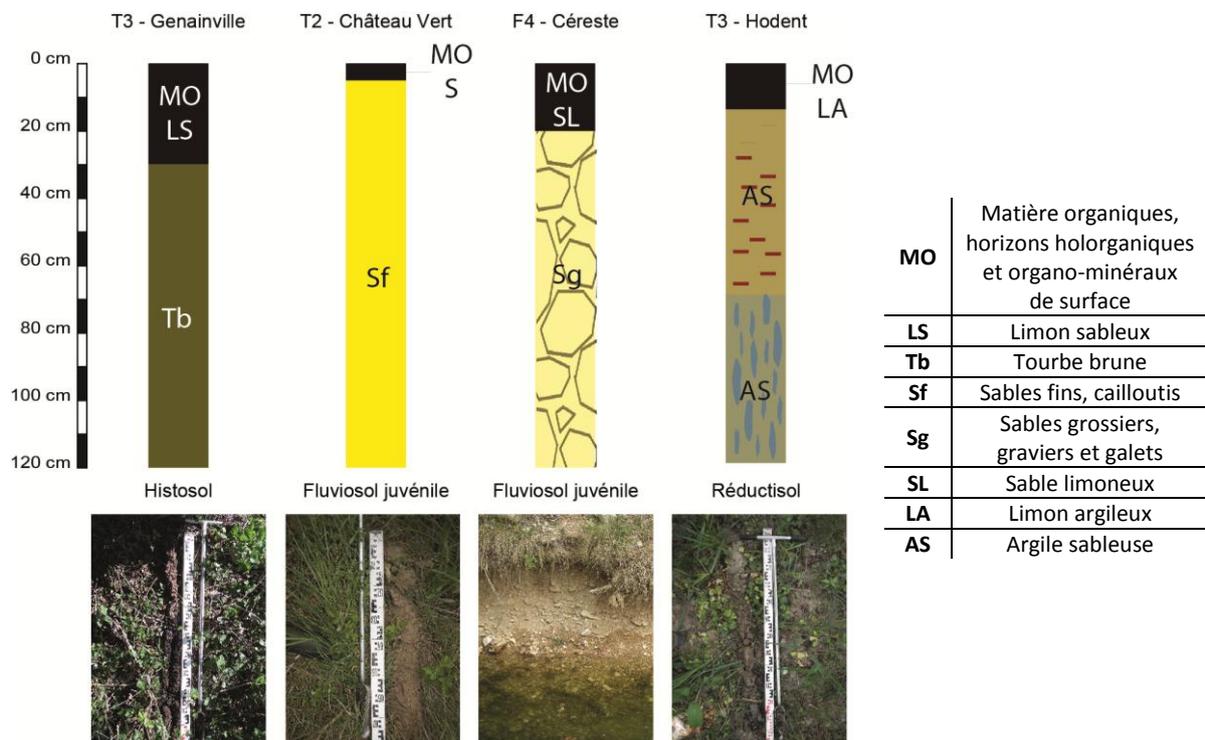


Figure 23 - Sols représentatifs des successions pédologiques des sites étudiés.

Les sols échantillonnés sont donc tous d'origine alluviale, de type fin sableux et grossier graveleux sur Château-Vert et Céreste, argilo-limoneux humifères sur Hodent et enfin tourbeux ou remblayés sur Genainville (figure 23). Les valeurs de remontées capillaires sont bien corrélées avec les données de *Duchaufour, 2004*.

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

### 3.3.1 Hydrologie

Une modélisation hydraulique sous HEC RAS a été réalisée avec les ingénieurs du CIAE pour représenter la baisse de nappe attendue sur le site de Hodent. Son ouvrage présente la plus grande hauteur de chute sur les sites étudiés : 2,4 m.

La baisse de nappe est progressive sur les linéaires d'influence des ouvrages selon le retour à la pente d'équilibre du cours d'eau (figure 24 A). L'intensité de l'enfoncement du niveau de la rivière varie d'aval en amont depuis la crête du seuil (figure 24 B).

La proximité du seuil est donc un facteur de sensibilité hydrologique pour les végétaux, en terme d'intensité de l'enfoncement de nappe et de transport sédimentaire.

