
Chantier Ecole Bassin Versant

Le Molubé et son bassin-versant

4^{ème} année [Génie Aménagement &
Environnement - IMA]

Partenaire Professionnel : Syndicat
d'Aménagement de la Vallée de l'Indre
Adresse : 1 avenue de la Vallée du Lys
37260 PONT DE RUAU



Liste des étudiants

Lorenzo Boisson, Martin Bortolotti, Amaya Gauvin, Briec Godet, Tanguy
Grandmougin, Alice Grell, Lorène Mfundu Kondi, Téa Piednoir,
Catherine Theisen, Rémi Verseil

Filière IMA

2019-2020

MENTIONS LEGALES

Chantier école bassin-versant

« Le Molubé et son bassin-versant »

École polytechnique de Tours

Génie Aménagement & Environnement

Filière IMA

Année 2019–2020

» Équipe pédagogique

Mme Catherine BOISNEAU,

Mme Célestine DELBART,

M. Benoît DELEPLANCQUE,

Mme Francesca DI PIETRO,

M. Sébastien LEHMANN,

Mme Séraphine GRELLIER,

M. François JOUBERT,

M. Stéphane RODRIGUES,

M. Vincent ROTGE,

M. Sébastien SALVADOR-BLANES,

M. José SERRANO,

Mme Coraline WINTENBERGER.

» Liste d'étudiants

Lorenzo BOISSON (Nr. étudiant 54982654t)

Martin BORTOLOTTI (Nr. étudiant 21504659t)

Amaya GAUVIN (Nr. étudiant 21808132t)

Brieuc GODET (Nr. étudiant 21808301t)

Tanguy GRANDMOUGIN (Nr. étudiant 21807669t)

Alice GRELL (Nr. étudiant 21807754t)

Lorène MFUNDU KONDI (Nr. étudiant 21808136t)

Téa PIEDNOIR (Nr. étudiant 21600520t)

Catherine THEISEN (Nr. étudiant 21908397t)

Rémi VERSEIL (Nr. étudiant 21504128t)

REMERCIEMENTS

L'équipe du bassin-versant du Molubé tient à remercier particulièrement les personnes ayant contribué à l'élaboration de ce chantier école :

Mr Aurélien GOLFIER, responsable Pôle Rivière du Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre.

L'ensemble des agriculteurs et des habitants rencontrés sur le bassin-versant ayant contribué de par leurs témoignages à la réalisation de notre étude.

Nous tenons également à remercier l'ensemble de l'équipe pédagogique et les intervenants pour leur disponibilité et leur aide dans la réalisation de ce projet :

Mme Catherine BOISNEAU,

Mme Célestine DELBART,

M. Christophe BLANCHARD

M. Benoît DELEPLANCQUE,

Mme Francesca DI PIETRO,

M. Sébastien LEHMANN,

Mme Séraphine GRELLIER,

M. François JOUBERT,

M. Stéphane RODRIGUES,

M. Vincent ROTGE,

M. Sébastien SALVADOR-BLANES,

M. José SERRANO,

Mme Coraline WINTENBERGER.

RESUME

L'étude que nous avons menée a pour but après réalisation d'un diagnostic sur le bassin versant du Molubé, d'émettre des propositions d'aménagements visant à améliorer l'état actuel du bassin versant. Ce dernier de 7,8 km² est situé dans le département de l'Indre-et-Loire, à environ 15 km au sud-ouest de la ville de Tours. Il est composé d'un cours d'eau portant son nom et est un affluent de l'Indre.

L'analyse de nombreux paramètres physiques, chimiques, fonctionnels ou encore culturels a permis de réaliser un diagnostic du bassin versant. Une forte pression agricole a été mise en évidence sur un territoire dominé par la présence de parcelles agricoles. Des problématiques liées à la rectification de son tracé et son recalibrage, à la continuité hydraulique mais aussi sédimentaire ont été mises en avant. Les aménagements vont permettre de redonner une dynamique plus naturelle au cours d'eau mais aussi d'augmenter sa qualité biochimique et enfin de permettre à la population de découvrir, redécouvrir et de mieux s'approprier le cours d'eau. C'est dans cette perspective que nous soumettons des propositions telles qu'évaluer l'efficacité des dispositifs déjà présents, le redimensionnement et/ou l'installation de bandes enherbées, des bassins de rétention pour venir en appui de ces dernières, l'arasement de seuils et des actions de sensibilisation.

ABSTRACT

The purpose of the study that has been carried out is to make suggestions for improving the current state of the Molubé area after carrying out a diagnosis of the catchment area. This watershed of 7.8 km² is located in the Indre-et-Loire department, about 15 km south-west of the city of Tours. The river bear its name and is a tributary of the Indre.

The analysis of numerous physical, chemical, functional and cultural parameters made it possible to carry out a diagnosis of the watershed. A strong agricultural pressure was highlighted on a territory dominated by the presence of agricultural plots. Some issues were related to the rectification of its layout and the river improvement. Negative impacts on the hydraulic and the sedimentary continuity were also highlighted.

The planning development will enable a more natural dynamic to be restored to the watercourse but also increase its biochemical quality and finally enable the population to discover, rediscover and better appropriate themselves the stream

It is in this perspective that has been submitted suggestions such as evaluating the efficiency of the existing devices, the resizing and/or installation of grass strips, retention basins to support the action of the grass strips, the levelling of thresholds and awareness actions.

ABREVIATIONS

°C	–	Degré Celsius
°f	–	Degré Français
A	–	Argile
AAPPMA	–	Association Agréée pour la Pêche et la Protection du Milieu Aquatique
ADES	–	Accès aux Données sur les Eaux Souterraines
AI	–	Argile Limoneuse
ALO	–	Argile Lourde
ARS	–	Agence Régionale de la Santé
BCAE	–	Bonnes Pratiques Agricoles et Environnementales
BD	–	Base de Données
BUVARD	–	Buffer strip runoff Attenuation and pesticide Retention Design tool
Ca^{2+}	–	Calcium
$CaCO_3$	–	Calcite
CEC	–	Capacité d'Échange Cationique
cf.	–	confer
CLAP	–	Connaissance Locale de l'Appareil Productif
CLC	–	Corine Land Cover
Cm	–	Centimètre
CN	–	Curve Number
CO_3^{2-}	–	Carbonate
COP	–	Céréales et Oléo Protéagineux
CORPEN	–	Comité d'Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l'Environnement
DCE	–	Directive Cadre sur l'Eau
DDRM	–	Dossier Départemental des Risques Majeurs
DDT	–	Direction Départementale des Territoires
DICRIM	–	Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs
DIG	–	Déclarations d'Intérêt Général

DPSIR	–	Driving Forces, Pressures, States, Impacts, Responses
DRAAF	–	Direction Régionale de l'Alimentation, de l'Agriculture et de la Forêt
DREAL	–	Direction Régionale de l'Environnement, de l'Aménagement et du Logement
EBC	–	Espaces Boisés Classés
EDTA	–	Ethylènediaminetétraacétique
ETP	–	Evapotranspiration
FA	–	Filtré Acidifié
FNA	–	Filtré Non Acidifié
GEMAPI	–	Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations
GGXXX	–	Code des masses d'eau
GR	–	Chemin de Grande Randonnée
H^+	–	Ions Hydrogène
HCL	–	Chlorure d'Hydrogène
HCO_3^-	–	Ion bicarbonate
ICPE	–	Installations Classées pour la Protection de l'Environnement
IFT	–	Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires
INRAE	–	Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement
INSEE	–	Institut National de la statistique et des Etudes Economiques
IS	–	Indice de saturation
K_G	–	Coefficient de Gravelius
Km	–	Kilomètres
Ks	–	Produit de solubilité
L	–	Litre
LA	–	Limons Argileux
LAS	–	Limons Argilo-Sableux
LC	–	Limon Crayeux
LISA	–	Limites des Systèmes Aquifères
LL	–	Limons Légers

LLS	–	Limons Légers Sableux
LM	–	Limons Moyens
LMS	–	Limons Moyens Sableux
LPO	–	Ligue de Protection des Oiseaux
LS	–	Limons Sableux
LSA	–	Limons Sablo-Argileux
M	–	Mètres
M.a	–	Millions d'années
MES	–	Matières en suspension
MESALES	–	Modèle d'Évaluation Spatiale de l'Aléa Erosion des Sols
Mg	–	Milligramme
Mg^{2+}	–	Magnésium
MNT	–	Modèle Numérique de Terrain
mS	–	MilliSiemens
N	–	Zone naturelle à protéger
NET	–	Noir Eriochrome T
NFA	–	Non Filtré Acidifié
Nh	–	Secteur naturel de hameaux
OFB	–	Office Français de la Biodiversité
OMS	–	Organisation Mondiale de la Santé
ONEMA	–	Office National de l'Eau et des Milieux Aquatiques
PAC	–	Politique agricole commune
pH	–	Potentiel Hydrogène
PLU	–	Plan Local d'Urbanisme
PO_4^{3-}	–	Phosphate
PPRI	–	Plan de Prévention du Risque Inondation
PPRT	–	Plan de Prévention des Risques Technologiques
Px	–	Point x
Q	–	Débit

RGA	–	Recensement Général Agricole
ROE	–	Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement
RPG	–	Registre Parcellaire Graphique
S	–	Taux de Saturation
S	–	Secondes
S	–	Surface moyenne de notre section
SAGE	–	Schéma d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SANDRE	–	Service d'Administration Nationale des Données et Référentiels sur l'Eau
SAU	–	Surface Agricole Utilisée
SAVI	–	Syndicat d'Aménagement de la Vallée de l'Indre
SDAGE	–	Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux
SEPANT	–	Société d'étude de protection et d'Aménagement de la Nature en Touraine
SEQ-eau	–	Système d'Evaluation de la Qualité de l'eau et des cours d'eau
SIG	–	Système d'Information Géographique
SIVOM	–	Syndicat Mixte à Vocation Multiple
UGB	–	Unité Gros Bétail
ZNIEFF	–	Zone Naturelle d'Intérêt Économique, Faunistique et Floristique
ZNTP	–	Zones de Non-Traitement Phytosanitaire
ZT	–	Zones Tampons
ZU	–	Zone urbaine

SOMMAIRE

Chantier école bassin-versant	1
Le Molubé et son bassin-versant.....	1
Mentions legales.....	2
» Équipe pédagogique	2
» Liste d'étudiants	2
Remerciements.....	3
Résumé	4
Abstract	4
Abréviations.....	5
Sommaire	9
Table des figures.....	11
Table des tableaux.....	12
INTRODUCTION	14
PREMIERE PARTIE : DIAGNOSTIC DU BASSIN-VERSANT	15
1. Caractérisation physique du cours d'eau et du bassin-versant	16
1.1. Localisation	16
1.2. Le cours d'eau	16
1.3. Géologie, pédologie et hydrogéochimie	20
1.3.3. Propriétés Agronomiques	34
1.4. Topographie.....	57
Résumé de la partie 1:	59
2. Occupation du sol et paysage	60
Résumé de la partie 2:	64
3. Patrimoines culturel et naturel.....	65
3.1. Patrimoine, tourisme et linéaire du site	65
3.2. Réglementation et étude des documents d'urbanisme	67
3.3. Relation à l'eau et plans de prévention	70
Résumé de la partie 3:	71
4. Acteurs et usages liés à l'eau	72
4.1. Les usages sur le cours d'eau et son bassin-versant.....	72
4.2. Les acteurs et la gestion du cours d'eau et du bassin-versant	78
4.3. Récolte d'informations et enquête auprès des usagers - En pratique : Enquête auprès des usagers du cours d'eau	81

4.4. Usagers et gestionnaires prédominants liés au Molubé.....	83
Résumé de la partie 4 :	84
5. Synthèse de l'état des lieux des pressions sur l'eau et les milieux aquatiques à l'échelle du bassin-versant.....	85
5.1. Sensibilité du sol à l'érosion	85
5.2. L'occupation des sols	85
5.3. La pédologie.....	92
5.4. La topographie.....	94
5.5. Sensibilité du sol à l'érosion	95
Résumé de la partie 5:	99
6. Diagnostic	100
6.1. Atouts et Contraintes, Opportunités et Menaces.....	100
DEUXIÈME PARTIE : ENJEUX, OBJECTIFS ET PRÉCONISATIONS.....	102
7. Mesures de gestion	103
8. Mesures d'aménagement de l'espace	107
8.1. Mise en place de zones tampons à l'amont : Agir sur la qualité chimique en amont	107
8.2. Améliorer la physique du cours d'eau	113
CONCLUSION	119
Bibliographie.....	120

TABLE DES FIGURES

FIGURE 1: CARTE LOCALISATION DU MOLUBE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	16
FIGURE 2: LOCALISATION DES SOURCES DU MOLUBE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	17
FIGURE 3: RESEAU HYDROGRAPHIQUE DU MOLUBE ET ORDINATION DE STRAHLER (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	18
FIGURE 4: BARRAGE EN REMBLAIS (SARL RIVE, DATE)	19
FIGURE 5: ENROCHEMENT QUI CONSTITUE UN SEUIL (THEISEN, 2019)	19
FIGURE 6: CARTES DES OBSTACLES PRESENTS SUR LE BASSIN VERSANT (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	20
FIGURE 7: COUPE GEOLOGIQUE.....	23
FIGURE 8: CARTE GEOLOGIQUE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	24
FIGURE 9: REPARTITION DES PRINCIPALES FORMATIONS GEOLOGIQUES A L’AFFLEUREMENT DU BASSIN-VERSANT DU MOLUBE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	25
FIGURE 10: CARTE TYPE DE SOLS (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	26
FIGURE 11: REPARTITION SURFACIQUE PAR TYPES DE SOLS DANS LE BASSIN-VERSANT DU MOLUBE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	26
FIGURE 12: HORIZONS DES SOLS BRUNS LESSIVÉS . 31 % DE LA SURFACE TOTALE DU BASSIN VERSANT DU MOLUBÉ (FROGER ET AL., 1994: 66; ÉDITÉ).....	27
FIGURE 13: HORIZONS DES SOLS BRUNS CALCAIRES . 8 % DE LA SURFACE TOTALE DU BASSIN VERSANT DU MOLUBÉ (FROGER, MOULIN ET SERVANT, 1994)	29
FIGURE 14: HORIZONS DES SOLS BRUNS CALCIQUES OU EUTROPHES . 15 % DE LA SURFACE TOTALE DU BASSIN VERSANT DU MOLUBÉ (FROGER ET AL., 1994: 96)	30
FIGURE 15: CARTE DE L'HYDROMORPHIE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	31
FIGURE 16: CARTE DES TEXTURES SUPERFICIELLES (PRODUCTION PROPRE, 2020).....	33
FIGURE 17: DELIMITATION ADMINISTRATIVE ET GEOGRAPHIQUE- LEGENDE CARTE PEDOLOGIQUE LANGEAIS.....	34
FIGURE 18: CARTE DES RESERVES UTILES POTENTIELLES DU BASSIN VERSANT (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	37
FIGURE 19: CARTE APTITUDE PHYSIQUES DES SOLS (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	38
FIGURE 20: LOCALISATION DE NOS POINTS DE PRELEVEMENTS (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	40
FIGURE 21: GRAPHIQUE REPRESENTANT LA QUALITE CHIMIQUE DE DIFFERENTS PARAMETRES SUR L’INDRE ET LE MOLUBE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	48
FIGURE 22: CARTE DES NAPPES (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	54
FIGURE 23: CARTE TOPOGRAPHIE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	58
FIGURE 24: CARTE D'OCCUPATION DU SOL (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	60
FIGURE 25: OCCUPATION DU SOL SUR LE BASSIN-VERSANT (PRESENTATION PROPRE, 2020).....	62
FIGURE 26: ÉTUDE DES PAYSAGES DE L’INDRE ET LOIRE – LA VALLEE DE L’INDRE	63
FIGURE 27: ÉTUDE DES PAYSAGES DE L’INDRE ET LOIRE – UNITE PAYSAGERE DE LA VALLEE DE L’INDRE	63
FIGURE 28: ITINERAIRE DE L’INDRE A VELO (© LOOPI VELO © OPENMAPTILES © OPENSTREETMAP CONTRIBUTORS)	65
FIGURE 29: EXTRAIT DU PLU D’ARTANNES-SUR-INDRE - PLU ARTANNES-SUR-INDRE.....	66
FIGURE 30: EXTRAIT DU PLU_ZOOM SUR LE LIEU-DIT LES MATEES	67
FIGURE 31: LOCALISATION DE LA ZNIEFF I - IGN	69
FIGURE 32: PPRI DE L’INDRE.....	70
FIGURE 33: CATEGORIES SOCIOPROFESSIONNELLES D’ARTANNES-SUR-INDRE EN 2016	72
FIGURE 34: CEN G1REPARTITION DES ETABLISSEMENTS ACTIFS PAR SECTEUR D'ACTIVITE AU 31 DECEMBRE 2015 (INSEE, CLAP EN GEOGRAPHIE AU 01/01/2019)	73
FIGURE 35: CARTE SEVESO (SOURCE: BRGM)	74
FIGURE 36: EVOLUTION DU NOMBRE D’EXPLOITATIONS AGRICOLES ET DE LA SAU TOTALE SUR LE BASSIN-VERSANT DU MOLUBE (AGRESTE)	75
FIGURE 37: EVOLUTION DU CHEPTEL (EN UGB) (SOURCE : AGRESTE).....	76
FIGURE 38: CARTE DES INDICATEURS DE FREQUENCE DE TRAITEMENT (IFT) EN CENTRE DE VAL DE LOIRE (SOURCE DRAAF)	77
FIGURE 39: COMMUNAUTE DE COMMUNES TOURAINE ET VALLEE DE L’INDRE	78

FIGURE 40: CARTE DES COMMUNES.....	78
FIGURE 41: SCHEMA BILAN DES USAGES SUR LE MOLUBE ET LEURS IMPACTS (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020).....	84
FIGURE 42: COURBE HYSOMETRIQUE.....	85
FIGURE 43: CARTE OCCUPATION DU SOL 2015	86
FIGURE 44: CARTE OCCUPATION DU SOL 2016	87
FIGURE 45: CARTE OCCUPATION DU SOL 2017	87
FIGURE 46: EXEMPLE D'INTEGRATION DE 3 PIXELS POUR LA CARTE DE LA SAISON ETE (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)	88
FIGURE 47: CARTE COUVERTURE DU SOL PRINTEMPS	89
FIGURE 48: CARTE COUVERTURE DU SOL ETE	89
FIGURE 49: CARTE COUVERTURE DU SOL AUTOMNE	90
FIGURE 50: CARTE COUVERTURE DU SOL HIVER	91
FIGURE 51: CARTE BATTANCE	93
FIGURE 52: CARTE ERODIBILITE	93
FIGURE 53: CARTE SENSIBILITE EROSION PRINTEMPS	96
FIGURE 54: CARTE SENSIBILITE EROSION ETE	97
FIGURE 55: CARTE SENSIBILITE EROSION AUTOMNE	97
FIGURE 56: CARTE SENSIBILITE EROSION HIVER.....	98
FIGURE 57: DIAGRAMME DPSIR.....	101
FIGURE 58: CARTE ITINERAIRE	104
FIGURE 59: TYPE D'INFRASTRUCTURES SOUHAITE	105
FIGURE 60: EXTRAIT DU GUIDE D'AIDE A L'IMPLANTATION DES ZONES TAMPONS POUR L'ATTENUATION DES TRANSFERTS DE CONTAMINANTS D'ORIGINE AGRICOLE (SOURCE OFB)	107
FIGURE 61: PRINCIPE DES BANDES ENHERBEES - INRAE.....	108
FIGURE 62: BANDE ENHERBEE REGLEMENTAIRE EN BORD DE COURS D'EAU - OFB, INRAE	109
FIGURE 63: CARTE DU MOLUBE AU TITRE DES BCAE.....	109
FIGURE 64: CARTE DU MOLUBE AU TITRE DES ZNTP.....	110
FIGURE 65: CARTE SECTEURS MOLUBE ENHERBES ET NON ENHERBES.....	111
FIGURE 66: PARCELLES AGRICOLES UTILISEES POUR L'OUTIL BUVARD.....	112
FIGURE 67: TRONÇON DU MOLUBÉ POSSÉDANT LE PLUS DE SEUILS (RIVE)	114
FIGURE 68: BUSE DE ROUTE PASSAGE DE LA « RUE DE LA FONTAINE SAINTE » PRES DU HAMEAU « LA CAVE ».....	115
FIGURE 69: ÉROSION DU LIT D'UN COURS D'EAU QUELCONQUE DUE À LA DÉRIVE D'UN COURANT D'EAU À L'AIDE D'UNE BUSE ROUTIÈRE. (THEISEN, 2019).....	115
FIGURE 70: POSSIBILITE D'AMENAGEMENT DES PONTS EN QUESTION. (1: PONT EN BETON ADAPTE A DES CHARGES LOURDES COMME LES MACHINES AGRICOLES, 2: EN PHASE DE CRUE DU COURS D'EAU, 3: EN ETAT FINI, CE TYPE DE PONT S'INTEGRE BIEN A LA NATURE) CES EXEMPLES SONT CONSTITUES PLUTOT POUR DES CHEMINS PEU FREQUENTES TELS QUE DES CHEMINS FORESTIERS/ AGRICOLAS. (ANF LUXEMBOURGEOISE: 2017)	116
FIGURE 71: PORTION DU COURS D'EAU A MEANDRER	117
FIGURE 72: EXEMPLE DE TECHNIQUE DE REMEANDRAGE — LA COMPAGNIE DES FORESTIERS.....	118

TABLE DES TABLEAUX

TABEAU 1: TABLEAU RECAPITULANT LES CHIFFRES CLES DU MOLUBE:	18
TABEAU 2: ROCHES PRESENTES A L'AFFLEUREMENT.....	22
TABEAU 3: ROCHES NON PRESENTES A L'AFFLEUREMENT.....	23
TABEAU 4: TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS TYPES DE SOL ET LEURS DIFFERENTS NOMS	31
TABEAU 5: CONTRAINTES CLIMATIQUES.....	34
TABEAU 6: TABLEAU RECAPITULATIF DES TYPES DE SOLS PRESENTS SUR LE BASSIN-VERSANT DU MOLUBE	36
TABEAU 7 : TABLEAU DES NOTES MAXIMALES SELON DIFFERENTS CRITERES	39

TABLEAU 8: TABLEAU RECAPITULANT NOS MESURES CHIMIQUES	42
TABLEAU 9: QUALITE CHIMIQUE DE NOTRE COURS D'EAU SELON LES CRITERES BIOLOGIQUES	44
TABLEAU 10: QUALITE CHIMIQUE DE NOTRE COURS D'EAU SELON LES CRITERES D'ALTERATIONS GLOBALES.....	45
TABLEAU 11: QUALITE CHIMIQUE GLOBALE DE NOTRE COURS D'EAU.....	46
TABLEAU 12: COMPARAISON DE PARAMETRES CHIMIQUES ENTRE LE MOLUBE ET L'INDRE.....	47
TABLEAU 13: MESURES DE VITESSES, DE PROFONDEUR ET DE LARGEUR AU POINT 1	49
TABLEAU 14: MESURES DE VITESSES, DE PROFONDEUR ET DE LARGEUR AU POINT 2	49
TABLEAU 15: MESURES DE VITESSES, DE PROFONDEUR ET DE LARGEUR AU POINT 3	50
TABLEAU 16: RECAPITULATIF DES PARAMETRES CHIMIQUES PERMETTANT DE DETERMINER L'INDICE DE SATURATION DE LA CALCITE ET DE LA MAGNESITE	52
TABLEAU 17: INDICE DE SATURATION DE LA CALCITE ET DE LA MAGNESITE	52
TABLEAU 18: CARACTERISTIQUES SIMPLES DES MASSES D'EAU, DONNEES SANDRE (2016) (PRODUCTION PERSONNELLE, 2020)...	55
TABLEAU 19: COMPOSITION CHIMIQUE DE LA NAPPE DES SABLES ET CALCAIRES LACUSTRES DES BASSINS TERTIAIRES DE TOURAINE LIBRES (GG095)	55
TABLEAU 20: COMPOSITION CHIMIQUE DES NAPPES DE LA CRAIE DU SENO TURONNIEN DU BASSIN-VERSANT DE L'INDRE LIBRE (GG086) ET DES SABLES ET GRES DU CENOMANIEN DU BASSIN-VERSANT DE LA LOIRE CAPTIFS AU SUD DE LA LOIRE (GG142).....	56
TABLEAU 21: TABLEAU DE LA REPARTITION DE L'OCCUPATION DU SOL.....	61
TABLEAU 22: POURCENTAGE DE SURFACES OCCUPES PAR DES CULTURES	62
TABLEAU 23: ESPECES PRESENTES SUR LE BASSIN VERSANT (LPO, 2016)	69
TABLEAU 24: EVOLUTION DE L'ORIENTATION TECHNICO-ECONOMIQUE DES COMMUNES (SOURCE DE DONNEES AGRESTE)	75
TABLEAU 25: PART DE LA SUPERFICIE DRAINEE EN 2010. (SOURCE AGRESTE)	76
TABLEAU 26: EVOLUTION DE LA SUPERFICIE IRRIGUEE EN POURCENTAGE ENTRE 2000 ET 2010 (SOURCE : AGRESTE)	77
TABLEAU 27: TABLEAU RECAPITULATIF DES ECHELLES DE GESTION INSTITUTIONNELLES SUR LE BASSIN-VERSANT DU MOLUBE	80
TABLEAU 28: TABLEAUX : ATOUTS / CONTRAINTES, OPPORTUNITES / MENACES.	100
TABLEAU 29: AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES 3 ITINERAIRES.....	104
TABLEAU 30: ESTIMATION DU COUT DES REVENUES DES AMENAGEMENTS PAR CIRCUIT	106
TABLEAU 31: EFFICACITE DES ZT LORS DE TRANSFERTS PAR RUISSELLEMENT DIFFUS - INREA, ONEMA, ASSOCIATION DES RIVIERES RHONE ALPES	108
TABLEAU 32: DIMENSIONNEMENT DE L'ENHERBEMENT	112

INTRODUCTION

La Directive Cadre sur l'Eau, mise en place en 2000, vise le bon état écologique des masses d'eau en Europe. Cette directive est axée sur l'amélioration de la qualité chimique, biologique et morphologique des masses d'eau. Dans ce cadre le SAVI a effectué une demande de diagnostic couplé à des propositions d'aménagement dans le bassin-versant du Molubé situé dans le département de l'Indre-et-Loire.

Ce bassin-versant, d'une superficie de 781 hectares englobant un cours d'eau de 7,7 km de linéaire, s'étend sur quatre communes : Artannes-sur-Indre, Monts, Druye et Ballan-Miré. Il est caractérisé par une prédominance de terres agricoles à hauteur d'environ 70% de sa superficie. Cet affluent de l'Indre qui puise ses sources à plusieurs points du bassin-versant peut se retrouver à sec dans sa partie amont en période d'étiage.

L'objectif du projet est de réaliser un diagnostic complet du Molubé. Pour cela, l'étude des sols, de la géologie, des paramètres physico-chimiques, les propriétés agronomiques ou encore des acteurs est nécessaire. Par la suite nous proposons des aménagements afin de limiter les pressions exercées sur le Molubé mais également dans le but de redynamiser ce secteur.

PREMIERE PARTIE : DIAGNOSTIC DU BASSIN-VERSANT

1. CARACTERISATION PHYSIQUE DU COURS D'EAU ET DU BASSIN-VERSANT

1.1. LOCALISATION

Le bassin-versant du Molubé se situe dans la région Centre Val-de-Loire et plus précisément dans le département de l'Indre-et-Loire, au sud-ouest de la ville de Tours à environ 15 km de la métropole du département (Figure 1). C'est entre les communes d'Artannes-sur-Indre (2662 habitants) et de Monts (7929 habitants) que nous retrouvons notre bassin-versant relativement petit présentant une surface de 7,811 875 km². Il s'agit d'un affluent de l'Indre en sa rive droite.

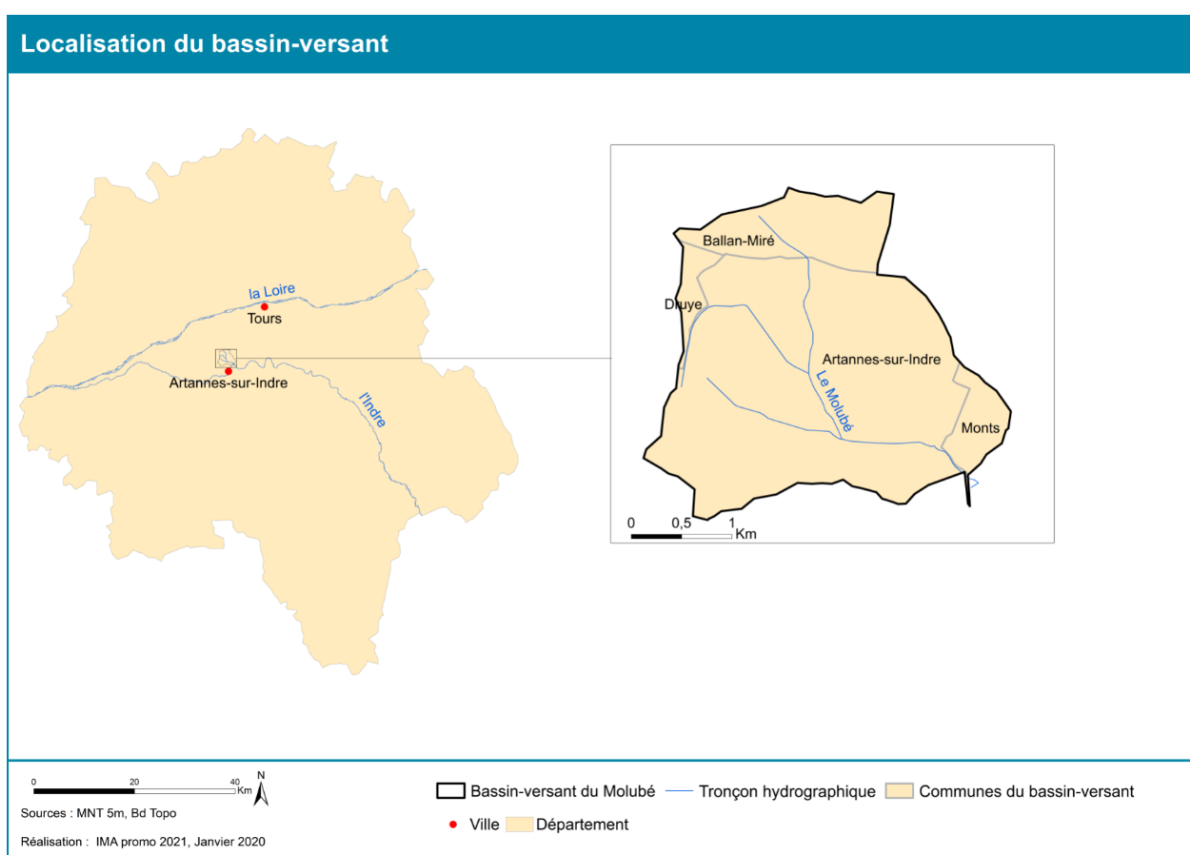


Figure 1: Carte Localisation du Molubé (production personnelle, 2020)

1.2. LE COURS D'EAU

1.2.1. RESEAU HYDROGRAPHIQUE

Le cours d'eau du Molubé est alimenté en eau principalement grâce au ruissellement des eaux de pluies provenant des parcelles agricoles de notre bassin-versant ainsi que par la présence de deux à quatre sources (Figure 2). En effet, nous avons pu en visualiser deux d'entre elles qui alimentent directement notre cours d'eau. Elles sont localisées sur la photo ci-dessous au niveau des annotations en rouge.

Localisation des sources

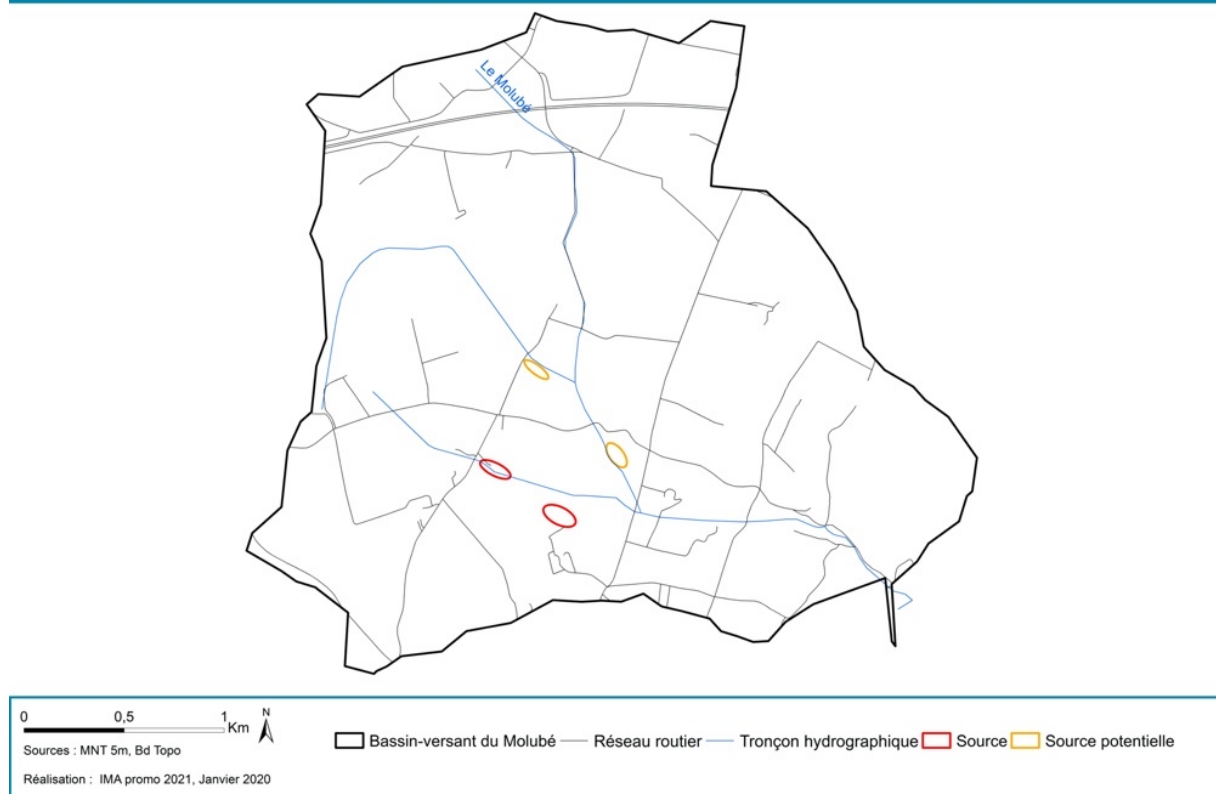


Figure 2: Localisation des sources du Molubé (production personnelle, 2020)

Concernant la possibilité de deux autres sources, nous les avons bien localisées mais nous ne sommes pas sûrs qu'elles alimentent le cours d'eau. Cependant leur présence visible en orange sur la carte ci-dessus à droite expliquerait en partie l'origine des deux bras les plus au nord.

Les quatre sources annotées précédemment se situent chez des particuliers.

Si nous nous intéressons au réseau hydrographique en lui-même, nous remarquons qu'il n'est pas forcément très ramifié. Selon l'ordination de Strahler, le Molubé possède un rang de trois (Figure 3).

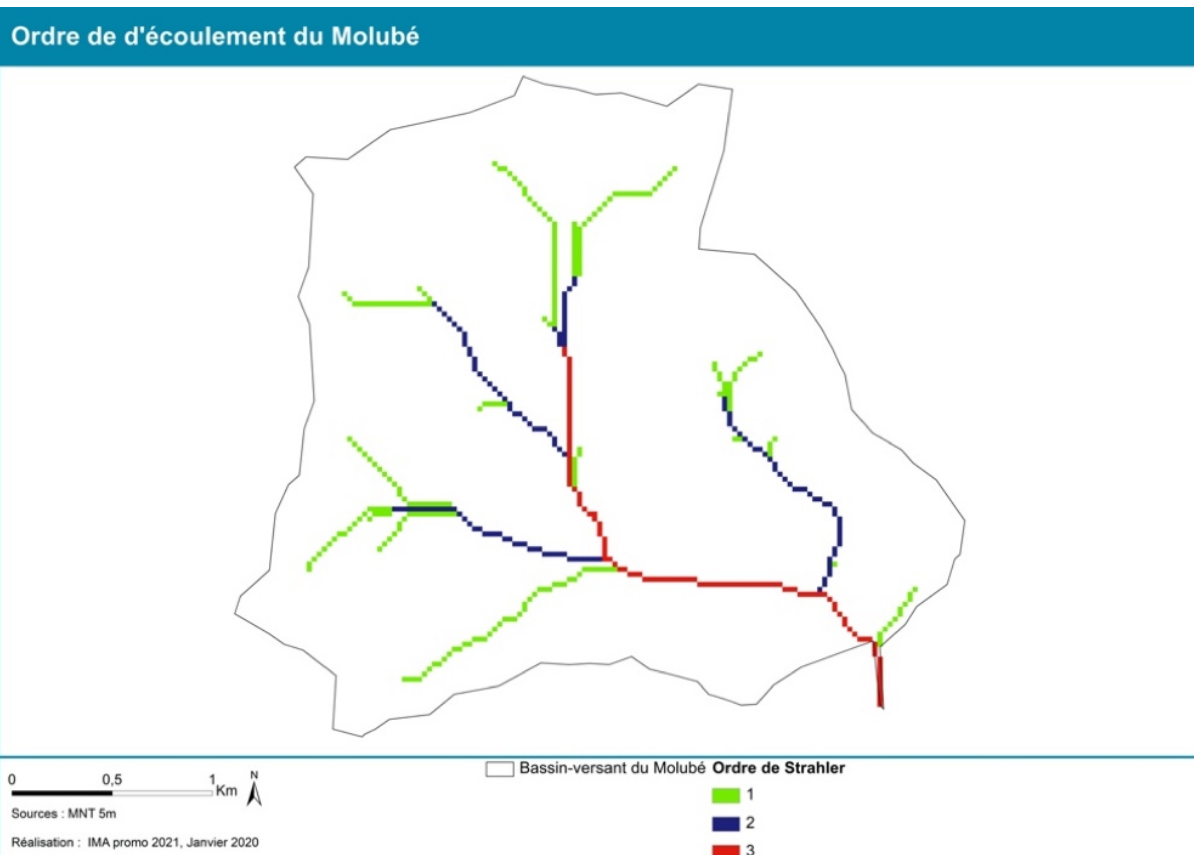


Figure 3: Réseau hydrographique du Molubé et ordination de Strahler (production personnelle, 2020)

Pour délimiter le bassin-versant topographique du cours d'eau, nous avons utilisé les données du MNT (Modèle Numérique de Terrain) du département de l'Indre-et-Loire ainsi qu'un logiciel de cartographie. La précision du MNT est de 25 m. C'est grâce à la direction des écoulements que nous avons pu calculer la limite du Molubé.

Ainsi, son périmètre est de 12,593 km et son aire de 7,81 km². On peut ainsi en déduire le coefficient de Gravelius selon la formule suivante :

$$K_G = \frac{P}{2\sqrt{\pi * A}}$$

On obtient un indice de compacité de 1,26. Cela indique un bassin-versant plutôt compact et cela peut se traduire par un débit de pointe au niveau de l'exutoire assez important en cas de crue. Cependant le temps de décrue sera quant à lui assez rapide.

Tableau 1: Tableau récapitulant les chiffres clés du Molubé:

Périmètre	12,593 km
Aire	7,81 km ²
Rang de Strahler maximal	3
Coefficient de Gravelius	1,26

Il est important de souligner qu'au cours de notre projet, seul le bassin-versant topographique a été pris en compte. Le bassin-versant réel qui prend en compte les écoulements souterrains ne pouvant être délimité du fait du manque de données concernant ce type d'écoulement.

1.2.2. OBSTACLES A L'ÉCOULEMENT

Le Molubé comprend plusieurs obstacles à l'écoulement que nous avons pu répertorier grâce au Référentiel des Obstacles à l'Ecoulement (ROE) fourni par la Direction Départementale des Territoires de l'Indre-et-Loire (DDT 37), ainsi que par nos sorties sur le terrain (Figure 5 et Figure 6). Selon ce référentiel, 17 obstacles à l'écoulement sont présents sur le cours d'eau. La plupart sont des seuils d'une hauteur inférieure à 0,5 m. Ils sont presque tous présents à l'aval du cours d'eau, dans un espace assez restreint. Ce qui peut s'expliquer par le fait que la hauteur d'eau dans les parties plus amont du Molubé n'est pas assez importante pour y installer un ouvrage. Néanmoins, un ouvrage de type barrage en remblais, "l'Étang des Mattés" est présent légèrement en amont des autres obstacles. (Figure 4) Il atteint une hauteur de 1,5 m. Un second obstacle de taille significative est également présent à l'aval. Il s'agit cette fois-ci d'un seuil et il atteint une hauteur de 0,9 m.



Figure 4: Barrage en remblais (Sarl RIVE, Date)



Figure 5: Enrochement qui constitue un seuil (Theisen, 2019)

Sur l'ensemble du bassin-versant, les obstacles sont de cinq types différents. Il y a donc un barrage en remblais, mais également trois buses, et des seuils déversoir (2), enrochement (10) et radier (1). Les seuils sont regroupés dans un espace très restreint, tandis que les buses sont plus éloignées.

Obstacles à l'écoulement

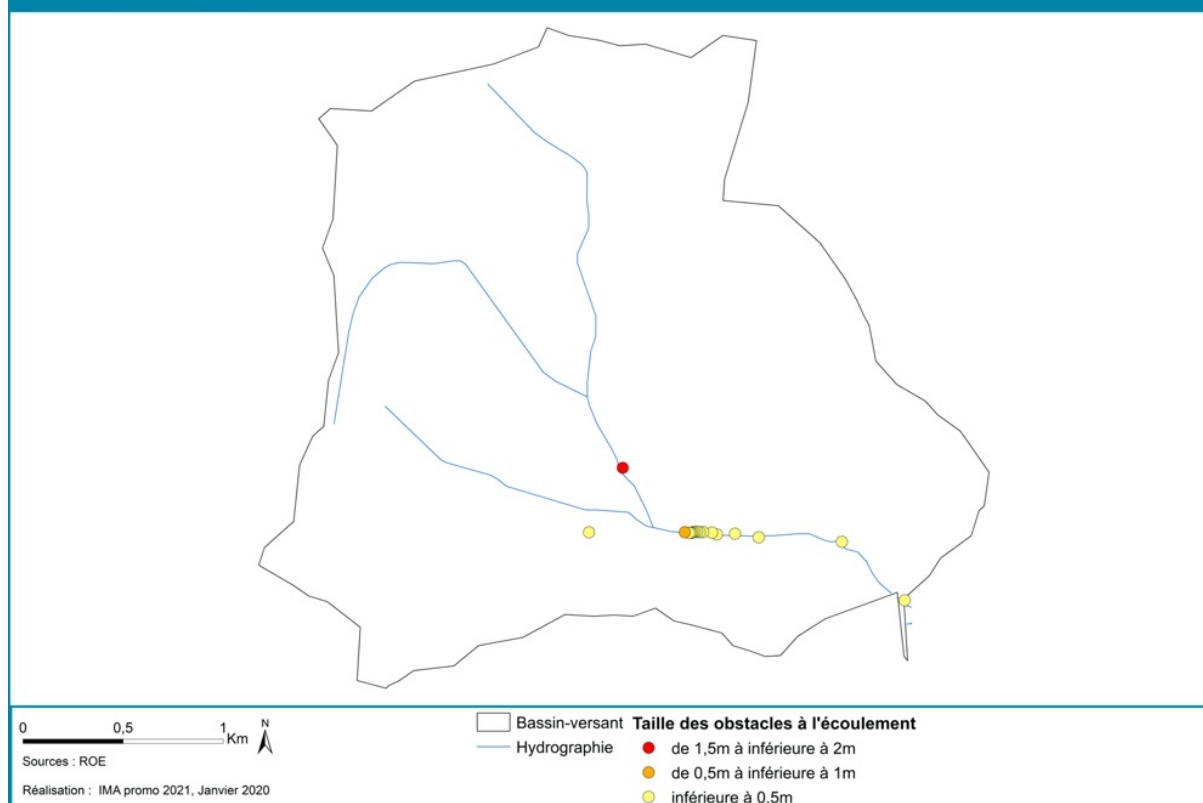


Figure 6: Cartes des obstacles présents sur le bassin versant (production personnelle, 2020)

1.3. GEOLOGIE, PEDOLOGIE ET HYDROGEOCHIMIE

1.3.1. GEOLOGIE

Le bassin-versant du Molubé faisant partie de la Touraine, ancienne province française, la géologie de cet espace va se rattacher à l'histoire géologique de ce territoire révolu.

