
Analyse diachronique du tracé des cours d'eau et des aménagements en zone inondable dans le bassin de la Moselle aval depuis le XIX^{ème} siècle.

Rapport d'étape – Décembre 2020.



Jouy sur la rivière Moselle près de la ville de Metz / Par C. Chastillon ; J. Poinsart, 1641.

Recherches et rédaction :

Éric Bonnot
Claire Delus
Didier François

*Étude réalisée par le LOTERR pour le Syndicat Mixte Moselle Aval dans le cadre du Programme d'Action
et de Prévention des Inondations de la Moselle aval.*

ÉTUDE FINANCÉE PAR



Table des matières

I.	INTRODUCTION	4
II.	CONTEXTE GEOGRAPHIQUE.....	5
1.	LOCALISATION.....	6
2.	CONTEXTE HYDROCLIMATOLOGIQUE.....	11
3.	GEOLOGIE.....	16
4.	OCCUPATION DU SOL.....	17
5.	DEMOGRAPHIE.....	19
6.	ACTIVITES ECONOMIQUES ET UTILISATION DE L'EAU	19
III.	INVENTAIRE DES SOURCES HISTORIQUES	21
1.	LA CARTE DES NAUDIN.....	21
2.	LA CARTE DE CASSINI.....	22
3.	LES CARTES D'ÉTAT-MAJOR.....	23
4.	LES ORTHOPHOTOGRAPHIES.....	24
5.	LES DONNEES ACTUELLES DU TERRITOIRE	26
6.	SYNTHESE DES DONNEES EXPLOITABLES ET AUTRES SOURCES.....	26
IV.	INTEGRATION DES DONNEES HISTORIQUES A UN SIG	29
1.	LE GEOREFERENCEMENT.....	30
2.	LA VECTORISATION.....	31
3.	ORGANISATION DES COUCHES SIG	33
4.	INCERTITUDES LIEES A L'UTILISATION DES DOCUMENTS ANCIENS	34
V.	L'ÉVOLUTION DU TRACE DES COURS D'EAU ET DES ENJEUX DEPUIS 1830	38
1.	LA MOBILITE DES COURS D'EAU.....	38
2.	L'EXPLOITATION DU MATERIEL ALLUVIAL DANS LA VALLEE DE LA MOSELLE AVAL.....	44
3.	L'ÉVOLUTION DU BATI DANS LES ZONES INONDABLES DE LA MOSELLE, DE L'ORNE ET DE LA SEILLE.....	49
	SUITE DE L'ÉTUDE	54
	BIBLIOGRAPHIE.....	55

Annexes à ce rapport

1. **Atlas diachronique des vallées de la Moselle, de l'Orne et de La Seille**
2. **Les grandes étapes historiques des cours d'eau**
3. **Collection de croquis, cartes et documents iconographiques relative aux aménagements des cours d'eau**
4. **Principales modifications observées dans le tracé des lits mineurs**

Table des figures

FIGURE 1 – PERIMETRE D'ACTION DU SMMA	6
FIGURE 2 - RELIEF DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE	8
FIGURE 3 – LES REGIONS NATURELLES DE LA LORRAINE	9
FIGURE 4 - DIAGRAMME OMBRO-THERMIQUE DE LA STATION DE METZ-FRESCATY (1981-2010)	11
FIGURE 5 - PRECIPITATIONS MOYENNES ANNUELLES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE FRANÇAISE (1971-2005)	12
FIGURE 6 - REGIMES HYDROLOGIQUES DES COURS D'EAU DE L'ÉTUDE (1981-2019).....	13
FIGURE 7 - EVOLUTION DU DEBIT MOYEN ANNUEL DE LA MOSELLE DEPUIS SA SOURCE JUSQU'À COCHEM	15
FIGURE 8 - PRINCIPALES FORMATIONS LITHOLOGIQUES DANS LE BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE	16
FIGURE 9 - OCCUPATION DU SOL DU BASSIN VERSANT DE LA MOSELLE.....	18
FIGURE 10 - EXTRAIT DE LA CARTE DES NAUDIN - ZONE C05 / Z01-03, SECTEUR DE PONT-A-MOUSSON	21
FIGURE 11 - EXTRAIT DE LA CARTE DE CASSINI DANS LE SECTEUR DE METZ.....	22
FIGURE 12 - EXTRAIT DE LA CARTE D'ÉTAT-MAJOR A ÉTAIN.....	24
FIGURE 13 - ORTHOPHOTOGRAPHIE, THIONVILLE LE 28 MAI 1928, CLICHE 96078 DE LA MISSION C3411-0561.....	25
FIGURE 14 - SYNTHÈSE DES DOCUMENTS CARTOGRAPHIQUES UTILISÉS POUR L'ANALYSE DIACHRONIQUE	27
FIGURE 15 - CARTES TOPOGRAPHIQUES DE L'EUROPE AU XIXÈME SIÈCLE	28
FIGURE 16 - CADASTRE NAPOLEONNIEN, COMMUNE DE NOVEANT : PLAN MINUTE, SECTIONS A-E. ECHELLE 1/2500.....	29
FIGURE 17 - DECOUPAGE DES EAIP DES TROIS COURS D'EAU ÉTUDIÉS	32
FIGURE 18 - L'ORNE A ROSSELANGE.....	34
FIGURE 19 - DECALAGE IMPORTANT DU BATI ACTUEL (ROUGE) PAR RAPPORT AU BATI DE L'ÉPOQUE : CITE JEANNE D'ARC A TERVILLE	35
FIGURE 20 - EXEMPLE DE MAUVAIS CALAGE DE LA FEUILLE D'ÉTAT-MAJOR.....	36
FIGURE 21 - EXEMPLE DE MAUVAIS CALAGE DE LA FEUILLE D'ÉTAT-MAJOR.....	36
FIGURE 22 – IDENTIFICATION DES SECTEURS DECALES.....	37
FIGURE 23 - TRACE DE LA MOSELLE ENTRE HAUCONCOURT ET RICHEMONT.....	40
FIGURE 24 - RECOUPEMENT DE MEANDRE A L'OUEST DE LA COMMUNE D'ILLANGE	40
FIGURE 25 - PLAN GÉNÉRAL DU DISTRICT D'ILLINGEN, DISTRICT DE DIEDENHOFEN (THIONVILLE), EN 1891	41
FIGURE 26 - TRACE DE LA MOSELLE ET RECOUPEMENT DE MEANDRE POUR ACCUEILLIR LES GRANDS GABARITS.....	41