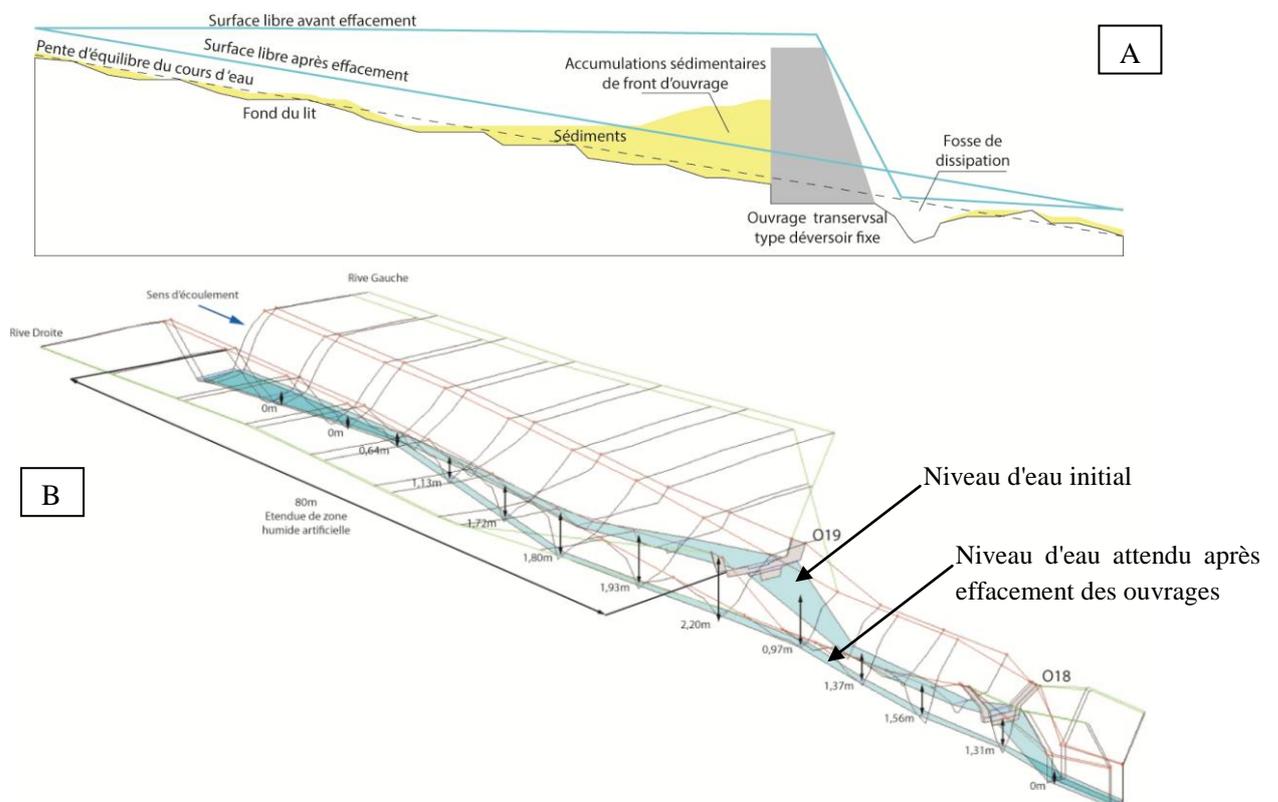


Figure 24 - Résultat de la modélisation hydraulique HEC RAS sur le seuil de Hodent et schéma de principe du retour à la pente d'équilibre du cours d'eau.

En conclusion, les données de la phase terrain précisent et imagent les éléments déterminants la répartition des cortèges végétaux et leur sensibilité à l'enfoncement de nappe mis en évidence dans l'étude bibliographique. Les formations végétales rivulaires sont denses, diversifiées, et établies en zonations écologiques selon la proximité de la nappe et la structuration des sols :

- Hélophytes, nappe proche ( $\leq 1$  m), sols peu évolués, prospection racinaire faible ;
- Bois tendres ou fruticées, nappe proche ou éloignée en profondeur selon la pédologie, sols moyennement évolués, prospection racinaire dépassant la profondeur de sondage pédologique d'1,20 m ;
- Formation de bois mixtes bois tendres et durs ;
- Bois durs ou formations xérophiles, lien plus discret avec la nappe éloignée en profondeur, élévation topographique importante, prospection racinaire dépassant la profondeur de sondage.

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

## 4. Discussion

---

La plupart des végétaux ripicoles possèdent une large amplitude écologique et sont présents dans plusieurs formations végétales distinctes. Les prévisions d'évolutions de la végétation suite à une baisse de nappe sont complexes, en relation avec le nombre important de facteurs dont elles dépendent et leurs interactions.

### 4.1 Eléments de dynamique de végétation des rives après enfoncement de la nappe

#### 4.1.1 Résistance des formations végétales

L'étude de la dynamique des groupements végétaux rivulaires doit prendre en compte la capacité des écosystèmes à résister aux perturbations grâce à leurs dispositifs de "*stockage de flux*". Ces flux sont de deux types :

- **hydriques** : rétention de l'eau dans le sol (texture) et capacité des végétaux à la mobiliser (enracinement)
- **nutritifs** : stockage et mobilisation des nutriments (humus, système racinaire, état phytosanitaire).

Pour le cas d'une baisse de nappe, cette résistance est de l'ordre de quelques décennies (échelle de temps de la durée de vie des essences). Le phénomène augmente la vulnérabilité des groupements végétaux qui se déséquilibrent en classes d'âges mais ne se régénèrent pas. Plus le milieu devient contraignant et plus les végétaux utilisent leur énergie pour la reproduction sexuée, mais la station n'est plus viable pour les jeunes plants. Le peuplement se renouvelle par trouées et est progressivement remplacé par un cortège d'essences plus xérophiiles. On peut distinguer une phase de transition puis de substitution au peuplement initial pour le retour à un stade biostatique ou directement une substitution. Une population régresse et une autre plus apte à se développer selon les nouvelles conditions du milieu (trophique et hydrique) colonise la niche écologique<sup>10</sup> et progresse.

Globalement, en réponse à la baisse de nappe, les formations mésophiles tendent donc à évoluer vers les bois mixtes ou durs, les communautés mésohygrophiles et hygrophiles vers les bois tendres ou les landes à bois tendres. Les saulaies arbustives semblent toujours persister dans le lit mineur des cours d'eau à la faveur des sols alluviaux néoformés par charriage. Mais ces communautés disparaissent dès qu'elles perdent le contact permanent avec la nappe alluviale.

D'après *Pautou, 1988 et Pautou et al. 1996*, sur le bassin Rhodanien, un abaissement de 1,70 m sur sol alluvial brunifié a touché toutes les classes d'âges des saussaies et aulnaies qui ont été remplacées par des groupements plus xérophiiles de charmaie.

#### 4.1.2 Influence de la fermeture du couvert et de la richesse spécifique

La présence d'espèces à développement rapide pouvant supplanter le peuplement dominant, et l'agressivité des cortèges alentour sont deux facteurs de dynamique de la végétation en relation avec la richesse spécifique et la fermeture du couvert.

Un cortège végétal en équilibre où toutes les niches écologiques sont occupées par un nombre d'espèces important, avec un couvert fermé, est susceptible de persister après une baisse de nappe.

---

<sup>10</sup> Ensemble des paramètres composant les exigences écologiques d'une espèce.

Contrairement à un peuplement ouvert, peu diversifié, dans lequel progresse des végétaux plus xérophiiles.

G. Pautou, 1988, décrit que dans un peuplement qui supportera la baisse de nappe d'eau sans changer sa physionomie globale, un abaissement de quelques décimètres suffira à provoquer une augmentation notable des espèces herbacées mésophiles sciaphiles.

La présence d'espèces aptes à supplanter le peuplement en sous-étage ou alentour, le degré de fermeture du couvert et de comblement des niches écologiques sont donc des données à prendre en compte pour prévoir l'évolution de la végétation.