Pour ce faire, une carte géologique représentant les différentes couches a été réalisée grâce aux logiciels arcmap et infoterre.

a) LES TERRAINS AFFLEURANTS

» Les dépôts du Crétacé

Dans cette région, l'histoire géologique est relativement récente puisqu'elle a commencé lors de l'ère secondaire aussi appelée Mésozoïque (-252 à -65 M.a). L'une des formations les plus anciennes retrouvées sur notre bassin-versant s'est déposée lors du Sénonien. On se situe il y a environ 88 à 65 M.a de cela, cet étage géologique se situe dans le Crétacé supérieur (-95 à -65 M.a.) soit à la fin de l'ère Mésozoïque. Cette couche aussi appelée "craie de Blois" correspond à de la craie blanche (C 4-6 B). D'épaisseur d'environ 30 mètres, elle est caractéristique de la vallée et elle peut renfermer de nombreux silex. La présence de craie, qui est un matériau poreux, traduit un dépôt marin datant sûrement de l'époque post-turonienne

(80 à 91 M.a). En effet à cette période la mer était présente en Touraine, elle s'est ensuite retirée du fait de la tectonique des continents au début du Crétacé.

Toujours durant cette même période, une formation siliceuse de type argiles blanches ou verdâtres (C 4-6 S) est présente. Ces dernières proviennent principalement de l'altération superficielle de la craie sénonienne. (Paprec Réseau Joué-lès-Tours)

» Les dépôts du Tertiaire

Ils appartiennent à une nouvelle ère, celle du Cénozoïque (-65 à 2 M.a). Ces dépôts marquent l'indépendance du Val de Loire avec le Bassin Parisien, deux grandes périodes sont visibles, le Paléogène (65 - 23 M.a) et plus récemment le Néogène (23 - 1.75 M.a).

La Touraine se retrouve alors émergée à l'Eocène (-55 à -34 M.a.) en période Paléogène. Les formations vont subir de fortes altérations. Lors des périodes les plus sèches caractérisées par un climat chaud, des formes apparues au Sénonien comme des silex et des spongiaires vont être cimentées par la silice, et vont former des argiles à conglomérats, appelés "perrons" (eP) et se trouvant entre 3 et 15 m d'épaisseur. A la fin de l'Eocène des mouvements tectoniques sont à l'origine de la formation de dômes et de cuvettes orientés nord-ouest – sud-est, qui vont donner une allure ondulée aux couches déjà en place. Les creux seront par la suite comblés par les calcaires lacustres de Touraine.

A la suite de l'Eocène, on retrouve l'Oligocène (34 à 26 M.a) toujours dans le Paléogène. En Touraine à cette époque, il y avait la présence de grands lacs. Ces derniers étaient constitués de boues calcaires qui au fil du temps ont fini par se consolider pour former une couche de calcaire lacustre (g1) que nous retrouvons sur notre bassin-versant.

Une formation pelliculaire provenant cette fois-ci de la période du Néogène constituée de sables et de graviers continentaux s'est ensuite déposée. Située à moins de 4 m de profondeur, cette formation (m3p) datant de 5 à 10 M.A correspond à des dépôts fluviatiles et elle est régulièrement lavée, les dépôts les plus fins se faisant alors entraîner. (Paprec Réseau Joué-lès-Tours)

» Les dépôts du Quaternaire

Sur le bassin-versant du Molubé, des formations superficielles qui sont des dépôts minces datant de l'ère la plus récente (ère Quaternaire ; 2 M.a à aujourd'hui) et qui sont présentes à moins de 2 m de la surface du sol ont été retrouvées. Parmi celles-ci, les limons des plateaux (LP) et les alluvions modernes (Fz).

Les limons de plateaux sont des dépôts fins, ils circulent grâce au transport éolien et se retrouvent majoritairement dans les zones topographiques plutôt élevées.

Les alluvions modernes quant à eux tapissent le fond des vallées de la Loire, de l'Indre ou encore des cours d'eaux secondaires. Ils sont composés par des sables fins mêlés à de l'argile. Ils sont liés au fait que le chenal de l'Indre est peu incisé, le lit majeur est donc susceptible d'être inondé. La rivière dépose alors des sédiments fins sur les berges et des sables sur le fond du lit. il s'agit ainsi de la situation géologique actuelle de notre bassin-versant. (Paprec Réseau Joué-lès-Tours)

Ci-dessous un tableau récapitulant les roches présentes à l’affleurement à l’échelle de notre bassin-versant :

Tableau 2: Roches présentes à l’affleurement

Ère	Âge de la couche	Identifiant	Type de roche
Quaternaire	Formation alluviale	Fz	Alluvions modernes
Quaternaire	Formation des plateaux	LP	Limons des plateaux
Tertiaire / Cénozoïque	Post-helvétien	m3-p	Sables et graviers continentaux
Tertiaire / Cénozoïque	Sannoisien	g1	Calcaire lacustre de Touraine
Tertiaire / Cénozoïque	Eocène détritique continental	eP	Conglomérats et graviers siliceux
Secondaire / Mésozoïque	Sénonien	C4-6S	Formation siliceuse ajoutée aux argiles blanches et verdâtres
Secondaire / Mésozoïque	Sénonien	C4-6B	Craie blanche à silex

b) LES DEPOTS NON AFFLEURANTS

Certaines roches ne sont pas à l’affleurement sur l’échelle du bassin-versant mais elles le sont dans la région. Elles ont une influence notamment sur l’hydrogéologie puisqu’elles comportent des nappes pouvant être utilisées pour l’eau potable ou l’agriculture.

La formation la plus ancienne s’est déposée lors du Cénomaniens il y a environ 100 M.a. Elle se retrouve à près de 100 m de profondeur et elle est caractérisée par du Marne à Ostracées, sableuses et glauconieuses surmontant des sables et des grès avec des argiles noires.

Trois autres couches non visibles à l’affleurement sur notre bassin-versant sont présentes, elles ont été déposées lors du Turonien à l’époque du Crétacé Supérieur soit il y a près de 90 M.a. La première est le « tuffeau jaune de Touraine » correspondant au Turonien supérieur. C’est une roche de type calcaire chargée en sable dont l’origine est le passage de la mer en littoral et donc une sédimentation en milieu plus agité mais en eau peu profonde. Ces dépôts marins présentent des faciès très diversifiés et une épaisseur comprise entre 25 et 35 m. La seconde est la « craie micacée » cette fois-ci dans le Turonien Moyen. Elle est encore un peu plus sableuse que la précédente car la mer moins profonde mais plus d’agitation y est visible. Sa profondeur est cette fois-ci de près de 40m. Enfin, la troisième qui se situe dans le Turonien

inférieure est de la « craie argileuse à cordons de silex noirs ». Les dépôts se sont faits dans une mer calme, la profondeur de cette couche avoisinant ici de nouveau les 25 à 35 m. (Paprec Réseau Joué-lès-Tours)

Ci-dessous un tableau récapitulant les roches non présentes à l’affleurement à l’échelle de notre bassin-versant :

Tableau 3: Roches non présentes à l’affleurement

Ère	Âge de la couche	Identifiant	Type de roche
Secondaire / Mésozoïque	Crétacé supérieur	C3c	Tuffeau jaune de Touraine
Secondaire / Mésozoïque	Crétacé supérieur	C3b	Craie micacée
Secondaire / Mésozoïque	Crétacé supérieur	-	Craie argileuse à cordons de silex noirs
Secondaire / Mésozoïque	Crétacé supérieur	-	Marnes à Ostracées, sableuses et glauconieuses surmontant des sables et des grès avec des argiles noires

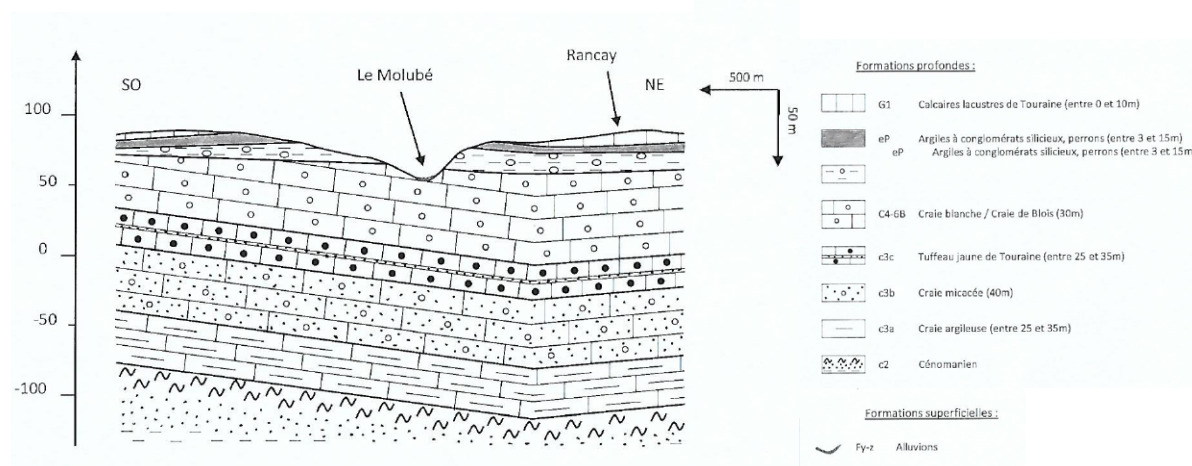


Figure 7: Coupe géologique

La coupe géologique Sud-ouest - Nord-est partant du Sud du Plessis (Artannes-sur-Indre) à Rancay (Monts) coupe le cours d’eau du Molubé (Figure 7). Elle permet de mettre en évidence des structures monoclinales en profondeur avec un point d’inflexion, bien visible grâce au pendage de l’isohypse du toit du Cénomaniens, représentées sur la carte de Langeais. Ainsi au sud-ouest le toit du Cénomaniens se trouve à -80m, au plus profond -113m et -110m au nord-est. Cependant les couches des calcaires lacustres de Touraine de l’Oligocène, des conglomérats et graviers siliceux de l’Éocène, la formation siliceuse de Sénonien et ainsi que de la craie blanche à silex du Sénonien sont facilement érodables et ont été déposées après

l'événement tectonique, fin Éocène, responsable de ces ondulations, ce qui explique que nous ne retrouvons plus de structure homogène.

En suivant le principe de superposition, nous retrouvons les couches les plus anciennes aux points bas de notre bassin-versant, c'est à dire dans le creux de la vallée, là où circule le Molubé. Ainsi la couche la plus ancienne à l'affleurement est celle des craies blanches à silex du Sénonien (Figure 8).

Il existe un forage, le 3- 1, à proximité du bassin-versant, malheureusement il ne nous apprend pas grand-chose car il a été réalisé dans le lit de l'Indre à une altitude plus faible que notre bassin-versant. Le forage est composé d'alluvions et de tuffeau jaune de Touraine (la couche n'est pas totalement traversée), qui est une couche non affleurante de notre bassin-versant.

Le bassin-versant est donc légèrement plissé en profondeur mais cela ne joue que de manière négligeable sur nos roches à l'affleurement. La structure géologique de notre terrain est donc essentiellement liée à l'érosion et à l'incision de notre cours d'eau.

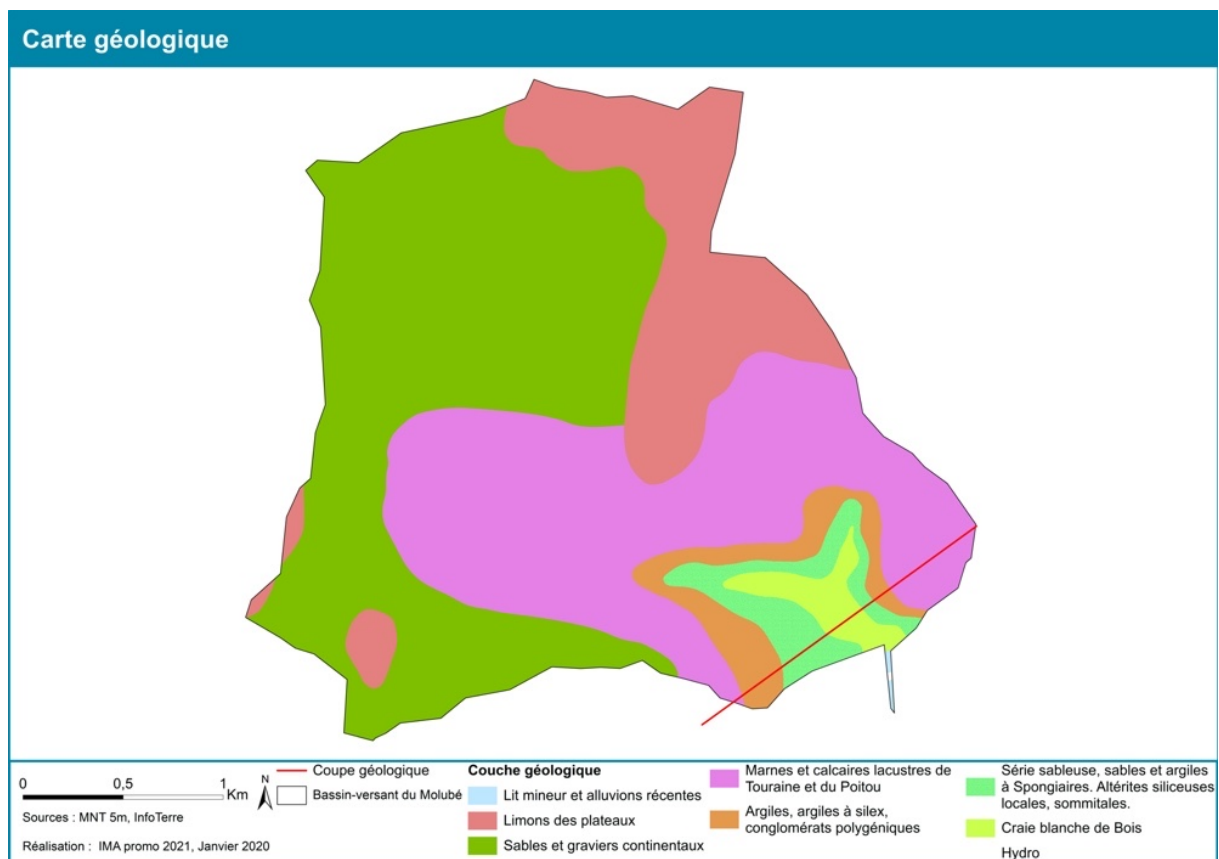


Figure 8: Carte géologique (production personnelle, 2020)

Il est intéressant de noter qu'un forage datant de 1964 est présent aux abords de notre bassin-versant (il se trouve sur la commune d'Artannes sur Indre, il n'est donc pas directement sur notre bassin du Molubé). Il possède une profondeur de 30, 75 m et a donc permis de déterminer certaines épaisseurs jusqu'à ces 30,75 m. (BRGM)

Répartition surfacique des principales formations géologiques à l'affleurement du bassin versant du Molubé

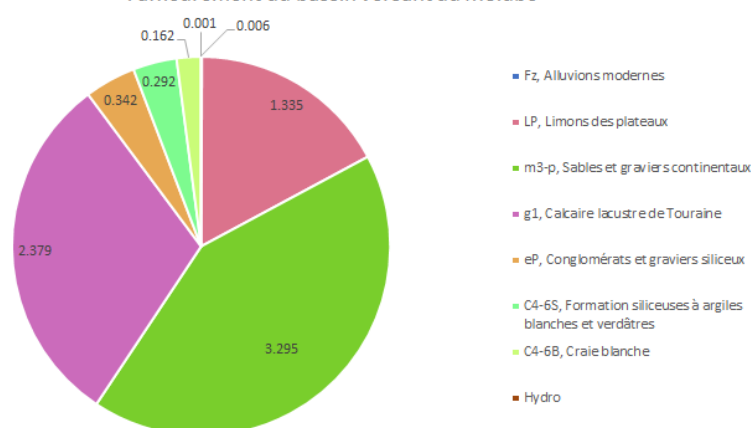


Figure 9: Répartition des principales formations géologiques à l'affleurement du bassin-versant du Molubé (production personnelle, 2020)

1.3.2. PEDOLOGIE

Pour comprendre le bassin-versant, sa morphologie et ses propriétés écologiques, il faut analyser la nature, les caractéristiques et la structuration des sols et de la roche mère.

Le sol est l'objet d'étude de la pédologie et peut être défini comme la couche ou un ensemble de couches superficielles de l'écorce terrestre. Il est caractérisé par sa morphologie et ses constituants minéralogiques ainsi que par ses propriétés physico-chimiques distincts du substrat géologique dont il dérive. La structure du sol évolue constamment avec le temps, cela est notamment dû au climat, à la végétation, à l'activité hydrologique et à l'activité humaine.

La typologie des sols définit les potentialités et les contraintes liées à l'agriculture et à la sylviculture ainsi que les problématiques environnementales qui en découlent. Notamment les problèmes d'érosion (cf. 5.1 Sensibilité du sol à l'érosion)

Classification des types de sols sur le bassin-versant

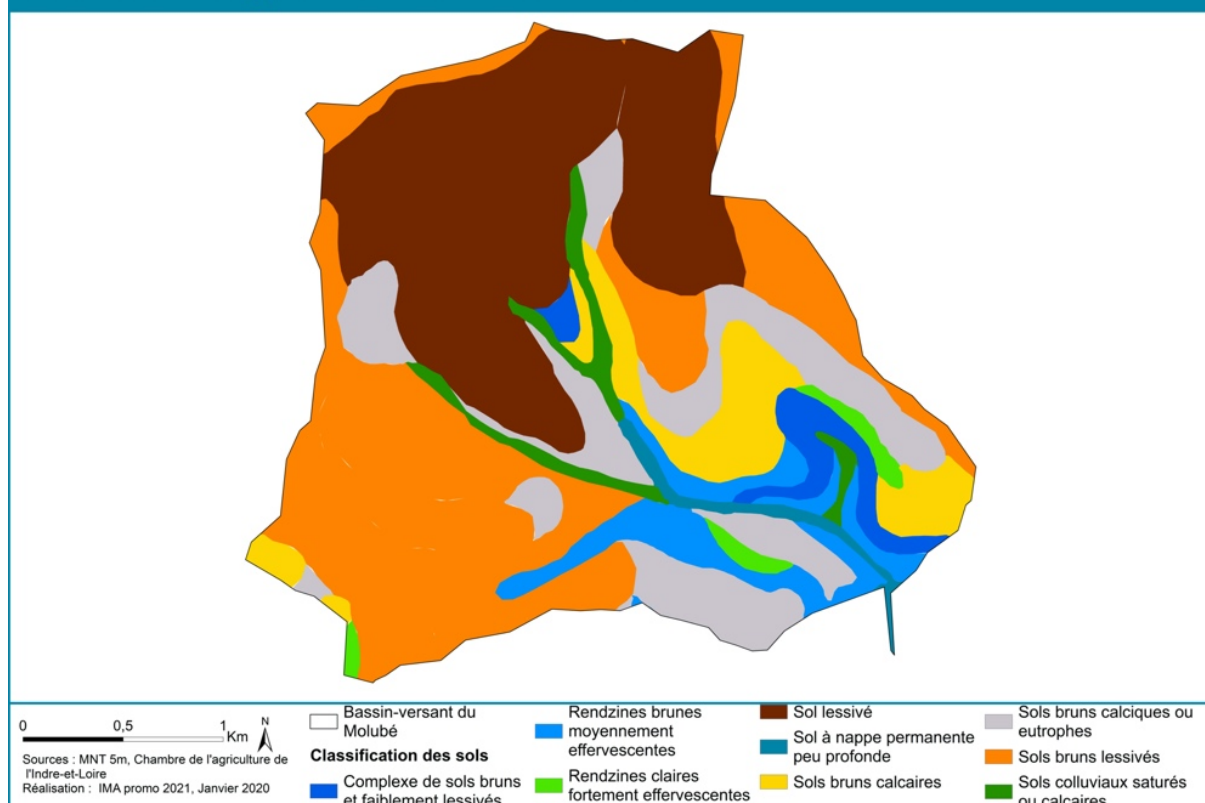


Figure 10: Carte type de sols (production personnelle, 2020)

a) TYPES DE SOLS

Dans le chapitre ci-après, sont décrits les différents types de sols (Figure 10 et Figure 11) couvrant le bassin-versant du Molubé.

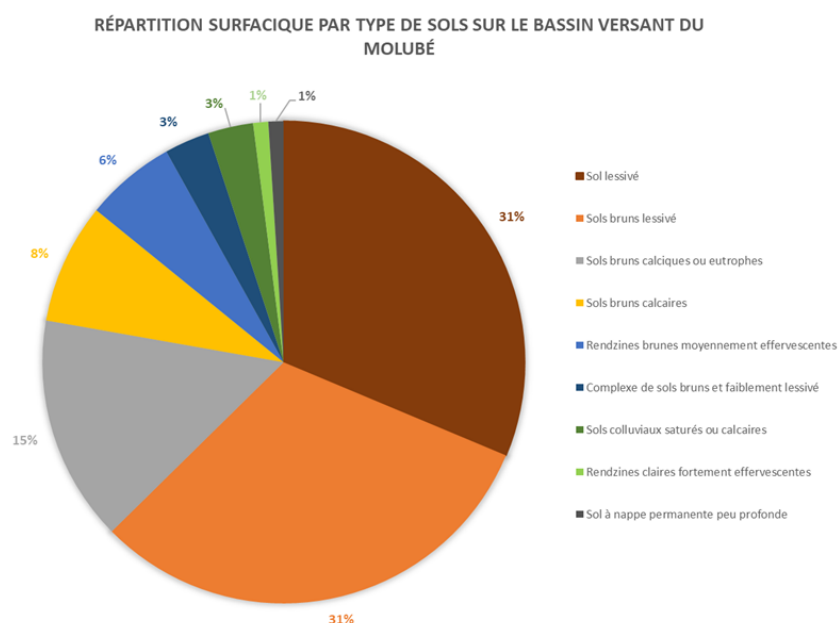


Figure 11: Répartition surfacique par types de sols dans le bassin-versant du Molubé (production personnelle, 2020)

» Les sols bruns plus ou moins lessivés

La majorité de la surface du bassin-versant (65 %) est couverte de sols bruns de trois types différents. Nous retrouvons ces sols aux extrémités du bassin-versant.

Au sein des **sols bruns faiblement lessivés** aussi connus sous le nom de Bournais perrucheux sur argile à silex, on distingue les brunisols eutriques et les dystriques luviques.

Ce sont des successions d'horizons bien structurés et bien aérés qui ne sont ni carbonatés, ni calciques. L'appellation « sols bruns » fut abandonnée en raison de la couleur de ces sols qui peut être variable. Ce complexe de sols subit une altération des minéraux primaires conduisant à l'apparition d'une couleur différente de celle du matériau parental. Aujourd'hui ce sont des sols brunifiés marqués par une « brunification » (faible altération) et la néogénèse de minéraux argileux secondaires et d'oxyhydroxydes de fer.

Ce type de sols se retrouve dans nos climats tempérés lorsque la pédogenèse est encore récente ou bien lorsque le sol est plus ancien, les particules d'argiles rencontrent une couche perméable et les transferts sont donc ralentis.

Ce groupe contient tous les sols qui ne sont pas lessivés, pas podzolisés, pas trop engorgés, ni carbonatés, calciques, iso-sableux, planosoliques, pélosoliques, ...

Deux catégories sont alors possibles en fonction du taux de saturation sur sa capacité d'échange cationique (S/CEC), les brunisols eutriques ou les brunisols dystriques.

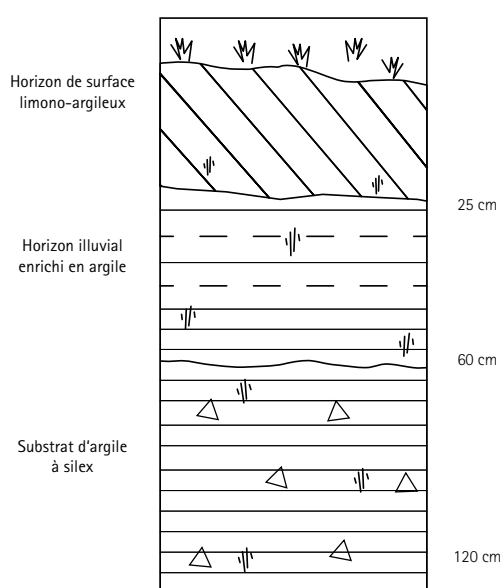


Figure 12: Horizons des **sols bruns lessivés**. 31 % de la surface totale du bassin versant du Molubé (Froger et al., 1994: 66; édité)

Les **sols bruns lessivés** de leur nouveau nom *Néoluvisols* (Baize et Girard, 2009) sont aussi connus sous leur nom vernaculaire Bournais ou bornais mi-lourd à lourd sur argile à silex. Souvent retrouvés en profondeur, les néoluvisols ont une tendance limoneuse. Les néoluvisols apparaissent après la décarbonatation et la brunification des brunisols eutriques et dystriques au début de la phase d'argilluviation. Avec une forte teneur en matières organiques, ils ont souvent une coloration grise ou noirâtre.

La formation des **sols lessivés**, *Luvisols* (Baize et Girard, 2009) aussi connus sous leur nom vernaculaire Bournais (ou bornais) sableux sur argile à silex provient de la transformation d'un brunisol eutrique via le stade néoluvisol par le processus d'éluviation et illuviation, ce qui donne l'argilluviation. Il y a donc un départ de particules argileuses provenant des horizons supérieurs qui s'appauvrissent. Un transfert à dominance verticale va s'effectuer et va donner suite à des Luvisols.

Les luvisols sont caractérisés par cette importance des processus d'argilluviation au sein d'un matériau originel unique, avec accumulation au sein du solum des particules déplacées. Ce mécanisme engendre une modification morphologique entre :

- des horizons supérieurs appauvris en argile et en fer, moins colorés, moins bien structurés, généralement assez perméables
- et des horizons plus profonds, enrichis en argile et en fer, à structure bien développée polyédrique ou prismatique, plus colorés, moins perméables

« Les matériaux parentaux des luvisols sont très souvent des formations de texture limoneuse, limono-sableuse ou sablo-limoneuse. Ces matériaux sont fréquemment éoliens (læssiques) ou fluviaux mais également issus d'une arénisation très fine de roches cristallines (Baize et Girard, 2009). »

Pour qu'il y ait transformation en luvisol, il y a 3 critères à respecter:

- un climat suffisamment pluvieux
- un matériau suffisamment perméable
- une présence d'argiles dispersables et lessivables

Le processus de transformation des brunisols en luvisols en passant par les néoluvisols est le suivant:

1. L'altération de certains minéraux composant la roche mère, les minéraux primaires vont donner lieu à des néoformations de minéraux dits secondaires
2. Formation d'un complexe argilo-humique via l'association des oxydes de fer avec les minéraux argileux et la matière organique humifiée
3. Accumulation de carbonate de calcium via les précipitations
4. Lixiviation: entraînement d'éléments en solution tels que les alcalins, alcalino-terreux, ammonium...
5. Entraînement des argiles, phénomène d'argilluviation, avec un transfert à dominante verticale, nous obtenons des luvisols.

» Les sols calcimagnésiques

Les sols calcimagnésiques couvrent 30 % de la surface du bassin-versant. Ils sont principalement représentés par les sols carbonatés et les sols saturés.

Les Sols carbonatés

Les sols carbonatés se développent à partir des sols bruts de couches géologiques crayeuses, dont les propriétés physico-chimiques sont caractérisées par une dominance des ions Ca^{2+} et/ou Mg^{2+} . Le pH des sols carbonatés demeure à 7,3, ils sont donc à caractère légèrement basique. En raison de la présence d'eau et de l'acidité des sols, les solutions qui percolent sont de plus en plus saturées par les ions en question. Sous climat tempéré, comme c'est le cas pour le bassin-versant du Molubé, ces sols sont de plus en plus décarbonatés et lessivés, ce qui explique la teneur en carbonates dans la profondeur des sols. *« Cette décarbonisation provoque une accumulation relative des fractions insolubles et d'éléments qui leur sont liés (argile, limons, fer, etc.) dans la profondeur. (Baize et Girard, 2009) »*

Dans le bassin-versant du Molubé les sols carbonatés sont représentés par des rendzines brunes moyennement effervescentes, des rendzines claires fortement effervescentes et des sols bruns calcaires.

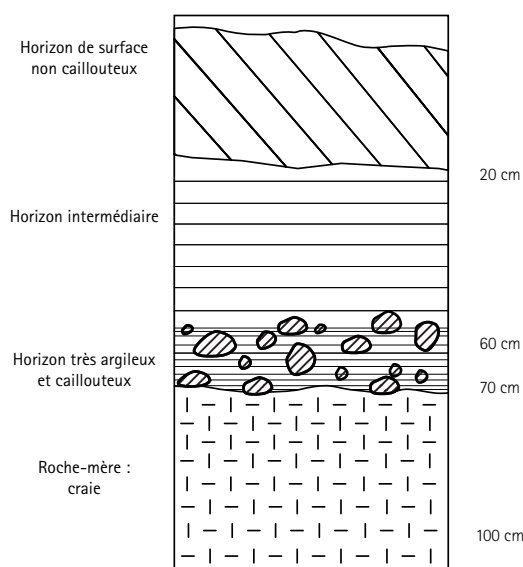


Figure 13: Horizons des **sols bruns calcaires**. 8 % de la surface totale du bassin versant du Molubé (Froger, Moulin et Servant, 1994)

8 % du bassin-versant est couvert par des **sols bruns calcaires** (Aubuis, Aubue). Les *Calcosols* (Baize et Girard, 2009) se développent sur des substrats géologiques crayeux, du Sénonien, du Turonien, du Cénomaniens, ou des craies lacustres. L'aspect du sol en surface des sols bruns calcaires est peu ou pas caillouteux et possède une couleur gris brun en état humide. Il s'agit d'un sol de très bonne structure qui est dominant. L'horizon intermédiaire (à partir de 30 cm) présente une texture limono-argileuse à argileuse d'une structure polyédrique bien exprimée. L'horizon profond (à partir de 60 cm jusqu'à la roche mère) est caractérisé par une texture argileuse à argileuse lourde d'une structure polyédrique à prismatique. Plus on étudie ces sols dans la profondeur, plus on peut s'apercevoir que la sensibilité à l'acidité (de l'eau) augmente. (Froger, Moulin et Servant, 1994)

Les **rendzines brunes moyennement effervescentes** (Tuf blanc, aubuis léger, rendzines) couvrent 6 % du bassin-versant. Les *Rendosols hypercalcaires* (Baize et Girard, 2009) sont des sols superficiels issus des strates crayeuses Séno-turonniennes. Ils se développent généralement sur des calcaires lacustres de Champeigne de vallées principales, des vallons possédant des pentes ou côteaux plus ou moins fortes. Il s'agit de sols bien structurés. Ce type de sol est composé de particules limono-argileuses à argileuses et est riche en charge caillouteuse voire en bloc de craie arrondie. L'horizon de surface (15 à 30 cm) est constitué d'une texture limono-argileuse à charge caillouteuse élevée. Il a une couleur gris clair voire blanchâtre et il possède une forte teneur en calcaire actif qui est très effervescent au contact de l'acide. L'horizon reposant sur la roche mère est caractérisé par un substrat de craie ou de calcaire tendre qui apparaît dès 20 à 30 cm de profondeur. (Froger, Moulin et Servant, 1994)

Les **rendzines claires fortement effervescentes**, (Tuf, petite Champeigne, galuche (en Touraine), rendzines) couvrent 1 % du bassin-versant et sont des sols superficiels issus de l'altération du Turonien supérieur. Les *Rendosols* (Baize et Girard, 2009) possèdent une texture argileuse voire argileuse lourde. L'horizon supérieur (15 à 30 cm) est caractérisé par une très forte pierrosité en cailloux calcaires durs. La teneur moyenne en calcaire total est faible, ainsi les réactions ayant lieu au contact de l'acide sont modérées. L'horizon sous-jacent (dès 20 à 30 cm) est constitué de dalles et de cailloux calcaires. (Froger, Moulin et Servant, 1994)

Les sols saturés:

Le développement des sols saturés ressemble à celui des sols carbonatés à la différence que « la saturation du solum en ions Ca^{2+} et Mg^{2+} est assurée de diverses façons : par des remontées biologiques ou capillaires à partir d'un matériau calcaire sous-jacent, par des apports latéraux de solutions saturées en provenance des parties hautes du paysage ou par la présence d'éléments grossiers carbonatés dont la dissolution sature les eaux de percolation (Baize et Girard, 2009) . »

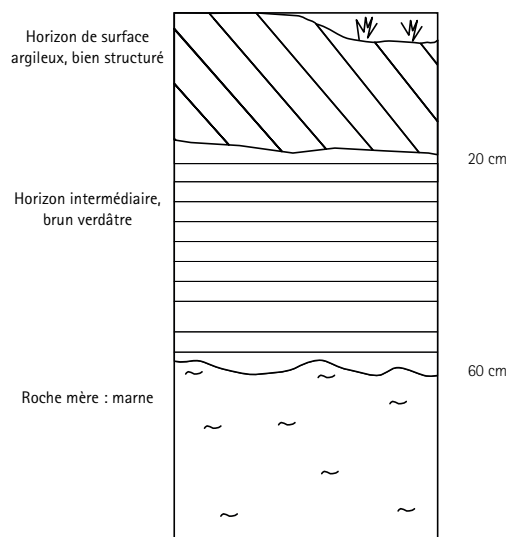


Figure 14: Horizons des **sols bruns calciques ou eutrophes**. 15 % de la surface totale du bassin versant du Molubé (Froger et al., 1994: 96)

15 % du bassin-versant du Molubé est couvert de **Sols bruns calciques ou eutrophes** (Aubuis, champagne profonde ou Terre forte). Les Calcisols (Baize et Girard, 2009) sont caractérisés par une absence de charge caillouteuse ce qui implique que le sol est argileux et collant. L'horizon de surface (20 à 30 cm) présente une texture argileuse d'une couleur brun olive à brun gris. Il s'agit d'un sol bien structuré avec de nombreuses fentes de retrait pendant les périodes sèches. Dans le cas d'une modification du sol anthropique, il devient de plus en plus plastique. L'horizon sous-jacent (30 à 60 cm) est également caractérisé par l'absence des cailloux et d'une texture argileuse à argile lourde. Cette couche contient de nombreux grains sableux de glauconie. Il présente une faible réaction à l'acidité. (Froger, Moulin et Servant, 1994)

» Les sols d'apport colluvial

Dans les alentours du Molubé on peut retrouver des **sols d'apport colluvial** (Terre de fonds, varenne argileuse). Les Colluviosols (Froger, Moulin et Servant, 1994) sont issus des formations superficielles particulières de versants qui proviennent d'une accumulation de matériaux pédologiques qui ont été arrachés en amont du paysage et sont liés aux pentes des vallées. Les colluviosols sont caractérisés par l'héritage des colluvions concernant leur nature minéralogique et granulométrique. Ainsi ces sols sont indépendants du substrat géologique présent dans les couches plus profondes (Baize et Girard, 2009). La structure de ce sol est caractérisée par un aspect argileux, collant en période humide qui est peu ou pas caillouteux et qui est de couleur brun foncé. L'horizon de surface est bien structuré et réagit faiblement au contact de l'acidité. Les horizons sous-jacents peuvent posséder des traces de carbonate. (Baize et Girard, 2009)

» Autres sols présents

Les sol hydromorphes (Figure 16)

Les fonds de vallées du Molubé sont souvent constitués d'un **sol hydromorphe** (1 %) (Terres de fonds, Vallée, varenne argileuse) avec une nappe peu profonde composée d'alluvions à texture argileuse. Les Réductisols (Baize et Girard, 2009) sont des sols qui possèdent des caractéristiques imputables à un excès d'eau, ils sont imperméables et empêchent

l'infiltration de l'eau. Ces sols sont constitués en majorité de particules argileuses à argiles lourdes et très plastiques. Ils sont prononcés dans les vallons, les grandes vallées et les sols à Gley permanent proche de la surface. La nature du substrat est caractérisée par des alluvions récents. (Froger, Moulin et Servant, 1994)

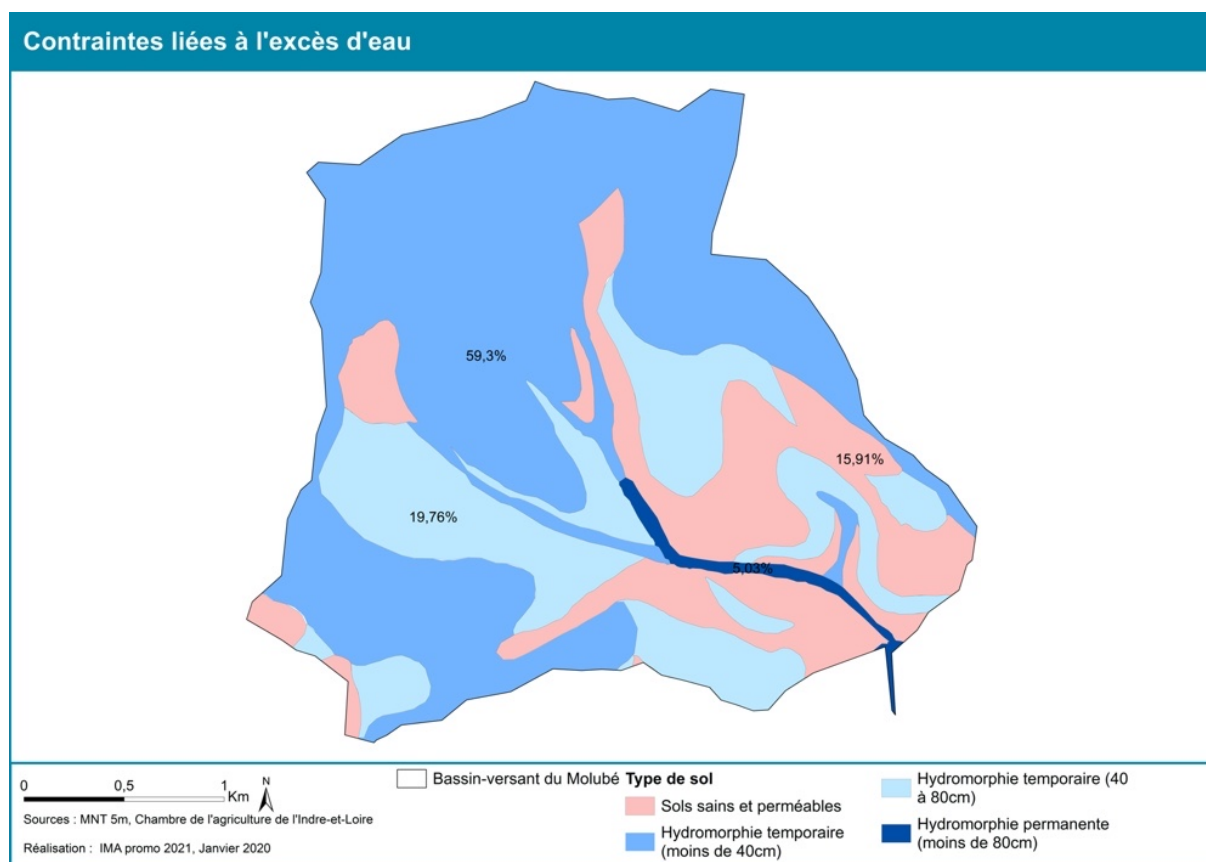


Figure 15: Carte de l'hydromorphie (production personnelle, 2020)

Tableau 4: Tableau récapitulatif des différents types de sol et leurs différents noms

Classification des sols	Sous classification	Types de sol – CPCS	Selon référentiel 2008	Termes vernaculaires
Sol hydromorphe	Sol hydromorphe minéraux	Sol à nappe permanente peu profonde	Réductisols typiques et divers solums qualifiés de réductiques	Terres de fonds, Vallée, varenne argileuse
Sols peu évolués	Sols d'apport colluvial	Sols colluviaux saturés ou calcaires	Colluviosols	Terre de fonds, varenne argileuse
Sols calcimagnésiques	Sols carbonatés	Rendzines brunes	Rendosols	Tuf, petite Champeigne, galuche (en

		moyennement effervescentes		Touraine), rendzines
		Rendzines claires fortement effervescentes	Rendosols hypercalcaires	Tuf blanc, aubuis léger, rendzines
		Sols bruns calcaires	Calcosols	Aubuis , aubue
	Sols saturés	Sols bruns calciques ou eutrophes	Calcisols	Aubuis, champeigne profonde ou Terre forte
Sols brunifiés	Sols bruns	Complexe de sols bruns et de sols bruns faiblement lessivés	Brunisols eutriques ou dystriques luviques	Bournais perrucheux sur argile à silex
	Sols lessivés	Sols bruns lessivés	Néoluvisols	Bournais mi-lourd à lourd sur argile à silex
		Sols lessivés	Luvisols	Bournais sableux sur argile à silex

b) TEXTURES SUPERFICIELLES

» Caractéristiques physiques des sols

Cette carte (Figure 16) découle directement de la carte des sols. La texture est un facteur important, elle va conditionner le choix des méthodes de culture : le climat a une influence sur le comportement du sol plus ou moins marqué selon la texture.

Textures superficielles des sols

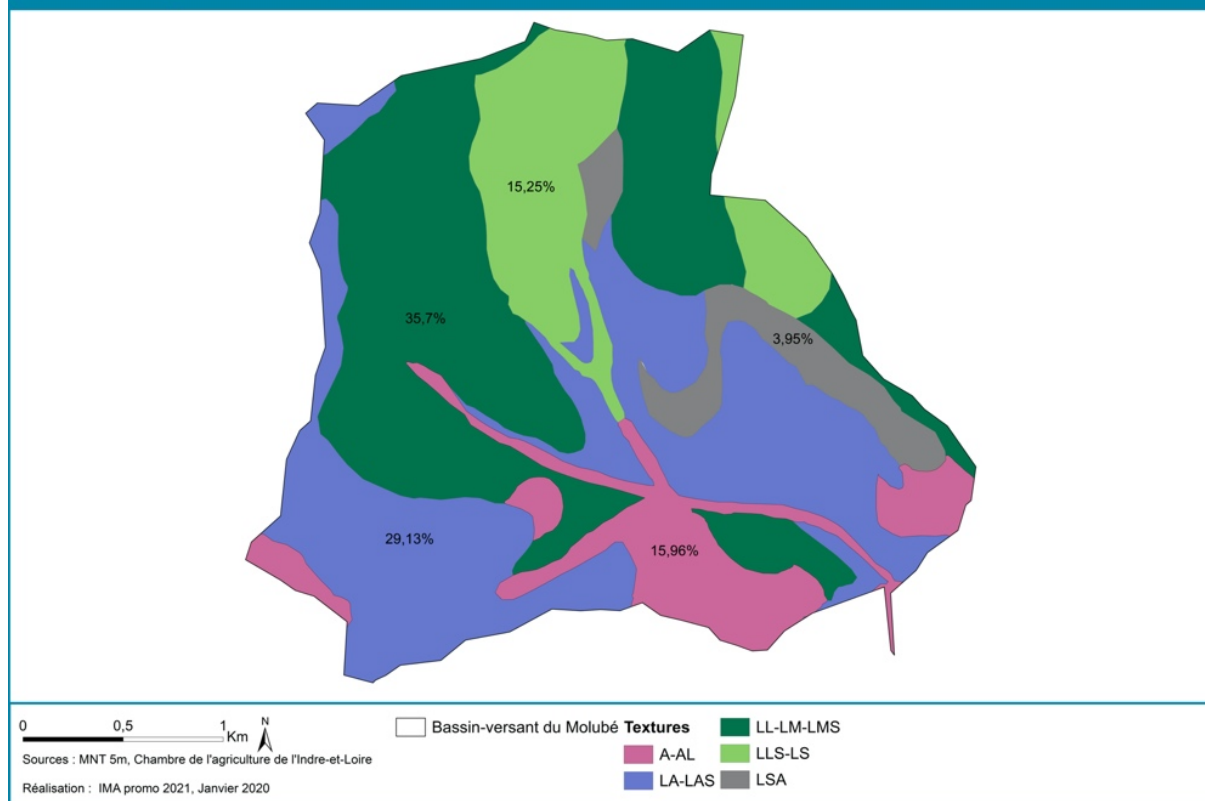


Figure 16: Carte des textures superficielles (production propre, 2020)

Cette carte permet d'identifier les contraintes imposées par les caractéristiques physiques.