FIGURE 27 - DERIVATION DE LA SEILLE POUR L'ALIMENTATION DU MOULIN DE MAILLY SUR LA CARTE D'ÉTAT-MAJOR.....	42
FIGURE 28 - BOURRELES DE CURAGE LE LONG DE LA SEILLE RECTIFIEE EN AVAL DE MOYENVIC, 1950.....	43
FIGURE 29 - LA NATURE DES ACTIONS ANTHROPIQUES DANS LA VALLEE DE LA SEILLE (PERIODE XIIIIE SIECLE – 1970).....	43
FIGURE 30 - TRACE DE L'ORNE ET RECTIFICATION DE SON COURS, DE ROSSELANGE A LA CONFLUENCE.....	44
FIGURE 31 - LE SILLON MOSELLAN A L'AVANT D'ARGANCY, ENTRE GRAVIERES ET BATI.....	45
FIGURE 32 - ÉVOLUTION DE L'EMPRISE DES GRAVIERES AU SEIN DE L'EAIP DE LA MOSELLE AVAL.....	45
FIGURE 33 - DECOUPAGE DES EAIP EN TRONÇONS.....	46
FIGURE 34 - ÉVOLUTION DE L'EMPRISE DES GRAVIERES AU SEIN DE L'EAIP DANS LA VALLEE DE LA MOSELLE AVAL.....	47
FIGURE 35 - ÉVOLUTION DU BATI AU SEIN DES EAIP ETUDIÉES.....	49
FIGURE 36 - ÉVOLUTION DE LA SUPERFICIE DU BATI AU SEIN DES EAIP DE LA MOSELLE, DE L'ORNE ET DE LA SEILLE.....	50
FIGURE 37 - ÉVOLUTION DE L'EMPRISE DU BATI AU SEIN DE L'EAIP LE LONG DE LA VALLEE DE LA SEILLE.....	50
FIGURE 38 - ÉVOLUTION DE L'EMPRISE DU BATI AU SEIN DE L'EAIP LE LONG DE LA VALLEE DE L'ORNE.....	51
FIGURE 39 - ÉVOLUTION DU BATI ENTRE 1980 ET AUJOURD'HUI EN AMONT DE MOYEUUVRE-GRANDE.....	52
FIGURE 40 - ÉVOLUTION DE L'EMPRISE DU BATI AU SEIN DE L'EAIP LE LONG DE LA VALLEE DE LA MOSELLE.....	53
FIGURE 41 - EMPRISE DU BATI ET DES GRAVIERES LE LONG DE L'EAIP DE LA MOSELLE AVAL.....	53

Table des tableaux

TABEAU 1 – DEBITS CARACTERISTIQUES DE LA MOSELLE, DE L'ORNE ET DE LA SEILLE (1981-2019).....	14
TABEAU 2 – OCCUPATION DU SOL DES BASSINS VERSANTS ETUDIÉS.....	18
TABEAU 3 – HISTORIQUE DE LA CANALISATION DE LA MOSELLE PAR TRONÇON.....	19
TABEAU 4 – DATES DES MISSIONS ORTHOPHOTOGRAPHIQUES UTILISÉES.....	25
TABEAU 5 – NOMBRES D'ORTHOPHOTOGRAPHIES GEOREFERENCÉES ET ERREUR QUADRATIQUE MOYENNE (EMS).....	31
TABEAU 6 – ERREURS LIÉES AU GEOREFERENCÉMENT DES CARTES D'ÉTAT-MAJOR.....	35

I. Introduction

Le Syndicat Mixte Moselle Aval (SMMA), créé le 14 décembre 2017, s'est engagé dans une démarche de Programme d'Actions et de Prévention des Inondations (PAPI) d'intention. Les PAPI ont été créés pour promouvoir une gestion intégrée du risque inondation au sein d'un bassin, à travers sept axes d'actions. Désormais dans sa troisième version¹ (PAPI 3), il impose dans le cadre de l'axe 1 intitulé « Amélioration de la connaissance et de la conscience du risque », une étude historique de bassin. Cette étude a été confiée au laboratoire LOTERR et porte sur la partie aval du cours d'eau de la Moselle et sur deux de ses affluents, la Seille et l'Orne.