#### 4.1.3 Prospections racinaires par types de végétation

Dans les sondages pédologiques à la tarière et dans les fosses pédologiques, la profondeur d'apparition des racines a été notée pour déterminer le volume de sol prospecté par les végétaux. Ces valeurs sont importantes car elles permettent d'envisager la réaction des végétaux à l'enfoncement de nappe une fois corrélées avec les valeurs de remontée capillaire et avec la baisse de nappe envisagée.

La prospection des racines des héliophytes et des herbacées a été observée jusqu'à 40 cm. La profondeur de prospection des ligneux est supérieure à la profondeur de sondages pédologiques, sauf dans le cas de banc de galets qui atrophient certains systèmes racinaires. Les gammes de profondeur établies durant la phase bibliographique peuvent être précisées, avec ces nouvelles données (tableau 2).

0,40 m	<b>Herbacées et héliophytes</b> (plus données récoltées durant des études pédologiques précédentes réalisées au sein du CIAE).
1,00 m	<b>Roseaux et des principaux arbustes</b> ( <i>idem</i> , plus données CIAE).
1,50 m	<b>Ligneux</b> (Piégay, Pautou et al., 2003 ; Drénou, 2006 ; Zaneti, Vennetier et al., 2008). Seuil de sensibilité des Aulnes glutineux sur le Rhône (dépérissement à -1,70m) (Pautou et al. 1996)
3,00 m	<b>Enracinements exceptionnels.</b> Seuil d'affaissement de nappe au-delà duquel Bravard, 2007 (cité dans Piégay, Pautou et al, 2003) prévoit une modification de tous les stades successionnels en bord de cours d'eau. Pautou et al. 1996 précisent qu'une baisse de nappe de 5 à 6 m fait disparaître toutes les communautés alluviales en relation avec les processus d'argilification et de décalcification prépondérants dans la pédogénèse.

Tableau 2 - Profondeur d'enracinement par type de végétation.

La densité la plus importante des systèmes racinaires de berges observés sur site se situait juste sous le niveau d'étiage avec des racines fines très nombreuses. La concentration de cette masse absorbante sous le niveau d'étiage du cours d'eau est un facteur de sensibilité à la baisse de nappe.



Figure 25 - Racinaire d'un Iris Jaune et racines fines d'Aulnes glutineux, sous le niveau d'étiage du Calavon.

Selon ces paliers d'enracinement, il est donc possible d'envisager plusieurs baisses de nappe impactant différemment les grands types de végétation, pour découper la dynamique prévisible de la végétation après enfoncement du niveau de l'eau.

## 4.2 Dynamiques prévisibles d'évolution des communautés végétales selon différents degrés d'abaissement de nappe.

Les facteurs de contrôle de la répartition des formations végétales riveraines déterminés dans ce rapport peuvent être utilisés pour étudier leurs grandes évolutions prévisibles après un enfoncement de nappe (tableau 3). Cette dynamique peut se découper selon une échelle d'intensité de perturbation pour les communautés végétales qui impacte différemment les végétaux. Sur une échelle de perturbation croissante, les groupements végétaux peuvent ne subir aucune réaction, s'accommoder en adaptant leur morphologie, progresser vers le fil d'eau selon le nouveau gradient hydrologique, évoluer vers un peuplement mature et être remplacé voir être substituer directement (tableau 4).

<p><b>Facteurs botaniques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- âge du peuplement et corrélation avec sa profondeur de prospection racinaire et son aptitude à la fructification,</li> <li>- amplitude écologique et caractéristiques physiologiques des espèces constituant le cortège (sensibilité à la sécheresse, vitesse de croissance, aptitude à l'enracinement...)</li> <li>- présence d'espèces à développement rapide en sous-étage</li> <li>- agressivité des cortèges alentour</li> <li>- richesse spécifique et fermeture du couvert</li> <li>- banques de graines et paléorivages</li> <li>- fragilisation des peuplements par un pathogène, problème phytosanitaire</li> <li>- présence d'espèces exotiques envahissantes</li> <li>- gestion appliquée</li> </ul>
<p><b>Facteurs topographiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- altitude d'implantation des cortèges végétaux et proximité de la nappe.</li> </ul>
<p><b>Facteurs pédologiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- nature et structure des sols alluviaux (remonté capillaire, sensibilité au compactage par retrait vertical de l'eau, stabilité structural vis à vis de l'érosion fluviale)</li> <li>- présence de banc de galets</li> <li>- aptitude des sols au stockage des flux d'eau et de nutriments</li> </ul>
<p><b>Facteurs hydrologiques</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- intensité et brutalité de la baisse de nappe corrélées à la conductivité hydraulique des sédiments et à la position topographique des groupements végétaux</li> <li>- capacité hydraulique du cours d'eau à reconfigurer la morphologie de son lit et à transporter des organes végétaux (reprise de l'érosion fluviale)</li> </ul>

**Tableau 3 - Facteurs de sensibilité des formations végétales riveraines à l'enfoncement de nappe alluviale.**

<p>Intensité de la perturbation</p>	<p><b>Absence de réaction</b>, la baisse de nappe n'est pas significative en relation avec la nature des formations végétales ou l'existence de facteurs de compensation (remontée capillaire, stockage des flux de surface)</p>
	<p><b>Accommodation</b>, enfoncement du système racinaire et/ou traumatisme passager (trouble de croissance)</p>
	<p><b>Glissement</b>, les conditions permettent le déplacement des successions écologiques selon le nouveau gradient hydrologique.</p>
	<p><b>Transition, évolution vers un peuplement mûre</b>, persistance du peuplement en place mais impossibilité de régénération. Apparition d'espèces xérophiiles par trouées.</p>
	<p><b>Substitution</b>, régression d'un cortège au profit de la progression de groupements plus xérophiiles. La baisse de nappe supprime la majorité de la disponibilité en eau, le dépérissement concerne toute la formation végétale.</p>

**Tableau 4 - Dynamiques d'évolution des communautés végétales après enfoncement de nappe selon (op.cit. tabx 1 et 2; Pautou 1986, 1988, 1996 ; et Bournérias et al.2001.)**

Les dynamiques prévisibles des formations végétales rivulaires sont présentées sous forme de clés logiques et s'articulent autour de trois grands types de formations végétales divisées en variantes selon les grands types de sols :

- les héliophytes et les roselières
- les bois tendres à prospection racinaire de surface
- les bois tendres à prospection racinaire profonde
- les bois durs

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

La variable principale de ces clés est la valeur de l'enfoncement de nappe. Les paliers de descente correspondent aux prospections racinaires des grands types de végétation (tableau 2). Cette construction permet de prendre en compte les formations à large amplitude écologique pour un même site.