- Argile (A)- Argile limoneuse (Al) : couleur mauve. Elles sont présentes plutôt à l'ouest de notre bassin-versant, elles représentent 15,96 % des textures superficielles. C'est une terre forte avec une structure bonne à très bonne liée à l'origine du matériau et à la teneur en matière organique.
- Elles sont associées aux affleurements des calcaires et marnes lacustres. Elles sont issues principalement de l'altération des matériaux calcaires.
- Les limons argileux et les limons argilo-sableux (LA-LAS) : couleur bleu foncé. Ils représentent 29,13 % de notre bassin-versant, mais seulement 10% de la carte de Langeais. Ce sont des terres à texture équilibrée avec de bonnes propriétés physiques si l'état calcique est correct. Dans notre cas ils sont principalement associés aux formations calcaires lacustres : sols bruns et eutrophes. Ces sols sont des matériaux éoliens (apport éolien) et recouvrent l'argile qui a une capacité d'altération du calcaire.
- Les limons léger - limon moyen - limon moyen sableux (LL-LM-LMS) : couleur vert foncé. Ce sont les plus répandus sur la carte, ils couvrent 35,7 % de la surface. C'est une terre légère, froide et très battante avec une structure très fragile liée à l'état calcique et organique.
- Limon léger sableux (LLS) - limon sableux (LS) : couleur vert clair. Ils couvrent 15,25 % de la surface de la carte. Ce sont des terres légères, lentes à se réchauffer et battantes avec une structure liée à l'état organique et calcique.
- En termes de propriété agronomique, ce sont des sols qui gênent l'aération du sol, l'enracinement et qui nécessitent des dates de labour très précises.

- Des limon sablo-argileux (LSA) : couleur grise. Ils sont présents en plus petite quantité (3,95%). Ce sont des terres à texture équilibrée à tendance sableuse. Elles ont de bonnes propriétés physiques sous réserve d'un état calcique correct.

1.3.3. PROPRIETES AGRONOMIQUES

Le Molubé est situé en Champagne (Figure 17), les caractéristiques du sol y sont naturellement fertiles avec principalement de la céréaliculture et de la polyculture-élevage. Ce sont des sols de qualité et d'épaisseur variable, ce qui explique l'alternance entre de vastes étendues boisées et de grandes zones agricoles.

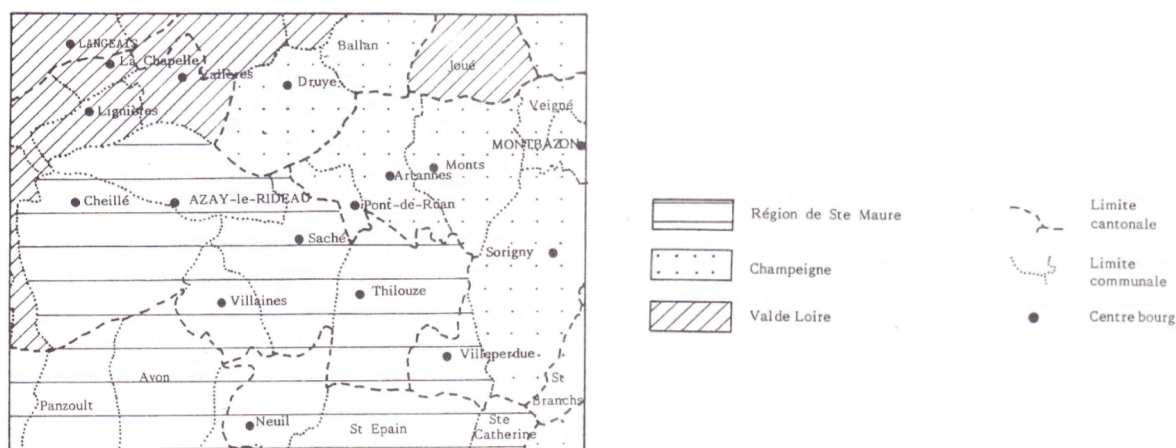


Figure 17: Délimitation Administrative et Géographique- Légende carte pédologique Langeais

(Chambre de l'agriculture d'Indre-et-Loire)

a) ETUDES DES CONTRAINTES CLIMATIQUES

» Excédents et déficits hydriques annuels

Les propriétés agronomiques sont détaillées dans la notice explicative de la carte de Langeais. Par soucis de précision, nous étudierons les contraintes climatiques sur les communes environnantes, contraintes extrapolées à celles présentes sur le bassin-versant Le Molubé, car la proximité géographique est suffisante.

Tableau 5: Contraintes climatiques

	Excédent Automne-Hiver		Déficit Printemps/été	
	Médiane	Etat	Médiane	Etat
Sorigny	246mm	Sec	337 mm	Sec
Thilouze	265mm	Normal	295 mm	Normal/Sec

Les valeurs d'excédent et de déficits sont calculées par rapport au bilan hydrique moyen établi sur 30 ans, il s'agit du budget des entrées et des sorties sur une unité hydrologique donnée. Le sol servant de tampon, notamment en ce qui concerne les déficits hydriques, qui vont régir les capacités de stockage pour adapter l'agronomie au sol en question.

Le tableau ci-dessus traduit des contraintes climatiques qui sont en faveur de conditions relativement sèches; en effet ces excédents et déficits sont à mettre en relation avec peu d'hivers humides sur les communes à proximité d'Artannes : 2,5 hivers considérés comme humides sur 10 pour la commune de Sorigny et 4 hivers humides sur 10 pour la commune de Thilouze. Il est tout de même à noter que ces deux communes sont au sud de l'Indre, ce qui correspond à la partie avec le plus de précipitations, tandis que la partie au nord de l'Indre a moins de précipitations. Les contraintes climatiques peuvent être semblables sur notre bassin-versant qui se situe principalement sur la commune d'Artannes, c'est donc les qualités des sols qui vont différer. Pour conclure sur les excédents hydriques, ils ne sont pas classifiés dans les excédents fort ce qui laisse penser que le potentiel de ruissellement est plutôt faible mais nous ne sommes pas en mesure de chiffrer ces interprétations.

» Répartition décadaire des précipitations et fréquences aux dates clés

Le principal problème que nous pouvons rencontrer est l'hydromorphie de certains sols, ainsi l'eau stagnante entraîne une pourriture racinaire par l'anoxie qui en découle.

Pour ce qui est des précipitations, les caractéristiques changent selon les périodes. En effet, en sortie d'hiver, pour le secteur d'Artannes, seule une année sur deux présente une pluviométrie supérieure à 30 mm (par an) ce qui n'est pas une valeur excédentaire dans ces conditions hivernales.

Il est important de noter que l'excès de pluie apporte une contrainte pour les sols (hydromorphes) qui sont saturés en eau ce qui peut gêner les semis de printemps.

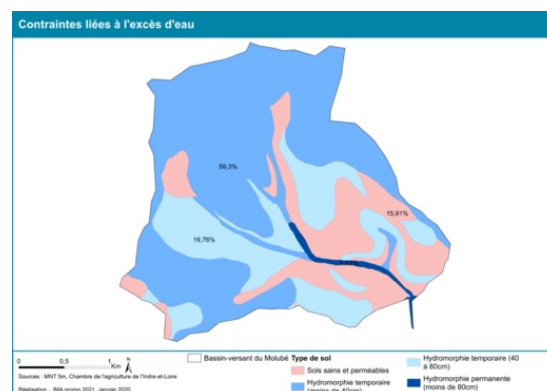
Pour le printemps, avril est un mois qui se veut troublé malgré son humidité moindre que les mois précédents. Le mois d'avril constitue un vrai créneau à exploiter pour les préparations et travaux du sol car le mois de mai connaît régulièrement plus de précipitations.

Durant l'été, des périodes de sécheresse sont à noter à partir du mois de juin et sur une durée variable qui augmente. Ce qui implique de s'interroger sur les choix de cultures à mettre en place, adaptées à des sols à faible réserve utile en eau.

b) CONTRAINTES LIEES À L'EXCES D'EAU

Il est important de regarder les contraintes liées à l'hydromorphie. En effet, face à des sols hydromorphes, l'utilisation du drainage est nécessaire pour que l'eau ne stagne pas. Cette technique est utilisée sur de nombreux sols dans les communes à proximité de l'Indre qui sont présentes sur la carte de Langeais.

Cf. Figure 15: Carte de l'hydromorphie (production personnelle, 2020) p. 31



Nous avons plusieurs types de sols hydromorphes sur notre bassin-versant (Figure 16) :

- Les sols sains et perméables, ils couvrent 15 % de notre bassin-versant. (couleur rose)
Ce sont des sols à ressuyage correct et favorable. Appliqué à l'agriculture, le ressuyage va autoriser le travail de la terre à sec. Le semis de graines (céréales) doit souvent attendre un ressuyage du sol pour bien réussir la culture. (Jean-François Fortier, 2006)
- **Hydromorphie temporaire (40 à 80 cm)** : ils représentent 19,75 % de nos sols hydromorphes. (couleur bleu très clair) Ce sont des sols parfois humides qui peuvent nécessiter un aménagement ponctuel, éventuellement associé à un drainage.
- **Hydromorphie temporaire (moins de 40 cm)** : ce sont des sols très humides et où le drainage est prioritaire. (couleur bleu) Ils vont être majoritaires sur notre bassin-versant (59,31 %). Ils vont principalement être situés vers l'amont du bassin-versant. Ce sont des sols „très humides” et le drainage y est prioritaire.
- **Hydromorphie permanente (moins de 80 cm)** : Sols à nappe profonde. (couleur bleu foncé)

Tableau 6: Tableau récapitulatif des types de sols présents sur le bassin-versant du Molubé

Type de sol	Présence sur Langeais (en %)	Présence sur Le Molubé (en %)	Caractéristiques
Sains et perméables	10	15,91	Sols à ressuyage correct et favorable
Hydromorphie temporaire (entre 40 et 80 cm de profondeur)	15	19,76	Sols parfois humides
Hydromorphie temporaire (moins de 40 cm de profondeur)	64	59,71%	Sols très humides
Hydromorphie (moins de 80 cm)	11	5 %	Sols à nappe

Ainsi la plupart de nos sols sont très humides (60 %) donc nous pouvons penser qu'il y a une problématique importante liée au drainage sur notre bassin versant.

c) RESERVES UTILES POTENTIELLES

» Réserve utiles :

Cette carte (Figure 18) fait ressortir le degré de résistance à la sécheresse des sols. Il s'agit d'une réserve potentielle, calculée sur un mètre de profondeur. Elle a été calculée avec la capacité au champ (capacité maximale en eau du sol) et le point de flétrissement permanent.

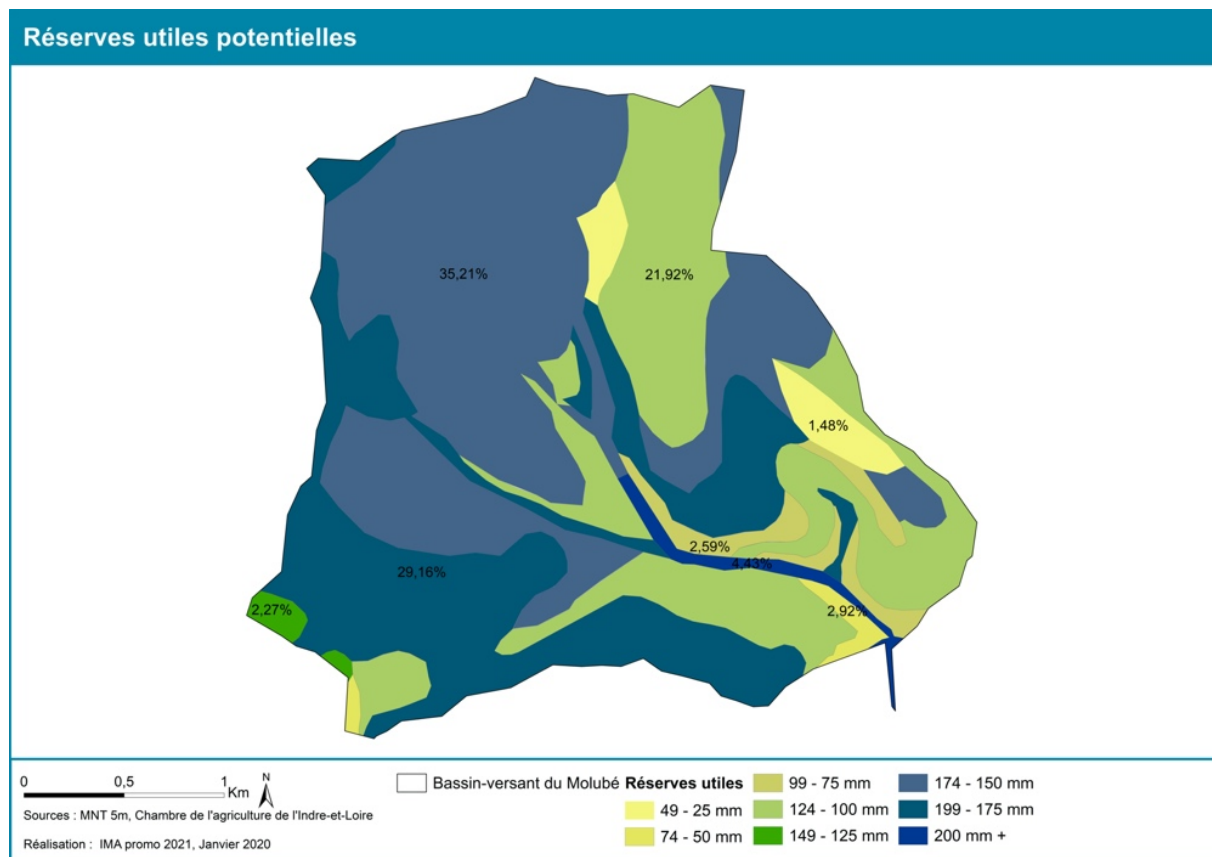


Figure 18: Carte des réserves utiles potentielles du bassin versant (production personnelle, 2020)

Ainsi, suivant la quantité d'eau nous pouvons déterminer si le sol est sensible ou pas à la sécheresse.

D'après la Carte Réserves Utiles Potentielles, le bassin-versant du Molubé présente principalement des sols à bonnes réserves en eau (couleur bleu foncé), à hauteur de 64 % (de 199-150 mm) de la surface de la zone hydrographique. Ces sols satisfont généralement les besoins de toutes les cultures. En année moyenne, leur réserve en eau compense l'évapotranspiration (ETP) des cultures d'été. L'intensification est possible grâce à une rotation à base de cultures fourragères et céréalières qui conviennent parfaitement à ces sols. Donc la plupart des sols de notre bassin-versant ont de bonnes réserves utiles potentielles ce qui est important pour pouvoir pallier aux problèmes de sécheresses qui deviennent de plus en plus récurrents. Les types de sols correspondent principalement aux bournais c'est à dire à des sols bruns lessivés.

Les sols à assez bonnes réserves en eau (149-100 mm) représentent environ 24 % de la surface totale du bassin versant. (Couleur vert clair à vert foncé) La réserve en eau de ces sols

tamponne le déficit hydrique en début d'été. Ces sols se prêtent bien à une rotation « prairie/culture d'hiver ». Les cultures d'été (maïs, tournesol, ...) ne doivent pas être implantées quand la réserve utile n'atteint pas 125 mm. (Voir Figure 18)

Dans ces sols, une irrigation complémentaire est à envisager pour intensifier les cultures d'été. Ce sont principalement des sols argilo-calcaires sur du calcaire et marne lacustre en Fausse Champagne.

Les autres sols sont des sols sensibles à la sécheresse (99-25 mm) : couleur jaune à marron clair, mais ils sont minoritaires (environ 7 %). Sur ces sols, les cultures d'été sont aléatoires et l'irrigation est nécessaire. Il faut donc miser sur des coupes précoces ou des espèces peu exigeantes.

d) APTITUDES AGRICOLES

» La valeur agricole des terres

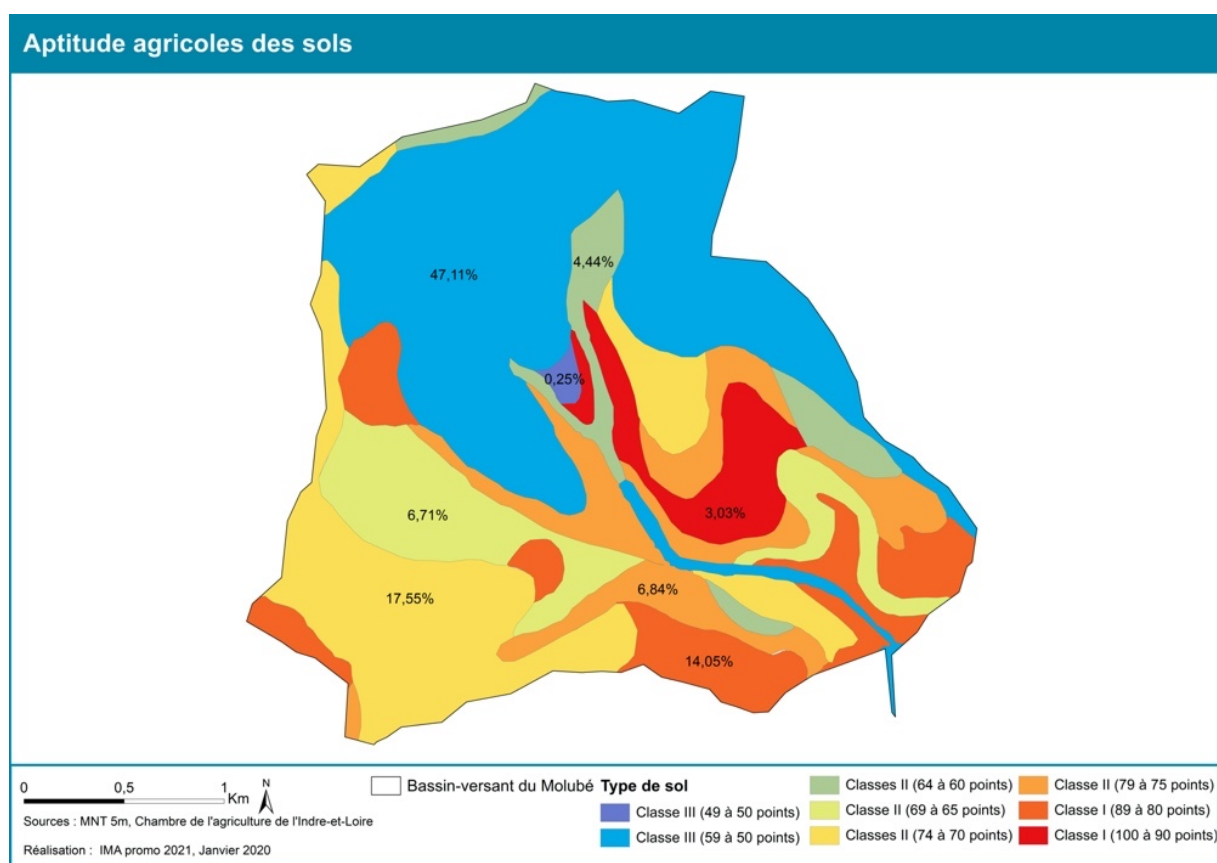


Figure 19: Carte aptitude physiques des sols (production personnelle, 2020)

L'aptitude agricole des sols (Fig.19) est basée sur la notation du sol sur 100 points. Plus la note est élevée, plus l'éventail des cultures possibles devient large, dans un contexte climatique donné. Plus la note devient basse, moins la vocation agricole est affirmée.

Cette note est basée sur les indices suivants : la texture, la profondeur du profil exploitable par les racines, la pierrosité, l'hydromorphie, la réserve utile et l'état calcique et organique de la couche arable.

Ainsi trois classes sont créées : classe III - de 50 à 60 points, classe II - de 60 à 80 points et la classe I de 80 à 100 points

Tableau 7 : Tableau des notes maximales selon différents critères

Critères :	Note maximale possible (points)
Texture du profil	25
Teneur en carbonates	5
Profondeur exploitable par les racines	15
Réserve utile en eau	10
Pierrosité	10
Hydromorphie	20
Etat calcique et organique de la surface	15
Total	100

Les classes I - de 80 à 100 points (couleur rouge et orange). Ce sont des sols à très large vocation culturale. Ils peuvent présenter des facteurs limitants secondaires qui ne restreignent pas leur vocation agricole. Ces sols représentent 17 % de la surface de notre carte.

Les classes II - de 60 à 80 points (couleur vert clair à jaune). Ces sols ont une potentialité correcte, l'éventail des cultures peut être restreint par des facteurs limitants difficiles à éliminer. Ces sols représentent 35,54 % de notre surface.

Les classes III - de 40 à 60 points (couleur bleue). Ce sont des sols à potentiel limité par plusieurs facteurs défavorables, prépondérants. Ils représentent 48 % de nos sols. On les retrouve sur un grand nombre de perruches.

1.3.4. HYDROGEOCHIMIE

L'hydrogéochimie permet de mieux appréhender les qualités physico-chimiques de nos eaux qu'elles soient souterraines ou de surface mais aussi de comprendre les processus d'échange, d'interaction entre l'eau, le sol et le sous-sol. Elle dépend de nombreux paramètres tels que la géologie, la pédologie mais elle est aussi largement influencée par les différentes activités humaines.

a) MATERIELS & METHODES

» Points de prélèvements

Une analyse de la qualité des eaux superficielles a été réalisée sur notre cours d'eau du Molubé en plusieurs points. L'objectif étant de voir l'impact du site sur le cours d'eau. Les prélèvements ont été réalisés début octobre afin d'avoir suffisamment d'eau pour les faire. Nous en avons effectué six à des lieux stratégiques et suffisamment immergés en eau (Figure 20). Deux d'entre eux ont été réalisés sur l'Indre, à l'amont (5) et à l'aval (6) de la confluence avec la Molubé et un troisième point a été mesuré au niveau de l'exutoire (4). Concernant les

autres points, nous les avons sélectionnés selon l'activité du lieu pour en voir l'impact. Ainsi un point a été conduit au niveau de la peupleraie (3) (forêt de peupliers anthropique). Un autre au niveau de la route Départementale 8 (1), en effet, nous nous trouvons ici au milieu des parcelles agricoles de notre bassin-versant. Enfin, le dernier a été réalisé au milieu d'une forêt naturelle de feuillus (2).

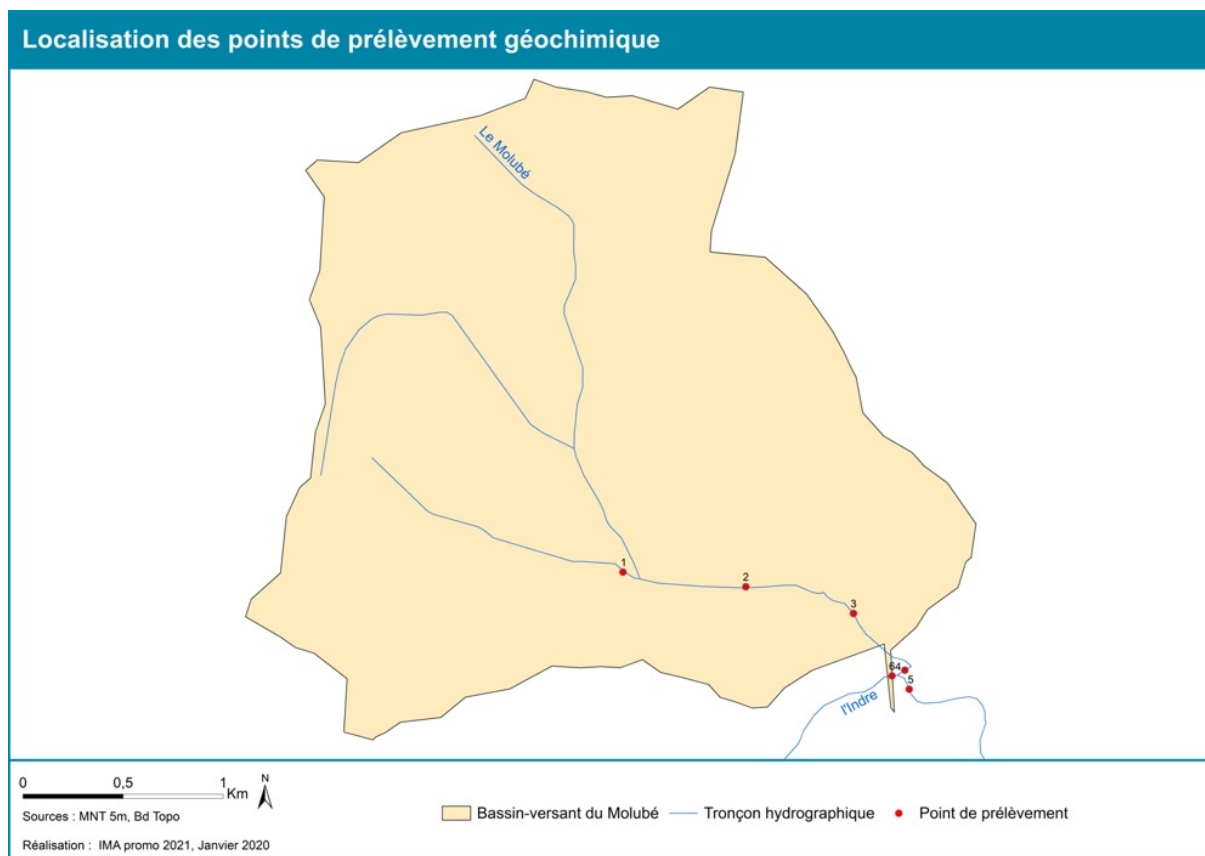


Figure 20: Localisation de nos points de prélèvements (production personnelle, 2020)

» Mesures

Pour chacun de nos points de prélèvements, le protocole appliqué est le même. Un échantillon d'eau général est prélevé à l'aide d'un grand béccher en plastique préalablement rincé trois fois avec de l'eau de la rivière. L'eau contenue dans ce béccher est ensuite transvasée vers les trois flacons suivants :

- Un flacon de 60 ml contenant un échantillon d'eau filtré non acidifié (FNA)
- Un flacon de 125 ml contenant un échantillon d'eau filtré acidifié (FA)
- Un flacon de 125 ml contenant un échantillon d'eau non filtré acidifié (NFA)

De même que pour le béccher, les flacons et le matériel utilisés pour le filtrage de l'eau sont préalablement rincés trois fois avant utilisation ainsi qu'une fois à l'eau distillée entre chaque station.

Les paramètres mesurés sont présentés ci-dessous ainsi que le protocole étudié, ainsi :

pH cours d'eau :

La mesure du pH, qui traduit la détermination de la concentration du cours d'eau en ions H^+ , est une mesure importante qui conditionne de nombreux équilibres notamment physico-chimiques. Nous avons pu le mesurer grâce à une sonde pH et ce directement sur le terrain. Il dépend de nombreux paramètres comme l'origine des eaux ou encore la nature géologique du lit lorsqu'il n'est pas soumis à des rejets relatant de l'activité humaine.

Nitrates :

La présence de nitrates provient majoritairement de l'agriculture et de l'épandage de différents engrais et lisiers. La réglementation datant de 2001 dit qu'une eau n'est plus considérée comme potable lorsque sa teneur est supérieure à 50 mg/L. Elle reste cependant acceptable lorsque sa concentration est inférieure à 100 mg/L. Nous avons déterminé la concentration de pH grâce à des bandelettes. Elles présentent l'avantage d'obtenir des valeurs rapidement mais ces dernières restent approximatives (Institut national de santé publique Québec).

Alcalinité :

L'alcalinité d'une eau traduit sa concentration en ions carbonates (CO_3^{2-}) et bicarbonates (HCO_3^-) et donc sa capacité à résister aux attaques acides. Nous l'avons mesuré en réalisant un titrage par de l'HCl et grâce à une sonde pH mètre.

Dureté totale :

La dureté d'une eau fait référence à sa concentration en magnésium et en calcium dissous. Pour cela, nous avons réalisé un dosage colorimétrique dont la solution titrante était de l'EDTA. Les réactifs utilisés étaient le NET et le calcon.

Fer :

Le fer est naturellement présent dans les eaux pour des concentrations variables allant de 0 à 50 mg/L. A titre indicatif, l'Organisation Mondiale de la Santé (l'OMS) recommande des concentrations inférieures à 0.3 mg/L notamment dans les nappes phréatiques qui serviront par la suite à la consommation. Une concentration trop importante peut être due à une activité anthropique tels les forages. Pour en déterminer sa concentration, c'est la méthode par spectrophotométrie que nous avons utilisée.

Phosphore total :

Le phosphore, comme le nitrate, est naturellement présent dans la nature. C'est même un élément fondamental du vivant indispensable aux écosystèmes naturels. Cependant les activités humaines et notamment l'agriculture modifient largement son cycle causant par la suite des problèmes d'eutrophisation et de proliférations algales. C'est grâce à la méthode colorimétrique par mesures d'absorbance que nous avons obtenu les concentrations de phosphore.

Température :

Elle a été mesurée grâce à une sonde directement sur le terrain.

Conductivité électrique :

La conductivité électrique traduit la quantité d'ions dans le cours d'eau. Une conductivité trop élevée peut être synonyme de pollution. Un conductimètre nous a permis de la déterminer.

b) RESULTATS & INTERPRETATION

Concernant les résultats, nous allons tout d'abord définir les résultats de chaque paramètre chimique étudié. Ensuite, grâce à ces derniers nous pourrions définir selon la norme SEQ-eau la qualité chimique de notre bassin-versant. Ensuite nous comparerons nos résultats avec ceux de l'Indre, cours d'eau dans lequel le Molubé se jette. Les débits des deux rivières seront aussi étudiés tout comme l'analyse chimique de la nappe phréatique représentant la source d'eau de le Molubé. Enfin l'indice de saturation de la calcite et de la magnésite de notre cours d'eau sera aussi analysé.

» Différents paramètres chimiques

Les résultats de nos prélèvements sont condensés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 8: Tableau récapitulatif nos mesures chimiques

Nom échantillon	Route D8 (P1)	Pont (P2)	Peupleraie (P3)	Exutoire (P4)	Indre amont (P5)	Indre aval (P6)
pH	7,76	7,50	7,90	7,48	7,57	7,60
Nitrates (mg/L)	10	5	5	-	30	2
Alcalinité (°f)	28,75	28,75	25,49	15,25	19,02	21,45
Orthophosphates (mg/L)	0,018	-	-	0,002	8,27.10-3	8,8.10-3
Calcium (mg/L)	116,0	118,0	105,0	104,0	90,0	82,0
Magnésium (mg/L)	6,4	7,3	8,4	19,4	9,6	10,9
Dureté Totale (°f)	31,6	32,5	29,7	34,0	26,5	25,0
Fer (mg/L)	1,2	0,84	0,67	0,33	1,67	1,17
Fer total (mol/L)	1,21.10-5	5,10.10-6	1,56.10-6	1,46.10-6	1,04.10-6	1,04.10-6
Phosphore total (mg/L)	4,37	1,33	1,33	0,63	1,71	1,81
Température (°C)	12,8	12,1	12,00	11,9	15,5	15,4
Conductivité (mS/m)	0,47	0,47	0,42	0,45	0,38	0,38

pH cours d'eau :

Dans notre cas, le pH reste plus ou moins constant tout au long de notre bassin-versant et compris entre 7,48 et 7,90. Ce sont les divers équilibres entre les couples d'ions qui permettent de tamponner le milieu et ainsi d'obtenir un pH proche du neutre ($\text{pH} = 7$). Le pH le plus élevé de 7,90 peut s'expliquer de par sa proximité avec une peupleraie. Ainsi sachant qu'une forte production végétale augmente le pH, cela peut-être la cause de cette légère augmentation.

Nitrates :

Concernant notre bassin-versant, les valeurs ne dépassent jamais les normes alors que le cours d'eau traverse de nombreuses parcelles agricoles. Nous remarquons cependant une valeur surprenante en Indre aval, en effet elle est très inférieure à celle de l'Indre amont ce qui ne devrait pas être le cas. Cela traduit l'approximation de la mesure et sûrement une erreur de notre part lors de la détermination des deux concentrations.

Alcalinité :

Dans notre bassin-versant, nous nous situons sur un sol en partie calcaire donc riche en calcite (CaCO_3) qui se dissocie par la suite en Ca^{2+} et en CO_3^{2-} , ce dernier étant responsable d'une augmentation de l'alcalinité de l'eau, elle est donc assez importante sur le Molubé.

Dureté totale :

La dureté d'une eau fait référence à sa concentration en magnésium et en calcium dissous. Le Molubé possède des concentrations élevées en Ca^{2+} et en Mg^{2+} tout au long du cours d'eau excepté au niveau de l'exutoire où elles diminuent légèrement. Cela s'explique sûrement par le fait que la masse d'eau y est plus importante donc ces ions magnésium et calcium y sont plus dilués.

Fer :

Les concentrations sont comprises entre 0,33 et 1,67 mg/L ce qui est supérieur aux recommandations de l'OMS.

Phosphore total :

Pour nos échantillons, les concentrations vont de 0,63 à 4,37 mg/L. Ces résultats qui sont très mauvais traduisent un milieu hypereutrophe. Cela peut paraître logique étant donné que nous nous situons au milieu de nombreuses parcelles agricoles qui utilisent potentiellement des produits tels des pesticides, des engrais ... Cependant ils ne sont pas en adéquation avec ceux du nitrate où les concentrations trouvées étaient plutôt faibles. Nous pouvions donc nous attendre à trouver des résultats certes importants mais pas si grands que ça. Comme nous l'avions dit précédemment les tests nitrates étaient réalisés avec des bandelettes peu précises donnant un résultat approximatif. La différence peut donc s'expliquer en partie de par nos manipulations expérimentales mais d'autres facteurs que nous ne connaissons pas entrent sûrement en jeu et expliquent cette grande différence.

Le phosphore total correspond à tout le phosphore présent quel que soit sa forme. Les orthophosphates (PO_4^{3-}) quant à eux représentent le phosphore dissous qui est très peu présents d'après nos résultats.

Température :

Elles varient de 11,9 à 15,5 °C. Nous remarquons aisément que celles de l'Indre sont nettement plus importantes que celles du Molubé. En effet le cours d'eau étant largement plus grand et surtout plus long, l'eau a le temps de se réchauffer. Et ayant réalisé les mesures en fin de périodes estivales (début octobre), l'eau est encore chaude de l'été.

Conductivité électrique :

Les résultats sont compris entre 0,38 et 0,47 mS/m.

c) QUALITE CHIMIQUE DU MOLUBE

C'est ensuite grâce aux normes référencées dans le document de la SEQ-eau (le Système d'Évaluation de la Qualité de l'eau des cours d'eau) (MEDD & Agences de l'eau, 2003) que l'on va pouvoir définir la qualité de notre cours d'eau d'un point de vue générale mais aussi selon différents critères d'utilisation. Ces normes sont notamment utilisées par les agences de l'eau pour classer les cours d'eau d'un point de vue physico-chimique et biologique. Le classement s'effectue selon les catégories suivantes : **Très Bon** > **Bon** > **Moyen** > **Médiocre** > **Mauvais**. Les normes varient selon l'utilisation que l'on veut du cours d'eau. Dans notre cas la qualité de l'eau pour son aptitude à la biologie va être évaluée. La qualité de la Molubé selon les altérations potentielles globales pour tous les usages sera aussi déterminée.

A titre d'exemple, la durée, le taux d'alcalinité, la concentration en fer total, en phosphore total, en calcium ou encore en magnésium sont quelques indicateurs qui permettent de catégoriser le cours d'eau selon sa qualité en fonction des différents usages. Les données obtenues en conductivité électrique et celles du pH par exemple permettent de compléter nos mesures et nos analyses.

» Critère biologique

Tableau 9: Qualité chimique de notre cours d'eau selon les critères biologiques

Nom échantillon	Route D8 (P1)	Pont (P2)	Peupleraie (P3)	Exutoire (P4)	Indre amont (P5)	Indre aval (P6)
pH	7.76	7.50	7.90	7.48	7.57	7.60
Nitrates (mg/L)	10	5	5	-	30	2
Orthophosphates (mg/L)	0.018	-	-	0,002	8,27.10 ⁻³	8,8.10 ⁻³

Phosphore total (mg/L)	4.37	1.33	1.33	0.63	1.71	1.81
------------------------	------	------	------	------	------	------

Pour mesurer la qualité de notre cours d'eau concernant la biologie, les paramètres suivants ont été utilisés : pH, Nitrates, Orthophosphates et Phosphore total. Le pH ainsi que la concentration en Orthophosphates traduisent une très bonne qualité de l'eau. En effet ils sont respectivement compris entre 6,5 et 8,2 et inférieur à 0,1 mg/L. Le nitrate se retrouve en quantité supérieure à 2 mg/L pour tous les points excepté celui situé en Indre aval. Cela est d'ailleurs surprenant et traduit sûrement une erreur dans nos mesures sur le terrain car en Indre amont, nous retrouvons une concentration de 30 mg/L. Le dernier paramètre est celui du Phosphore total, il est présent en quantité très importante sur notre cours d'eau. Cela traduit une qualité mauvaise pour 5 points sur 6 car la concentration est supérieure à 1 mg/L et médiocre pour le point situé à l'exutoire. Nous pouvons penser que la qualité au niveau de l'exutoire est légèrement moins mauvaise que pour les autres points car c'est le point qui se situait le plus loin des parcelles agricoles. Or, nous savons que c'est l'agriculture et l'usage d'engrais ou de pesticides qui est en grande partie à l'origine de la pollution au phosphore.

» Critère altération globale

Tableau 10: Qualité chimique de notre cours d'eau selon les critères d'altérations globales

Nom échantillon	Route D8 (P1)	Pont (P2)	Peupleraie (P3)	Exutoire (P4)	Indre amont (P5)	Indre aval (P6)
pH	7,76	7,50	7,90	7,48	7,57	7,60
Nitrates (mg/L)	10	5	5	-	30	2
Alcalinité (°f)	28,75	28,75	25,49	15,25	19,02	21,45
Orthophosphates (mg/L)	0,018	-	-	0,002	8,27.10 ⁻³	8,8.10 ⁻³
Calcium (mg/L)	116,0	118,0	105,0	104,0	90,0	82,0
Magnésium (mg/L)	6,4	7,3	8,4	19,4	9,6	10,9
Dureté Totale (°f)	31,6	32,5	29,7	34,0	26,5	25,0
Phosphore total (mg/L)	4,37	1,33	1,33	0,63	1,71	1,81
Conductivité (mS/m)	0,47	0,47	0,42	0,45	0,38	0,38

La qualité des eaux des points de prélèvements peut également être appréciée selon les altérations globales engendrées par plusieurs usages comme les loisirs, l'aquaculture ou encore l'irrigation. Ici, l'évaluation a été faite à partir des 4 mêmes paramètres que précédemment ainsi qu'avec les valeurs mesurées pour l'alcalinité, les quantités en ions calcium et magnésium, la dureté totale et la conductivité obtenues pour chaque point. Pour tous les paramètres exceptés deux d'entre eux, la qualité obtenue pour notre cours d'eau est très bonne. C'est pour la quantité en nitrate et en phosphore total que les résultats sont moins bons soit pour deux éléments traduisant l'impact de l'agriculture sur notre bassin-versant. Le nitrate se retrouve en concentration inférieure ou égale à 2 mg/L traduisant une très bonne qualité pour un point, celui de l'Indre aval. Ceux de la route D8, du pont et de la peupleraie ont des concentrations respectives de 10, 5 et 5 mg/L. La qualité y est alors considérée comme bonne. Par contre, au point Indre amont a été mesuré 30 mg/L de nitrates ce qui signifie un résultat médiocre. Concernant le phosphore total, c'est la même interprétation que pour la biologie précédemment à savoir une qualité mauvaise pour 5 points et médiocre pour le dernier situé à l'exutoire.

» Qualité globale de l'eau

Au vu des résultats obtenus pour la biologie et les altérations globales, nous avons pu obtenir le tableau ci-dessous traduisant la qualité d'un point de vue globale de notre cours d'eau. Parmi nos 6 points de mesures situés tout le long du Molubé, 5 d'entre eux présentent une qualité mauvaise et un seul, celui situé à l'exutoire, une qualité médiocre. Cette mauvaise qualité chimique générale sur notre cours d'eau est la conséquence de concentrations trop élevées en phosphore et en nitrates.

Tableau 11: Qualité chimique globale de notre cours d'eau

Points de prélèvements	Route D8 (P1)	Pont (P2)	Peupleraie (P3)	Exutoire (P4)	Indre amont (P5)	Indre aval (P6)
Classement pour aptitudes à la biologie						
Classement pour les altérations globales						
Qualité chimique de l'eau						

En plus d'avoir déterminé la qualité chimique de notre cours d'eau grâce aux valeurs obtenues précédemment, nous avons voulu évaluer d'autres paramètres. Dans un premier temps, nous avons comparé nos résultats avec ceux de l'Indre, ce dernier représentant l'exutoire du Molubé.

» Comparaison de la qualité chimique du Molubé et de l'Indre à la station de Monts

Grâce à cela nous pourrions voir si les perturbations perçues sur le Molubé sont propres à ce cours d'eau ou si elles sont visibles à plus grandes échelles. C'est le SAVI qui nous a transmis les données chimiques de l'Indre au niveau de la station de Monts. Ces résultats sont à prendre avec des précautions car ils datent de septembre 2015, de plus de nombreux paramètres sont absents du jeu de données. Cela nous permet tout de même d'avoir un premier aperçu et de réaliser une comparaison entre ces 2 cours d'eau.

Ci-dessus un tableau et un graphique récapitulant les données chimiques du Molubé et de l'Indre. Pour les valeurs du Molubé, nous avons fait une moyenne des points 1, 2, 3 et 4.

Tableau 12: Comparaison de paramètres chimiques entre le Molubé et l'Indre

Nom échantillon	Moyenne points 1, 2, 3 et 4 du Molubé	Indre
pH	7,66	8,3
Nitrates (mg/L)	6,67	1,4
Alcalinité (°f)	24,56	-
Orthophosphates(mg/L)	0,01	0,08
Calcium (mg/L)	110,75	-
Magnésium (mg/L)	10,37	-
Dureté Totale (°f)	31,95	-
Fer (mg/L)	0,76	-
Fer total (mol/L)	$2,33 \cdot 10^{-6}$	-
Phosphore total (mg/L)	2,11	0,1
Température (°C)	12,20	13,3
Conductivité (mS/m)	0,45	-

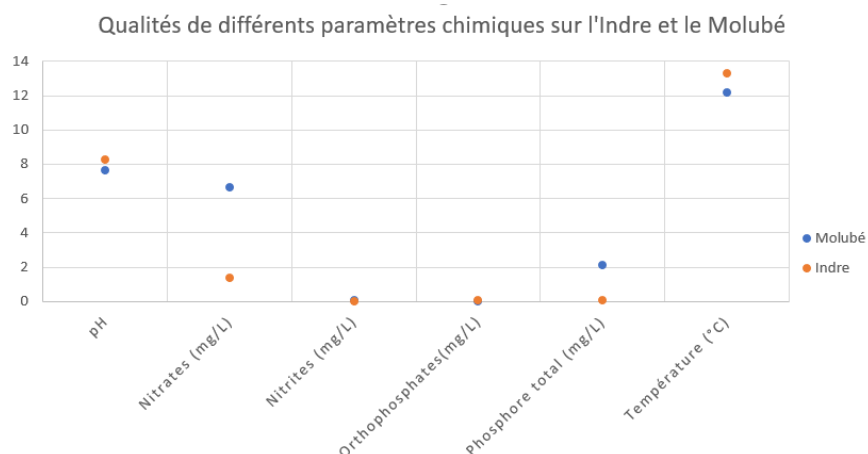


Figure 21: Graphique représentant la qualité chimique de différents paramètres sur l'Indre et le Molubé (production personnelle, 2020)

Comme nous pouvons le voir (Figure 21), les concentrations en nitrates et en phosphore total sont plus faibles dans le cours d'eau de l'Indre que dans celui du Molubé. Ces deux paramètres représentent les problèmes majeurs de notre bassin-versant d'un point de vue chimique. La pollution semble donc plus importante dans le Molubé. Ceci est peut-être dû au fait que son débit y est plus faible, ces éléments y sont donc plus concentrés. Concernant les autres paramètres, ils sont plus ou moins similaires.

Une analyse du débit à la fois du Molubé mais aussi de l'Indre semble donc nécessaire. Cela nous donnera notamment des informations sur un impact possible du Molubé sur l'Indre.

» Comparaison entre le débit du Molubé et de l'Indre à la station de Monts :

La détermination du débit de notre cours d'eau va nous permettre de quantifier le volume d'eau le traversant. Pour le mesurer, nous avons utilisé la méthode dite du « flotteur ».

Principe :

Pour cette méthode, nous avons utilisé un flotteur de forme sphérique flottant à la surface. Ce dernier va suivre le mouvement du cours d'eau et donc sa vitesse. Ainsi en mesurant le temps parcouru par le flotteur, nous pourrions déterminer le débit du Molubé pour une section donnée. Nous avons choisi 3 sections différentes pour lesquelles nous avons fait des mesures sur 5 et 10 m. Elles se situent au niveau de la route D8, de la peupleraie et de l'exutoire. Ainsi nous obtiendrons 3 valeurs de débit et nous aurons donc une approximation du débit de notre cours d'eau.