L'effet de ces facteurs est détaillé dans le rapport et chacun d'entre eux, s'il s'applique sur le site viens préciser l'évolution prévisible donnée dans la clé. La baisse de nappe est considérée brutale et pérenne.

Les clés aboutissent à la prévision d'évolution de la dynamique des cortèges végétaux en reprenant les schémas de variations et les facteurs de contrôle (de sensibilité et de compensation) décrits précédemment et testés dans l'étude. Il s'agit de diagnostiquer les écosystèmes en dégageant les degrés de sensibilité des espèces après un enfoncement variable de nappe. L'objectif est d'orienter la gestion en faveur de la conservation du patrimoine végétal des cours d'eau.

Ces clés sont reportées en annexe 8 et un exemple de leur utilisation est détaillé sur le site de Hodent, à l'aide de la modélisation hydraulique réalisée sous HEC RAS avec les ingénieurs du CIAE.

### 4.3 Exemple d'utilisation des clés sur le site de Hodent

L'ensemble des entrées et des sorties des clés sont synthétisées dans le tableau ci-dessous. Les schémas de la figure 26 les illustrent.

Baisse de nappe modélisée (HEC RAS)	<b>Hélophytes</b> ; sol alluvial fin	<b>Bois tendres, enracinement profonds</b> ; sol alluvial humifère	<b>Bois tendres, enracinement de surface</b> ; sol alluvial humifère	<b>Bois durs</b> ; sol alluvial humifère
-0,86m	Accommodation	Absence de réaction	Accommodation	Absence de réaction
-1,73m	Transition puis substitution	Transition, glissement de végétation	Transition, glissement de végétation	Transition, glissement de végétation

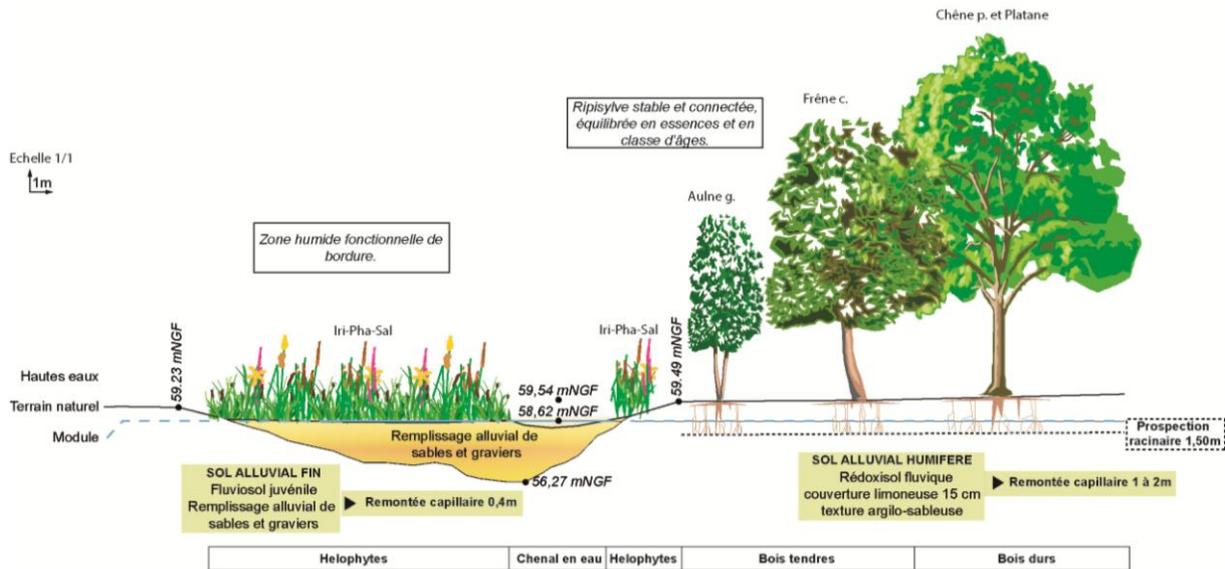
La situation initiale présente des formations végétales réparties selon le gradient hydrologique et la pédologie, en équilibre. (figure 26 A)

Un premier abaissement de 0,86 m correspond à la situation juste après effacement total, où le cours d'eau se réajuste et incise progressivement le remplissage alluvial. Les hélophytes et les bois tendres s'accommodent en développant leur racines jusqu'au nouveau niveau de nappe. Les bois durs et les bois tendres à enracinement profonds, comme les Aulnes, prospectent encore au-delà de l'enfoncement de nappe. Ils ne subissent pas de réaction (figure 26 B).

Après une baisse de 1,73m, qui correspond à la situation définitive après effacement, où le cours d'eau s'est réajusté selon ses paramètres hydrogéomorphologiques les évolutions sont plus prononcées.