Protocole suivi :

Comme nous l'avons vu, cette méthode permet de déterminer approximativement le débit d'un cours d'eau car elle va mesurer les vitesses de surface ou plus exactement les vitesses dans la tranche superficielle de l'écoulement (les 15 premiers centimètres environ). Ici pour cette expérience, nous utilisons un flotteur de forme sphérique qui est une mandarine d'environ 6 cm de diamètre. La méthode consiste à lancer une mandarine à environ 2 m à l'amont de notre point 0 afin de lancer le chronomètre au moment exact où elle passe le premier point. Puis un premier temps est noté lorsque la mandarine arrive au point à 5 m et

un deuxième temps à 10 m. Cette opération est répétée 3 fois pour plus de précision. Ainsi suivant le temps parcouru pour 10 m, nous allons calculer la vitesse de l'écoulement de surface. Ensuite nous avons mesuré la largeur et la profondeur de notre cours d'eau aux différentes sections de mesures. Nous pourrions donc avoir une approximation du débit.

d) RESULTATS OBTENUS :

Ci-dessous les tableaux représentant les résultats obtenus sur le terrain et donc les débits calculés.

POINT 1 → ROUTE D8

Tableau 13: Mesures de vitesses, de profondeur et de largeur au point 1

	Temps (s)		Vitesse (m/s)		Profondeur (cm)	Largeur (cm)
	5 m	10 m	5 m	10 m		
Mesure 1	23	48	0,22	0,21	12	123
Mesure 2	19	47	0,26	0,21	12	125
Mesure 3	20	44	0,25	0,23	11	122
Moyenne	21	46	0,24	0,22	11,67	123,33

Grâce aux valeurs de profondeur et de largeur moyenne obtenues, nous pouvons déterminer la surface moyenne de notre section.

$$S = 11.37E-2 * 123.33E-2 = \mathbf{1.44E-1 \text{ m}^2}$$

Ensuite pour le débit, nous utilisons la moyenne des valeurs de vitesse sur 10 m car plus la distance est grande plus les résultats sont précis.

$$\text{Ainsi : } Q = 1.44E-1 \text{ m}^2 * 0.22 = \mathbf{3.08E-2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

POINT 2 → PEUPLERAIE

Tableau 14: Mesures de vitesses, de profondeur et de largeur au point 2

	Temps (s)		Vitesse (m/s)		Profondeur (cm)	Largeur (cm)
	19	32	0,26	0,31		
Mesure 1	19	32	0,26	0,31	15	105
Mesure 2	17	24	0,29	0,42	12	104

Mesure 3	13	25	0,38	0,40	10	108
Moyenne	16	27	0,31	0,38	12,33	105,67

Grâce aux valeurs de profondeur et de largeur moyenne obtenues, nous pouvons déterminer la surface moyenne de notre section.

$$S = 12.33E-2 * 105.67E-2 = \mathbf{1.30E-1 \text{ m}^2}$$

Ensuite pour le débit, nous utilisons la moyenne des valeurs de vitesse sur 10 m car plus la distance est grande plus les résultats sont précis.

$$\text{Ainsi : } Q = 1.30E-1 \text{ m}^2 * 0.38 = \mathbf{4.95E-2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

POINT 3 → EXUTOIRE

Tableau 15: Mesures de vitesses, de profondeur et de largeur au point 3

	Temps (s)		Vitesse (m/s)		Profondeur (cm)	Largeur (cm)
	5 m	10 m	5 m	10 m		
Mesure 1	-	50	-	0,20	60	122
Mesure 2	-	47	-	0,21	30	122
Mesure 3	-	64	-	0,16	15	122
Moyenne	-	54	-	0,19	35	122

Pour ce point, seules les valeurs à 10 m ont été mesurées car il n'était pas possible de le faire sur 5 m.

Grâce aux valeurs de profondeur et de largeur moyenne obtenues, nous pouvons déterminer la surface moyenne de notre section.

$$S = 35E-2 * 122E-2 = \mathbf{4,27E-1 \text{ m}^2}$$

Ensuite pour le débit, nous utilisons la moyenne des valeurs de vitesse sur 10 m car plus la distance est grande plus les résultats sont précis.

$$\text{Ainsi : } Q = 4,27E-1 \text{ m}^2 * 0.19 = \mathbf{8,11E-2 \text{ m}^3/\text{s}}$$

Pour ce point, une grande variabilité est observable pour les valeurs de profondeur sur notre section de 10 m. Ceci augmentant l'incertitude de nos résultats, nous n'allons pas prendre ce point en compte.

e) LIMITES ET CONCLUSION :

La limite concernant nos mesures de vitesse est qu'elles sont réalisées, pour la plupart, sur de très petites profondeurs qui ne permettent pas d'obtenir un réel profil de vitesse sur le cours d'eau. De plus, lors de la prise de mesure, l'impact de la végétation et des sédiments présents au sein du cours d'eau n'est pas négligeable, et induit donc une incertitude de mesure.

D'après les points 1 et 2, nous pouvons définir un débit sur le Molubé d'environ **4.015E-2 m³/s**. Ce débit a été mesuré début décembre, nous sommes donc plutôt en période de haute eau, de crue. De plus il est important de préciser que nos valeurs sont approximées de part le biais de mesure, elles nous permettent d'avoir un aperçu du débit global de notre cours d'eau en période de haute eau. En effet grâce à ce résultat, nous allons pouvoir le comparer avec le débit de l'Indre. Nous verrons alors l'impact potentiel du Molubé sur l'Indre, cours d'eau dans lequel il se jette, notamment d'un point de vue chimique.

D'après la banque hydro, le débit de l'Indre à la même période au niveau de la station de Monts, soit à proximité de notre bassin-versant, était d'environ 25 m³/s. Grâce à ces données, nous pouvons dire que l'impact du Molubé est minime sur le cours d'eau de l'Indre.

Nous avons aussi voulu comparer les paramètres chimiques de notre cours d'eau avec celui de la nappe phréatique correspondante. En effet, nous savons que l'eau du Molubé provient de la nappe adjacente, ainsi nous pourrions avoir une idée de l'origine des polluants, à savoir s'ils proviennent de la nappe ou directement des parcelles agricoles avoisinantes.

» Comparaison entre nos résultats de qualité chimique de la Molubé et ceux trouvés dans la nappe phréatique

D'après nos recherches sur le site du Sandre (Service d'Administration National des Données et Référentiels sur l'Eau), les prélèvements pour un usage agricole sont réalisés dans une nappe libre de type calcaire majoritairement lacustre faisant partie du Bassin Parisien. Sa superficie est de 9 998 km². Nous y avons appris que son pH dans son ensemble est compris entre 7 et 8, de plus sa concentration en nitrates dépasse régulièrement les 50 mg/L. Ainsi une différence importante est visible par rapport aux mesures que nous avons pu réaliser directement sur le cours d'eau où nos valeurs ne dépassent pas les 10 mg/L excepté pour un point où la concentration a atteint les 30 mg/L. Nous pouvons conclure que la nappe semble plus polluée notamment en nitrates que le cours d'eau. Ainsi la pollution mesurée sur le Molubé, en partie présente du fait de la concentration importante en phosphore et dans des mesures moindres en nitrates, pourrait être dû directement à la nappe. Dans la mesure où nous nous situons dans une zone très majoritairement agricole, l'infiltration des eaux de pluies par le sol pourrait être à l'origine de la pollution de la nappe et par la suite du cours d'eau.

Pour finir, nous avons cherché à définir l'Indice de Saturation IS sur notre bassin-versant concernant la calcite et la magnésite.

» Détermination de l'indice de saturation (IS) de la calcite et de la magnésite au sein de notre cours d'eau

Tableau 16: Récapitulatif des paramètres chimiques permettant de déterminer l'indice de saturation de la calcite et de la magnésite

Calcium (mol/L)	2,900E-03	2,950E-03	2,625E-03	2,600E-03	2,250E-03	2,050E-03
Magnésium (mol/L)	2,634E-04	3,004E-04	3,580E-04	7,984E-04	3,951E-04	4,486E-04
pH	7,76	7,5	7,9	7,48	7,57	7,6
Alcalinité (mol/L)	5,750E-03	5,750E-03	5,098E-03	3,050E-03	3,804E-03	4,290E-03

Du fait de la formule $IS = Q_r / K_s$, nous pouvons en déduire l'indice de saturation aux différents points de notre cours d'eau. C'est dans le tableau suivant que se trouve nos IS. La première ligne traduit l'IS de la calcite et la deuxième concerne celui de la magnésite. Pour les déterminer, nous avons eu besoin des pKs qui sont les suivants : $pK_{s\text{calcite}} = 8,48$ et $pK_{s\text{magnésite}} = 8,03$.

Tableau 17: Indice de saturation de la calcite et de la magnésite

IS calcite (CaCO ₃)	1,387E+01	7,753E+00	1,536E+01	3,462E+00	4,596E+00	5,061E+00
IS magnésite (MgCO ₃)	4,469E-01	2,801E-01	7,436E-01	3,771E-01	2,864E-01	3,929E-01

Nous remarquons alors que dans notre cours d'eau précipite la calcite. En effet l'indice de saturation est supérieur à 1, les ions Ca^{2+} et CO_3^{2-} auront tendance à précipiter entre eux. Concernant la réaction entre les ions Mg^{2+} et CO_3^{2-} , elle est sous-saturée, l'indice de saturation est largement inférieur à 1. Ainsi il n'y aura pas de précipitation entre ces deux ions au sein de notre cours d'eau.

f) CONCLUSION & DISCUSSION

La qualité chimique du bassin-versant n'est pas bonne du fait d'une concentration en phosphore beaucoup trop importante. Cela est notamment dû aux nombreuses parcelles agricoles et à l'activité qui s'en suit dans ce secteur. Nous avons aussi pu démontrer que l'impact du Molubé sur l'Indre dans lequel il se jette est minime du fait de la différence de débit très grande.

g) LIMITES

Nos résultats nous permettent d'avoir un aperçu de la qualité chimique du cours d'eau du bassin-versant mais ils sont cependant à prendre avec précaution. En effet, une seule campagne de mesures a été réalisée. Elle représente des valeurs à un instant donné et ne sont pas représentatives de l'état général du cours d'eau à l'échelle de l'année par exemple. De plus, comme nous l'avons dit précédemment, certaines techniques utilisées restent très approximatives. L'exemple des bandelettes utilisées pour déterminer la concentration en nitrates en sont un exemple. Elles permettent simplement d'avoir un ordre d'idée.

1.3.5. HYDROGEOLOGIE

L'hydrogéologie permet de mieux appréhender les eaux souterraines, qui font intégralement partie de notre bassin-versant. Leur localisation et composition est principalement due à la géologie mais elle est également liée aux activités humaines, en particulier pour les nappes les plus superficielles.

a) PRESENTATION GLOBALE DES NAPPES PRESENTES:

Nous avons pu déterminer la présence de trois nappes d'eaux souterraines qui recoupent notre bassin-versant topographique. En effet, en prenant en compte ces eaux souterraines nous aurions un bassin-versant réel bien différent. Nous avons pu déterminer la présence de ces trois nappes, tout d'abord grâce au livret de la carte géologique (Alcayde et Raplus, 1972), puis en utilisant les visualisateurs d'infoterre (BRGM) et de la BD LISA d'eau France (eaufrance). C'est ainsi que nous avons pu les identifier et grâce au SANDRE (eaufrance) nous avons pu obtenir une petite carte d'identité de ces masses d'eau, ainsi que les informations nécessaires pour obtenir une carte SIG (Figure 22)

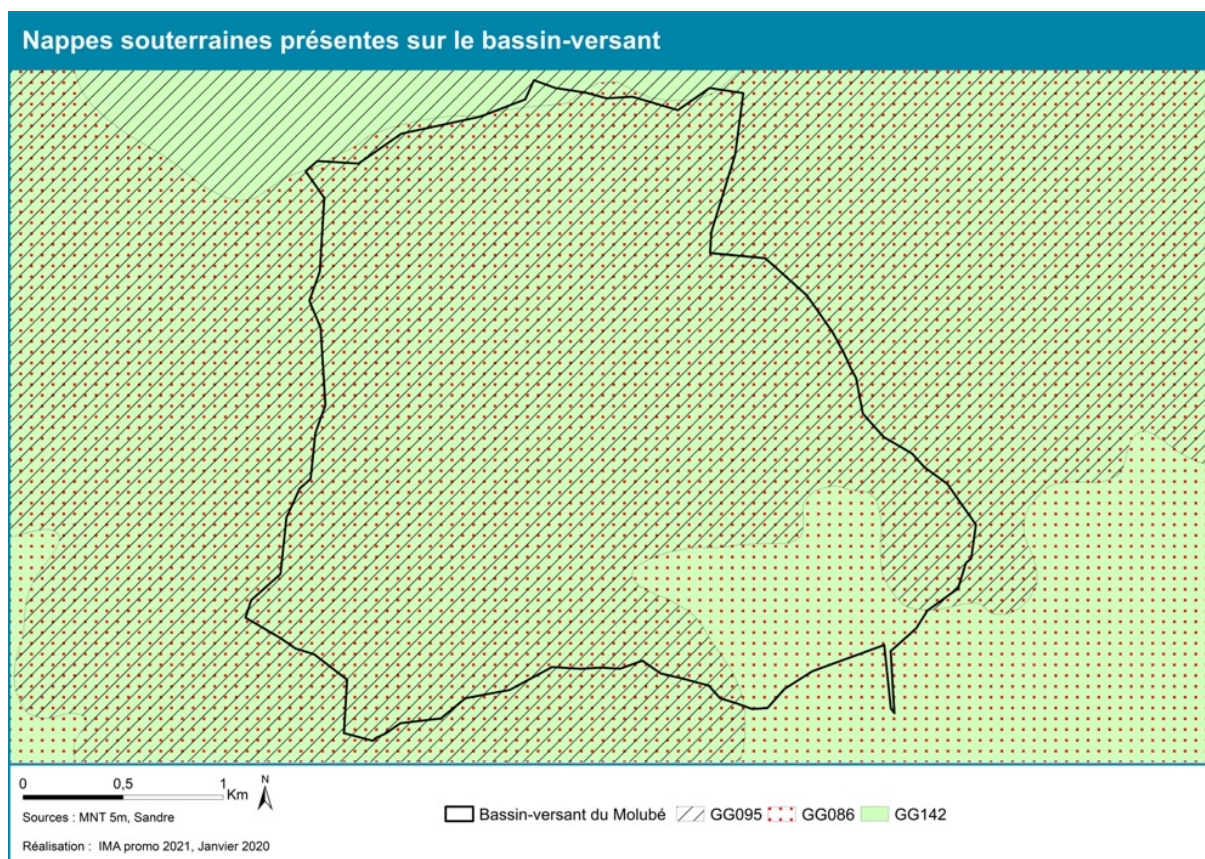


Figure 22: Carte des nappes (production personnelle, 2020)

La masse d'eau la plus proche est le niveau aquifère des sables et calcaires lacustres des bassins tertiaires de Touraine libres (GG095) (Office International de l'Eau) qui traverse la couche des calcaires lacustres oligocènes. Il s'agit du niveau qui alimente notre cours d'eau et qui est le plus sensible aux pollutions, notamment agricole, car il n'y a aucune filtration avant que l'eau pénètre la nappe. Elle va donc principalement servir pour l'irrigation agricole et non pour un usage domestique car non potable.

La 2ème masse d'eau est celle de la nappe de la craie du Séno Turonien du bassin-versant de l'Indre libre (GG086)(Office International de l'Eau). Ce réseau d'aquifère est un réseau unique pour le Sénonien et le Turonien et est lié à la fissuration de la roche. Il s'agit de la masse d'eau la plus souvent utilisée par les forages à usage domestique en Indre et Loire, car elle est peu affectée par les pollutions et reste donc potable.

Enfin notre dernière masse d'eau est la nappe captive des sables et grès du Cénomaniens du bassin-versant de la Loire captifs au sud de la Loire (GG142) (Office International de l'Eau). Il s'agit également d'une nappe utilisée pour l'eau potable, fortement exploitée et dont le niveau piézométrique continue de baisser.

Voici donc le « Tableau 18 » de la superficie des nappes mais également de leur niveau piézométrique à partir du sol, si toute la colonne stratigraphique est représentée.

Tableau 18: Caractéristiques simples des masses d'eau, données SANDRE (2016) (production personnelle, 2020)

	Superficie en km ²	Niveau piézométrique moyen par rapport au sol
GG095	1 678,95	10 m
GG086	1 910,5	42 m
GG142	17 257,66	170 m

b) COMPOSITION CHIMIQUE DES NAPPES:

Nous avons pu récupérer ces données qui sont en libre-service sur le site d'ADES et eaufrance (BRGM, 2014). Les données sont pour un point d'eau, nous avons donc choisi des points sur ou le plus proche possible de notre bassin-versant.

Pour le niveau des calcaires lacustres de Touraines, les données sont compliquées à trouver car il s'agit d'un tout petit réseau. Les seules données que nous avons pu obtenir proviennent d'une analyse de l'eau d'un puit à la Coquinière, datant de 1995 et de trois points d'eau localisés à Esvres, à 13 Km de notre bassin-versant (Tableau 19).

Tableau 19: Composition chimique de la nappe des sables et calcaires lacustres des bassins tertiaires de Touraine libres (GG095)

	La Coquinière	Parcelle Z-s 133	Les Auboeufs	Source d'Avon
pH	6,55	7,2	7,08	7,17
Conductivité à 20°C (mS/cm)	0,92	0,66	0,67	0,68
Température (°C)	/	13,6	12,5	12,9
Nitrates (mg/L)	62	51,68	55,04	52,24
Nitrites (mg/L)	<0,01	0,008	0,012	0,009
Sulfates (mg/L)	45	17,1	18,275	22,43
Calcium (mg/L)	200	133,35	141,16	144,61
Magnésium (mg/L)	3,30	3,36	3,48	2,77

Dureté totale (°f)	51,36	32,5	34,06	34,38
Chlorures (mg/L)	22	23,15	25,46	2,27
Fer (µg/L)	/	532,75	3,4	6,31
Orthophosphates (mg/L)	< 0,01	0,148	0,09	0,043

Les données sont variables selon les paramètres observés mais nous pouvons donc dire que cette nappe a un pH proche de 7, une température de 13°C, une conductivité de 0,67, une concentration de nitrates de 53 mg/L. La nappe se trouve dans une couche géologique composée de calcaire, ce qui explique la concentration importante en calcium et la dureté totale importante. Le Molubé prenant sa source dans cette nappe nous pouvons comparer les données du cours d'eau et de la nappe. Ainsi le pH du Molubé est légèrement plus élevé que celui de la nappe, ainsi que la concentration en magnésium et la température. Tandis que les nitrates, le calcium, la dureté totale et le fer sont plus importants dans la nappe que dans notre cours d'eau. Dans les nappes l'eau est généralement plus concentrée en minéraux car toujours en contact avec la roche.

Les valeurs obtenues dans le cours d'eau et la nappe sont plutôt cohérentes, même si certaines différences sont à noter mais il faut bien prendre en compte que soit nos données datent soient elles sont assez éloignées de notre bassin-versant.

Pour les deux autres nappes, voilà un tableau récapitulatif (Tableau 20):

Tableau 20: Composition chimique des nappes de la craie du SENO Turonien du bassin-versant de l'Indre libre (GG086) et des sables et grès du Cénomanien du bassin-versant de la Loire captifs au sud de la Loire (GG142)

	Nappe de la craie	Nappe captive des sables et grès
pH	7,3	7,8
Conductivité à 20°C (mS/cm)	0,710	1,005
Température (°C)	13,6	18,1
Nitrates (mg/L)	5,92	/
Nitrites (mg/L)	0,01	0,03
Sulfates (mg/L)	19,5	88,5
Calcium (mg/L)	128,37	29,3

Magnésium (mg/L)	6,39	12.3
Dureté totale (°f)	34,48	12,5
Chlorures (mg/L)	61,13	146,54
Fer (µg/L)	252	390,7
Orthophosphates (mg/L)	0,17	0.29

Sachant que ces deux nappes n'ont pas un impact direct sur notre nappe mais qu'elles sont par contre influencées par l'eau qui s'infiltre dans notre bassin-versant, seulement après un certain temps de filtration.

Le bassin-versant est donc traversé par trois masses d'eau et alimenté par l'une d'entre elles. Le réseau des calcaires lacustres de Touraine où circule l'eau qui alimente le Molubé, donne à notre cours d'eau certaines caractéristiques chimiques comme sa température, une concentration importante en calcium, sa dureté et sa concentration en orthophosphate. Dans les nappes, la concentration en minéraux de l'eau est totalement dépendante des roches qu'elle traverse, hors ici elle est également fortement influencée par les infiltrations importantes qui ne sont pas filtrées par le sol.

1.4. TOPOGRAPHIE

La topographie du bassin-versant (Figure 23) révèle une augmentation des pentes de l'amont vers l'aval suivant le talweg. En effet en amont et dans la majeure partie du bassin-versant on retrouve des pentes relativement faibles (de 0 à 5%) contre des pentes beaucoup plus élevées en aval et notamment à l'exutoire du bassin-versant où les pentes peuvent atteindre 30%. Cette forte pente s'explique par la lente incision du Molubé.

Variation de la pente sur le bassin-versant

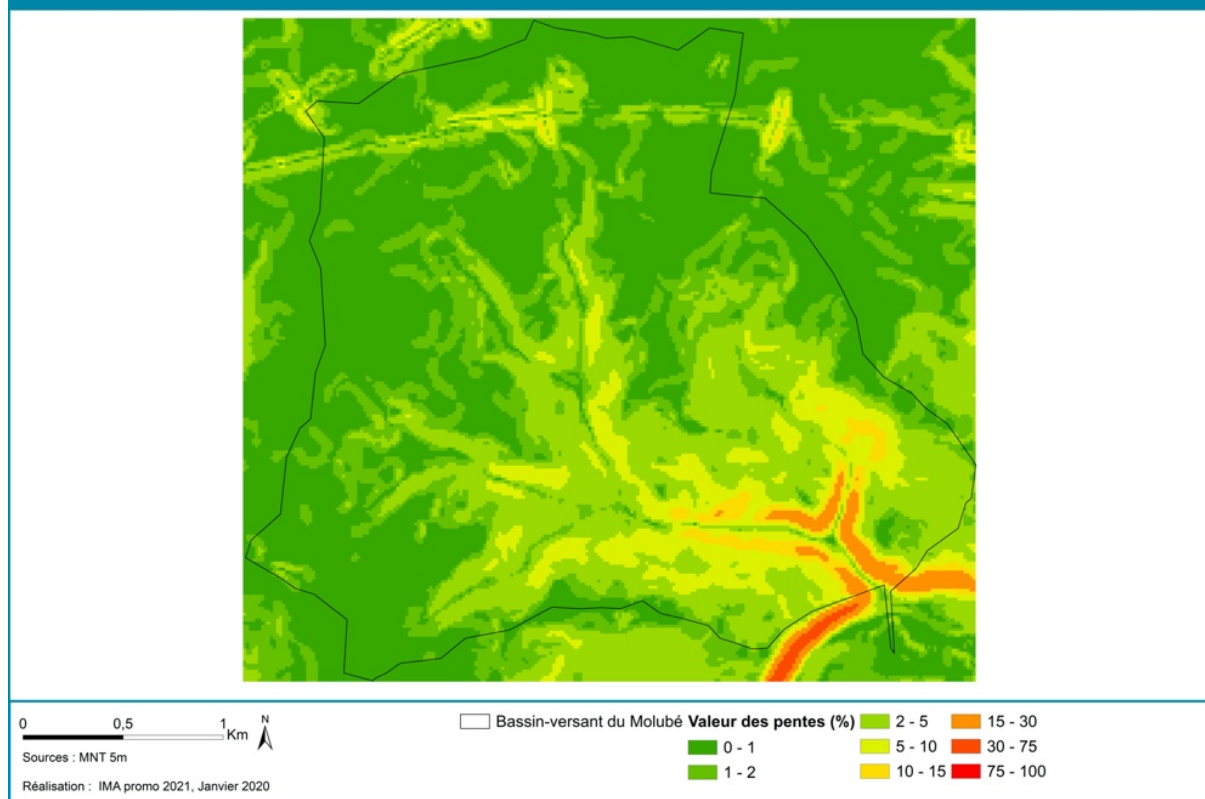


Figure 23: Carte topographie (production personnelle, 2020)

L'incision du Molubé dans sa partie aval est confirmée, au-delà des données topographiques, par le bureau d'étude RIVE (données fournies par la SAVI), dont les données morphologiques du cours d'eau, relevées sur le tronçon aval/exutoire, révèlent que 100% du linéaire est incisé (Annexe VIII : Etude bilan du contrat de l'Indre médian 2014-2018).

RÉSUMÉ DE LA PARTIE 1:

La géologie de notre bassin versant est principalement composée de dépôts sédimentaires, grâce à différentes phases marines. Il s'agit principalement de craie, de calcaire et d'argiles. Nous retrouvons également des dépôts éoliens (Limon des plateaux), qui enrichissent notre bassin versant en sédiments. En profondeur nous sommes en présence de structures monoclinales alors qu'en surface l'érosion et les phases de sédimentations irrégulières rendent l'estimation de leur profondeur plus compliqué.

Sous le bassin-versant, nous retrouvons trois masses d'eau souterraines. La plus proche, celle des sables et calcaires lacustres de Touraine, qui alimente le cours d'eau. Mais cette dernière se trouvant à faible profondeur est facilement impactée par l'usage agricole rendant l'infiltration des eaux peu efficace. Enfin, l'eau pour la consommation humaine est principalement prélevée dans les nappes de la craie de Séno-Turonien et des sables et grès du Cénomani.

Les sols composant le cours d'eau du Molubé, sont hydromorphes, donc imperméables et empêchent ainsi l'infiltration de l'eau. Puis autour du cours d'eau nous retrouvons principalement des sols calcimagnésiques. La présence de calcaire dans ces sols va provoquer un blocage de l'humification, le complexe argilo humique va donner au sol une structure grumeleuse et le fer sera retenu dans les horizons supérieurs ce qui va donner une coloration. Les sols abondants en calcaire sont très collants après une précipitation et secs pendant la période estivale.

Autour de ces sols calcimagnésiques, on retrouve les sols peu évolués, ce sont des sols jeunes avec une faible altération des minéraux et une faible teneur en matière organique provenant de matériaux arrachés par l'érosion des pentes situées au-dessus, souvent ces sols sont dépourvus de nappe d'eau souterraine. Enfin, se trouvant souvent à l'amont du cours d'eau, nous retrouvons les sols brunifiés principalement lessivés. Le sol ayant une couverture végétale faible ou inexistante, lors de précipitations, elle va voir ses composants percoler vers les horizons inférieurs. Cela va provoquer un horizon d'accumulation de l'argile en profondeur et la création d'une couche imperméable donnant naissance à une nappe perchée et potentiellement à des sols hydromorphes.

Concernant les propriétés agronomiques, le principal problème que nous pouvons rencontrer est l'hydromorphie de certains sols. En effet, 60% de nos sols sont très humides, ainsi nous avons une problématique importante liée au drainage sur notre bassin versant. La réserve utile qui est assez élevée (199-150 mm) pour la plupart de nos sols fait que l'on a des sols avec de bonnes réserves en eau. De plus, nous pouvons voir aussi qu'environ la moitié de nos sols ont une aptitude physique à potentiel limité. En effet, plusieurs facteurs interviennent mais les limitants sont ici l'hydromorphie, associé à la battance et la charge caillouteuse.

Enfin, les mesures que nous avons réalisées en plusieurs points tout le long du Molubé ont révélé une concentration élevée en phosphore. Cela a pour conséquence une mauvaise qualité chimique générale de notre cours d'eau. Le Molubé qui se jette dans l'Indre influe très peu sur ce dernier du fait de la différence de débit importante entre les deux cours d'eau. Des différences sont visibles entre l'Indre et le Molubé au niveau des concentrations en nitrates et en phosphores.

2. OCCUPATION DU SOL ET PAYSAGE

Avoir une carte récente de l'occupation des sols sur le bassin-versant est très utile dans le cadre de l'étude des pressions du bassin, et des éventuelles propositions d'aménagements et solutions qui s'en suivent. Dans notre cas nous avons construit une carte de l'occupation des sols en s'appuyant sur les orthophotographies et le RPG (Registre Parcellaire Graphique) les plus récents. Les plus récentes orthophotographies mises à notre disposition datant de l'année 2011, nous avons donc utilisé le RPG 2011 correspondant, pour fournir une carte de l'occupation des sols de notre bassin-versant en 2011 (Figure 24). Nous avons fait le choix de ne pas utiliser le CLC (Corine Land Cover), celui-ci renseignant sur l'occupation des sols à l'échelle nationale, il est donc trop peu précis pour l'étude de notre bassin-versant. Ainsi dans un souci de précision nous avons préféré remplir nous-mêmes les zones par consultation du RGA et par photo-interprétation. Nous avons effectué ce travail sur l'ensemble du bassin-versant mais également sur une zone tampon de 200 m l'entourant, car l'occupation du sol présente à cet endroit peut très bien avoir des conséquences sur le bassin-versant en lui-même.

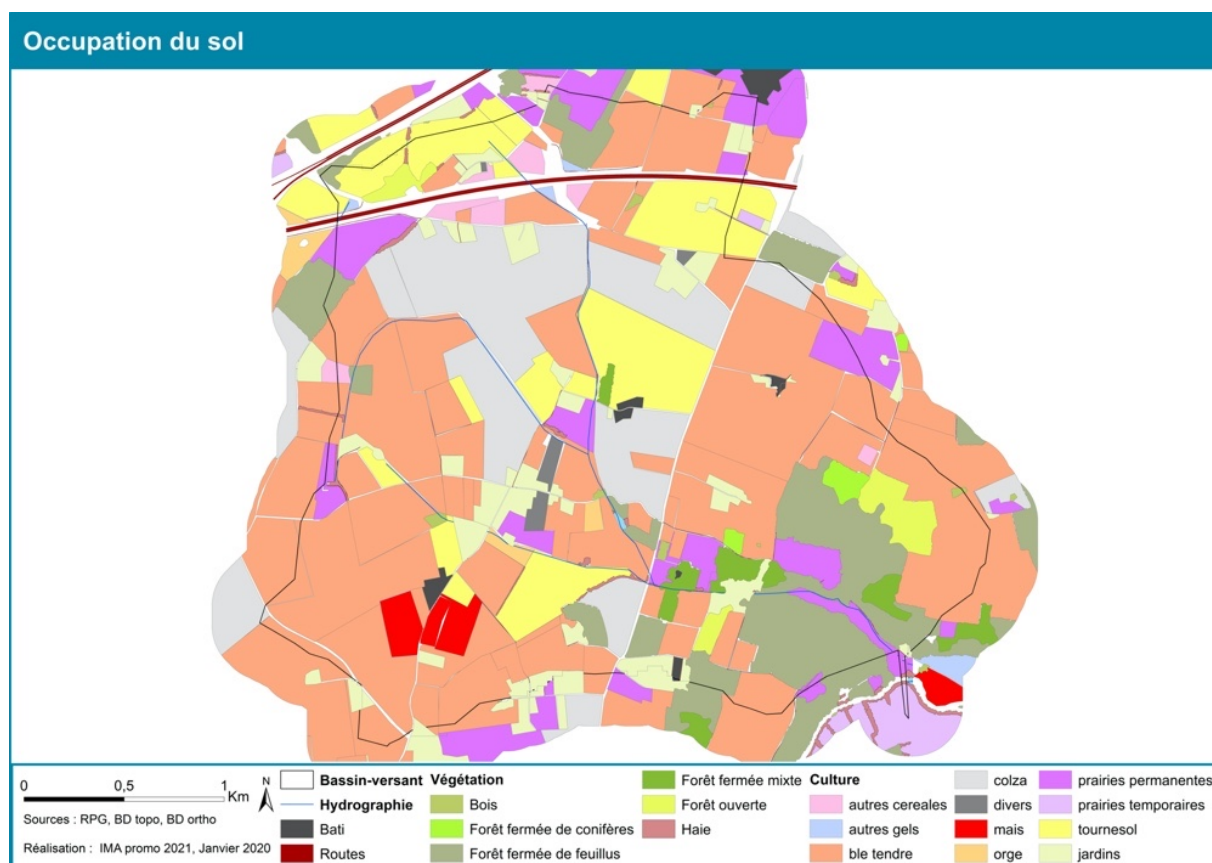


Figure 24: Carte d'occupation du sol (production personnelle, 2020)

Sur la carte réalisée (Figure 24), nous pouvons facilement remarquer que la majeure partie du bassin-versant est occupée par des cultures et notamment par du blé tendre. De grandes cultures de colza et de tournesol sont également présentes, avec quelques parcelles consacrées à la culture de maïs au Sud, dont une proche du point de prélèvement chimique en amont de l'Indre.

La présence du bâti n'est que très ponctuelle. Le cours d'eau est majoritairement longé par des cultures, sauf proche de l'exutoire, où il est alors bordé par de la forêt et des prairies permanentes. Il faut d'ailleurs noter qu'une prairie permanente est aujourd'hui devenue une peupleraie. Des haies, pouvant avoir un impact bénéfique vis-à-vis des intrants, sont présentes à certains endroits du bassin-versant, mais leur quantité reste assez faible.

Afin de pouvoir connaître avec plus de précision l'occupation du sol de ce bassin-versant, nous avons réalisé des statistiques sur ce dernier (Figure 25). Voici ainsi les différents types de sol répertoriés dans le Molubé et leur pourcentage de couverture du sol associé.

Tableau 21: Tableau de la répartition de l'occupation du sol

Occupation du sol	Pourcentage
Blé tendre	45,8
Colza	13,1
Forêt fermée mixte	11,4
Tournesol	10,7
Prairies permanentes	4,9
Jardin	4,1
Prairies temporaires	1,5
Forêt ouverte	1,4
Mais grain et ensilage	1,4
Autres céréales	1,0
Orge	0,7
Haie	0,6
Forêt fermée de conifères	0,4
Divers	0,4
Autres gels	0,4
Bâti	0,3
Bois	0,2

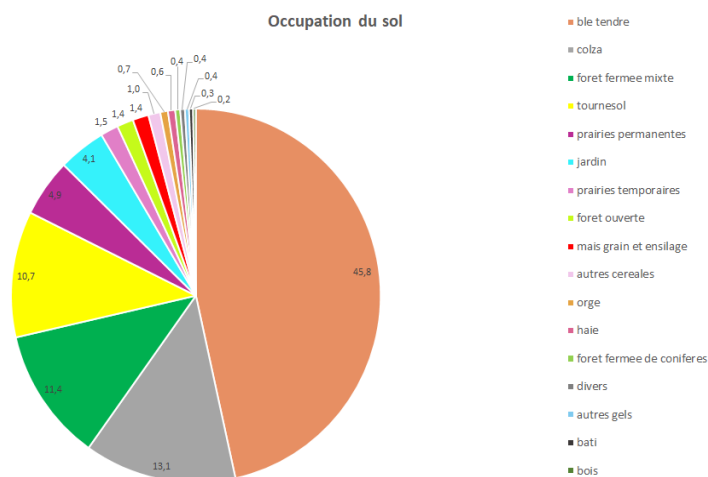


Figure 25: Occupation du sol sur le bassin-versant (présentation propre, 2020)

Le blé tendre est donc très majoritaire sur la surface, en occupant près de 46% du sol. Suivi ensuite, mais en de bien plus faibles proportions, par le colza, la forêt fermée mixte et le tournesol.

Tableau 22: Pourcentage de surfaces occupées par des cultures

Occupation du sol	Pourcentage
Culture	72,7
Végétation (y compris prairies)	20,5

Ainsi, si l'on regroupe toutes les cultures, ces dernières occupent 72,7% du territoire, ce qui confirme que l'agriculture tient une place extrêmement importante dans notre bassin-versant. Ce qui peut impliquer la présence d'intrants ou plus particulièrement de phosphore dans notre cas.

Cette occupation du sol peut s'expliquer grâce à la topographie du bassin-versant et ses couches pédologiques.

Les sections amont des bassins-versants sont souvent moins développées, c'est à dire que le sol est moins épais qu'en aval dû à une ablation des sédiments. C'est pour cela qu'on retrouve sur notre bassin-versant en amont les sols lessivés, le sol a une couverture végétale faible ou inexistante et ses composants vont ainsi être érodés plus aisément. C'est à cet endroit que nous retrouvons nos terres agricoles.

En aval les sols sont souvent plus profonds dû à une accumulation des sédiments provenant des sols lessivés. Nous retrouvons ainsi les espaces boisés à cet endroit-là entourant le cours d'eau.

Les espaces boisés entourant le cours d'eau à l'aval font office de zone tampon en ayant sûrement un rôle purificateur.

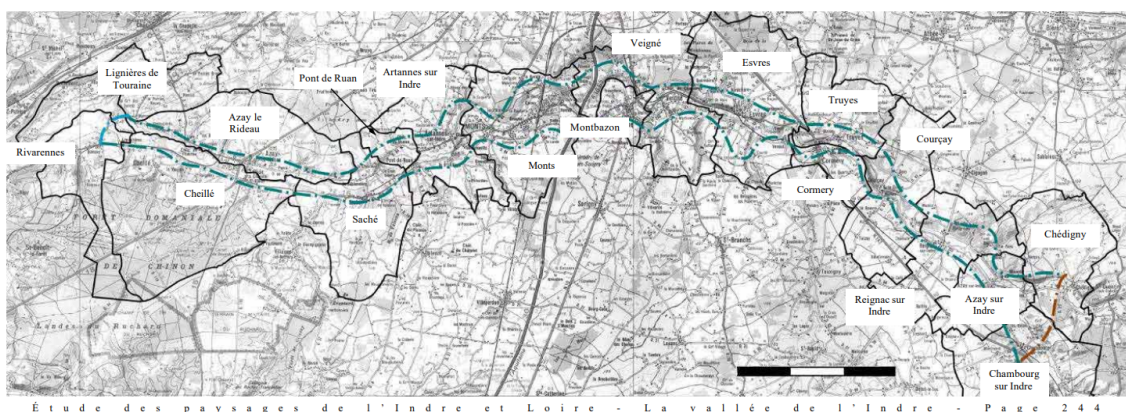


Figure 26: Étude des paysages de l'Indre et Loire – La vallée de l'Indre

La vallée de l'Indre est caractérisée par une identité paysagère qui lui est propre avec une rivière sinueuse qui se sépare en de nombreux bras et boires puis un passé économique qui est marqué par une utilisation de l'eau par ses moulins.

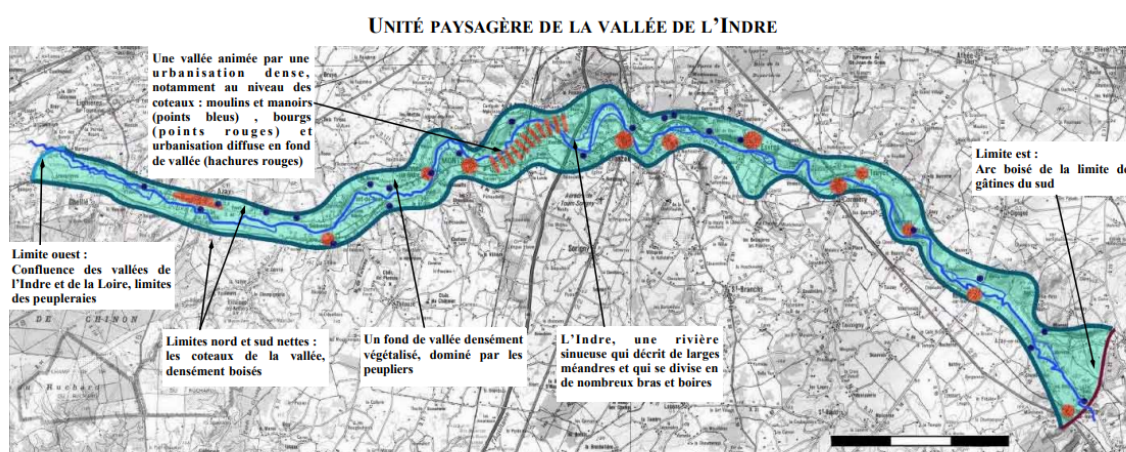


Figure 27: Étude des paysages de l'Indre et Loire – Unité paysagère de la vallée de l'Indre

On note un élargissement de la vallée de l'Indre à partir d'Artannes-sur-Indre et une tendance à être rectilignifiée à l'aval de cette commune. Dans la vallée, les exploitations sont nombreuses et parsemées de zones de peupleraies. L'identité du territoire est marquée par de nombreux ponts et une urbanisation dense à proximité du cours d'eau qui colonise les coteaux. (DREAL Centre Val de Loire, 1999 - 2001)

RÉSUMÉ DE LA PARTIE 2:

En résumé, le Molubé est caractérisé dans sa partie amont par une dominance de parcelles agricoles notamment de blé tendre. A l'aval en revanche, le cours d'eau traverse un espace boisé débouchant sur l'Indre.

3. PATRIMOINES CULTUREL ET NATUREL

3.1. PATRIMOINE, TOURISME ET LINEAIRE DU SITE

La présence d'un des moulins de Balzac sur la commune d'Artannes-Sur-Indre est un point culturel et patrimonial important pour la région. Le moulin, situé sur Pont de Ruan est célèbre pour avoir été décrit longuement dans un roman. Ce sont des ouvrages qui datent du XVI^{ème} siècle et qui sont aujourd'hui des propriétés communales, une auberge est associée au moulin situé sur Artannes-sur-Indre. L'ouverture des moulins au public se fait en saison estivale avec des visites commentées qui y ont lieu.

Artannes-Sur-Indre fait aussi l'objet d'une étape sur le trajet Bréhémont - Montbazou de l'Indre à vélo qui débute au niveau des bords de Loire et qui passe par Azay-le-Rideau, Saché (lieu où séjourna Balzac à de nombreuses reprises et très proche de Artannes-Sur-Indre) puis Montbazou et sa forteresse.

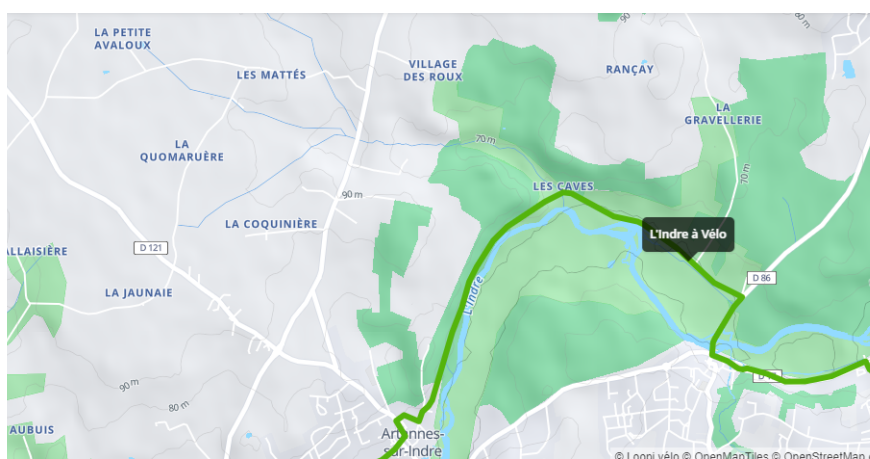


Figure 28: Itinéraire de l'Indre à vélo (© Loopi vélo © OpenMapTiles © OpenStreetMap contributors)

Le Molubé étant sur ce tracé, comme indiqué sur la carte ci-dessus, c'est un facteur important en faveur de la préservation du site et du maintien du bon état du cours d'eau.

De plus, on note le départ du GR46 qui est un Chemin de Grande Randonnée allant de Artannes-sur-Indre (Indre et Loire) à Buzançais (Indre). Le sentier, bien qu'indirectement en lien avec le cours d'eau, permet une approche linéaire du territoire ainsi que le renfort de l'idée du maintien d'un état convenable de l'eau, puis, dans une moindre mesure, de la valorisation du cours d'eau. (Annexe I : Questionnaire des habitants)

Le caractère calme du bassin-versant ne nous indique pas une nécessité de dynamiser l'amont de notre zone d'étude car il ne s'agit pas d'un site avec un fort enjeu de développement territorial.

On peut noter la présence d'un « site archéologique » nommé ancien manoir de la Bruère, situé au Nord Est sur la carte du PLU Nord, situation qui correspond à une partie proche de l'exutoire de notre bassin-versant. C'est un lieu important à l'échelle de la ville d'Artannes-sur-Indre car c'est un vestige du XVII^{ème} siècle, où subsistent encore des cuisines et des cheminés à deux fours, qui font partie du patrimoine de la ville.

→ Zoom sur le site archéologique à proximité du cours d'eau « Le Molubé »

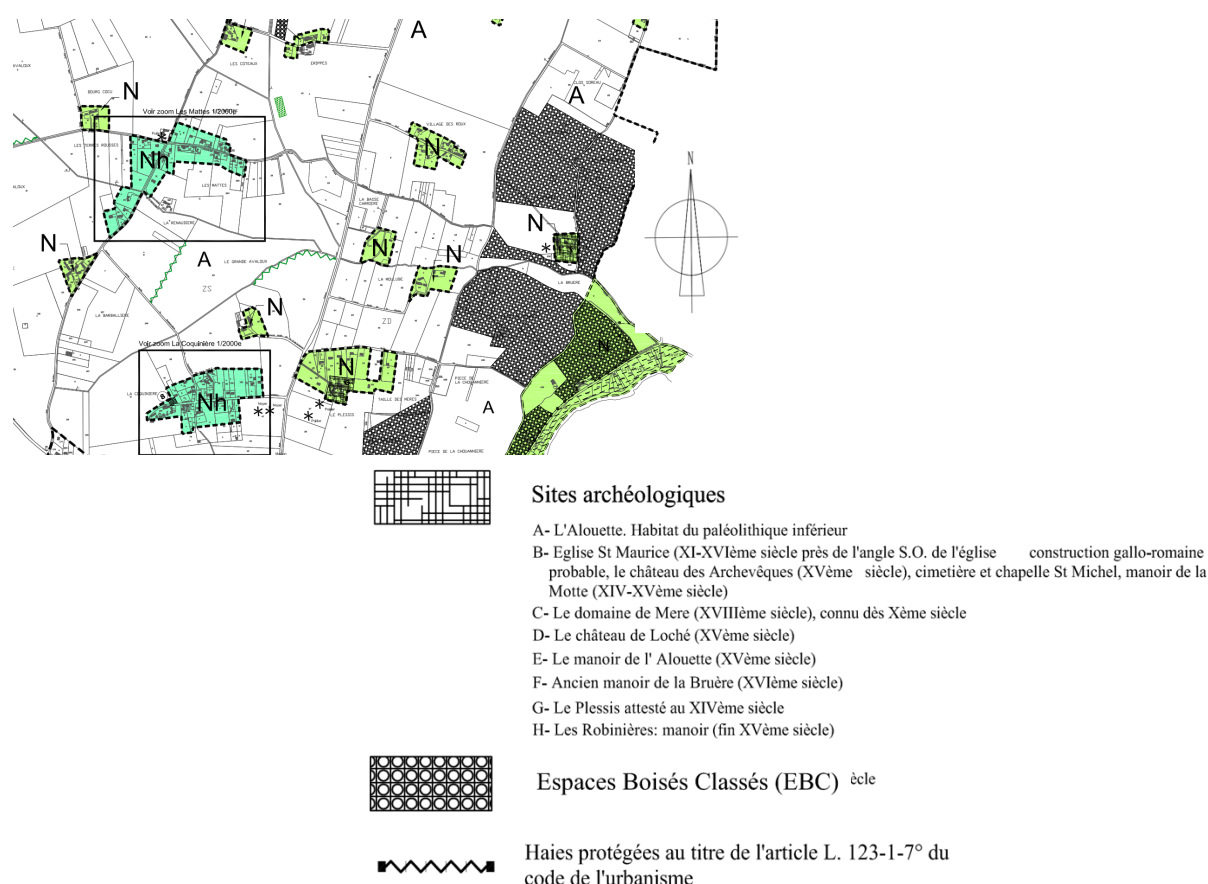


Figure 29: Extrait du PLU d'Artannes-sur-Indre - PLU Artannes-sur-Indre

Sont visibles sur cette même figure, des haies référencées et protégées au titre de l'article L.123-1-7° du code de l'urbanisme, qui sont présentes sur l'endroit de confluence du cours d'eau dans sa partie amont, et qui peuvent constituer une zone de protection du cours d'eau vis à vis des perturbations chimiques ou physiques.(Commune d'Artannes-sur-Indre)

Le quartier « Les Mattes » situé dans un des secteurs principaux de notre bassin-versant, est visible sur la carte du PLU Nord de la ville d'Artannes-sur-Indre et fait l'objet d'une classification en « secteur naturel de hameau ». C'est un site qui constitue un lieu naturel à préserver. Dans le PLU, il est notifié que ces zones Nh sont des secteurs pouvant accueillir quelques constructions nouvelles dans les parcelles disponibles ou entre les parcelles déjà bâties sous conditions particulières et notamment la compatibilité avec l'environnement (point souligné à de nombreuses reprises dans les dispositions applicables aux zones naturelles).

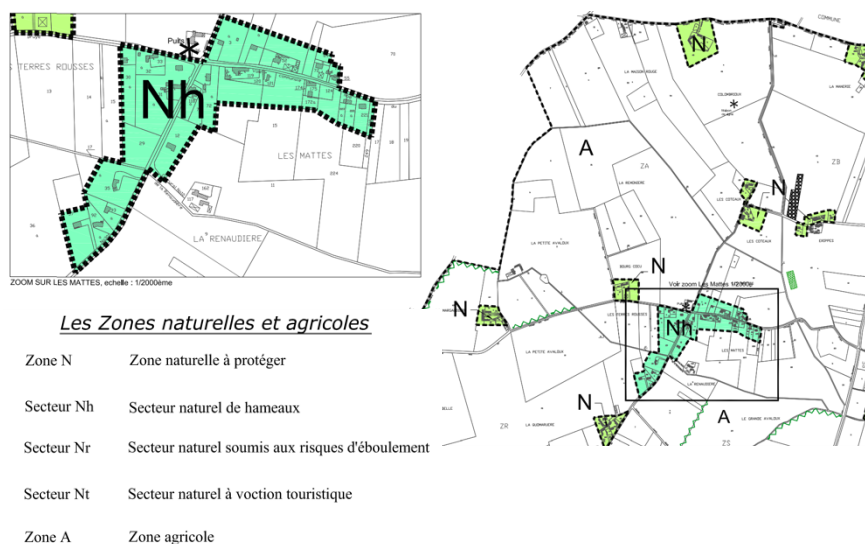


Figure 30: Extrait du PLU_zoom sur le lieu-dit Les Matées

Historiquement d'après la carte de Cassini, on retrouve la plaine alluviale « Molibé » qui est indiquée, sans précisions autres que le rattachement à l'Indre. Il s'agit tout de même d'une valeur paysagère continue dans le temps.

3.2. REGLEMENTATION ET ETUDE DES DOCUMENTS D'URBANISME

Analyse du PLU (plan local d'urbanisme) concernant notre site d'étude

D'après l'étude du « Plan PLU Artannes Nord » (Annexe II : Plan PLU Artannes nord), il est possible d'affirmer, en se plaçant à l'échelle du bassin-versant, que les zones dominantes sont les Espaces Boisés Classés (EBC) et les zones „Naturelles à Protéger” en ce qui concerne la partie basse de notre bassin-versant (proche de l'exutoire), tandis que pour la partie haute, les zones « Naturelle à Protéger » et « Agricole » sont présentes en plus grand nombre, et sont parsemées de zones Nh qui correspondent au « secteur naturel de hameau ». Tous ces intitulés de zone sont associés à des réglementations ainsi qu'à des conditions particulières d'occupation du sol et d'aménagement.

Le plan local d'urbanisme en place, structurant la commune d'Artannes-sur-Indre, a été modifié et approuvé en décembre 2017.

3.2.1. ZONES AGRICOLES

Les objectifs alloués à ces zones qui occupent largement le plateau nord, sont leur protection ainsi que leur valorisation par le biais du développement de l'activité agricole sur l'ensemble de la zone. Elles constituent des terres à protéger „en raison de leur potentiel agronomique, biologique et économique” et justifient leur occupation et utilisation du sol par leur statut de richesse naturelle à mettre en valeur. Les constructions admises sont limitées aux besoins agricoles notamment pour cause de zones « à risque d'éboulements dus à des cavités souterraines » ce qui nécessite une étude de la stabilité du sol préalablement à une éventuelle construction. → **Compatibilité avec la sauvegarde de l'environnement**

3.2.2. ZONES NATURELLES

L'objectif recherché concernant les zones naturelles est le maintien du caractère paysager de ces sites ainsi que leur protection tout en permettant l'évolution du bâti existant. Cette zone couvre notamment des habitations de tiers isolés au coeur de la zone agricole, comme il est possible de voir pour les lieux-dits "La Molubé" (vers l'exutoire, zone N), "Les Coteaux" (plus en amont, zone N) puis "Les Mattes" (en amont, zone Nh). Les conditions particulières pour l'admission de constructions dans les zones N sont principalement en rapport avec leur compatibilité avec l'environnement.

3.2.3. ZONES PROTEGES ET ESPACES BOISES CLASSES

La pelouse du bois de la bruyère fait partie des rares espaces protégés présents sur le bassin-versant du Molubé (Figure 31). Cet espace est classé zone naturelle d'intérêt économique, faunistique et floristique de type 1 (ZNIEFF), c'est-à-dire ayant un grand intérêt biologique ou écologique. Cette ZNIEFF se situe près de l'exutoire du Molubé, à cheval sur la commune de Monts (37159) et Artannes-sur-Indre (37260). Cette pelouse est l'une des rares encore en bon état présente sur la vallée de l'Indre. Sept espèces végétales déterminantes sont présentes dont trois sont protégées au niveau régionale : l'Orchis Brûlé (*Neotinea ustulata* (L.) R.M.Bateman, Pridgeon & M.W.Chase), la Céphalanthère à longue feuille (*Cephalanthera longifolia* (L.) Fritsch) et la Céphalanthère à grandes fleurs (*Cephalanthera damasonium* (Mill.) Druce). De plus, deux espèces de lépidoptères et deux espèces d'orthoptères déterminantes sont répertoriées : La petite violette (*Boloria dia* L.) et Le flambé (*Iphiclides podalirius* L.) ainsi que la caloptène ochracé (*Calliptamus barbarus* O.G. Costa) et le criquet pansu (*Pezotettix giornae* Rossi). Le statut de cette pelouse s'explique donc par l'abondance d'espèces déterminantes ainsi que par l'étendue de ses habitats patrimoniaux.

Localisation de la ZNIEFF de type 1

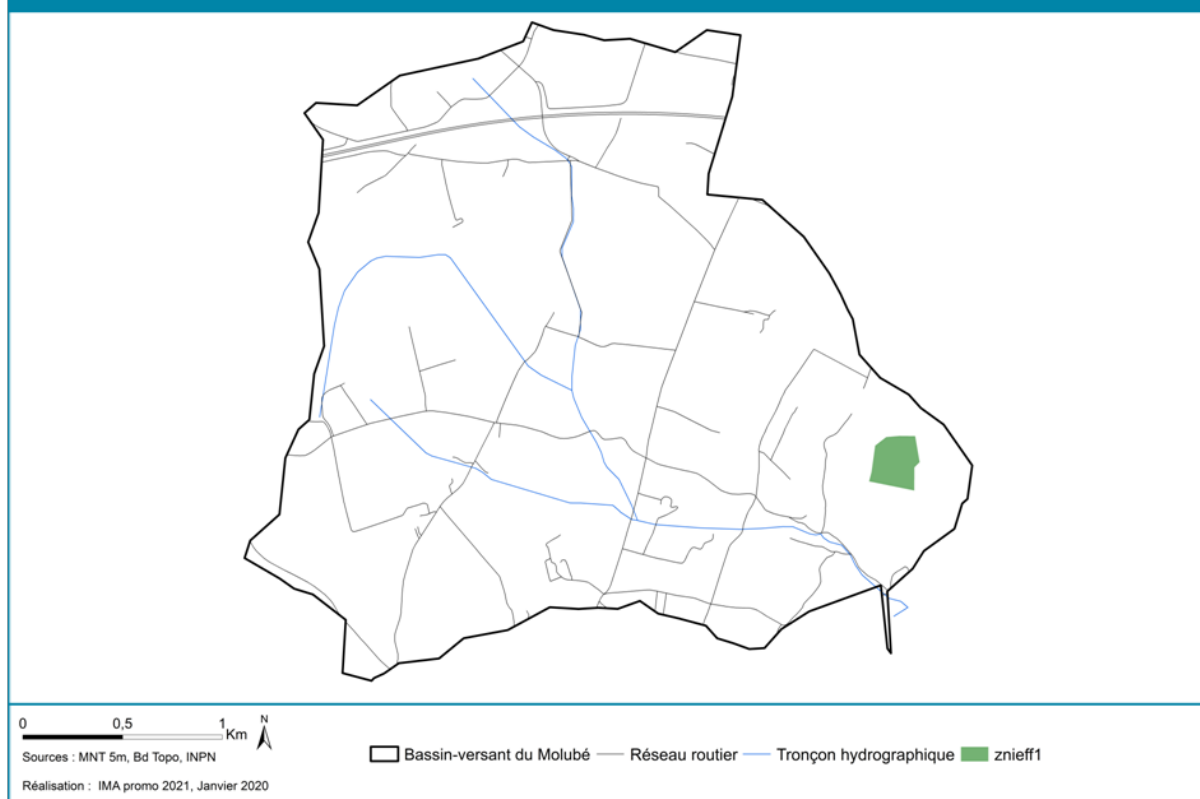


Figure 31: Localisation de la ZNIEFF I - IGN

(Commune d'Artannes-sur-Indre)

Parallèlement, des espèces (avifaune) ont été recensées sur Artannes en 2019 apparaissant sur la liste rouge des espèces menacées au niveau national. Cela vient appuyer son appellation en une zone naturelle d'intérêt écologique, faunistique et floristique.

Tableau 23: Espèces présentes sur le bassin versant (LPO, 2016)

Nom scientifique	Nom commun	Tendance liste rouge
<i>Alauda arvensis</i>	Alouette des champs	Quasi menacé
<i>Carduelis carduelis</i>	Chardonneret élégant	Vulnérable
<i>Falco tinnunculus</i>	Faucon crécerelle	Quasi menacé
<i>Casmerodius albus</i>	Grande aigrette	Quasi menacé
<i>Hirundo rustica</i>	Hirondelle rustique	Quasi menacé
<i>Apus apus</i>	Martinet noir	Quasi menacé
<i>Vanellus vanellus</i>	Vanneau huppé	Quasi menacé
<i>Carduelis chloris</i>	Verdier d'Europe	Vulnérable

(UICN France, 2016)

3.3. RELATION A L'EAU ET PLANS DE PREVENTION

Le « Territoire Loire-Cher-Indre » (à plus large échelle) ne comporte pas de risques et de vigilances particulières sur le plan des crues d'après le site gouvernemental Vigicrues. (Vigicrues)

Bien que catégorisé comme tel, il n'en est pas moins que la commune d'Artannes-sur-Indre a établi un DICRIM (Document d'Information Communal sur les Risques Majeurs), document obligatoire pour toutes les communes répertoriées à risque dans le dossier départemental des risques majeurs (DDRM). Il s'agit d'un « *document réalisé par le Maire dans le but d'informer les habitants de sa commune sur les risques naturels et technologiques qui les concernent, sur les mesures de prévention, de protection et de sauvegarde mises en œuvre ainsi que sur les moyens d'alerte en cas de survenance d'un risque.* » (HOULARD et MONNICAULT, 2016)

Cependant, les zones concernées se situent au niveau du bourg de la commune, au sud du bassin-versant Le Molubé, et le cours d'eau que nous étudions ne représente pas un risque majeur en cas de crue car celui-ci est situé sur le haut plateau d'Artannes et n'est pas sous l'influence directe des crues de l'Indre en amont. En effet, d'après les classifications d'aléas, les zones très proches de l'Indre sont en zone d'aléa 4, tandis que dans ce qui est compris dans notre bassin versant, une zone d'aléa 3 s'étend sur la partie exutoire.

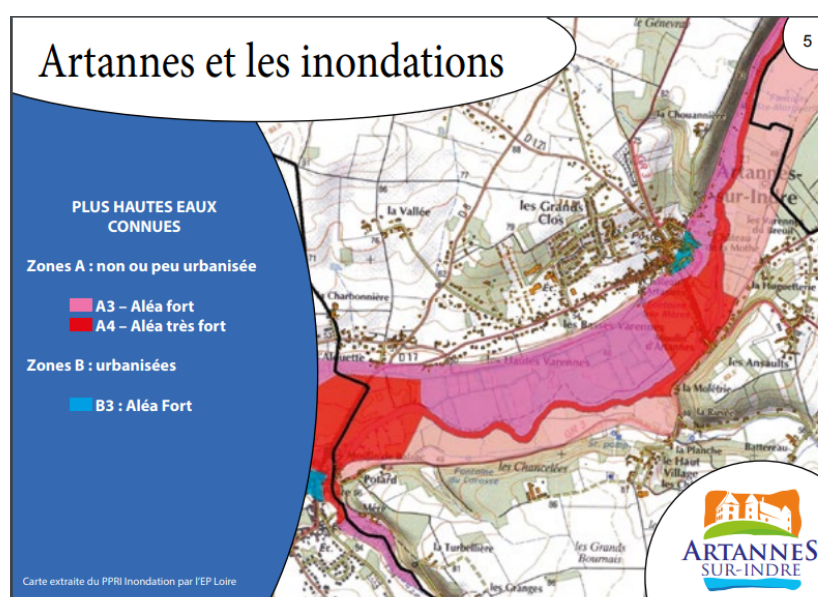


Figure 32: PPRI de l'Indre

RÉSUMÉ DE LA PARTIE 3:

Le cours d'eau du Molubé s'inscrit totalement dans l'histoire de la commune d'Artannes-sur-Indre, tant par sa valeur paysagère que par sa valeur patrimoniale. Nonobstant, il présente aujourd'hui un trop faible impact pour attirer l'attention à l'échelle de la ville en termes de réglementation et de documents d'urbanisme. Sa proximité avec les bâtiments patrimoniaux de la ville ainsi qu'avec les habitations en fait tout de même un objet notable de la ville et qui est totalement intégré au paysage caractéristique de la ville ainsi qu'aux habitudes de loisirs de certains habitants qui sont ravis de sa présence.

Les réglementations qui s'appliquent au Molubé sont à voir à l'échelle de l'utilisation agricole qui globalement prend les mesures nécessaires pour la préservation de son état et sa non-dégradation car ces utilisateurs sont conscients de l'importance de l'eau dans leur activité. L'utilisation du Molubé est donc quantitativement et qualitativement raisonnée, même si l'aspect quantitatif est discuté (Cf. 1.3.4 Hydrogéochimie)

Les habitants à proximité du Molubé, mais aussi de la ville d'Artannes en général, portent dans leurs esprits et leurs valeurs une attention à l'eau de manière générale, car c'est un des facteurs principaux qui a permis l'attractivité de la commune tout en offrant un cadre de vie (cadre paysagé) agréable pour ses habitants.

4. ACTEURS ET USAGES LIES À L'EAU

4.1. LES USAGES SUR LE COURS D'EAU ET SON BASSIN-VERSANT

4.1.1. POPULATION / USAGE DOMESTIQUE

a) CONTEXTE GENERAL - COMMUNE D'ARTANNES - POPULATION (INSEE)

Le bassin-versant Le Molubé est en grande partie inclus dans la commune d'Artannes-sur-Indre. En effet, 77,8 % de l'aire du bassin-versant est sur la commune d'Artannes-sur-Indre et 14,3 % est inclus dans la commune de Ballan-Miré. Le reste de la surface du Molubé est distribuée entre la commune de Monts à hauteur de 5,2 % et entre la commune de Druye à hauteur de 2,7 %. Ainsi, il nous paraît pertinent de nous concentrer sur ces communes et notamment Artannes sur Indre.

La commune d'Artannes-sur-Indre possède six communes voisines : Ballan-Miré, Druye, Joué-lès-Tours, Monts, Pont-de-Ruan et Thilouze. Sa population montre une tendance au vieillissement. En effet, on note une stagnation, voire une légère baisse du nombre d'habitants dans les tranches d'âge inférieures à 45 ans, tandis que les habitants de 45 à 49 ans puis de 50 à 74 ans voient leur nombre augmenter d'environ 2 % entre 2011 et 2016. (Insee)

Sur le plan des catégories socio-professionnelles, les seules à être en légère augmentation sont la catégorie « Professions intermédiaires » ainsi que la catégorie « Employés ». Toutes les autres, dont la catégorie « Agriculteur et exploitants » ne varient que très peu et sont en légère baisse. Par rapport aux moyennes nationales françaises, le pourcentage de retraités et d'agriculteurs n'est pas significativement différent, avec une différence qui n'excède pas les 2 %. La part d'ouvrier présents sur la commune d'Artannes est plus forte de 2 % par rapport aux moyennes nationales qui sont de 14 %. Le taux des « Autres personnes sans activité professionnelle » est de 11 % contre 17 % pour les moyennes nationales. Globalement la part des personnes qui ont une activité professionnelle est haute, comme la part des « ouvriers » ainsi que les « Agriculteurs et exploitants » qui sont bien représentés au sein de la commune.

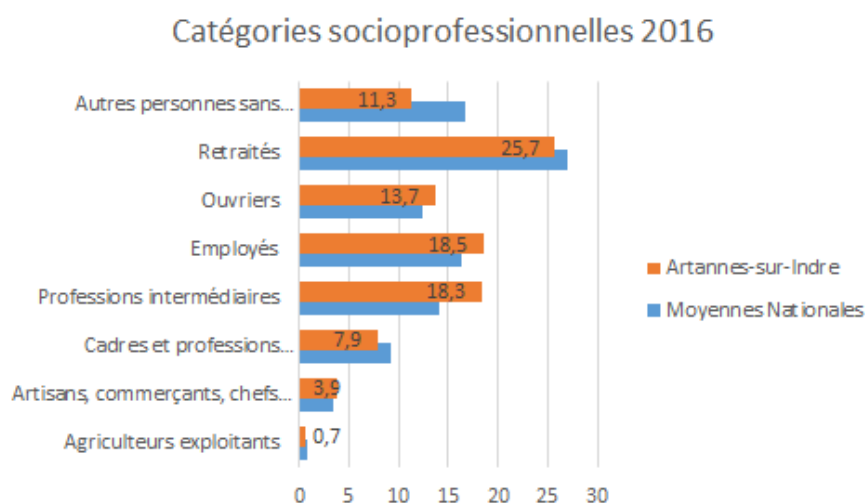


Figure 33: Catégories socioprofessionnelles d'Artannes-sur-Indre en 2016

60 % des résidences principales sont habitées par des ménages depuis 10 ans ou plus (Insee), et 31 % habitent la commune depuis plus de deux ans, donc une grande partie des habitants qui vivent dans la commune sont logés dans la commune d'Artannes-sur-Indre pour une durée qui s'apparente à du moyen, voire du long terme.

L'évolution du nombre de logements tend vers une expansion avec une hausse de 325 logements des années 2000 à l'année 2016 dont 108 créés de 2011 à 2016 ce qui montre une légère augmentation du nombre d'habitations ces dernières années.

En ce qui concerne l'activité des établissements présents sur la commune d'Artannes-sur-Indre, on note un dynamisme dans le secteur du « Commerce, transports et services divers » qui n'influe pas ou peu sur la ressource en eau ainsi que de sa qualité. Cependant, les secteurs « Industrie » et « Agriculture, sylviculture et pêche » peuvent représenter un enjeu en termes de perturbation de la qualité de l'eau dans le bassin-versant Le Molubé.

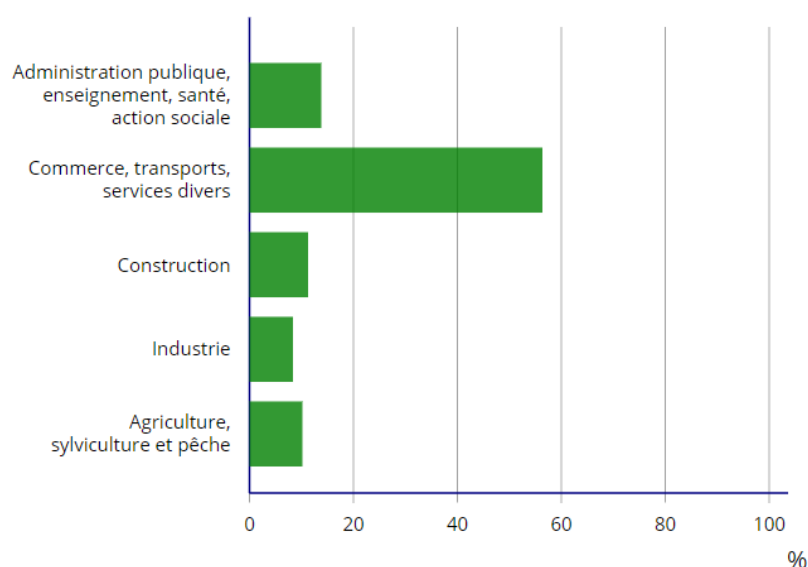


Figure 34: CEN G1 Répartition des établissements actifs par secteur d'activité au 31 décembre 2015 (Insee, CLAP en géographie au 01/01/2019)

4.1.2. INDUSTRIE

La présence d'activités industrielles dans un bassin-versant peut avoir un impact important sur la qualité des eaux, de l'air et du sol (impact sur la biodiversité). Il est donc important de localiser ces infrastructures afin d'identifier les impacts et pressions qu'elles exercent sur le bassin-versant (rejets, traitement privé ou raccordement à une station collective, etc.)

Parmi les diverses activités industrielles, les installations classées pour la protection de l'environnement (ICPE) et les sites SEVESO, qui sont des sites industriels présentant des risques d'accidents majeurs (compris dans les ICPE), sont les plus impactantes d'un point de vue de la pollution relâchée.

Nous avons localisé (Figure 35) la présence d'une installation classée SEVESO dans le bassin-versant, « GDE K'AS », une entreprise de casse automobile. Localisée dans la commune d'Artannes-sur-Indre elle est spécialisée dans le secteur d'activité du commerce de voitures et de véhicules automobiles légers.

Localisation de l'installation classée

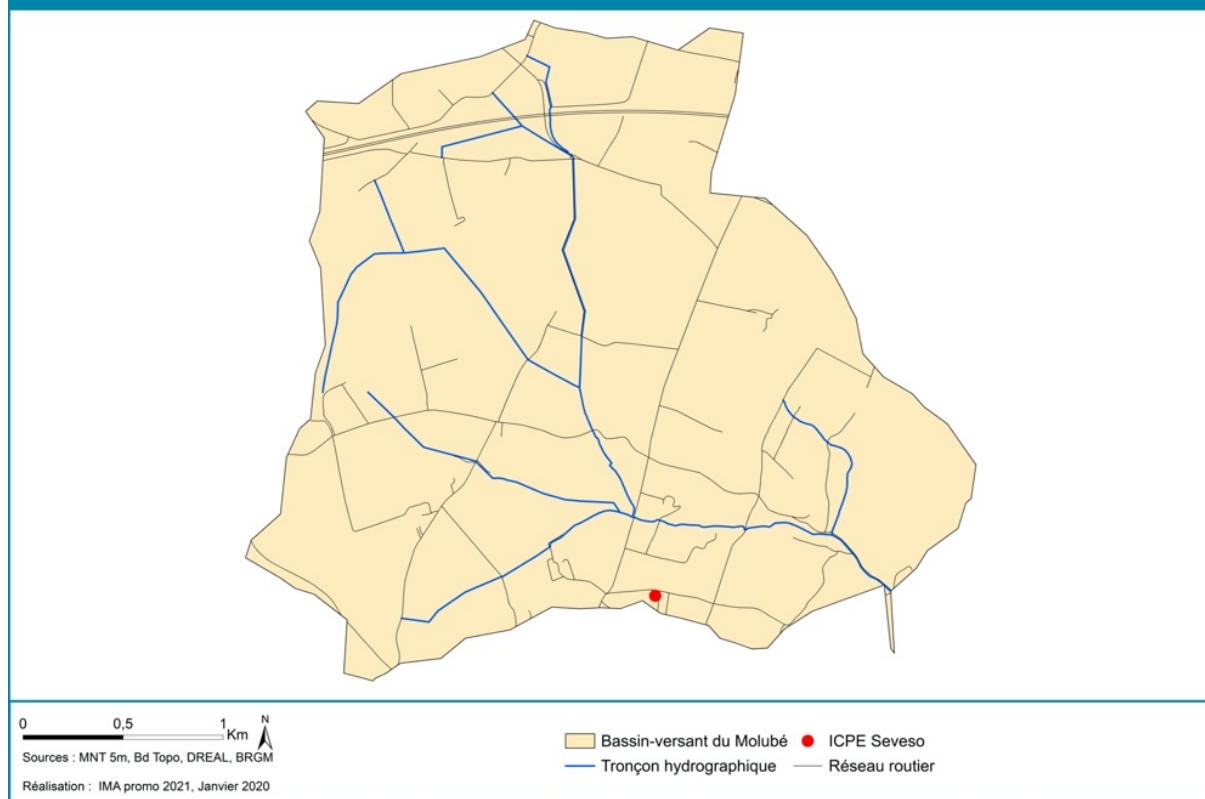


Figure 35: Carte SEVESO (Source: BRGM)

La commune D'Artannes-sur-Indre n'est pourtant pas soumise à un PPRT (Plan de Prévention des Risques Technologiques) concernant les installations classées (Géorisque) , on peut donc en conclure que cette installation n'impacte pas les zones riveraines et naturelles au regard des risques de pollution ou d'accidents.

4.1.3. ACTIVITES AGRICOLES

Les données de l'activité agricole qui sont issues de l'Agreste ont été pondérées avec le pourcentage de la superficie de la commune au sein du bassin-versant. En effet, la commune d'Artannes-sur-Indre occupe 77,8 % de notre territoire, la commune de Monts occupe 5,2 %, Druye occupe 2,7 % et celle de Ballan-Miré 14,3 %.

Le nombre d'exploitations agricoles a diminué de plus de moitié entre 1979 et 2010. En effet nous sommes passés de 44 exploitations en 1988 à 22 exploitations. Cependant la superficie agricole utilisée (SAU) a augmenté de façon constante entre 1988 et 2010. Donc durant cette période, le nombre d'exploitations baisse mais la surface agricole utilisée augmente. Ceci peut être expliqué par le fait que les agriculteurs vont privilégier de plus grandes surfaces de cultures.

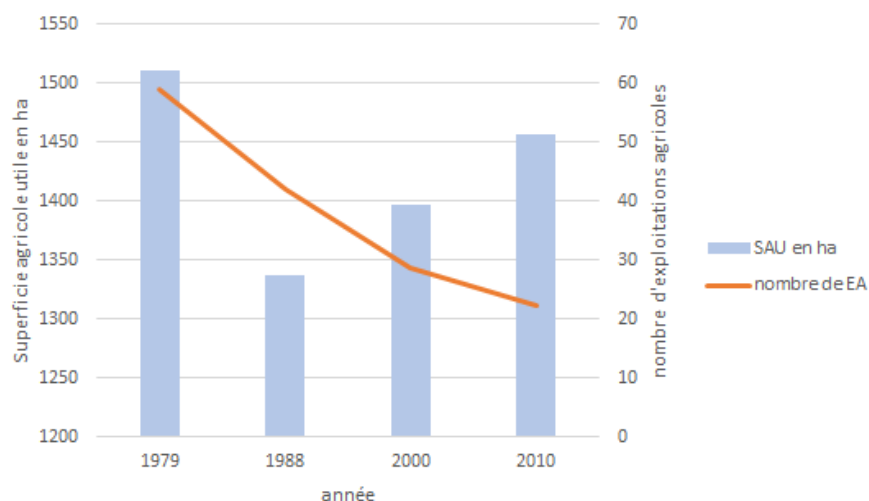


Figure 36: Evolution du nombre d'exploitations agricoles et de la SAU totale sur le bassin-versant du Molubé (AGRESTE)

Ce phénomène peut aussi entraîner un changement au niveau des techniques agricoles (Tableau 24). En effet, celle-ci s'oriente principalement vers la culture de céréales et d'oléoprotéagineux pouvant ainsi expliquer un changement de SAU. (Agreste)

Tableau 24: Evolution de l'orientation technico-économique des communes (source de données Agreste)

Communes	Orientation technico-économique de la commune	
	2010	2000
Artannes-sur-Indre	Céréales et oléoprotéagineux (COP)	Céréales et oléoprotéagineux (COP)
Monts	Autres herbivores	Polyculture et polyélevage
Druye	Céréales et oléoprotéagineux (COP)	Polyculture et polyélevage
Ballan-Miré	Polyculture et polyélevage	Polyculture et polyélevage

L'étude de l'évolution du cheptel en unité gros bétail (UGB) montre qu'il y a une diminution de celui-ci entre 1988 et 2010. Il y avait 648 UGB en 1988 et 339 UGB en 2010. Ce qui traduit bien un changement des techniques et méthodes agricoles pendant cette période.

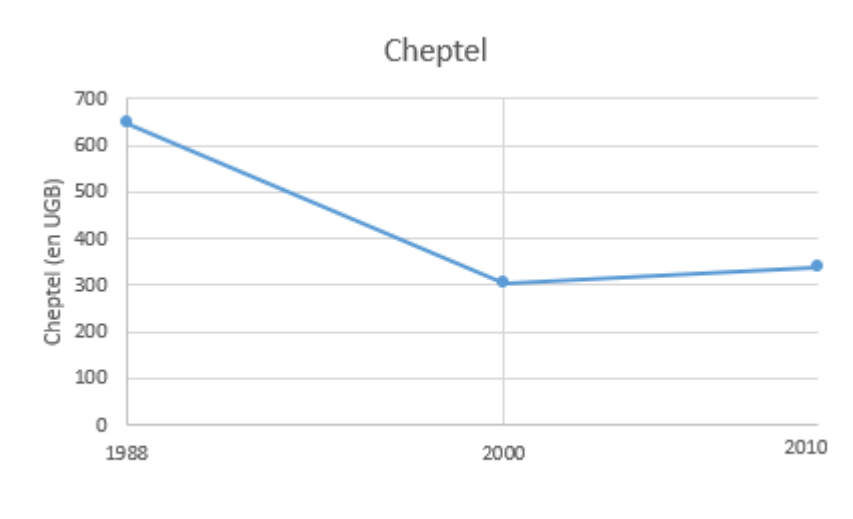


Figure 37: Evolution du cheptel (en UGB) (Source : Agreste)

Concernant, les surfaces drainées d'après la DDT aucune ne sont déclarées sur notre bassin-versant. Cependant le site de l'Agreste nous permet d'évaluer la part de superficie drainée sur les différentes communes. Ainsi les données ont été pondérées. En effet, nous avons 8,2 % de superficie qui est drainée sur la SAU de notre bassin-versant ce qui est légèrement en dessous de la moyenne nationale qui est de 10,6 %. (Tableau 25) Ainsi nous suspectons d'avoir du drainage sur notre bassin-versant, ce qui pourrait être en lien avec les types sols que nous pouvons avoir car pratiquement 60 % d'entre eux sont des sols hydromorphes temporaires et donc le drainage y est prioritaire.

Tableau 25: Part de la superficie drainée en 2010. (Source Agreste)

Part de la superficie drainée dans le SAU en 2010		
Artannes-sur-Indre	10,3	8,0143
Monts	0	0
Druye	7,2	0,1944
Ballan-Miré	0	0
	Somme	8,2078

Pour les surfaces irriguées, nous n'avons pas les données exactes pour 2000 et 2010 mais le site Agreste nous permet d'avoir une estimation en pourcentage de son évolution durant cette période. Les superficies irriguées comprennent les surfaces irriguées au moins une fois au cours de la campagne agricole, quel que soit le mode d'irrigation. En 2010, nous avons 2,5 % de superficie irriguée sur notre bassin-versant, alors qu'en France nous avons une moyenne de 5,9 % (Agreste). Nous avons aussi une nette hausse avec 111,5 % en plus de superficie irriguée entre 2000 et 2010 sur notre bassin-versant alors que la moyenne nationale est de 0,5 %. Ces chiffres ne représentent qu'une estimation et ne peuvent pas nous donner l'évolution des superficies irriguées de manière exacte. Cependant, ces chiffres peuvent être

en lien avec le changement de culture sur la commune, en effet certaines cultures nécessitent plus d'irrigation que d'autre.

Tableau 26: Evolution de la superficie irriguée en pourcentage entre 2000 et 2010 (Source : Agreste)

Evolution de la superficie irriguée entre 2000 et 2010 (en %)		
Artannes-sur-Indre	118,6	92,2708
Monts	337,3	17,5369
Druye	pas de données	pas de données
Ballan-Miré	11,6	1,6588
	Somme	111,4692

La carte des zones vulnérables nitrates montre que pratiquement tout le département est vulnérable aux nitrates, ainsi que notre zone d'étude. (Annexe III : Carte des zones de vulnérabilité nitrates)

(DREAL Centre Déléation de bassin Loire-Bretagne, 2012)

Pour les IFT (Indicateur de Fréquence de Traitements phytosanitaires), nous pouvons voir sur la carte (Figure 38) que pour notre zone (entourée en rouge), la dose homologuée par hectare de surface totale du territoire se situe entre 1,50 et 2. Cette valeur nous montre qu'il y a une utilisation de produits phytosanitaires de façon non négligeable même si ces valeurs restent moyennes comparées au nord du département. (DRAAF du Centre-Val de, 2020)

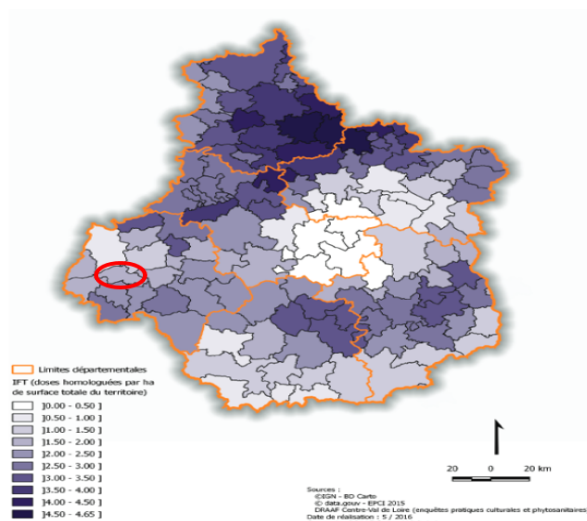


Figure 38: Carte des Indicateurs de Fréquence de Traitement (IFT) en centre de Val de Loire (source DRAAF)

En résumé, nous pouvons dire que notre bassin-versant est contraint au drainage à cause de ces sols qui sont principalement hydromorphes. De plus il y a eu un changement au niveau de l'agriculture ce qui se traduit par une diminution du cheptel et du nombre d'exploitations mais aussi par une augmentation de l'irrigation (céréales demandant plus d'eau que les cultures d'aparavant et été/hiver sec (voir excédents et déficits hydriques) et de la SAU. Notre bassin-

versant est aussi vulnérable aux nitrates et il y a une utilisation de produits phytosanitaires non négligeable.

4.2. LES ACTEURS ET LA GESTION DU COURS D'EAU ET DU BASSIN-VERSANT

Le bassin-versant étudié est situé sur des communes regroupées au sein d'une collectivité à savoir, la communauté de commune Touraine vallée de l'Indre (Figure 39) avec un total de 22 communes. Le Molubé s'écoule principalement sur la commune d'Artannes-sur-Indre mais son bassin-versant traverse aussi les communes de Monts, de Druye et Ballan-Miré Figure 40).



Figure 39: Communauté de communes Touraine et vallée de l'Indre

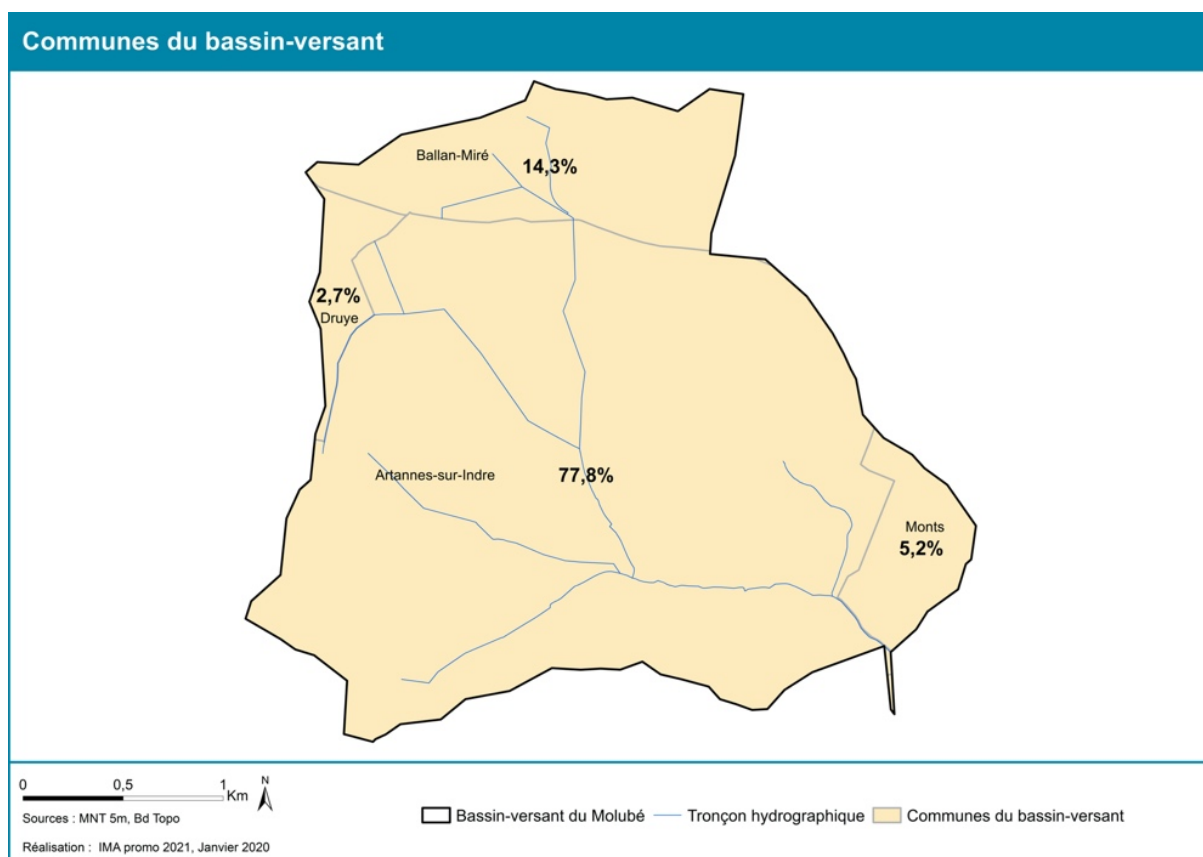


Figure 40: Carte des communes

Les usages de l'eau étant nombreux, sa gestion est encadrée par des acteurs à des échelles différentes. Pour répondre aux exigences européennes, cette gestion doit se faire de façon intégrée pour assurer une bonne qualité des eaux, son approvisionnement ainsi que son utilisation durable et équilibrée pour tous les usagers.

Tout d'abord la direction de l'eau du ministère de la transition écologique et solidaire gère la politique de l'eau au niveau national. Cette politique est encadrée et impulsée par la Directive Cadre sur l'Eau qui depuis 2000 demande d'atteindre « un bon état » des masses d'eau en France.

Au niveau régional, la DREAL Centre-Val de Loire sous l'autorité du préfet et l'Agence Régionale de Santé Centre-Val de Loire, ont pour mission de fixer et contrôler le respect de la cohérence de la politique de l'eau ainsi que la qualité de l'eau potable et sa distribution. La surveillance des installations classées (ICPE) est une des missions de la DREAL pour assurer la sécurité environnementale et des populations concernant les pollutions graves.

Relai de la DREAL, la DDT Indre et Loire assure le rôle de police de l'eau au niveau départemental concernant les autorisations de prélèvements et le contrôle des rejets et des polluants. Le non-respect des normes peut entraîner des sanctions administratives ou pénales.

Le comité de bassin Loire-Bretagne fixe les grandes orientations en matière de gestion de l'eau sur le grand bassin de la Loire et élabore le SDAGE. Actuellement, c'est le SDAGE 2016-2021 qui est en vigueur et le SDAGE 2022-2027 est en cours d'élaboration (Agence de l'eau Loire-Bretagne, 2020). Ses principaux objectifs sont:

- « *Garantir la qualité des eaux*
- *Préserver et restaurer les milieux aquatiques*
- *Partager la ressource, adapter les activités humaines aux inondations et aux sécheresses*
- *Organiser et gérer : comment s'organiser ensemble pour gérer l'eau et les milieux aquatiques dans les territoires en cohérence avec les politiques publiques»*

L'Indre et à fortiori le bassin-versant du Molubé rentrent dans le secteur du SDAGE mais aucun SAGE n'est actuellement en cours d'élaboration.