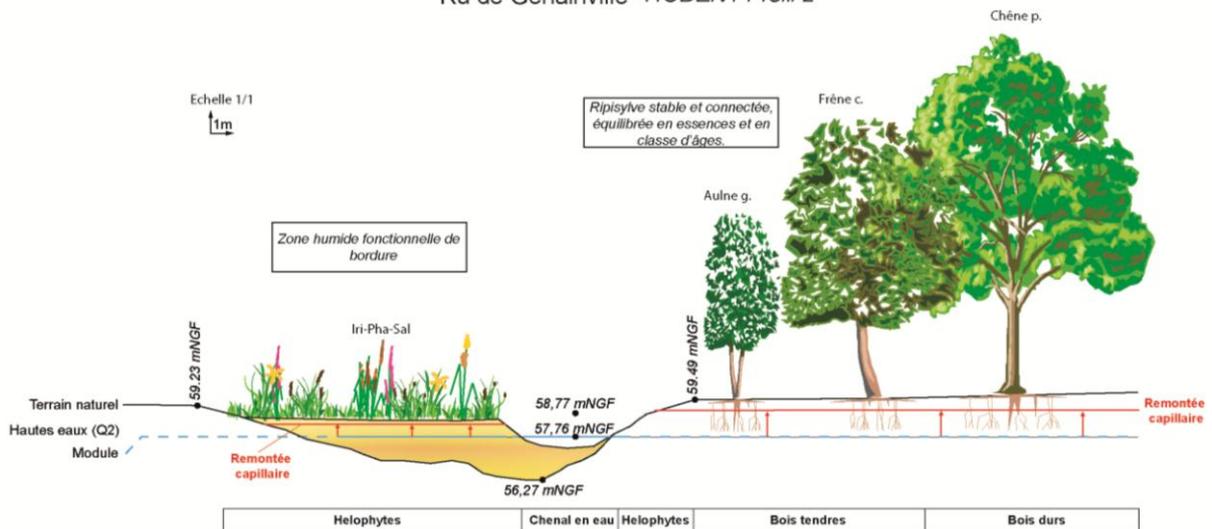
La limite de prospection racinaire des hélophytes est dépassée, le cortège évolue vers une végétation plus xérophile. On peut supposer une évolution vers une cariçaie fraîche puisque *Carex riparia*, hygrophile à large amplitude présente en prairie humide, est présent sur les berges et dans la zone humide. Les bois tendres se réajustent selon le nouveau niveau d'eau et progressent sur les niches écologiques laissées libres par les hélophytes. On peut supposer l'implantation des Saules marsault, déjà présent sur le linéaire, en mélange avec des Aulnes glutineux (figure 26 C).

Situation actuelle, avant effacement.  
Ru de Genainville - HODENT Profil 2



**A - Situation initiale**

Situation prévisionnelle, après effacement : baisse du niveau d'eau pour le module 0,86 m  
Ru de Genainville - HODENT Profil 2

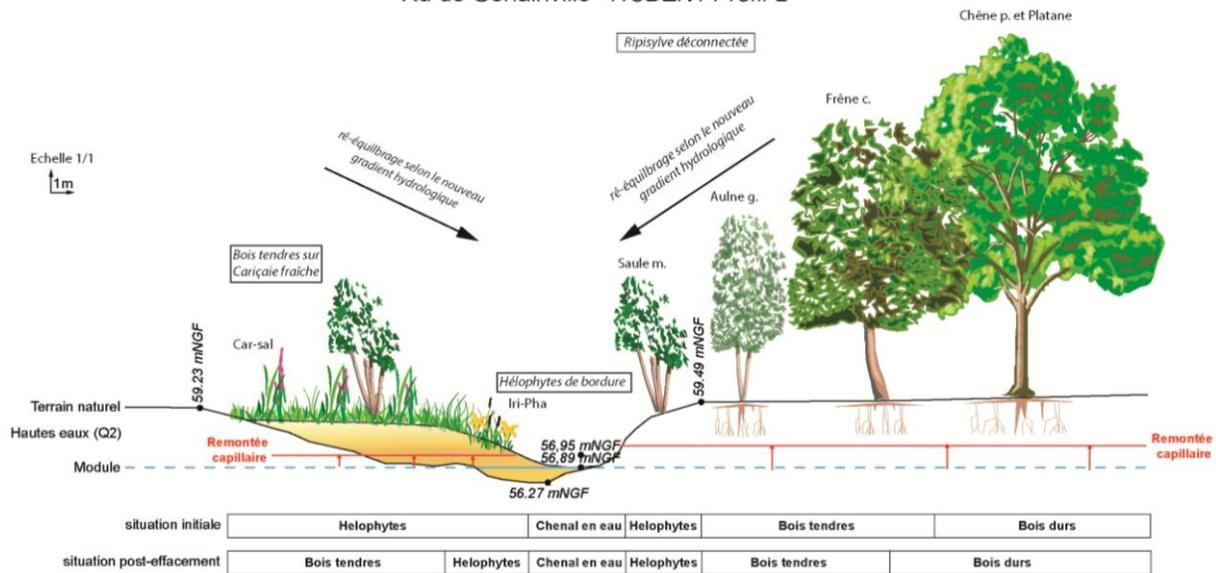


**B - Cours d'eau en cours de réajustement**

Dynamique prévisible des formations végétales suite à une variation soudaine et pérenne du niveau de la nappe alluviale.

Situation prévisionnelle, après effacement : baisse du niveau d'eau pour le module 1,73m

Ru de Genainville - HODENT Profil 2



### C - Rétablissement de la pente d'équilibre

Figure 26 - Prévision de l'évolution de la zone humide du site de Hodent et des arbres riverains selon différents niveaux de baisse de la ligne d'eau.

La végétation du site de Hodent sera donc impactée par une baisse de nappe de l'ordre de deux mètres et évoluera vers des cortèges plus xérophiles tout en conservant sa zonation écologique actuelle. Le phénomène de remontée capillaire est bien illustré ici et soutient pour moitié l'enfoncement de nappe.

## 5. Conclusion de l'étude

---

Les cortèges végétaux s'étalent de manière linéaire le long des cours d'eau et s'organisent en successions sur un axe transversal au chenal. Ces zonations écologiques sont déterminées par l'hydrologie qui procure les flux d'eau et de nutriments, la pédologie qui permet l'accès à ces flux et la topographie qui positionne ces flux.

La morphologie des végétaux est particulièrement adaptée à la présence d'eau facilement mobilisable et à la périodicité du renouvellement par les crues. Les formations riveraines sont en interactions et réagissent à la baisse de nappe en développant leurs systèmes racinaires jusqu'au nouveau niveau de nappe et en fructifiant abondamment en cas de stress hydrique intense.