Des établissements publics tels que l'agence de l'eau Loire-Bretagne fournissent les financements pour la mise en œuvre des actions alors que l'office Français de la Biodiversité (OFB) apporte un soutien dans l'évaluation et l'expertise des politiques auprès des gestionnaires. L'OFB comme la DDT possède aussi des compétences en tant que police de l'eau.

La communauté de communes Touraine vallée de l'Indre, a délégué plusieurs de ses compétences à des syndicats comme le SAVI pour l'aménagement des cours d'eau, ou le SIVOM (syndicat mixte à vocation multiple) de la vallée du Lys concernant la gestion du système d'assainissement et la distribution de l'eau potable au sein des collectivités. La gestion du Molubé a été confiée au Syndicat d'aménagement de la vallée de l'Indre (SAVI). Ce Syndicat mixte agit sur 4 communautés de communes et possède plusieurs compétences notamment la compétence GEMAPI obligatoire depuis le 1er janvier 2018. Le SAVI assure à la

fois l'aménagement et l'entretien des bassins versants et de l'Indre et ses affluents ainsi que de la prévention des inondations. (Communauté de Communes Touraine Vallée de l'Indre)

Enfin plusieurs associations locales telles que la Ligue de protection des oiseaux (LPO) ou la Société d'étude de protection et d'aménagement de la nature en Touraine (SEPANT) ainsi que des associations de pêche telles que AAPPMA Monts-Artannes, peuvent contribuer aussi à l'expertise scientifique et à l'aide à la décision en matière de gestion locale de l'eau.

Tableau 27: Tableau récapitulatif des échelles de gestion institutionnelles sur le bassin-versant du Molubé

Échelle institutionnelle	Acteur	Outils
National	Direction de l'eau	DCE 2000
	OFB	Systèmes d'information nationaux (EauFrance, Carmen)
Régional	DREAL Centre Val de Loire	Service Eau, Biodiversité, Risques Naturels et Loire (SEBRiNaL) ; Service Hydrométrie, Prévion des Étiages, des Crues et des Inondations (SHPECI)..
	ARS Centre Val de Loire	Code de la santé publique
Départemental	DDT Indre et Loire	Grenelle de l'environnement
Bassin hydrographique	Comité de bassin Loire-Bretagne	SDAGE
	Agence de l'eau Loire-Bretagne	Contrats Territoriaux de Restauration de Rivière
Communes et intercommunalités	Communauté de commune Touraine vallée de l'Indre	GEMAPI
	Syndicats intercommunaux	Contrats Territoriaux de Restauration de Rivière, DIG
	Associations	Inventaires, bases de données, enquêtes

4.3. RECOLTE D'INFORMATIONS ET ENQUETE AUPRES DES USAGERS - EN PRATIQUE : ENQUETE AUPRES DES USAGERS DU COURS D'EAU

4.3.1. METHODOLOGIE

Pour approfondir notre connaissance du bassin-versant, des enquêtes auprès de plusieurs acteurs présents sur le bassin-versant ont été envisagées. Ainsi les acteurs cibles ont été: les agriculteurs, les habitants, le propriétaire de la peupleraie, le maire d'Artannes-sur-Indre ainsi qu'un technicien du SAVI.

Les enquêtes ont été réalisées par groupe de 2 ou 3 étudiants sur le terrain à l'aide de questionnaires personnalisés (sauf pour le SAVI) dans le but est de comprendre comment l'interviewer perçoit, utilise et impacte le Molubé. La réalisation des interviews respecte un protocole précis au niveau de la constitution des groupes d'étudiants allant interroger un quartier. En effet, pour éviter tout biais de jugement, nous avons décidé d'effectuer un roulement entre les étudiants pour que deux groupes d'étudiants se partagent les habitants d'un même quartier. De même pour les agriculteurs, plusieurs duos d'étudiants se sont partagés cette population pour respecter la méthodologie d'une réelle enquête. La neutralité a été de mise lors du processus de présentation et d'explication de nos intentions à la suite de cette récolte d'information.(CEDIP, 2014)

Bien que nous ayons constitué deux types de questionnaire différents, un destiné aux agriculteurs puis un autre destiné aux habitants, nous nous sommes intéressés à poser une question commune aux deux types de population pour obtenir un nombre suffisant d'avis venant de personnes différentes avec des points de vue variés. En effet, la question (QHabitants - Qsur l'eau - 10) Quel est votre avis sur ce cours d'eau ?) et (QAgriculteurs - Qsur l'eau - 2,6 Quel est votre avis sur ce cours d'eau ?) nous a permis d'obtenir une réponse globale sur la représentation que les usagers se font du cours d'eau Le Molubé.

L'implication des intervieweurs pendant l'enquête se limitait à une relance de l'interviewé pour qu'il approfondisse sa réponse, en évitant toute prise de position. En effet, les étudiants se sont placés en tant que non-experts des questions concernant l'agriculture, la gestion de cours d'eau. Le but étant d'obtenir un tableau global du Molubé peint par ses acteurs, qu'ils soient impliqués de près ou de loin dans l'utilisation de ce dernier, l'avis de l'intervieweur ne doit pas orienter les réponses aux questions posées, c'est pourquoi les questions ont été produites dans le but de respecter la neutralité. En pratique, l'obtention des informations les plus complètes se fait par le vouloir de déclencher une discussion et non des réponses à des questions précises comme il est possible d'obtenir par le biais du digital par exemple. (Annexe IV : Questionnaire des agriculteurs)

4.3.2. RESULTATS

Au cours du temps qui nous était imparti nous n'avons malheureusement pas réussi à fixer une date de rendez-vous avec le maire d'Artannes et à entrer en contact avec le propriétaire

de la peupleraie. En effet, notre appel à entretien n'a pas fonctionné concernant le maire d'Artannes, ce qui est dommageable pour la représentativité des élus de la ville dans laquelle plus de 70% de notre bassin versant est compris. Quant au propriétaire de la peupleraie, cet enquêteur aurait pu nous permettre d'obtenir de plus amples informations sur la qualité du cours d'eau Le Molubé. Nous avons donc uniquement les résultats des enquêtes concernant les acteurs; Habitants et Agriculteurs.

a) POPULATION ET HABITANTS

Questions générales	– Assainissement individuel – Anciens habitants pour la totalité
Question sur le cours d'eau	– Petit cours d'eau (« <i>c'est un petit filet d'eau</i> ») qui n'impacte par conséquent pas la conscience des habitants et entraîne une absence de connaissances (« <i>jamais entendu quoique ce soit sur ce cours d'eau</i> ») et d'avis sur le cours d'eau
Avis personnel	– Pas d'avis pour la plupart cependant il est considéré comme un atout lorsqu'un avis est exprimé (« L'eau c'est la vie ») – Parfois un lieu de promenade

b) AGRICULTEURS

Questions générales	– Exploitants tous natifs de la commune – Reprise d'une exploitation familiale (héritage) et agrandissement de celle-ci pour la totalité des agriculteurs enquêtés (« L'entreprise a évolué, je l'ai agrandie », « je l'ai faite évoluer car elle faisait 60 ha à la base et elle fait maintenant 140 ha »)
Question sur le cours d'eau	– Non usagers du cours d'eau, les agriculteurs de la commune ont seulement des souvenirs d'enfance le concernant et confirment pour la totalité d'entre eux l'absence d'activités liées au cours d'eau dans la commune. – Le cours d'eau est perçu comme étant « Insignifiant » sans enjeux et impact majeur ou mineur sur la commune ou sur les activités agricoles (« aménagement inutile, il est sec la plupart du temps », « ne constitue pas un gros enjeu »).
Avis personnel sur la relation entre l'eau et l'agriculture	– Les agriculteurs enquêtés ont néanmoins tous conscience de l'importance des petits cours d'eau pour l'agriculture (« important pour la biodiversité », « Très important mais dépendant des conditions climatiques ») – Malgré la demande inconditionnelle en eau des agriculteurs (« L'agriculture a besoin d'eau ») sans parfois se soucier des impacts écologiques de leurs activités, il existe une conscience de l'évolution et des enjeux qualitatifs et quantitatifs de la ressource en eau. L'évolution des pratiques et règles législatives concernant l'agriculture sont, pour la plupart des

agriculteurs interrogés, comprises et acceptées (« J'ai conscience de l'impact de la pollution de l'eau et de l'évolution de l'agriculture en ce qui concerne l'eau », « Il y a une meilleure qualité et quantité de l'eau qui est due à l'amélioration de l'assainissement et à l'augmentation des bandes enherbées »)

- Toutefois le changement des pratiques agricoles au profit de la qualité des eaux n'est pas facile. En effet des pressions autres que écologique impactent les agriculteurs (« Aujourd'hui c'est le rendement qui contrôle tout. On est forcé de produire, encore et encore car les besoins et les enjeux sont de plus en plus énormes », « j'aimerais ne rien mettre et ne plus utiliser de produits du tout mais malheureusement c'est impossible »)
- Toutefois le changement des pratiques agricoles au profit de la qualité des eaux n'est pas facile. En effet des pressions autres qu'écologique impactent les agriculteurs (« Aujourd'hui c'est le rendement qui contrôle tout. On est forcé de produire, encore et encore car les besoins et les enjeux sont de plus en plus énormes », « j'aimerais ne rien mettre et ne plus utiliser de produits du tout mais malheureusement c'est impossible »)

4.4. USAGERS ET GESTIONNAIRES PREDOMINANTS LIES AU MOLUBE

Au vu des entretiens on comprend que le Molubé est un petit cours d'eau qui préoccupe assez peu les agriculteurs dans leur activité mais représente, pour quelques agriculteurs, ainsi que pour le peu d'habitants qui le connaisse, une valeur paysagère agréable et importante. Du fait de sa proximité avec l'Indre, le Molubé a à priori été géré pour gêner le moins possible les pratiques agricoles ainsi que les propriétaires voisins. « *En achetant la maison, on ne s'est pas vraiment posé la question quant à la présence du Molubé, ce qui était important pour nous c'était la proximité avec l'Indre* », dire d'un habitant proche de l'exutoire du Molubé. D'où les recalibrages et les rectifications importants de son lit qui affectent à présent la chimie et la physique du cours d'eau.

RÉSUMÉ DE LA PARTIE 4 :

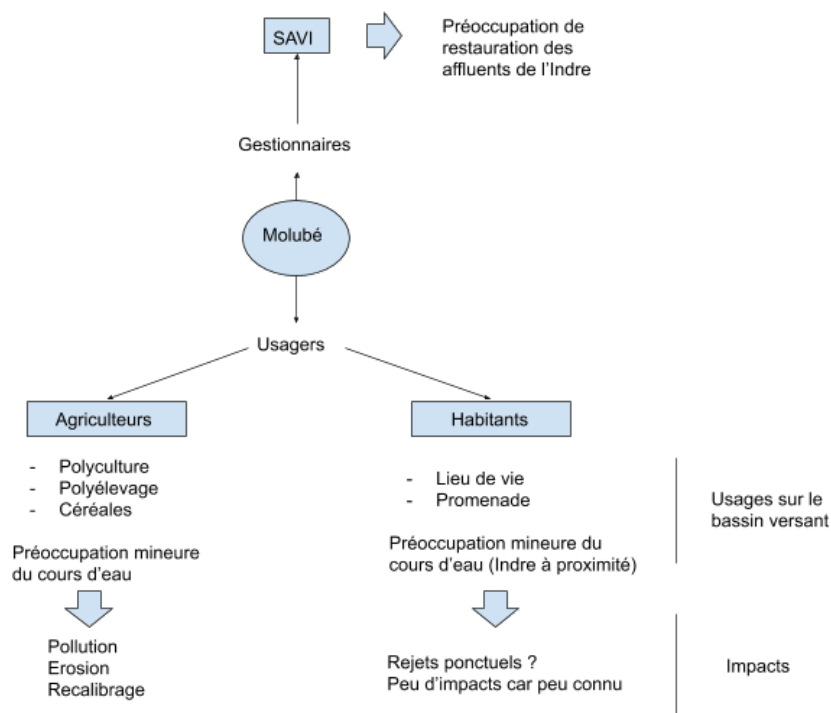


Figure 41: Schéma bilan des usages sur le Molubé et leurs impacts (production personnelle, 2020)

5. SYNTHÈSE DE L'ÉTAT DES LIEUX DES PRESSIONS SUR L'EAU ET LES MILIEUX AQUATIQUES À L'ÉCHELLE DU BASSIN-VERSANT

5.1. SENSIBILITÉ DU SOL À L'ÉROSION

L'érosion des sols regroupe les processus de détachement, de transport et de sédimentation qui se déroulent à sa surface. C'est un phénomène naturel qui peut toutefois être accentué par des actions humaines, notamment par l'agriculture intensive. L'érosion peut avoir une influence sur l'agriculture en provoquant le départ des couches superficielles du sol et diminuant l'efficacité des intrants. Ainsi, cet apport de particules via l'érosion impacte aussi la qualité de l'eau en augmentant la quantité de sédiments fins et d'intrants d'origines agricole.

Le bassin-versant du Molubé se situe dans une zone où l'agriculture prédomine, c'est pourquoi il est intéressant de s'intéresser au phénomène d'érosion sur cette surface. Pour modéliser la sensibilité à l'érosion sur notre secteur d'étude, nous nous sommes servis du modèle MESALES 2014 [DEGAN *et al.*, 2014] et d'autre étude [EGS-Le Bissonnais *et al.*, 2004]. Ce modèle a été utilisé pour représenter la sensibilité à l'érosion sur l'ensemble du bassin-versant Loire-Bretagne. Il consiste à travailler sur trois années consécutives et à cartographier la sensibilité des sols à l'érosion selon les saisons. Pour cela, il faut prendre en compte quatre facteurs principaux à savoir : l'occupation des sols, la pédologie, la topographie et le climat. Dans notre cas, le climat ne sera pas pris en compte car l'échelle de notre bassin-versant est bien trop réduite. Ainsi, il n'existe pas de forte variation climatique sur une échelle spatiale ou bien même temporelle sur le bassin-versant du Molubé.

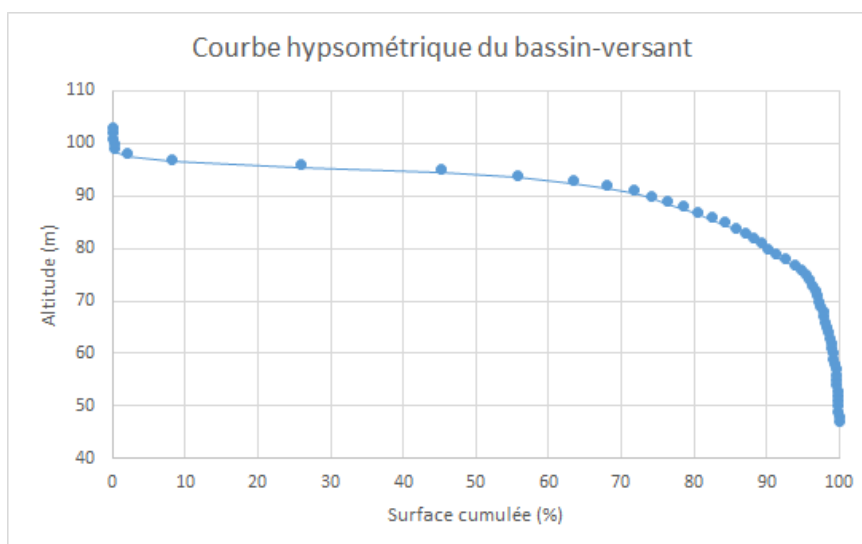


Figure 42: Courbe hypsométrique

5.2. L'OCCUPATION DES SOLS

Tout d'abord, concernant l'occupation du sol, une carte vecteur regroupant les données du Registre Parcellaire Graphique (RPG) ainsi que du Corine Land Cover (CLC) a tout d'abord été réalisée pour chacune des 3 années. Les données Corine Land Cover ont été utilisées pour compléter les surfaces où le RPG ne donnait pas d'information. Dans notre cas nous avons

utilisé les données de RPG de 2015, 2016 et 2017, et les données CLC de 2012. Ces dernières étant les plus récentes à notre disposition.

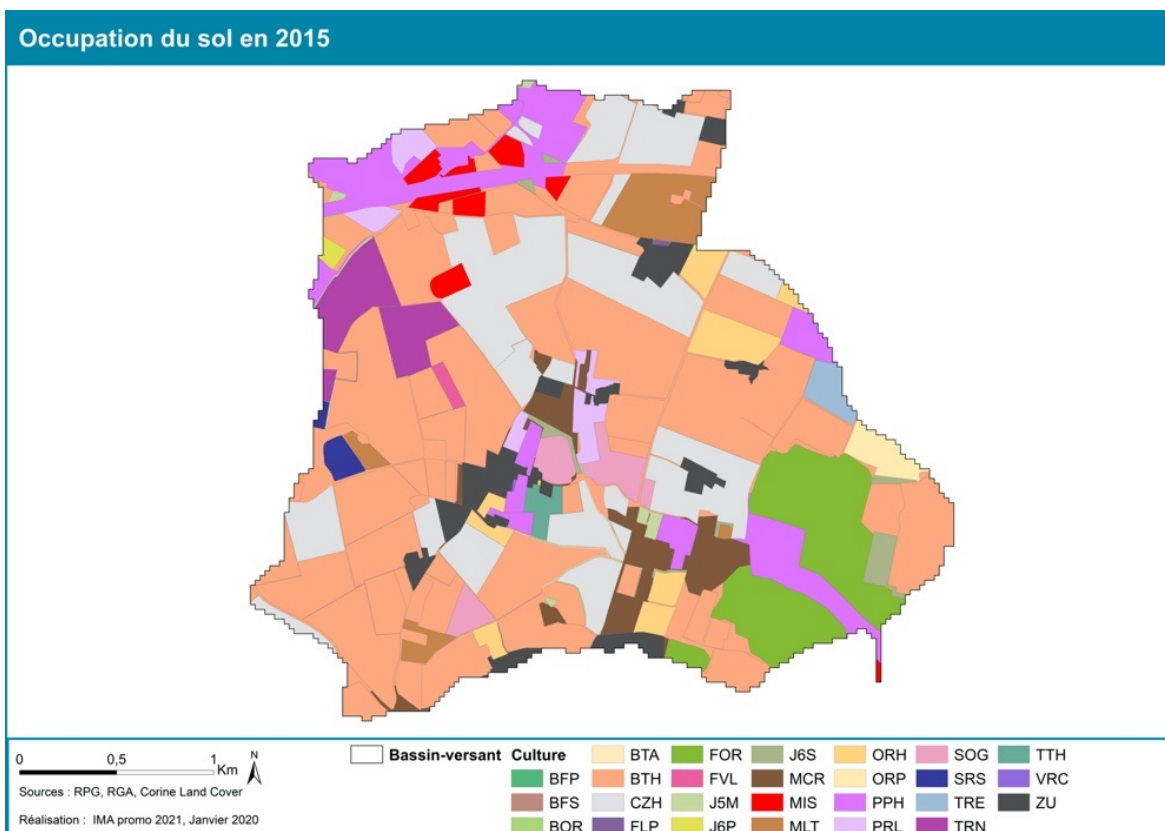


Figure 43: Carte occupation du sol 2015

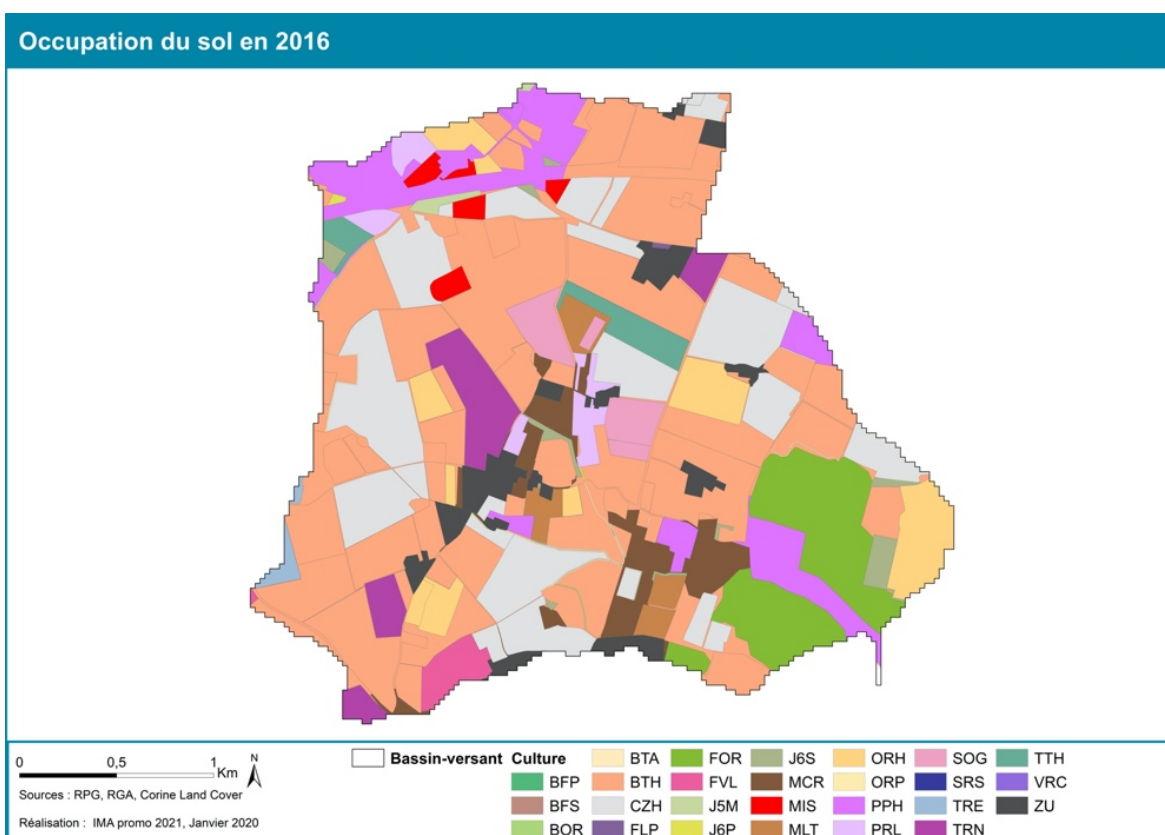


Figure 44: Carte occupation du sol 2016

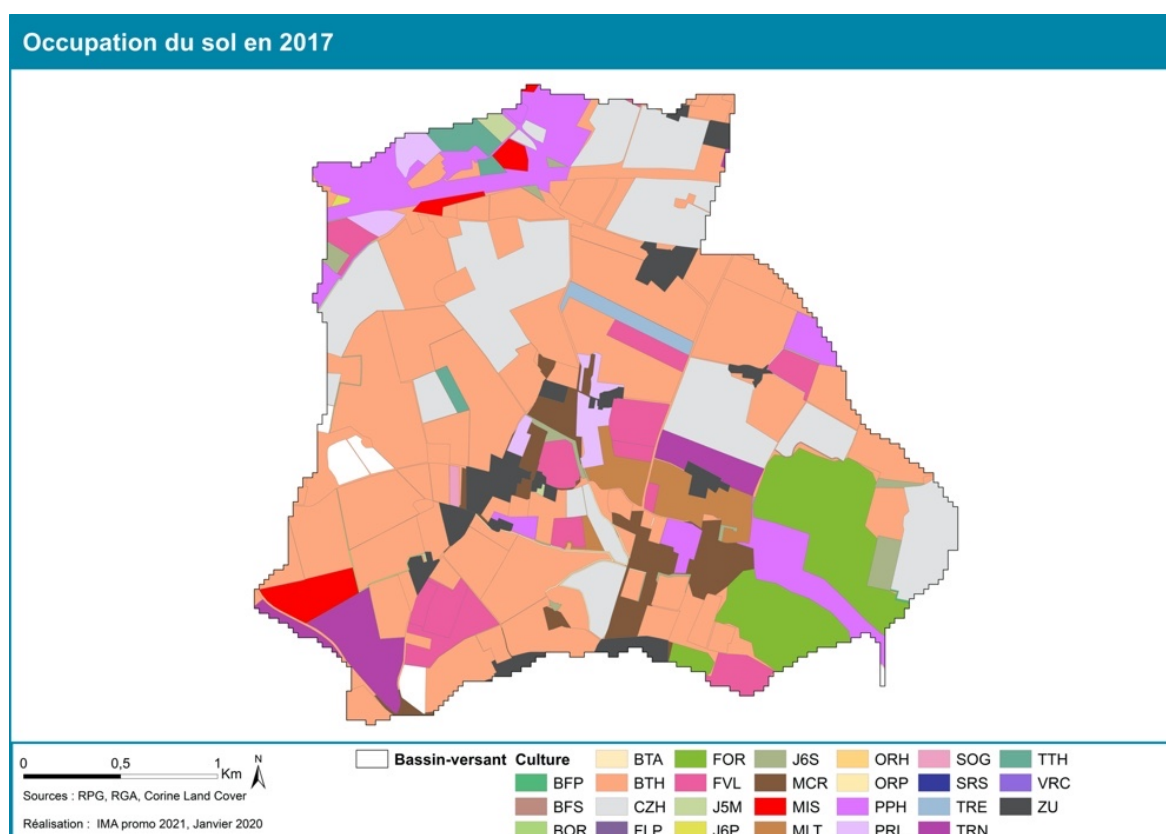


Figure 45: Carte occupation du sol 2017

Sur ces trois cartes d'occupation des sols de 2015, 2016 et 2017, nous avons observé que les pratiques agricoles sont fortement présentes au sein du bassin-versant. Nous retrouvons évidemment les zones urbanisées et les forêts aux mêmes emplacements sur les trois années. Concernant les cultures, nous avons relevé un roulement de celles-ci et une modification des surfaces de parcelles présentes à l'échelle du BV, sur les trois années étudiées. Néanmoins malgré le roulement des cultures, le blé tendre d'hiver est une culture toujours majoritaire.

A partir de ces cartes vecteurs, nous avons obtenu une couche raster pour chaque année et chaque saison, c'est à dire 4 cartes différentes pour chaque année. Pour cela les données du RPG ont été couplées avec celles du Recensement Général Agricole (RGA) afin d'obtenir des informations sur la saisonnalité des cultures. A partir de là, il est possible d'obtenir un taux annuel de couverture du sol à chacune des années disponibles du RPG. (Annexe V : Classification du taux de couverture de sol)

Ainsi, une reclassification des différentes occupations du sol a été réalisée, afin de différencier les cultures selon leur saisonnalité, par exemple, contrairement à la classification de base du RPG, la nouvelle classification différencie le blé tendre d'hiver et de printemps. Cela permet donc d'attribuer à ces cultures un taux de couverture du sol selon la saison. Ces taux de couverture ont été rentrés dans la table attributaire des différents rasters. Puis, ces derniers ont été reclassifiés afin de n'avoir dans leur table attributaire que les valeurs de couverture

du sol. Nous avons par la suite réalisé 4 model builder afin d'intégrer les valeurs de couverture du sol par saison. Ainsi, les valeurs en entrée étaient les 3 rasters de la même saison pour les 3 années différentes. Un model builder permettait l'intégration des valeurs pour une saison. Cette intégration consiste à attribuer une nouvelle valeur unique de couverture du sol en combinant les trois codes à un chiffre sur les trois années et en spécifiant le code couverture auquel ce code à 3 chiffres correspond. L'exécution de ce model builder a permis de créer une carte raster dans laquelle chaque pixel correspond à un taux de couverture du sol pour une année. Donc nous avons finalement obtenu 4 cartes de couverture du sol, une pour chaque saison (en combinant les trois années étudiées).

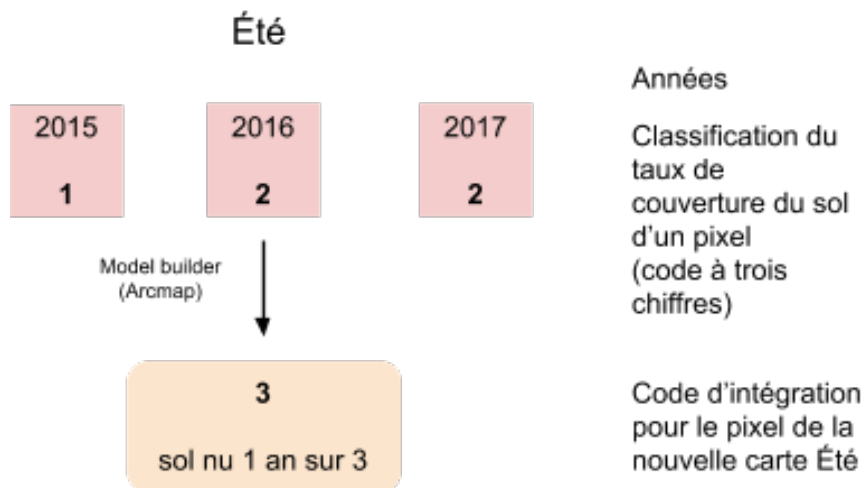


Figure 46: Exemple d'intégration de 3 pixels pour la carte de la saison été (production personnelle, 2020)

On observe ainsi que pour un scénario extrême où les cultures intermédiaires ne sont pas prises en compte, les cartes automne et hiver sont relativement semblables avec des sols majoritairement nus 3 ans sur 3. Cela peut s'expliquer par l'abondance des cultures de blé tendre d'hiver à plus de 45 % sur le bassin-versant. A cette période, le blé n'est pas suffisamment développé puisqu'il est semé fin octobre, début novembre, et est récolté en juillet.

Taux de couverture du sol au printemps

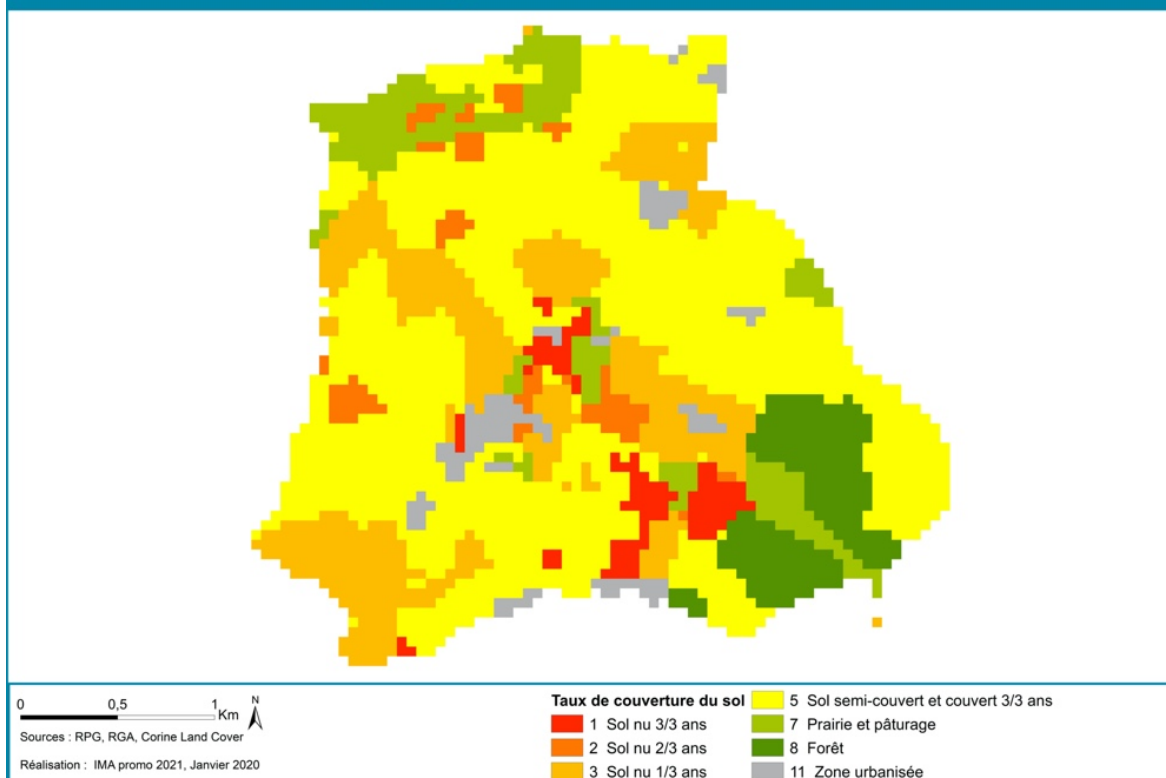


Figure 47: Carte couverture du sol printemps

Taux de couverture du sol en été

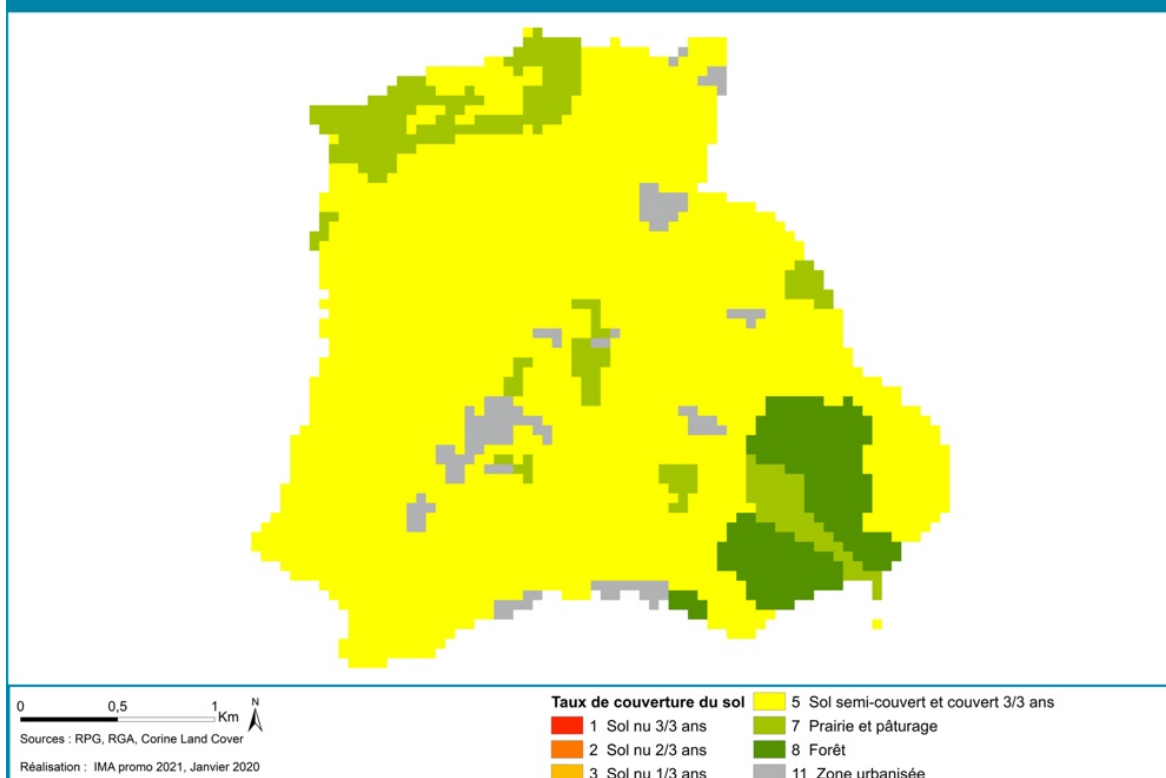


Figure 48: Carte couverture du sol été

Les cartes Printemps et Eté (Figure 47 et Figure 48) présentent principalement des sols semi couverts ou couverts sur les 3 années. Si nous restons dans la logique des cultures de blé tendre qui sont majoritairement présentes dans le BV, cela correspond donc à la période où les cultures sont suffisamment développées pour recouvrir les parcelles. On constate tout de même qu'au printemps certaines parcelles restent parfois nues en raison de la présence d'autres céréales comme le colza ou le tournesol.

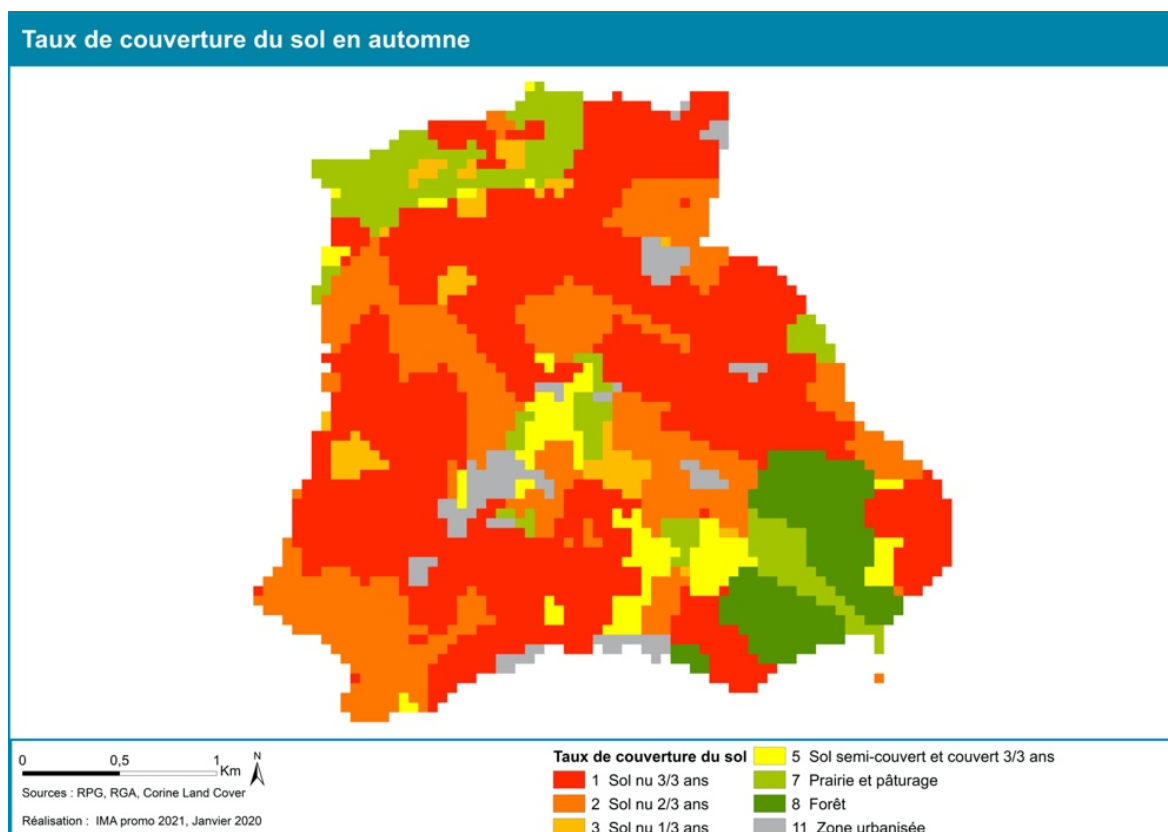


Figure 49: Carte couverture du sol automne

Taux de couverture du sol en hiver

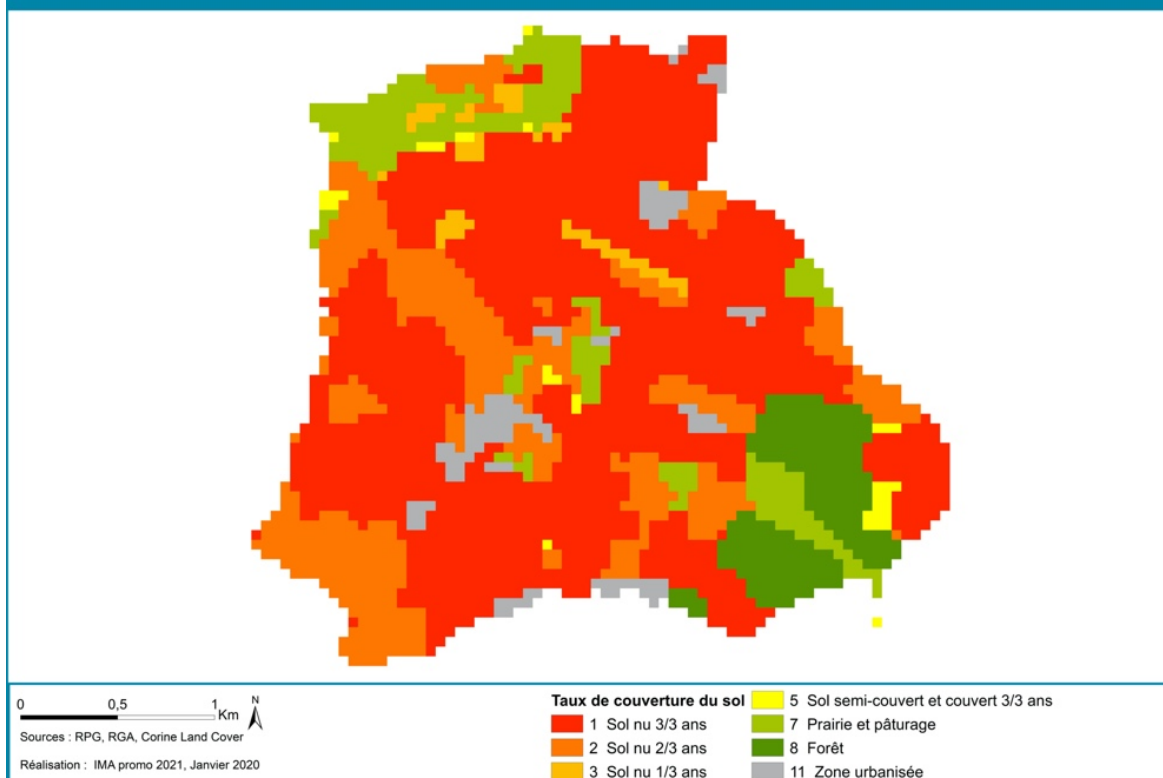


Figure 50: Carte couverture du sol hiver

Les cartes Automne et Hiver (Figure 49 et Figure 50) présentent principalement des sols nus (forte sensibilité à l'érosion), en effet cela correspond à la période de semis de la majorité des plantes cultivées en agriculture.

On constate cependant que certaines zones ne sont très peu voire pas modifiées selon les saisons. Il s'agit principalement des quelques zones urbanisées ; de la zone boisée et de la peupleraie dans la partie aval du Molubé ainsi que l'importante zone routière au nord.

Il est important de noter que les cartes modélisées présentent les paramètres de sensibilités à l'érosion au risque maximum (ici l'occupation des sols). En effet les données disponibles pour l'élaboration des cartes d'occupation des sols ne précisent pas la présence de cultures intermédiaires entre les roulements, nous avons donc considéré qu'il n'y en avait pas.

De plus, l'importante zone routière située tout en amont de notre bassin-versant n'est pas représentée dans les cartes de l'occupation du sol comme étant une zone urbanisée, ce qui peut également surestimer la sensibilité potentielle à l'érosion sur ce secteur (terrain imperméable). En effet les données du CLC et du RPG ne représentent pas, à l'échelle de précision de notre bassin-versant, l'intégralité des informations. C'est pourquoi les zones urbaines d'occupation du sol à l'échelle du BV, ont été manuellement rajoutées, pour la plupart, pendant la construction des cartes vecteurs d'occupation du sol (RPG + CLC).

5.3. LA PEDOLOGIE

Concernant le second facteur qui est la pédologie, deux principaux paramètres ont été pris en compte : l'érodibilité et la battance/ruissellement.

L'érodibilité correspond à la capacité des particules du sol à être entraînées ou non lors d'événements érosifs. La battance décrit quant à elle, la propriété du sol à se compacter sous l'action des gouttes de pluie et le fractionnement des agrégats à la surface du sol, entraînant la formation d'une croûte diminuant l'infiltration de l'eau dans le sol. Plus un sol va être sensible à la battance et plus il sera susceptible de former une couche en surface peu perméable et donc d'augmenter les phénomènes érosifs diffus et les ruissellements de surface.

L'érodibilité et la sensibilité à la battance sont dans le cas de cette étude donnés sous la forme d'un coefficient allant de 1 à 5, numérisant les niveaux d'aléas (1 = très faible, 2 = faible, 3 = moyen, 4 = assez fort, 5 = très fort) et définissant ainsi l'érodibilité et la sensibilité à la battance de chaque pixel. La valeur du coefficient a été déterminée selon la texture superficielle du sol comme le montre le tableau en annexe [EGS-Le Bissonnais et al, 2004]

(Annexe VI : Règles de pédo-transfert pour la battance et l'érodibilité)

Sur la base de ce tableau des modifications ont été apportées sur certains types de sols selon certaines conditions.

Pour l'érodibilité, avec toutes les textures superficielles sauf celles constituées d'Argile lourde (ALO) et de Limon crayeux (LC):

- Si l'intensité de la pierrosité est forte ou très forte alors l'érodibilité est égale à 4 (au lieu de 5) ;
- Si la teneur en calcaire est supérieure à 12,5 %, alors l'érodibilité est égale 4 (au lieu de 5).
- Pour la sensibilité à la battance, avec une texture superficielle constituée de limons légers (LL) ou limons légers sableux (LLS) ou limons moyens (LM) ou limons moyens sableux (LMS) :
- Si l'intensité de la pierrosité est forte ou très forte alors la sensibilité à la battance est égale à 4 (au lieu de 5) ;
- Si la teneur en calcaire est supérieure à 12,5 %, alors la sensibilité à la battance est égale 4 (au lieu de 5).

Enfin, pour l'érodibilité et la battance :

- Si le sol est occupé par une prairie ou une forêt, alors l'érodibilité et la battance diminuent d'une classe (les sols riches en matière organique sont moins sensibles au phénomène de battance et d'érodibilité).

Les données nécessaires à l'obtention de ces paramètres sont issues de la carte des textures superficielles, de la carte pédologique et de la carte de l'occupation des sols.

Battance

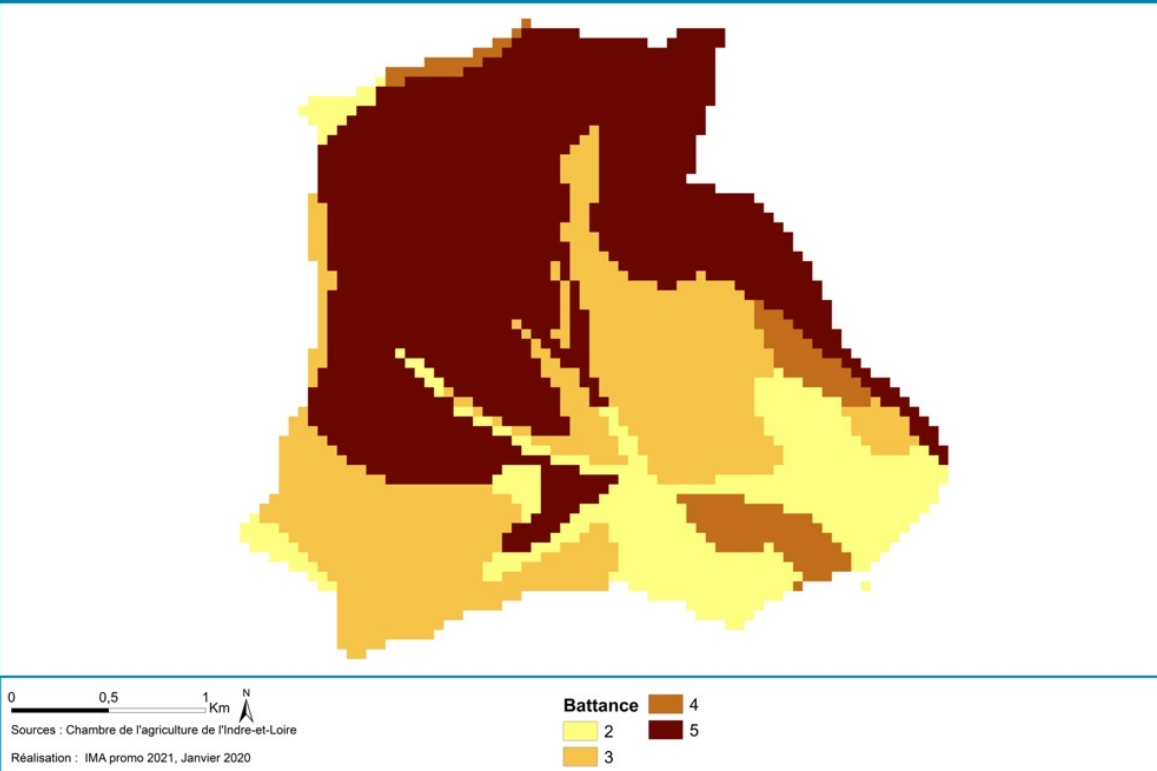


Figure 51: Carte battance

Erodibilité

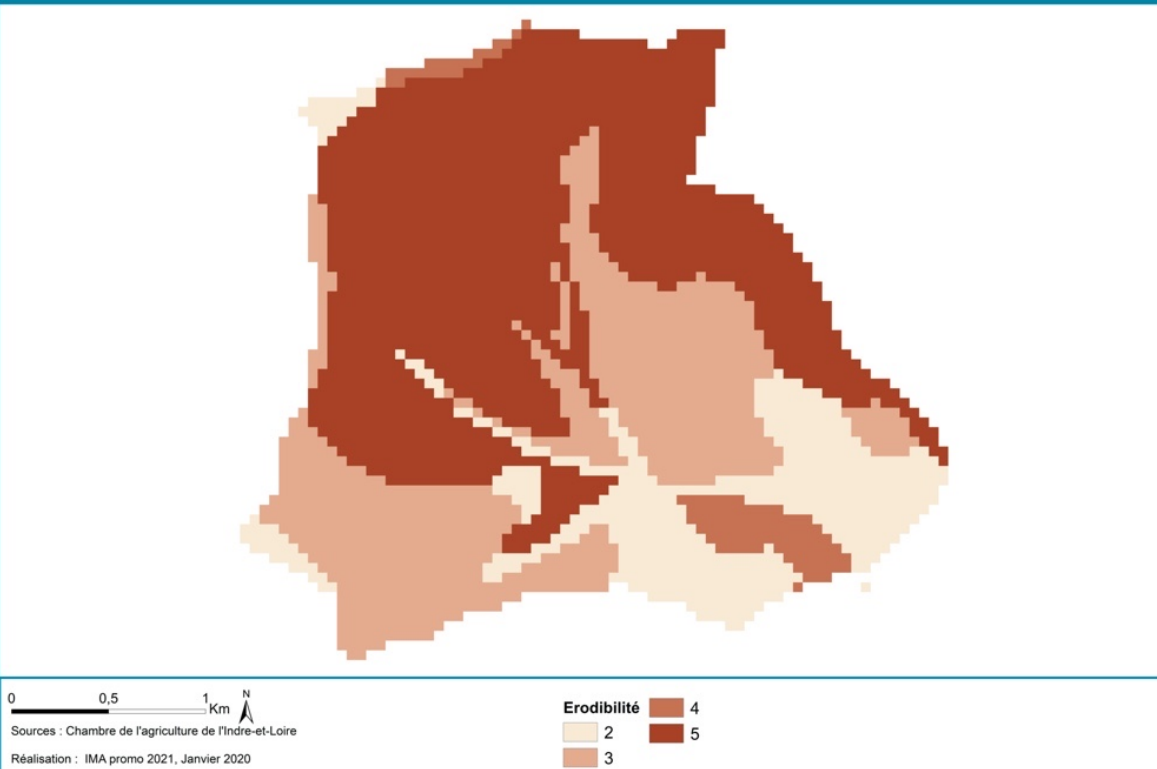


Figure 52: Carte erodibilité

A l'échelle du bassin-versant les cartes d'érodibilité et de battance/ruissellement (Figure 51) sont quasiment superposables.

Nous remarquons que les terrains en amont (au nord) du bassin-versant apparaissent potentiellement très vulnérables à l'aléa érosion du fait de la sensibilité élevée des sols à la battance/ruissellement et érodibilité (Figure 52). Cependant le nord du bassin-versant est occupé par une importante zone urbaine, caractéristique d'un sol imperméable, représentée par un important réseau routier. La sensibilité à l'érosion due aux paramètres pédologiques (érodibilité et battance) est donc surestimée dans cette zone.

La faible sensibilité à l'érodibilité et la battance en aval du bassin-versant (autour du cours d'eau) s'explique par la présence de forêts et de prairies.

5.4. LA TOPOGRAPHIE

La topographie du bassin-versant va impacter la sensibilité à l'érosion du sol qui influe sur le ruissellement des eaux superficielles. Ce ruissellement va dépendre du degré et de la longueur des pentes. Ainsi, deux paramètres sont pris en compte, la valeur des pentes et la surface de l'aire drainée.

5.4.1. LES PENTES

La couche des pentes a été réalisée à partir du modèle numérique de terrain (MNT) au pas de 5 mètres, c'est-à-dire avec une valeur d'altitude donnée tous les 5 m. Cependant, ces valeurs étaient données sans décimales ainsi, si la couche des pentes était réalisée à partir de ce MNT, des valeurs équivalentes à 0 % seraient fréquemment rencontrées alors que ce n'est pas possible. Pour pallier à ce problème, les isolignes (lignes connectant des points d'égale altitude) ont été réalisées sur le bassin à l'aide d'Arcmap et l'outil « Isoligne ». Avec ces isolignes, un nouvel MNT a été construit, avec cette fois-ci des valeurs comportant des décimales (outil « Topo vers Raster »). A partir de ce nouveau MNT, la couche des pentes a pu être modélisée à l'aide de l'outil « Pente » dans Arcmap. La couche obtenue avec la méthode des isolignes ne représente pas exactement la réalité mais est plus représentative que celle obtenue en utilisant le MNT sans décimales.

5.4.2. L'AIRE DRAINEE

L'aire drainée a été réalisée à l'aide du MNT avec des décimales et de la couche des pentes présentée précédemment. La direction des écoulements est modélisée à partir du MNT et l'outil « Direction de flux » sous Arcmap. A partir du sens des écoulements et de l'outil « Accumulation des flux », le logiciel calcule pour chaque cellule, le nombre de pixels qui se jettent dedans. Ainsi, une valeur de 0 est affichée au niveau des crêtes et la valeur maximale se situe au niveau de l'exutoire. Pour réaliser la carte de l'érosion des sols, l'aire drainée est divisée en 3 classes : inférieure à 1 hectare, entre 1 et 20 hectares et supérieur à 20 hectares. Sachant que notre couche est réalisée avec des pixels de 50x50 mètres soit 2500 m² (ou 0,25 hectare), le classement a été réalisé de la manière suivante :

- Inférieure à 3 pixels (ce qui signifie que 3 pixels sont pris en compte en incluant celui dans lequel l'aire drainée est calculée, soit inférieure à 0,75 hectares. La valeur 1 sera affichée ;
- Entre 4 et 79 pixels, soit entre 1 et 19,75 hectares. La valeur 2 sera affichée ;
- Supérieure à 79 pixels soit supérieure à 20 hectares. La valeur 3 sera affichée.

Néanmoins, un décalage est visible entre notre contour de bassin-versant et les valeurs obtenues pour l'aire drainée. En effet, le MNT utilisé pour la réalisation de cette couche est celui qui a été modifié pour obtenir des valeurs décimales (comme expliqué dans la partie a). Or ce MNT n'est pas celui utilisé pour la réalisation du contour du bassin-versant, expliquant ainsi le décalage. L'idéal aurait été de refaire le contour du bassin-versant avec ce nouveau MNT, mais l'ensemble des cartes avait déjà été réalisé avec le contour du bassin-versant de l'ancien MNT. Ainsi par soucis de temps, un décalage sera présent entre le contour du bassin-versant et l'aire drainée.

5.5. SENSIBILITE DU SOL A L'EROSION

5.5.1. CREATION DES CARTES DE SENSIBILITE DU SOL A L'EROSION

Une fois l'ensemble des couches pour la réalisation de la carte de sensibilité du sol à l'érosion créées, un model Builder rassemblant l'ensemble des données présentées précédemment a été conçu. Ce modèle a été inspiré de l'arbre décisionnel réalisé dans le rapport Mesales (Annexe VII : Arbre décisionnel pour le modelBuilder). Quatre cartes pour chaque saison ont ainsi pu être créées. Cinq classes ont été déterminées :

- Sensibilité très faible, correspond à des valeurs de 1 dans l'arbre décisionnel ;
- Sensibilité faible, correspond à des valeurs de 2 ;
- Sensibilité moyenne, correspond à des valeurs de 3 ;
- Sensibilité forte, correspond à des valeurs de 4 ;
- Sensibilité très forte, correspond à des valeurs de 5 ;
- Les zones urbanisées, auxquelles aucune valeur de sensibilité n'a été attribuée.

Ces différentes classes ont été choisies selon les valeurs maximales présentes sur notre bassin-versant. Des valeurs de 6 et 7 en sensibilité pouvaient être obtenues dans l'arbre décisionnel représentant ainsi des sensibilités encore plus fortes que celles présentées dans notre légende. Ces cas assez isolés sont présents pour des valeurs de pentes très importantes, ce qui n'est pas le cas ici.

5.5.2. DESCRIPTION DES CARTES

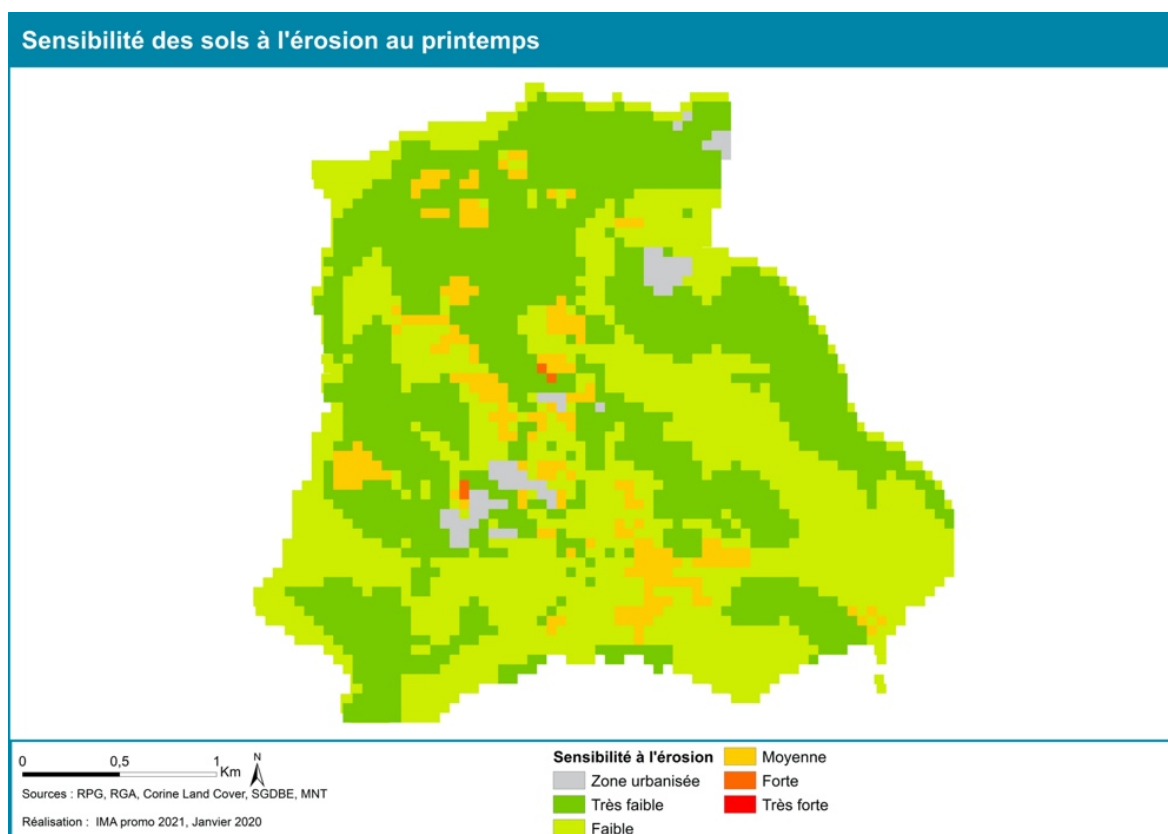


Figure 53: Carte sensibilité érosion printemps

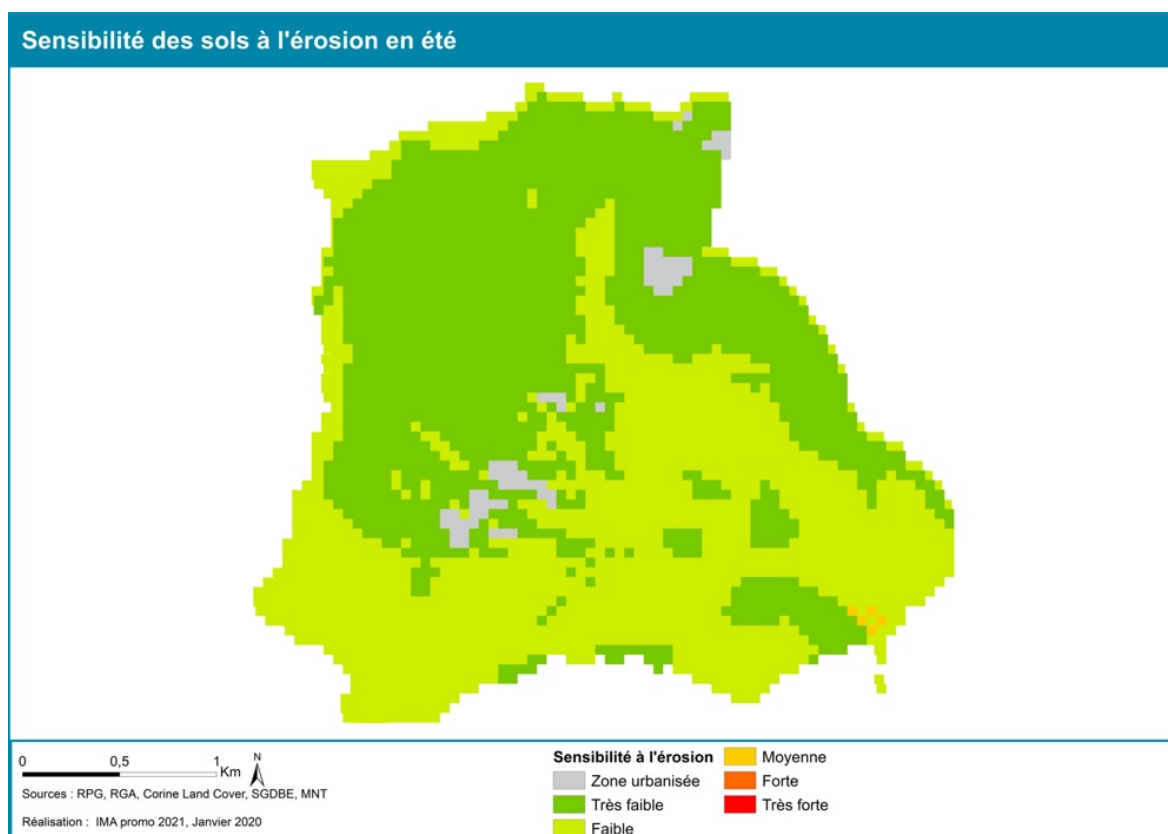


Figure 54: Carte sensibilité érosion été

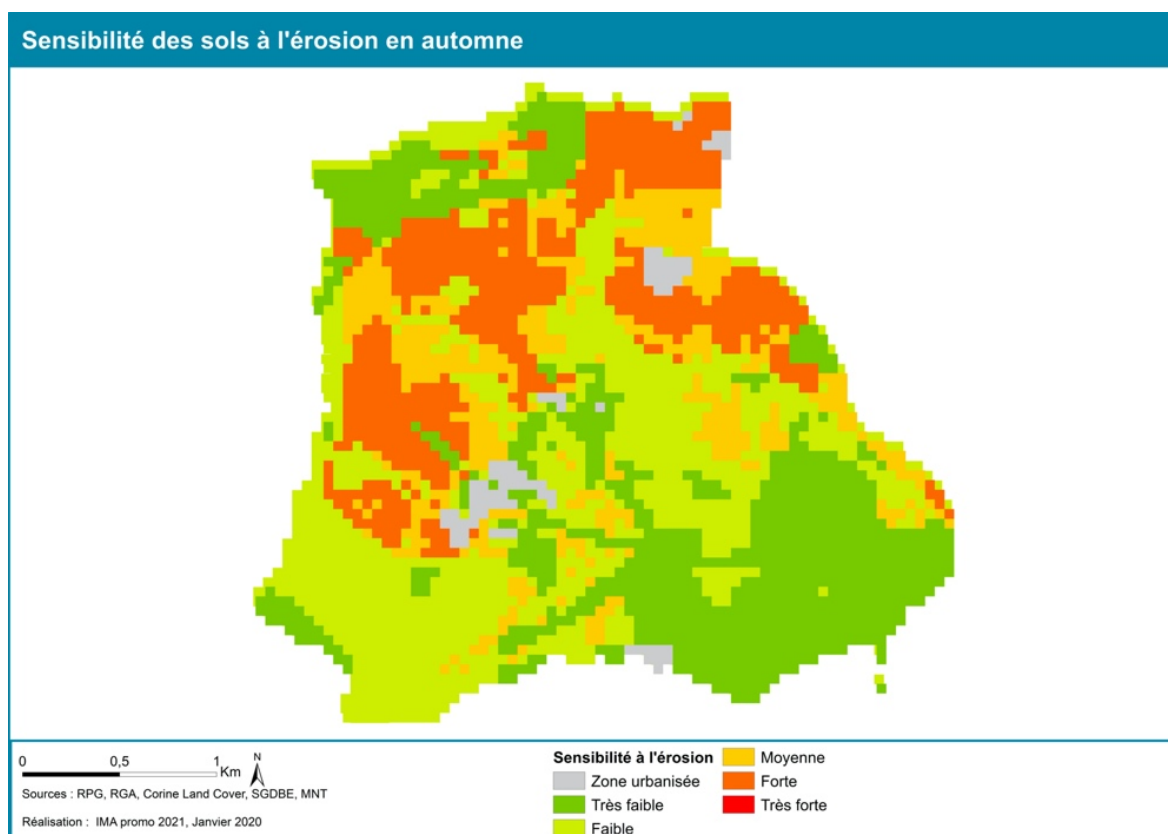


Figure 55: Carte sensibilité érosion automne

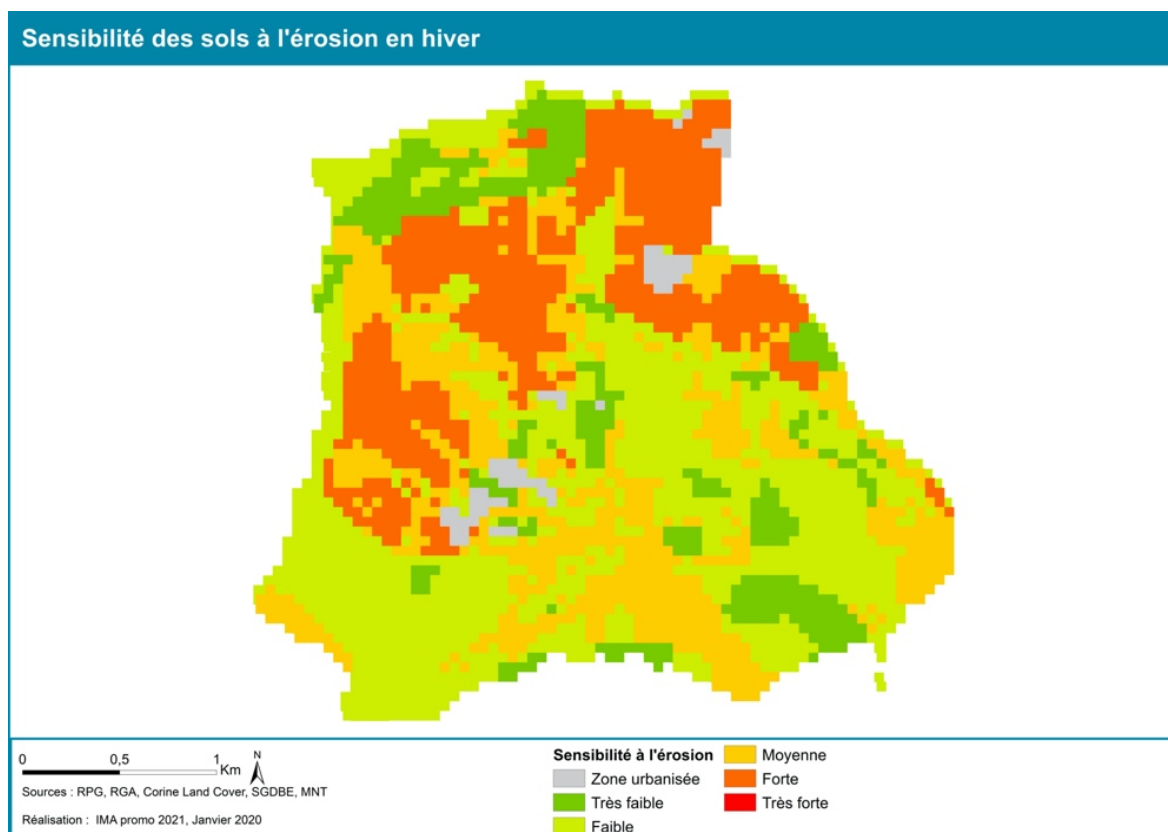


Figure 56: Carte sensibilité érosion hiver

La carte de la sensibilité des sols à l'érosion au printemps (Figure 53), dévoile une sensibilité très faible ou faible sur la majorité du bassin-versant. Quelques parcelles réparties assez aléatoirement présentent néanmoins une sensibilité moyenne.

En été (Figure 54), la carte ne présente que des valeurs de sensibilité à l'érosion faible ou très faible. Au Nord du bassin-versant, la sensibilité des sols à l'érosion est dominée par des valeurs très faibles. En comparaison avec la carte des pentes (Figure 23), cette surface correspond en effet à des valeurs de pente plus faibles qu'au Sud.

En automne (Figure 55), les classes de sensibilité sont plus hétérogènes. En effet, sur la partie Nord du bassin-versant, des sensibilités moyennes voire fortes sont apparues, dues notamment à l'occupation du sol qui à cette saison présente majoritairement des sols nus. Au Sud-Est, les valeurs varient peu avec les deux saisons présentées précédemment car les sols sont occupés par des forêts et des prairies végétalisées toute l'année. Ainsi, malgré les pentes plus importantes à cet endroit, les valeurs de sensibilité restent très faibles ou faibles de par la protection des sols par la végétation.

En hiver (Figure 56), l'allure de la carte est assez similaire à celle décrite pour l'automne. Néanmoins, au Sud, des différences sont présentes avec une augmentation des sensibilités à l'érosion moyennes, due notamment à l'augmentation de la surface en sol nu, seule la partie forêt et prairie conserve ses valeurs de sensibilité faibles.

La sensibilité à l'érosion des sols selon les saisons varie uniquement selon l'occupation des sols agricoles. En effet, les types de culture présents sur le bassin-versant impliquent une absence de couvert végétal en automne et en hiver. Les autres paramètres (pente, érodibilité et battance) ne varient pas au cours des saisons et ne peuvent ainsi pas participer à des modifications de la sensibilité des sols à l'érosion.

En vue des quatre cartes, il semblerait que le bassin-versant du Molubé soit sujet à des problèmes d'érosion, ce qui semble logique puisque l'agriculture est très présente sur ce bassin.

Cependant, la méthode utilisée dans le rapport Mesales a été conçue pour le bassin Loire Bretagne. Ainsi, l'utiliser sur un bassin-versant de taille très réduite tel que celui du Molubé peut être à remettre en question.

RÉSUMÉ DE LA PARTIE 5:

La représentation cartographique de la sensibilité des sols à l'érosion permet de montrer qu'une sensibilité non négligeable vis-à-vis de l'érosion est présente sur le bassin-versant du Molubé. Cette sensibilité relativement forte est notamment causée par la grande proportion de parcelles agricoles, qui engendrent un taux considérable de sols nus, ces derniers étant plus vulnérables à l'érosion. Il est néanmoins important de noter que les cultures intermédiaires n'ont pas été prises en compte, car non recensées, bien que celles-ci puissent diminuer la sensibilité des sols à l'érosion.

6. DIAGNOSTIC

6.1. ATOUTS ET CONTRAINTES, OPPORTUNITÉS ET MENACES

L'état des lieux et le diagnostic mené sur le bassin-versant permettent de classer les principaux résultats autour de quatre catégories : Atouts/Contraintes et Opportunités/Menaces

Tableau 28: Tableaux : atouts / contraintes, opportunités / menaces.

Atouts	– Petit cours d'eau – Sols fertiles donc gros potentiel agricole – Ruissellement faible – Zone peu urbanisée – Bonne faune
Contraintes	– Forte sensibilité à l'érosion – Qualité chimique de l'eau mauvaise – Sols hydromorphes – Présence de réseaux de drainage suspectée
Opportunités	– ZNIEFF de type 1 et EBC (Espace Boisé Classé)
Menaces	– Agriculture ultra dominante – Recalibrage du cours d'eau: incision – Présence d'une installation classée SEVESO – Station d'épuration individuelle (très présent)

Bien qu'il y ait un certain nombre d'atouts, la présence de problèmes tels que l'agriculture dominante sur le bassin-versant impacte fortement la qualité du cours d'eau avec la présence de réseaux de drainage et l'apport majeur d'intrants.

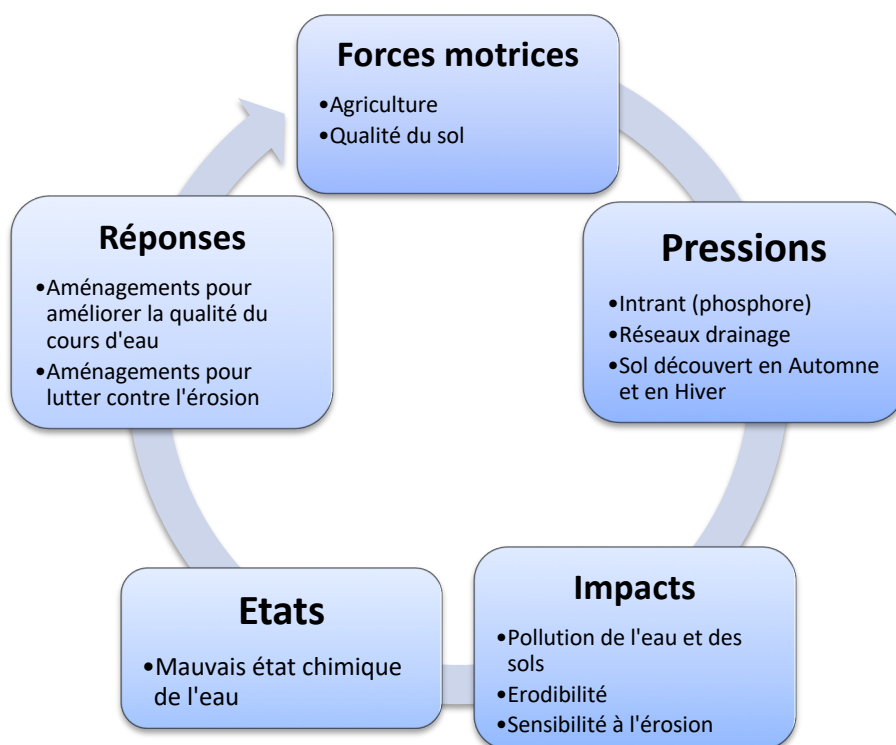


Figure 57: Diagramme DPSIR

Ce diagramme (Figure 57) permet d'identifier les principaux facteurs et paramètres qui conduisent le bon ou mauvais fonctionnement du bassin versant en organisant de manière connectée le diagnostic de celui-ci. Dans l'ordre hiérarchique on retrouve l'agriculture, en effet c'est la principale économie et occupation du sol du bassin versant. Ensuite la qualité des sols, car c'est les principaux paramètres qui vont définir les méthodes agricoles et la sensibilité à l'érodibilité et donc à l'érosion.

Les pratiques agricoles soumettent le cours d'eau à un important apport d'intrants (de type éléments phosphatés) et agissent sur le taux de couverture du sol, pouvant se traduire à l'échelle du bassin-versant par une altération de la qualité des sols et de l'eau et la perturbation des écosystèmes. Quant à la qualité des sols bien souvent hydromorphes sur le bassin-versant, elle peut engendrer l'utilisation de réseaux de drainage et influencer la battance et donc la sensibilité à l'érosion du bassin-versant.

Tous ces paramètres impactent l'état du cours d'eau qui se révèle être mauvais d'un point de vue chimique. Il est donc important de mettre en place des actions afin d'agir en amont sur ces paramètres majeurs afin d'améliorer la qualité des eaux et du sol du bassin-versant du Molubé.

DEUXIÈME PARTIE : ENJEUX, OBJECTIFS ET PRÉCONISATIONS

7. MESURES DE GESTION

7.1.1. ACTIONS DE SENSIBILISATION

Aujourd'hui, le Molubé, notamment du fait de sa taille, est très peu connu par la population environnante. Ce cours d'eau fait pourtant partie du paysage et il apporte de nombreuses richesses que ce soit écologique ou encore économique. Il pourrait être intéressant d'établir un lien entre ce dernier et les riverains des communes alentours. Cela permettrait de mieux le préserver et de sensibiliser la population. Dans ce but, deux types d'acteurs peuvent être concernés par des actions de sensibilisation.

7.1.2. SENSIBILISATION DES AGRICULTEURS

Les agriculteurs sont les principaux utilisateurs de ce cours d'eau. Cependant, du fait de leurs activités agricoles et de l'utilisation de produits phytosanitaires, ils sont aussi les premiers acteurs de la dégradation du cours d'eau. Paradoxalement, ce sont aussi les premiers impactés par la détérioration de ce cours d'eau. Il semble donc important de les sensibiliser notamment sur l'impact des pesticides, des fertilisants sur la qualité du cours d'eau mais aussi sur les conséquences d'un captage abusif en eau. La chambre d'Agriculture a mis en place en 2009 le plan Ecophyto 2018. Aujourd'hui remplacé par le plan Ecophyto 2, il a pour mission principale de réduire de 50% d'ici 2025 l'usage des produits phytosanitaires. Dans ce but, elle propose un accompagnement aux agriculteurs à travers des conseillers dispersés dans chaque région, un suivi sanitaire hebdomadaire des cultures, des formations de sensibilisation et d'informations et un budget en adéquation avec les objectifs. Encourager les différents agriculteurs à participer à ces réunions d'informations et à se renseigner sur les nouvelles méthodes auprès des conseillers peut permettre de développer une agriculture durable sur le territoire du Molubé.

7.1.3. SENSIBILISATION DES RIVERAINS / DE LA POPULATION

En plus des agriculteurs, sensibiliser les riverains à l'importance de ce cours d'eau et aux richesses écologiques qu'il apporte semble important. Un sentier de Grande Randonnée, le GR46 passe à proximité du Molubé comme vu précédemment dans ce rapport. La création d'un circuit reliant le cours d'eau au trajet de randonnée permettrait de développer ce lien entre la population et le Molubé. Ce projet pourrait être créé en relation avec les communes traversées, les techniciens du SAVI et les propriétaires des parcelles traversées. En plus de ce sentier, des panneaux d'informations sur la faune et la flore environnante ou encore sur l'histoire de ce cours d'eau viendraient enrichir le parcours.

Dans ce but nous proposons 3 circuits comme visible sur la carte ci-dessous (Fig.58). Ils présentent chacun une distance différente avec des points forts et des points faibles.

Proposition d'itinéraires

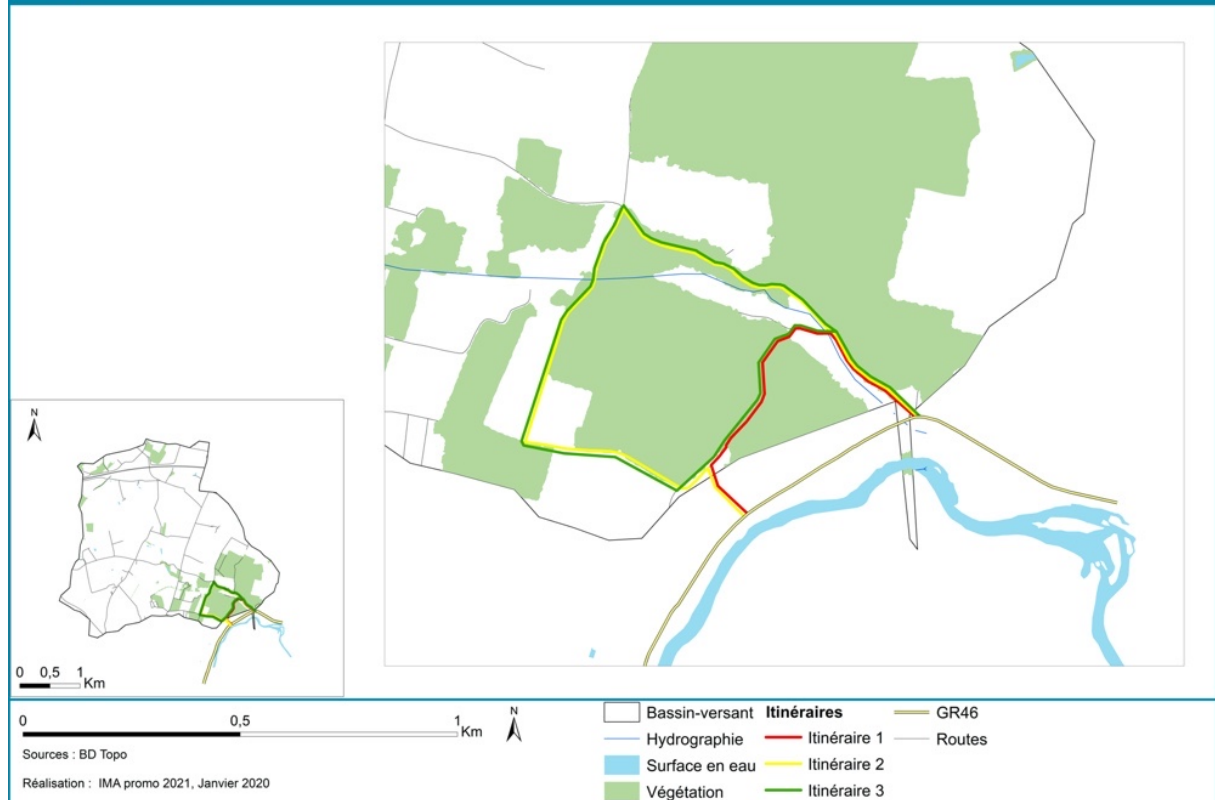


Figure 58: Carte itinéraire

Tableau 29: Avantages et inconvénients des 3 itinéraires

Itinéraires	Itinéraire 1	Itinéraire 2	Itinéraire 3
Distance (m)	880,68	2000	2670
+	Diversité des paysages	Diversité des paysages	Diversité des paysages
	Traverse peu de propriétés privées	Longueur	Longueur
-	Court	Traverse de nombreuses propriétés privées	Traverse de nombreuses propriétés privées
	Longe très peu le Molubé	Pente très élevée en fin de sentier	Boucle
	Pente très élevée en fin de sentier	Fin de sentier classé EBC	
	Fin de sentier classé EBC		

	Portion du sentier à créer	Portion du sentier à créer
--	----------------------------	----------------------------

Comme nous pouvons le voir, chaque circuit a ses avantages et ses inconvénients. Les 3 sont intéressants et permettent de développer ce lien entre la population et le Molubé tout en valorisant le site. Les 3 sentiers s'appuient sur des chemins déjà référencés par la carte IGN. Cependant les itinéraires 1 et 2 prévoient aussi la création de nouveaux sentiers. En plus de cela, Ils traversent une zone considérée comme EBC (Espace Boisé Classé), ces espaces sont protégés, il est cependant possible d'avoir des autorisations pour y faire des aménagements à condition que ces derniers rentrent dans le cadre de la gestion forestière. Concernant la problématique du fort dénivelé présent sur la portion finale du sentier toujours pour l'itinéraire 1 et 2, de nombreuses solutions sont envisageables. Ainsi le choix et le type d'ouvrage de franchissement utilisé dépendra de nombreux facteurs tels l'intensité de la pente, les matériaux présents sur le lieu, le degré de confort souhaité, la cohérence avec le milieu ... Dans notre cas, la pente est assez importante, on penchera donc vers l'emmarchement qui consiste en une succession continue de marches. La marche est une surface plane sur laquelle on pose le pied en franchissant en un pas la dénivellation séparant deux plans de sentier. Sa hauteur ne doit pas excéder 25 cm. De plus, nous nous situons dans un secteur boisé, la pierre y est absente. Nous allons donc opter pour un emmarchement de type bois. Concernant les passages au niveau de propriétés privées, il faudra se mettre d'accord avec les propriétaires en leur expliquant le projet et en leur proposant une solution compensatoire.

Les photos ci-dessous illustrent le type d'infrastructures souhaité et pouvant convenir à notre site d'étude.

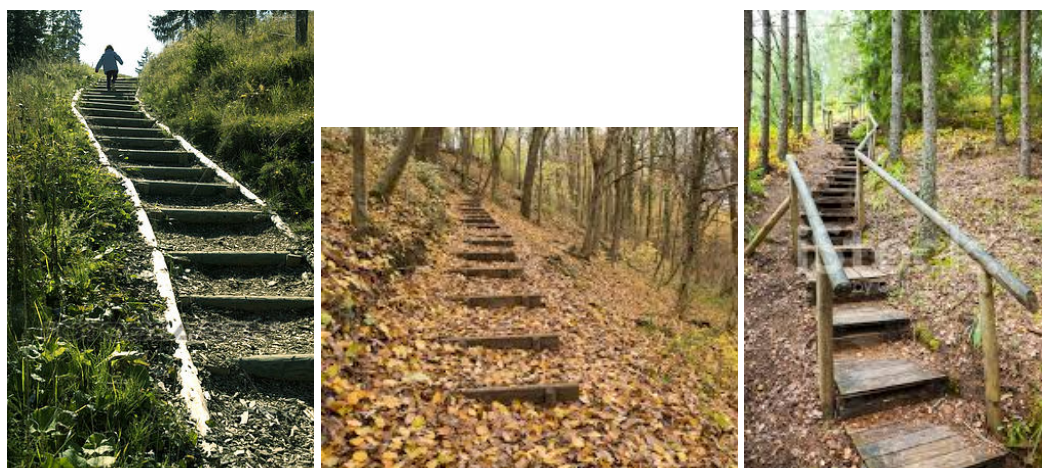


Figure 59: Type d'infrastructures souhaité

D'un point de vue budgétaire, il faut compter pour environ 300€ le m². Nous avons une surface d'environ 100m² soit 30 000€. Un autre point à prendre en compte est la pérennité, dans ce cas-ci, il faudra vérifier l'infrastructure tous les ans et en vérifier sa solidité. (Parc national du Mercantour)

Le long de ce sentier, nous nous proposons aussi de mettre en place deux panneaux pédagogiques. Le premier informera les riverains et les promeneurs sur l'histoire du Molubé, le second sur la faune et la flore du site. Sachant qu'un panneau coûte aux alentours de 300 €, cette action reviendrait à 600€. Il y aura aussi l'installation de bancs et de tables de pique-niques, le premier coûte 350 € et le second 500 €.

Le tableau suivant récapitule les coûts financiers des 3 itinéraires :

Tableau 30: Estimation du coût des revenus des aménagements par circuit

Itinéraires	itinéraire 1	itinéraire 2	itinéraire 3
Distance (m)	880,68	2000	2670
Création d'un ouvrage de franchissement de dénivellation 	30 000 €	30 000 €	0 €
Panneaux pédagogiques 	300 € → 1 panneau 2 panneaux sur tout le circuit 600 €	300 € → 1 panneau 2 panneaux sur tout le circuit 600 €	300 € → 1 panneau 2 panneaux sur tout le circuit 600 €
Bancs + tables de pique-nique 	350 € → 1 banc 500 € → 1 table 2 bancs sur tout le circuit 700 €	350 € → 1 banc 500 € → 1 table 4 bancs + 2 tables sur tout le circuit 2 400 €	350 € → 1 banc 500 € → 1 table 4 bancs + 2 tables sur tout le circuit 2 400 €
Coûts	31 300 €	33 000 €	3 000 €

Des coûts réguliers d'entretien pourront se rajouter à ces coûts précédemment calculés.

8. MESURES D'AMÉNAGEMENT DE L'ESPACE

8.1. MISE EN PLACE DE ZONES TAMPONS A L'AMONT : AGIR SUR LA QUALITE CHIMIQUE EN AMONT

Pour limiter le transfert vers le cours d'eau des intrants agricoles nous proposons de mettre en place des zones tampons (ZT). La nature des ZT doit être réfléchi selon le type de ruissellement et le type de pollution.

Suite au diagnostic du secteur du Molubé, la partie amont du cours d'eau situé en zone agricole semble montrer une pollution au phosphore sur des parcelles en pente faible. Le phosphore ne présente pas une toxicité grave mais c'est le principal facteur d'eutrophisation des habitats aquatiques. Souvent lié aux matières en suspension (MES), le phosphore particulaire arrive dans les cours d'eau par ruissellement érosif lors des événements de pluie.