La sensibilité de la végétation à l'enfoncement de nappe est corrélée à la profondeur de prospection racinaire. La topographie et la pédologie déterminent ou non si les espèces qui composent ces zonations sont aptes à continuer leur développement, peuvent progresser sur d'autres, ou disparaissent. Les facteurs de compensation mis en évidence semblent pouvoir soutenir le développement des formations végétales ou au mieux à étaler la perturbation dans le temps en conduisant les peuplements vers un stade mûre avant leur substitution par des groupements plus xérophiles.

Les schémas de revégétalisation tendent vers un retour des zonations écologiques initiales selon le nouveau gradient hydrologique imposé par le cours d'eau. Les formations mésophiles du haut de talus tendent donc à évoluer vers les bois mixtes ou durs, et les communautés mésohygrophiles et hygrophiles du fil d'eau vers les bois tendres ou les landes à bois tendres.

Les sédiments exondés sont colonisés rapidement par les héliophytes, herbacées et les Salicacées, depuis les banques de graines et les peuplements alentour, qui installent une ambiance végétale apte à soutenir un développement des ligneux après quelques années.

Les dynamiques de végétation après enfoncement de nappe peuvent effectivement être interprétées en fonction des facteurs de contrôle de leur environnement qui sont la topographie, l'hydrologie, la pédologie et par les éléments déterminants les interactions entre groupements végétaux.

## 6. Perspectives

---

Des études de suivi à long terme des écosystèmes rivulaires après effacement, notamment sur des petits ouvrages seraient envisageables pour déterminer précisément les facteurs et leurs impacts et préciser les modèles de réponses de la végétation. L'intégration de nouveaux facteurs de compensation ou de sensibilité peut être envisagée, comme la situation de recharge ou de décharge de la nappe sur la zone rivulaire, ou la conductivité hydraulique des sédiments, par exemple. Par la suite des tests des prévisions seraient mis en place pour affiner les schémas évolutifs.

Des essais d'actions de restauration, de techniques de gestion, peuvent être envisagés en parallèles pour confirmer ou orienter les prévisions selon la fragilité de la végétation.

Les clés réalisées au terme de cette étude pourront être complétées par des facteurs comme :

- la présence d'espèces invasives ;
- l'âge du peuplement : l'hypothèse est celle d'un peuplement étalé en classes d'âges;
- l'état phytosanitaire du groupement végétal : l'hypothèse est celle d'un cortège sain;
- la richesse spécifique;
- la fermeture du couvert et la présence d'espèces mésophiles à développement rapide en sous-étage;
- le tassement des sols par le retrait vertical de l'eau;
- la gestion appliquée et l'état de stress initial des végétaux: l'hypothèse est celle d'une gestion classique des bords de cours d'eau ou d'une non gestion;

Pour ma part, cette étude m'a permis de perfectionner mes connaissances sur l'écologie des zones rivulaires, d'apprendre à les mettre en relation les uns avec les autres pour vérifier les hypothèses formulées, en faisant un bilan des travaux scientifiques actuels et en mettant en œuvre des compétences acquises au cours de l'année.

Cette étude m'a beaucoup appris et me servira de base pour mes prochaines analyses de diagnostic écologique en rivière.

# Liste bibliographique

---

## Publications scientifiques (articles papiers et pdf Web)

Auble, GT, Shafroth, PB, Scott, ML, Roelle, JE. 2007. **Early vegetation development on an exposed reservoir: implications for dam removal.** *Environmental Management* 39:806–818.

Bednarek, A.T. 2001, **Undaming Rivers: A Review of the Ecological Impacts of Dam Removal.** *Environmental Management*, vol. 27(6), pp. 803-14. Available on American Rivers. 2002. Exploring dam removal : a decision-making guide. <http://www.americanrivers.org/newsroom/resources/exploring-dam-removal-a-decision-making-guide/> (consulté le 25/4/2014)

Bramard M. 2012. **Comment accompagner la gestion de zones humides lors d'effacement d'ouvrage.** Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques. Présentation powerpoint du 7ème forum technique des Techniciens Médiateurs de Rivière à Lathus. 38p.

Doyle, M. W., Stanley, E. H., Orr, C. H., Selle, A. R., Sethi, S. A. and Harbor, J. M. 2005. **Stream ecosystem response to small dam removal: lessons from the Heartland.** *Geomorphology* 71: 227-244.

Dufour S. 2005. **Contrôles naturels en anthropiques de la structure et de la dynamique des forêts riveraines des cours d'eau du bassin rhodanien (Ain, Arve, Drôme, Rhône).** Thèse de l'Université Jean Moulin Lyon 3.

H. John Heinz III Center for Science, Economics and the Environment. 2002. **Dam removal : Science and decision making.** 221 p. Chapter 5, biological outcomes of dam removal p133-157.

Hood WG, Naiman RJ. 2000. **Vulnerability of riparian zones to invasion by exotic vascular plants.** *Riparian invisibility, Plant Ecology*, Kluwer Academic Publishers 148: 105-114.

ICF Consulting & Woodlot Alternatives, 2005 - **A summary of existing research on low-head dam removal projects.** Study requested by the American Association of State Highway and Transportation Official, Standing Committee on the Environment. 179p. (pp 33-46, and chap. 7 and 8).

Isaksson M. 2010. Response of riparian vegetation to removal of the Kuba dam in Nätraån. Thesis in Biology. University of Umeå, Swedish.

Johnson, W. Carter .1999. **Response of Riparian Vegetation to Streamflow Regulation and Land Use in the Great Plains.** *Great Plains Research: A Journal of Natural and Social Sciences.* Paper 465.

Lejon Anna G.C. 2012. **Ecosystem response to dam removal.** Thesis. Department of Ecology and Environmental Science, Umeå University, Swedish.

Lenhart C.F., 2000. **The vegetation and hydrology of impoundments after dam removal in south Wisconsin**. Thesis for a Master Science degree in landscape architecture. University of Wisconsin, Madison.165p.

Orr, C.H., and Stanley, E.H. 2006. **Vegetation development and restoration potential of drained reservoirs following dam removal in Wisconsin**. River Research and Applications 22:281–295.

Pautou G., Girel J. 1986. **La végétation de la basse plaine de l'Ain : organisation spatiale et évolution**. Documents de cartographie écologique n°29, p. 75-96.

Pautou G. 1988. **Perturbations anthropiques et changements de végétation dans les systèmes fluviaux. L'organisation du paysage fluvial rhodanien entre Genève et Lyon**. Documents de cartographie écologique n°31, p. 73-96

Pautou G. et al. 1996. **Changements de végétation dans les hydrosystèmes fluviaux. Exemple du haut-Rhône et de l'Isère dans le Grésivaudan**. Revue écologique alpine, Grenoble, Tome III 1996, p41-66.

Nilsson, C., and Berggren, K. 2000. **Alterations of riparian ecosystems caused by river regulation**. BioScience 50: 783–792

Shafroth PB, Friedman JM, Auble GT, Scott ML, Braatne JH. 2002. **Potential responses of riparian vegetation to dam removal**. BioScience 52: 703–712.

Shaw Environmental inc., 2006. **The effect of dam removal on infiltration to the shallow water table beneath ship creek**. Study for Inter-Fluve, Inc. 36p.

Stanley EH, Doyle MW. 2003. **Trading off: the ecological effects of dam removal**. Frontiers in Ecology and the Environment 1: 15–22.

Takahashi M, Futoshi N. 2011. **Impacts of dam-regulated flows on channel morphology and riparian vegetation: a longitudinal analysis of Satsunai River, Japan**. Landscape Ecol Eng 7:65–77

Van Looy K., Severyns J., Jochems H. and De Smedt F. 2005. **Predicting patterns of riparian forest restoration**. Large Rivers Vol. 15, No. 1-4, Arch. Hydrolbiol. Suppl. 155/1-4, p. 373-390.

Zanetti C. Vennetier M. Mériaux P. et al. 2008. **L'enracinement des arbres dans les digues en remblai : étude des systèmes racinaires et impacts sur la sécurité des ouvrages**. Cemagref, Ingénieries n°53 – p 49-67.

## Ouvrages de référence

Baize D., Association Française pour l'Etude des Sols, 2009. **Référentiel pédologique 2008**. Savoir Faire, QUAE. 480p.

Baize D., Jabiol B. 2011. **Guide pour la description des sols**. Savoir Faire, QUAE. 430p.

Banton O., Bangoy L.M. et al. 1997. **Hydrogéologie - Multiscience environnementale des eaux souterraines**. Presses de l'Université du Québec. 445p.

Barnaud G. Fustec E et al. 2007. **Conserver les zones humides : Pourquoi ? Comment ?** Editions Quae Sciences en partages, 230p.

Bournerias M., Arnal G., Christian B., 2001. **Guide des groupements végétaux de la région parisienne**. Belin 640p.

Drenou Christophe, 2006, **Les racines - Face cachée des arbres**, Institut pour le Développement Forestier, 335p.

Duchaufour Ph., 2004. **Introduction à la science du sol - Sol, Végétation, Environnement**. Sciences Sup. 6e édition Dunod. 352p.

National Research Council of America. 1992. **Restoration of Aquatic Ecosystems. Science, Technology, and Public Policy**.. 552 pp. Washington D.C. National Academy Press.

Piegay H., Pautou G., Ruffinoni C. 2003. **Les forêts riveraines des cours d'eau : écologie, fonctions et gestion**. Institut pour le Développement Forestier. 465p.

Ramade F. 1998. **Dictionnaire encyclopédique des sciences de l'eau : biogéochimie et écologie des eaux continentales et littorales**. Paris Ediscience International. 786p.

## Documents techniques, notices et cartes géologiques

American Rivers. 2002. **The Ecology of Dam Removal: A Summary of Benefits and Impact**. <http://www.americanrivers.org/newsroom/resources/ecology-of-dam-removal/> (consulté le 25/4/2014)

BIOTEC, Malavoi JR. 2007. **Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau**. Publication de l'Agence de l'Eau Seine Normandie.

BRGM. Cartes au 1/50 000 et notices géologiques des feuilles 2539 et 968 de Reillanne (France XXXII-42).

BRGM. Carte au 1/50 000 et notice géologique de la feuille 151 de Mantes la Jolie (France XXI-13).

BRGM. Carte au 1/50 000 et notice géologique de la feuille 125 de Gisors (France XXI-12).

CIAE, SIAM, PNR Vexin Français, 2014. Etude de restauration de la continuité écologique sur l'Aubette de Magny - Phase 1, Etude et diagnostics préalables et missions topographiques. 117p.

CIAE, SIAM, PNR Vexin Français, 2014. Restauration de la continuité écologique sur l'Aubette de Magny – Etude d'avant-projet et maîtrise d'œuvre – O18&19 seuils de Hodent, ancien moulin du Pont d'Hennecourt. 30p.

CIAE, SIAM, PNR Vexin Français, 2014. Restauration de la continuité écologique sur l'Aubette de Magny – Etude d'avant-projet et maîtrise d'œuvre – O23 seuil de Genainville. 21 p.

CIAE, SIRCC, 2014. Etude de définition de la continuité écologique sur le Coulon-Calavon. Phase 1 et 2, Etat des lieux et diagnostics préalables et Proposition des scénarii d'aménagement. 120p.

Dufour S. Piégay H. et al. 2004. **Guide de gestion des forêts riveraines des cours d'eau**. Office Nationale des Forêts, Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée-Corse, Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Lyon III. 132p.

Poulet N., Séon-Massin N., BASILICO L. et al. 2013. **Biodiversité aquatique : du diagnostic à la restauration**. Office Nationale de l'Eau et des Milieux Aquatiques. Synthèse du séminaire « Biodiversité aquatique : quelles pistes pour la gestion des rivières et plans d'eau ? ». Paris, 14 et 15 Novembre 2012. 90p.

Malavoi J.R. & Salgues D. 2011. Arasement et dérasement de seuils - Aide à la définition de cahier des charges pour les études de faisabilités - Compartiments hydromorphologie et hydroécologie. Rapport 2010 du partenariat ONEMA/Cemagref pour la Restauration des Milieux Aquatiques - Action 24 Ingénierie de la restauration physique des habitats. 83p.