Selon la grille de lecture opérationnelle proposée par l'OFB et l'INRAE (Figure 60), la ZT la plus adaptée serait donc de type haie ou bande enherbée. (Agence française pour la biodiversité, Catalogne et Le Hénaff, 2017)

	Ruissellement diffus	Ruissellement concentré	Drainage (et fossés collecteurs)	Écoulements de sub-surface	Infiltration diffuse vers les nappes
Nitrate	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable	Zones tampons préconisées [→ § 2.2.2.b]	Zones tampons préconisées [→ § 2.2.2.a]	Zones tampons inadaptées
Matières en suspension	Zones tampons préconisées [→ § 2.3.2.a]	Zones tampons préconisées [→ § 2.3.2.b]	Zones tampons préconisées (non documenté) [→ § 2.3.2.c]	Nul ou négligeable	Nul ou négligeable
Matière organique (azote organique)					
Contaminants adsorbés (phosphore particulaire, pesticides adsorbés)					
Pesticides en solution	Zones tampons préconisées [→ § 2.4.2.a]	Zones tampons préconisées [→ § 2.4.2.b]	Zones tampons préconisées [→ § 2.4.2.c]	Zones tampons peu adaptées	Zones tampons inadaptées

→ Transferts par ruissellement érosif diffus (érosion en nappe)

Charge en sédiment	Faible	Moyenne à forte
Type de zone tampon préconisé	Bandes enherbées	Haies denses
Positionnement	En versant, implantées perpendiculairement à la pente	
Mode d'action	Diminution des vitesses d'écoulement et de la lame d'eau (infiltration)	
Ordre de grandeur d'efficacité	Abattements variant de 40 à 100 % pour des largeurs allant de 1 à 300 m et des pentes allant de 0,1 à 16 % [d'après Corpen, 2007a, voir l'annexe III pour plus de détails]	Abattements variant de 74 à 99 % [d'après les résultats expérimentaux obtenus par Ouvry et al. (2012), voir l'annexe IV pour plus de détails]
Suggestion de référence(s)	Corpen (2007), Ouvry et al. (2010)	Dabney et al. (1995), Ouvry et al. (2012)
Quelques précisions utiles	En plus de leur rôle de rétention des sédiments, l'étagement de ces dispositifs dans le versant permettra de réguler la vitesse de l'écoulement et réduira les risques d'incision en aval tandis que leur capacité d'infiltration, relativement importante et stable dans le temps par rapport aux zones en culture (de l'ordre de 50 à 100 mm/h), permettra de diminuer les volumes de ruissellement à l'échelle du bassin versant	

Figure 60: Extrait du Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole (source OFB)

L'efficacité d'une bande enherbée se mesure en fonction de sa largeur pour laisser suffisamment d'espace physique entre le cours d'eau et la parcelle agricole et pour favoriser le processus de dégradation dans le sol (Figure 61 et Tableau 31). D'où l'importance du dimensionnement des bandes. (Agence française pour la biodiversité et al., 2018)

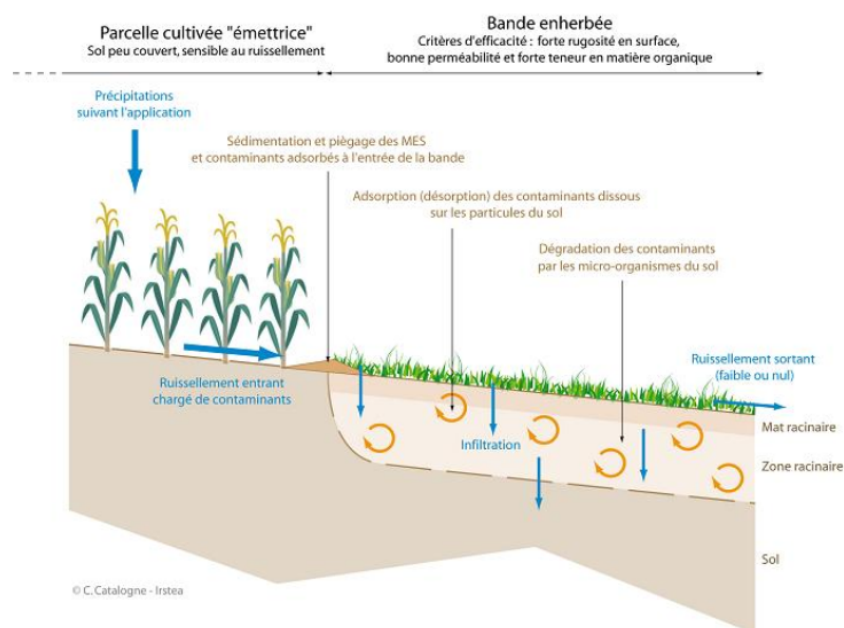


Figure 61: Principe des bandes enherbées - INRAE

Tableau 31: Efficacité des ZT lors de transferts par ruissellement diffus - INREA, ONEMA, Association des rivières Rhône Alpes

Charge en sédiment	Faible	Moyenne à forte
Type de zone tampon préconisé	Bandes enherbées	Haies denses
Positionnement	En versant, implantées selon les courbes de niveau	
Mode d'action	Diminution des vitesses d'écoulement de la lame d'eau (infiltration)	
Ordre de grandeur d'efficacité	Abattements variant de 40 à 100 % pour des largeurs allant de 1 à 300 m et des pentes allant de 0,1 à 16 %	Abattements variant de 74 à 99 %

(LE HÉNAFF et CATALOGNE, 2017)

8.1.1. ASPECT REGLEMENTAIRE/LEGISLATIF

La PAC demande aux agriculteurs depuis 2005 de respecter les « Bonnes Pratiques Agricoles et Environnementales (BCAE) » (DDT d'Indre-et-Loire, 2016), qui consiste à planter une bande enherbée de 5 m de largeur minimum le long des cours d'eau. Ces cours d'eau sont recensés dans une carte BCAE (Figure 63) sur le site de la maison des agriculteurs d'Indre et Loire.

Si l'on regarde dans un second temps la carte des ZNTP (zones de non-traitement phytosanitaire) Figure 64, les segments de cours d'eau colorés en bleu n'ont « *pas l'obligation d'une bande enherbée ou d'une bande végétalisée comme pour la carte BCAE* » (maison des agriculteurs du 37). Or on constate que les segments du Molubé qui ne sont pas soumis à un enherbement ne sont pas référencés dans le BCAE.



Figure 62: Bande enherbée réglementaire en bord de cours d'eau - OFB, INRAE

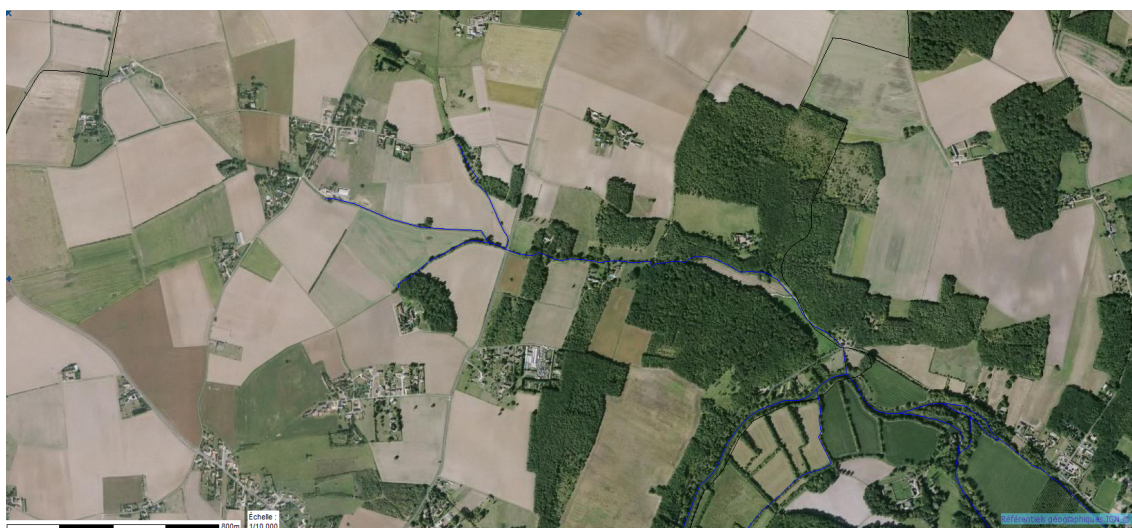


Figure 63: Carte du Molubé au titre des BCAE

(DDT d'Indre-et-Loire, 2016)

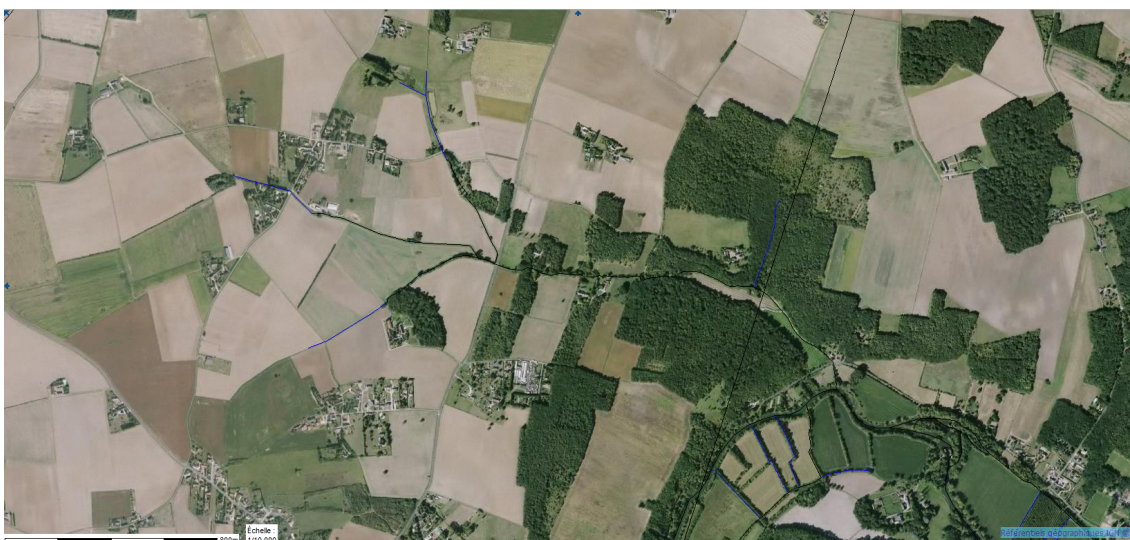


Figure 64: Carte du Molubé au titre des ZNTP

(DDT d'Indre-et-Loire, 2017)

8.1.2. LA LOCALISATION DES ZONES TAMPONS

L'étude bilan du contrat de l'Indre médian 2014-2018 effectué par le RIVE (Annexe VIII : Etude bilan du contrat de l'Indre médian 2014-2018) nous permet d'orienter nos choix pour l'emplacement des bandes autour du cours d'eau. D'après le diagnostic provisoire sur le Molubé, le RIVE constate que deux tronçons se situent au sein de cultures ayant déjà des bandes enherbées (à 75 % pour le tronçon 02 ci-dessous à gauche ; et 100 % pour le tronçon 04 ci-dessous à droite). Cependant au vu des données chimiques sur le phosphore, il semble que les bandes ne semblent pas ou peu jouer leur rôle.

Il semble intéressant de se concentrer sur ces zones pour améliorer leur capacité de rétention étant donné que plus en amont de ces tronçons, la réglementation n'oblige pas l'enherbement ou l'entretien du fossé.

Il peut être aussi envisagé de cibler les parcelles plus en amont pour renforcer l'effet des bandes réglementaires déjà mises en place. Étant donné que ces zones ne sont pas soumises à réglementation, il sera nécessaire de mettre en place des contrats avec les propriétaires des parcelles concernées pour la mise en place des ZT ou bien proposer d'augmenter la largeur des bandes existantes (Figure 65).

Localisation des zones d'enherbement

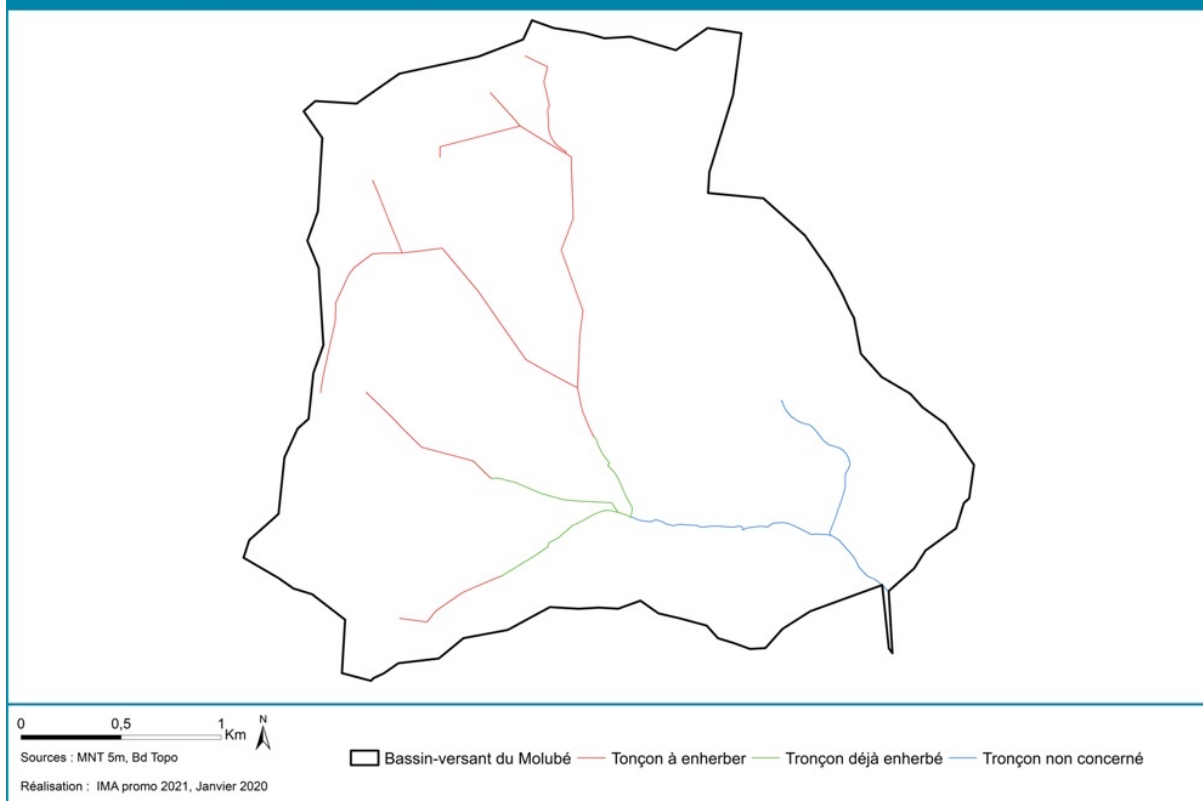


Figure 65: Carte secteurs Molubé enherbés et non enherbés

8.1.3. DIMENSIONNEMENT DES BANDES

Concernant le phosphore particulaire, le Comité d’Orientation pour des Pratiques agricoles respectueuses de l’Environnement (CORPEN), préconise des bandes 5 à 12 m de largeur pour être suffisamment efficace dans l’interception des écoulements.

Récemment (février 2018), un outil en ligne mis à disposition par l’INRAE, l’outil BUVARD (BUffer strip runoff Attenuation and pesticide Retention Design tool) permet de dimensionner précisément la largeur d’une bande tampon en fonction des caractéristiques pédologiques, topographiques et hydrologiques de la zone. L’outil est utilisé pour limiter le transfert des pesticides. Dans notre cas, nous l’utilisons pour dimensionner des bandes enherbées et limiter ainsi le transfert de phosphore particulaire via les MES.

BUVARD se base principalement sur la quantification du ruissellement sur les parcelles agricoles lors d’événements de pluie, et la capacité d’infiltration du sol. La méthode d’utilisation de l’outil est mise en Annexe IX : Méthode d’utilisation de l’outil BUVARD online.

Ainsi trois parcelles (9, 22 et 29) ont été choisies pour évaluer l’efficacité des 5 m de bande réglementaire et trois parcelles non enherbées ont été choisies pour évaluer une largeur adaptée (Figure 66). (IGN, 2019)

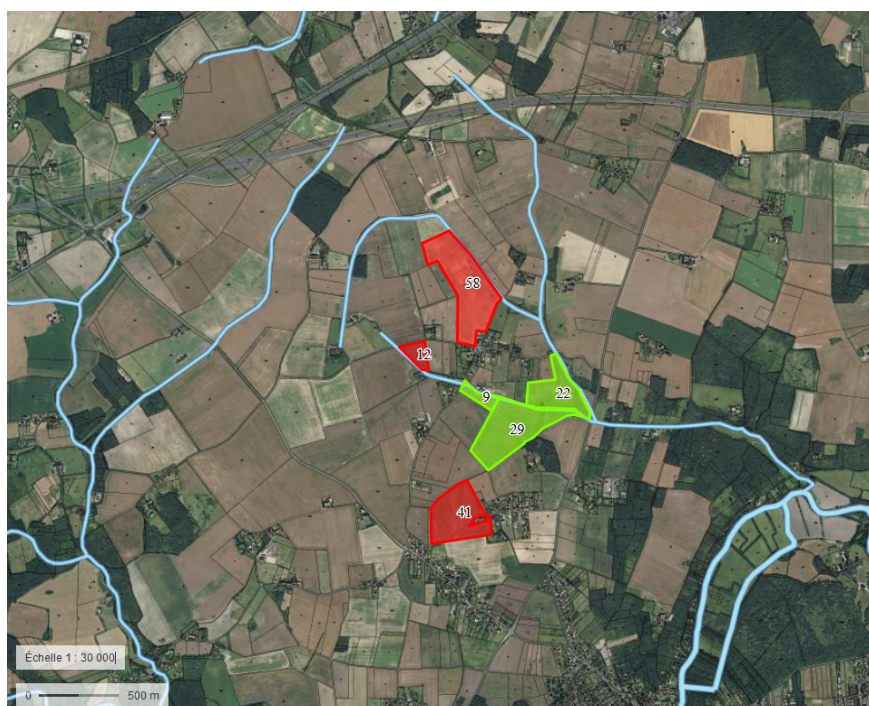


Figure 66: Parcelles agricoles utilisées pour l'outil BUVARD

Les résultats bruts sont mis dans l'Annexe X : Résultats de l'outil BUVARD

L'utilisation de l'outil nous donne des résultats de dimensionnement ou de redimensionnement pour 100 % d'efficacité (Tableau 32). Il apparaît que pour une efficacité maximale, les largeurs proposées sont largement supérieures aux 5 m réglementaires.

Tableau 32: Dimensionnement de l'enherbement

N° parcelle	Enherbement réglementaire (5 m)	Efficacité de l'enherbement en % (conditions humides)	Nouvelle largeur (avec 100 % d'efficacité) en m
22	oui	76	>30
29	oui	12	>30
9	oui	79	25
12	non		25
58	non		20
41	non		>30

8.1.4. LIMITES DES BANDES ENHERBEES

Nous rencontrons plusieurs limites avec le système de bandes enherbées.

Pour obtenir un résultat de 100% d'efficacité avec les bandes enherbées, il faudrait que l'agriculteur dédie minimum 20m de sa parcelle agricole. Or il n'est pas certain qu'un agriculteur voudra dédier autant de mètres, il verra cela plus comme un malus. Il sera alors très difficile d'obtenir une efficacité de 100% et nous devons nous rabattre sur une efficacité moindre conclue selon la bonne volonté de chaque agriculteur.

Nous avons constaté que bien qu'il y ait la présence de bandes enherbées sur les parcelles dont l'implantation de celle-ci était obligatoire, la concentration de phosphore était élevée. La zone tampon n'effectue donc pas pleinement son rôle. Nous avons par ailleurs observé sur une des parcelles agricoles une sortie d'un drain. Nous n'avons pas pu observer sur toutes les parcelles s'il y avait du drainage et ces informations ne sont d'ailleurs pas recensées. Nous pouvons néanmoins faire l'hypothèse que les agriculteurs ont pour la plupart d'entre eux, des parcelles drainées. Cela peut alors expliquer pourquoi bien qu'il y ait des bandes enherbées, nous nous retrouvons avec un taux de phosphore élevé dans le cours d'eau. En effet les bandes enherbées sont beaucoup moins efficaces avec un système de drainage en parallèle. L'ensemble des eaux ruisselant tous vers le même exutoire, la purification naturelle n'a alors pas le temps d'être efficace. Pour réellement avoir un impact sur la concentration en phosphore, il serait alors plus approprié de créer des zones humides artificielles pour chaque parcelle drainée. La zone humide pourra ainsi recueillir les eaux sortant des drains et son rôle de purificateur sera beaucoup plus efficace que les bandes enherbées.

Nous ne pouvons pas placer sur la carte exactement où seront les zones humides car nous ne possédons pas toutes les informations quant à l'emplacement exact des drainages de chaque parcelle agricole.

De plus, il faut ajouter pour que pour obtenir une bonne efficacité des zones tampons, les agriculteurs doivent utiliser les intrants en respectant scrupuleusement les doses légales et maximum à utiliser. Sans cela l'efficacité attendue ne sera pas atteinte.

Enfin, il faut aussi prendre en compte que les engins agricoles ont cette capacité de tasser les sols et donc de diminuer l'efficacité des bandes. Les sols tassés sont alors moins perméables, une croûte de battance va être créée. L'eau aura tendance à ruisseler au lieu de s'infiltrer amenant avec elle tous les polluants sur son passage.

8.2. AMELIORER LA PHYSIQUE DU COURS D'EAU

Si l'on se base toujours sur le rapport provisoire du Molubé du RIVE, la qualité morphologique apparaît comme étant « très mauvais ». En effet, le Molubé semble avoir été recalibré et rectifié sur la quasi-totalité de son tracé. En plus de cela, comme expliqué précédemment, le cours d'eau possède un nombre important d'obstacles à l'écoulement.

Ainsi, pour lutter contre l'incision du lit et améliorer l'aspect fossé du cours d'eau nous proposons l'arasement de certains ouvrages et le remplacement des buses routières ainsi que le reméandrage de la partie aval.

8.2.1. ARASEMENT DES OBSTACLES A L'ÉCOULEMENT

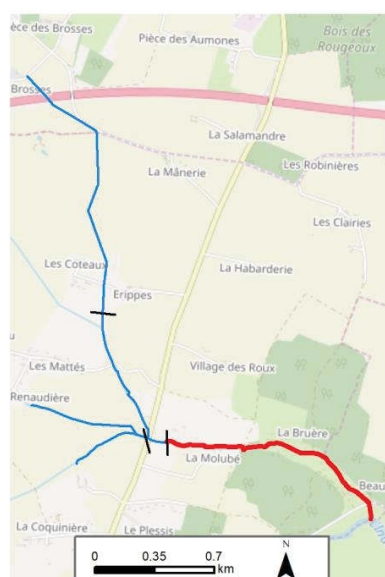


Figure 67: Tronçon du Molubé possédant le plus de seuils (RIVE)

Nous savons d'après les indications de la SAVI et à l'aide du rapport provisoire de la RIVE que le Molubé contient plus d'une vingtaine d'ouvrages. La plupart sont infranchissables et sont répartis au même endroit, sur le tronçon du cours d'eau regroupant les habitations. Du fait de ces nombreux obstacles, les écoulements sont lents voir stagnants.

Les ouvrages que nous pensons important de supprimer sont ceux situés sur le tronçon près des habitations dont une partie du cours d'eau se trouve dans la partie forestière. En effet à cet endroit précis il y a 19 obstacles à l'écoulement dont 16 sont infranchissables dont la présence d'un barrage avec une hauteur de plus d'1,50 m. Ces ouvrages ont un impact significatif sur la morphologie du cours d'eau mais aussi sur le débit et la continuité sédimentaire de celui-ci.

Nous n'avons pas pu avoir accès à cette partie du cours d'eau étant donné qu'il se trouve sur des propriétés privées. De ce fait nous ne pouvons pas évaluer les coûts que cela engendrera.

8.2.2. REMPLACEMENT DES BUSES ROUTIERES

Comme décrit dans la partie précédente, un nombre important d'obstacles à l'écoulement constitue des barrières écologiques pour une grande partie de la faune et de la flore ainsi que pour la continuité sédimentaire. Un type d'obstacle, les buses de routes, constituent un problème considérable au niveau de l'hydraulique, de la dynamique et de l'écologie du cours d'eau (cf. Fig.68). Ce sont des constructions en béton qui permettent le passage des cours d'eau sous des routes ou chemins de tout ordre. En ignorant les problèmes de la faune aquatique que posent ces tuyaux, l'écoulement à travers une buse pose peu de problèmes durant un débit normal voire à l'étiage. Cependant cette situation change nettement durant une crue. En fait, on passe d'un écoulement libre à un écoulement en charge. La section mouillée du cours d'eau est réduite, ce qui entraîne une augmentation de la vitesse de débit. Celle-ci est avantagée par la surface lisse des tuyaux, soit une diminution de la force de frottement. La vitesse d'écoulement augmente du fait de la pente causée par la présence des tuyaux. Il en découle une libération de l'énergie à la sortie du tuyau. On passe d'un écoulement laminaire à un écoulement turbulent après la rupture, ce qui se traduit par une mise en mouvement et un transport des sédiments directement à la sortie du tuyau. La turbulence y crée une mouille de plus en plus profonde, créant une cascade devenant ainsi un obstacle infranchissable pour la faune.

Dans le bassin-versant du Molubé on peut retrouver trois tronçons du cours d'eau qui sont dérivés à l'aide des buses routières : le passage de la départementale « Route de Ballan Mire », le passage du cours d'eau entre Éripes et Les Coteaux et le passage de la « Rue de la fontaine sainte » près du hameau « La Cave » (Figure 68 et Carte d'obstacles Figure 6). La traversée de

la départementale n'est pas considérée dans ces aménagements, car ce type d'aménagement se fait plutôt pour des routes ou des chemins peu à moyennement fréquentés.



Figure 68: Buse de route passage de la « Rue de la fontaine sainte » près du hameau « La Cave »

(Google Maps)



Figure 69: Érosion du lit d'un cours d'eau quelconque due à la dérive d'un courant d'eau à l'aide d'une buse routière. (THEISEN, 2019)

Ceci cause des problèmes hydrologiques et d'érosion : le cours d'eau est resserré et concentre les écoulements ce qui entraîne l'incision du lit de la rivière dans la partie aval de la construction. En plus, en cas de crues (très) fortes, ces constructions constituent un bouchon à l'écoulement de l'eau dans la partie aval. Une fois rempli au maximum, le courant qui sort du tuyau développe une force érodable qui est très importantes (Figure 69). (Theisen, 2017)

En termes d'écologie, les buses constituent un problème de continuité. La pénurie de lumière, l'absence de berges qui pourraient être peuplées de végétation et la vitesse élevée du courant empêchent la continuité écologique du cours d'eau. La flore associée au biotope dans les alentours des buses ne peut pas s'y installer. Cette absence de végétation empêche la migration de la faune, dont une grande partie n'entre pas dans les tuyaux à béton non végétalisés.

Un moyen possible pour lutter contre cette forme d'obstacle à la continuité du cours d'eau est l'échange des buses routières contre des ponts. Cette solution est adaptée à la traversée d'un ruisseau jusqu'à un lit de rivière d'une largeur maximale de 3,5 m. Le pont lui-même est constitué de quatre éléments préfabriqués en béton, deux pour les têtes de pont et deux pour la table de pont. Un caillebotis en bois est inséré entre les éléments de la table de bridge. Cela a deux raisons, premièrement le poids des éléments en béton n'est pas augmenté inutilement

et deuxièmement l'obscurcissement du lit du cours d'eau est moindre. Lors de la traversée de petits cours d'eau, les têtes de pont (hauteur 1 m) peuvent être remplacées par des éléments plats (0,25 m). Le coût d'un pont comparable en béton s'élève à environ 12 000 - 15 000 €. (Theisen, 2017)

L'ouverture doit être assez grande pour que la lumière puisse entrer, que les végétaux se développent et que les animaux migrent de nouveau (Figure 70). En plus, le cours d'eau pourrait se développer plus librement et "chercher" son chemin, ce que lui redonnerait une certaine dynamique naturelle, puisqu'il ne sera plus "coincé" entre des vannes de béton. Cette ouverture du passage enlèvera aussi l'obstacle de bouchon en temps de crue.



Figure 70: Possibilité d'aménagement des ponts en question. (1: Pont en béton adapté à des charges lourdes comme les machines agricoles, 2: En phase de crue du cours d'eau, 3: en état fini, ce type de pont s'intègre bien à la nature) Ces exemples sont constitués plutôt pour des chemins peu fréquentés tels que des chemins forestiers/ agricoles. (ANF luxembourgeoise: 2017)

Bien que cet aménagement possède beaucoup d'avantages, il faut quand même dire qu'il est lié à quelques désavantages. D'abord, il est fort probable que la vitesse du courant diminue sur la partie aval du cours d'eau puisqu'il sera élargi dans le tronçon du pont. Qui dit élargissement, dit hauteur d'eau moins importante ce qui fait que les forces de frottements augmentent et la vitesse du courant diminue. En conséquence, il est probable que les seuils naturels constituent une sorte de barrage en temps de basses eaux et qu'il faudrait peut-être les enlever ou les abaisser.

Un autre problème lié à l'élargissement est une érosion régressive qui se développerait dans la partie amont, la diminution de la vitesse engendrerait un dépôt de sédiments sur le tronçon alors élargi.

Le développement du dépôt et de l'érosion fait partie de la dynamique naturelle d'un cours d'eau, il faudrait alors décider quels sont les objectifs principaux d'une renaturation et d'une redynamisation du cours d'eau. La modification des buses routières et la construction des nouveaux ponts constituerait une plus-value pour l'écologie du bassin-versant du Molubé.

8.2.3. REMEANDRAGE DE LA PARTIE AVAL

Le tracé du Molubé a largement été recalibré ces dernières décennies et notamment en sa partie aval. Les conséquences sont nombreuses, il s'incise toujours plus, les berges sont peu fonctionnelles d'un point de vue biologique mais aussi morphologique. Le reméandrage consiste à remettre le cours d'eau dans ses anciens méandres ou à en créer de nouveau tout

en respectant les lois morphologiques connues. Ses intérêts sont nombreux, ils sont à la fois paysagers mais aussi écologiques.

Dans notre cas du Molubé, réaliser un reméandrage de sa partie aval pourrait redonner de la dynamique au cours d'eau et le faire évoluer d'un point de vue paysager. Il ne pourra se réaliser que sur sa rive droite du fait du manque de place en sa rive gauche et de la présence d'un coteau rocheux. Pour ce faire la seule solution est donc de prendre du terrain sur la peupleraie. L'objectif premier était de reprendre le tracé original du Molubé mais le recalibrage du cours d'eau a eu lieu avant les cartes les plus anciennes que nous avons réussi à obtenir. Nous nous proposons alors de redessiner le Molubé sur ces 250 derniers mètres. Figure 71 ci-dessous illustre la portion du cours d'eau à méandrer.



Figure 71: Portion du cours d'eau à méandrer

Comme nous pouvons le voir sur la photo aérienne, deux légères courbes sont déjà visibles. Le but va alors être de les amplifier pour augmenter le coefficient de sinuosité du Molubé. Par la suite, l'évolution du cours d'eau se fera naturellement grâce au processus de dépôt et d'érosion notamment qui auront été remis en place du fait de ce reméandrage. (Adam, Debiais et Malavoi, 2007)

Pour mettre en place des méandres dans notre cours d'eau, plusieurs méthodes existent. Parmi elles, une, utilisant le génie végétal et c'est cela que nous proposons de réaliser. Cela consiste dans un premier temps à creuser le tracé voulu. Ensuite, la mise en place de fascines de saules et d'hélophytes va permettre de stabiliser les pieds de berges comme nous le montre la photo ci-dessous.



Figure 72: Exemple de technique de reméandrage – La compagnie des forestiers

Puis, la pose de géotextile coco comme illustré ci-dessus Figure 72 permet de stabiliser les berges dans un premier temps et ensuite laisser les processus morphologiques naturels reprendre leur droit. Enfin, sur les parties les plus hautes de notre cours d'eau, il peut être intéressant d'y planter des hélophytes et des arbustes dans le but de créer une ripisylve totalement absente à ce jour de notre cours d'eau. (La compagnie des forestiers)

La mise en place de méandres sur cours d'eau si petit avec un faible débit peut poser des questions mais cela permettrait de redynamiser toute la partie aval du Molubé totalement incisée et recalibrée. Aujourd'hui, la faune et la flore est peu présente et peu diversifiée y est totalement absente, aucune ripisylve n'y est visible et les processus morphologiques naturels d'un cours d'eau sont absents. L'enjeu est donc important et complémentaire avec notre volonté de développer l'écologie et le paysage sur le site.

CONCLUSION

L'objectif de ce chantier école a été d'évaluer et de comprendre de manière globale l'état d'un bassin-versant du département d'Indre-et-Loire, à savoir celui du Molubé situé en grande partie sur la commune d'Artannes-sur-Indre. Affluent de l'Indre, le cours d'eau du Molubé traverse deux secteurs bien différents : un secteur amont avec de grandes parcelles céréalières et d'élevage; et un secteur aval boisé.

Le diagnostic réalisé a permis de mettre en évidence certains points sur lesquels des améliorations peuvent être réalisées. En effet, le bassin-versant présente des problématiques notamment liées à l'abondance des parcelles culturales dans la zone amont, qui ont des conséquences sur les concentrations chimiques en phosphore du cours d'eau mais aussi sur la sensibilité des sols à l'érosion sur le bassin-versant. De plus, les obstacles à l'écoulement assez nombreux ainsi que le recalibrage ont des impacts sur la bonne continuité du cours d'eau.

Les propositions d'aménagement que nous suggérons ont justement pour but de réduire ces impacts et d'améliorer le paysage. Tout d'abord en diminuant le transfert des intrants par un dimensionnement adapté des bandes tampons sur les parcelles agricoles. Puis en restaurant l'aspect physique du cours d'eau par un arasement des seuils et une modification des buses routières, et enfin en proposant un reméandrage. Enfin, le but de ces propositions est d'augmenter l'intérêt des acteurs étant à proximité du cours d'eau ou présents sur le bassin-versant. Faire connaître le Molubé pourra s'effectuer par des mesures de sensibilisation ainsi que son intégration dans un itinéraire de promenade. Ainsi, une meilleure connaissance de ce petit affluent permettra une gestion de meilleure qualité pour le Molubé. Une application de cette gestion dans un plus grand nombre d'affluents pourra, à terme, avoir des conséquences positives sur l'Indre même.

BIBLIOGRAPHIE

- Adam, P., N. Debiais et J.R. Malavoi. 2007. MANUEL DE RESTAURATION HYDROMORPHOLOGIQUE DES COURS D'EAU - Typologie des opérations de restauration et éléments techniques - Trame verte et bleue. <http://www.trameverteetbleue.fr/sites/default/files/02guide_terrain.pdf>. Consulté le 18 janvier 2020.
- Agence de l'eau Loire-Bretagne. 2020. « Qu'est-ce que le Sdage ? - Sdage et Sage - Agence de l'eau Loire-bretagne ». <<https://sdage-sage.eau-loire-bretagne.fr/home/le-sdage-2016-2021/quest-ce-que-le-sdage.html>>. Consulté le 16 janvier 2020.
- Agence française pour la biodiversité, Clotaire Catalogne, Claire Lauvernet et Nadia Carlier. 2018. Guide d'utilisation de l'outil BUVARD* pour le dimensionnement des bandes tampons végétalisées destinées à limiter les transferts de pesticides par ruissellement - Buffer strip runoff Attenuation and pesticide Retention Design tool. IRSTEA.
- Agence française pour la biodiversité, Clotaire Catalogne et Guy Le Hénaff. 2017. Guide d'aide à l'implantation des zones tampons pour l'atténuation des transferts de contaminants d'origine agricole. Antony : IRSTEA.
- Agreste. « Chiffres et analyses ». <<https://stats.agriculture.gouv.fr/disar-web/disarone/%21searchurl/searchUiid/search.disar>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- Alcayde, G. et L. Raplus. 1972. Carte géologique à 1/50 000, Langeais XVIII-23. Bureau de recherche géologiques et minières (BRGM).
- Baize, Denis et Michel-Claude Girard. 2009. Référentiel pédologique 2008. Editions Quae, 435 p.
- BRGM. 2014. « Accès aux données - ADES ». <<https://ades.eaufrance.fr/recherche/index/PointEauAdes>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- BRGM. « Visualiseur InfoTerre ». <<http://infoterre.brgm.fr/viewer/MainTileForward.do>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- CEDIP. 2014. Fiche 62: Les principaux biais à connaître en matière de recueil d'information.
- Chambre de l'agriculture d'Indre-et-Loire. [s d]. Délimitation Administrative et Géographique - Légende carte pédologique Langeais.
- Communauté de Communes Touraine Vallée de l'Indre. [s d]. « Communauté de Communes Touraine Vallée de l'Indre - Site officiel ». <<http://www.tourainevalleedelindre.fr/>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- Commune d'Artannes-sur-Indre. [s d]. « Urbanisme - Artannes-sur-Indre - Site officiel de la commune ». <<http://www.artannes.fr/fr/information/104731/urbanisme>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- DDT d'Indre-et-Loire. 2016. « Carte BCAE ». <http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr/533/Cours_eau_037.map#>. Consulté le 14 janvier 2020.
- DDT d'Indre-et-Loire. 2017. « Carte des ZNTP ». <http://carto.geo-ide.application.developpement-durable.gouv.fr/533/cours_eau_znt.map#>. Consulté le 14 janvier 2020.

- DRAAF du Centre-Val de. 2020. « DRAAF du Centre-Val de Loire ». <<http://draaf.centre-val-de-loire.agriculture.gouv.fr/>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- DREAL Centre Délégation de bassin Loire-Bretagne. 2012. Révision des zones vulnérables 5ème campagne de surveillance— Annexe 1- Eaux souterraines.
- DREAL Centre Val de Loire. 1 9 9 9 - 2 0 0 1. Atlas des paysages de l'Indre-et-Loire - Partie 3 Étude des paysages de l'Indre et Loire – Le Savignéen. <http://www.donnees.centre.developpement-durable.gouv.fr/atlas/atlas_indre_loire/altas_37_partie_3.pdf>. Consulté le 14 janvier 2020.
- eaufrance. « Espace cartographique | BDLISA ». <<https://bdlisa.eaufrance.fr/carte#viewer-couches>>. Consulté le 20 janvier 2020a.
- eaufrance. [s d]. « Rechercher une donnée d'un jeu ». <<http://www.sandre.eaufrance.fr/Rechercher-une-donnee-d-un-jeu>>. Consulté le 20 janvier 2020b.
- Froger, David, Joël Moulin et Joël Servant. 1994. Les terres de Gatines, Boischaut-Nord, Pays-Fort Tourraine-Berry – Typologie des sols. Chambre d'agriculture du Cher, de l'Indre, de l'Indre-et-Loire et du Loir-et-Cher.
- Géorisque. « Géorisques | Mieux connaître les risques sur le territoire ». <<https://www.georisques.gouv.fr/>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- Google Maps. « Localisation Rue de la fontaine sainte » près du hameau ». <<https://www.google.fr/maps/@47.3049408,0.593753,2309m/data=!3m1!1e3?hl=de>>.
- HOULARD, Pascal et Florine MONNICAULT. 2016. DICRIM-Mairie d'Artannes-sur-Indre. <http://cdn2_3.reseaudesvilles.fr/cities/368/documents/zpogbe36pnj8sol.pdf>.
- IGN. 2019. « Géoportail ». <<https://www.geoportail.gouv.fr/>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- Insee. « Insee – Institut national de la statistique et des études économiques | Insee ». <<https://www.insee.fr/fr/accueil>>. Consulté le 16 janvier 2020.
- Institut national de santé publique Québec. « Nitrates / Nitrites ». In INSPQ. <<https://www.inspq.qc.ca/eau-potable/nitrates>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- Jean-François Fortier. 2006. « Ressuyage: définition et explications ». In AquaPortail. <<https://www.aquaportail.com/definition-5139-ressuyage.html>>. Consulté le 20 janvier 2020.
- La compagnie des forestiers. « Restauration d'un cours d'eau - Reméandrage et génie végétal ». La compagnie des forestiers - Travaux de génie écologique. <<https://www.lacompaniedesforestiers.com/project/genie-ecologique-restauration-cours-d-eau/>>. Consulté le 18 janvier 2020.
- LE HÉNAFF, Guy et Clotaire CATALOGNE. 2017. Zones tampons et lutte contre les pollutions diffuses Introduction à la démarche d'implantation des zones tampons. <<https://www.arraa.org/>>. Consulté le 14 janvier 2020.
- MEDD & Agences de l'eau. 2003. SYSTEME D'EVALUATION DE LA QUALITE DE L'EAU DES COURS D'EAU GRILLES D'EVALUATION SEQ-EAU (VERSION 2). <<http://rhin-meuse.eaufrance.fr/IMG/pdf/grilles-seq-eau-v2.pdf>>.

Office International de l'Eau. « Craie du séno-turonien du bassin versant de l'indre libre [GG086] - Masses d'eau souterraines | Sandre - Portail national d'accès aux référentiels sur l'eau ». <<http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:donnees:MasseDEauSouterraine:FRA:code:GG086:::html>>. Consulté le 20 janvier 2020.

Office International de l'Eau. « Sables et calcaires lacustres des bassins tertiaires de tourraine libres [GG095] - Masses d'eau souterraines ». <<http://www.sandre.eaufrance.fr/geo/MasseDEauSouterraine/GG095>>. Consulté le 20 janvier 2020a.

Office International de l'Eau. « Sables et grès du cénomanien du bassin versant de la loire captifs au sud de la loire [GG142] - Masses d'eau souterraines | Sandre - Portail national d'accès aux référentiels sur l'eau ». <<http://www.sandre.eaufrance.fr/urn.php?urn=urn:sandre:donnees:MasseDEauSouterraine:FRA:code:GG142:::html>>. Consulté le 20 janvier 2020b.

Paprec Réseau Joué-lès-Tours. Partie 3 - Etude d'impact.

Parc national du Mercantour. Restauration des sentiers - manuel pédagogique et technique. <http://www.ecrins-parcnational.fr/sites/ecrins-parcnational.com/files/fiche_doc/12133/cahiertechniquesentierspnm-pne.pdf>. Consulté le 17 janvier 2020.

Theisen. 2017. Administration de la nature et des forêts (ANF) luxembourgeoise : Continuité des cours d'eau dans la construction des routes.

UICN France. 2016. La Liste rouge des espèces menacées en France -Chapitre Oiseauxde France métropolitaine. Paris, France. <<https://uicn.fr/wp-content/uploads/2016/09/Tableau-Liste-rouge-Oiseaux-de-France-m%C3%A9tropolitaine.pdf>>. Consulté le 15 janvier 2020.

Vigicrues. « Vigicrues : Territoire Loire-Cher-Indre ». <<https://www.vigicrues.gouv.fr/niv2-bassin.php?CdEntVigiCru=10>>. Consulté le 20 janvier 2020.



POLYTECH[®]
TOURS

35 ALLÉE FERDINAND DE LESSEPS
37200 TOURS

Étudiant(s)

Lorenzo Boisson, Martin Bortolotti, Amaya Gauvin, Brieuc Godet, Tanguy
Grandmougin, Alice Grell, Lorène Mfundu Kondi,
Téa Piednoir, Catherine Theisen, Rémi Verseil

2019-2020

Chantier école bassin versant : Le Molubé et son bassin-versant

Résumé : L'étude que nous avons menée a pour but après réalisation d'un diagnostic sur le bassin versant du Molubé, d'émettre des propositions d'aménagements visant à améliorer l'état actuel du bassin versant. Ce dernier de 7,8 km² est situé dans le département de l'Indre-et-Loire, à environ 15 km au sud-ouest de la ville de Tours. Il est composé d'un cours d'eau portant son nom et est un affluent de l'Indre.

L'analyse de nombreux paramètres physiques, chimiques, fonctionnels ou encore culturels a permis de réaliser un diagnostic du bassin versant. Une forte pression agricole a été mise en évidence sur un territoire dominé par la présence de parcelles agricoles. Des problématiques liées à la rectification de son tracé et son recalibrage, à la continuité hydraulique mais aussi sédimentaire ont été mises en avant. Les aménagements vont permettre de redonner une dynamique plus naturelle au cours d'eau mais aussi d'augmenter sa qualité biochimique et enfin de permettre à la population de découvrir, redécouvrir et de mieux s'approprier le cours d'eau. C'est dans cette perspective que nous soumettons des propositions telles qu'évaluer l'efficacité des dispositifs déjà présents, le redimensionnement et/ou l'installation de bandes enherbées, des bassins de rétention pour venir en appui de ces dernières, l'arasement de seuils et des actions de sensibilisation.

Mots Clés : Bassin versant; Indre; Aménagement; Affluent

Syndicat d'Aménagement
de la Vallée de l'Indre