Schmitt F, Monnier D et al. 2005. **Impacts écologique de l'effacement des barrages dans le grand Est**. Conseil Supérieur de la Pêche. Protection des Milieux Aquatiques. Plaquette 20p.

SIVOA, Syndicat Intercommunal de la Vallée de l'Orge Aval, 1998. **Charte d'entretien des fonds de vallées et milieux humides**. 32pages.

## Ouvrages de détermination floristique

Duhamel G. et al. , 1998, **Flore et cartographie des Carex de France**. Editions Boubée, 296 p.

**Durin L. Franck J. Gehu J.M., 1989**, Flore illustrée de la région Nord-pas-de-Calais et des territoires voisins pour la détermination aisée et scientifique des plantes sauvages. **Editions Bailleul, Centre Régional de Phytosociologie, 323p.**

Fitter, Richard, Alastair et al. 1997, **Guide des graminées, carex, joncs et fougères d'Europe**. Delachaux et Niestlé, 255p.

Fournier P. 1961, **Les Quatre Flores de France** - Éditions Lechevalier, 1160 p.

Rameau J.C., Mansion D., Dumé G. et al. 2003, **Flore forestière française, Tome I Plaines et collines, Tome III** - Institut pour le développement forestier, 1785 p.

Rameau J.C., Mansion D., Dumé G. et al. 2008, **Flore forestière française, Tome III Region méditerranéenne** - Institut pour le développement forestier, 2432 p.

# Listes des figures

Figure 1 - Contexte règlementaire de la restauration de la continuité écologique sur les cours d'eau en France. ....	8
Figure 2 - Position de quelques cortèges végétaux typiques des cours d'eau dans un bloc diagramme à trois dimensions reprenant les trois facteurs de répartition des communautés végétales : topographie (AXE A), hydrologie (AXE C) et pédologie (AXE B). Tiré de Pautou, 1996. ....	9
Figure 3 - Représentation schématique des gradients écologiques en bordure de cours d'eau. Tiré de Dufour, Piégay et al. 2004. D'après Pautou 1984 ; Pautou et Wuillot, 1989 ; Pautou et al. 1996. Modifié d'après les données de Dufour, Piégay et al. 2004. ....	10
Figure 4 - Evolution en pourcentage de la masse en matière sèche des différentes parties de <i>Pinus sylvestris</i> (tiré de Drénou, 2006, d'après Ovington, 1957) ....	11
Figure 5 - Schémas des systèmes racinaires de l'Aulne glutineux, du Frêne commun et du Peuplier selon leur position sur la berge et l'altitude de la nappe. D'après LACHAT 1991, tiré de SIVOA 1998. ....	12
Figure 6 - Représentation schématique de l'influence de l'évolution du niveau de la nappe sur la répartition des racines du Frêne, A) cas d'une nappe relativement basse, B) cas d'une nappe haute. Tiré de Dufour, 2005. ....	13
Figure 7 - (A) Diversité taxonomique en fonction de la durée depuis l'effacement ; (B) Fréquence par type de végétation en fonction de la durée depuis l'effacement ; (Orr et Stanley, 2006) ....	16
Figure 8 - A) Architecture du système racinaire des espèces ligneuses en fonction de la contrainte d'engorgement (tiré de Zanetti, Vennetier et al. 2008). B) Evolution de la densité racinaire du Saule blanc dans un sol stratifié (tiré de Zanetti, Vennetier et al. 2008). ....	16
Figure 9 - Coupes schématiques des fluvisols selon la typologie de l'AFES 2008. ....	17
Figure 10 - Remontée capillaire au-dessus d'une nappe d'eau libre, d'après Duchaufour 2004. ....	18
Figure 11 - Changements hydrogéomorphologiques et dynamiques de végétation associées après la suppression d'un ouvrage de retenue, Shafroth et al. 2002 modifié. ....	19
Figure 12 - Localisation géographique des sites d'étude. Fonds IGN et cartedefrance.fr ....	22
Figure 13 - Présentation du site de Château-Vert. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 paysage en annexe. ....	25
Figure 14 - Présentation du site de Céreste. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 paysage en annexe. ....	26
Figure 16 - Présentation du site de Genainville. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 en annexe. ....	27
Figure 15 - Présentation du site de Hodent. Photographies du site, image aérienne IGN géoportail, et carte de végétation présentant la méthodologie des relevés. La carte de végétation est présentée en format A4 en annexe. ....	28
Figure 17 - Profils en longs des linéaires d'influences de tous les sites étudiés. ....	30
Figure 18 - Profil en travers du site de Château-Vert et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques. ....	30
Figure 19 - Profils en travers du site de Céreste et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques. ....	31

Figure 20 - Profils en travers du site de Hodent et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques. ....	32
Figure 21 - Profils en travers du site de Genainville et représentation des successions de végétation et des sondages pédologiques. ....	33
Figure 22 - Effet d'un banc de galet sur le système racinaire d'un Robinier et d'un Peuplier noir sur le Calavon. Sites de Céreste et Château-Vert. ....	34
Figure 23 - Sols représentatifs des successions pédologiques des sites étudiés. ....	34
Figure 24 - Résultat de la modélisation hydraulique HEC RAS sur le seuil de Hodent et schéma de principe du retour à la pente d'équilibre du cours d'eau. ....	35
Figure 25 - Racinaire d'un Iris Jaune et racines fines d'Aulnes glutineux, sous le niveau d'étiage du Calavon. ....	37
Figure 26 - Prévision de l'évolution de la zone humide du site de Hodent et des arbres riverains selon différents niveaux de baisse de la ligne d'eau. ....	41

## Listes des tableaux

---

Tableau 1- Critères phytosociologiques sigmatistes de Braun-Blanquet. ....	20
Tableau 2 - Profondeur d'enracinement par type de végétation. ....	37
Tableau 3 - Facteurs de sensibilité des formations végétales riveraines à l'enfoncement de nappe alluviale. ....	38
Tableau 4 - Dynamiques d'évolution des communautés végétales après enfoncement de nappe selon (op.cit. tabx 1 et 2; Pautou 1986, 1988, 1996 ; et Bournérias et al.2001.) ....	38