L'objectif de l'étude historique est de réaliser une analyse diachronique du tracé de ces trois cours d'eau et des aménagements réalisés au niveau de leurs Enveloppes Approchées d'Inondations Potentielles (EAIP). Ces dernières, créées dans le cadre de l'Évaluation Préliminaire des Risques Inondations (EPRI), représentent l'emprise potentielle des débordements sans la prise en compte des ouvrages hydrauliques. Ces EAIP, fournies par le Syndicat Mixte Moselle Aval, proviennent de sources d'informations différentes possédant des échelles et des précisions variables, les rendant incertaines. Les EAIP ne constituent pas une cartographie des zones inondables, mais elles permettent d'approcher les contours des événements les plus extrêmes.

Cette étude historique s'appuie sur des outils de cartographie et sur des documents historiques. Elle se définit comme une étude géohistorique, discipline aujourd'hui largement utilisée dans le cadre des recherches sur les inondations (Franchomme et al., 2014 ; Martin et al., 2015), mais également comme une étude « Historique » qui vise à améliorer la connaissance des phénomènes extrêmes comme les inondations (Cœur et al., 1998 ; Lang et al., 1998). L'approche géohistorique appliquée à la recherche historique sur les crues et inondations est en effet de plus en plus utilisée. On peut par exemple citer l'étude HISTRHÔNE qui s'intéresse au passé hydrologique du Rhône depuis le XIV^{ème} siècle (Pichard et Roucaute, 2014). Elle propose une reconstitution des grandes crues du Rhône ainsi qu'une analyse des grandes mutations de la vallée, qu'elles soient d'origine naturelle ou anthropique. Ce travail, qui s'est concrétisé par la mise en place de la base de données HISTRHÔNE a notamment été réalisé dans le cadre du volet inondation du Plan Rhône. Plus largement, on retrouve ces travaux

¹ Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer, 2017 - Cahier des charges PAPI 3. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Cahier-des-charges_PAPI-3.pdf

précurseurs sur le contour méditerranéen (Naulet, 2002 ; Valarie et Coeur, 2004), du fait des problématiques de crue éclair et de l'augmentation des zones à enjeux. Ce type de recherche connaît également un essor important car, comme indiqué plus haut, l'étude historique constitue désormais un préalable réglementaire pour les collectivités et les établissements engagés dans une démarche de PAPI. Plusieurs Établissements Publics Territoriaux de Bassin (EPTB) se sont donc lancés dans l'élaboration d'études historiques. Ainsi, l'EPTB Meurthe-Madon, avec le PAPI Madon labellisé en 2018 et le PAPI Meurthe en cours de labellisation, pilote une étude historique dont l'objectif est de réaliser une reconstitution des crues du bassin versant de la Meurthe (Bonnot, 2019) et une étude diachronique de l'évolution des cours d'eau et des enjeux en zones inondables au cours des deux derniers siècles (Lejeune, 2019 ; Pfrimmer et al., 2020). Cette étude historique a été réalisée par le laboratoire LOTERR qui bénéficie ainsi d'une expérience méthodologique redéployée dans le cadre de cette étude.

II. Contexte géographique

L'étude porte sur le territoire de compétence du Syndicat Mixte Moselle Aval (SMMA) qui correspond à la partie aval du bassin versant de la Moselle française (fig. 1). D'une surface de 4 754 km², le bassin de la Moselle aval s'étend de la confluence avec la Meurthe à Custines à la frontière germano-luxembourgeoise et regroupe 600 communes et 27 intercommunalités. Le Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) de Metz – Thionville – Pont-à-Mousson s'inscrit dans ce bassin et occupe la quasi-totalité du linéaire de la Moselle sur ce secteur aval. Sur le TRI Metz – Thionville – Pont-à-Mousson, près de 20 000 habitants sont exposés à une crue fréquente (décennale), plus de 50 000 à une crue moyenne (trentennale) et près de 100 000 à une crue centennale. En outre, on comptabilise 200 000 habitants au sein de l'Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP) (DREAL, 2014). Le risque inondation, lié principalement au débordement de la Moselle et de ses affluents, constitue un enjeu très important sur ce territoire. L'étude commandée par le SMMA concerne non seulement la Moselle mais aussi ses deux principaux affluents : l'Orne et la Seille.

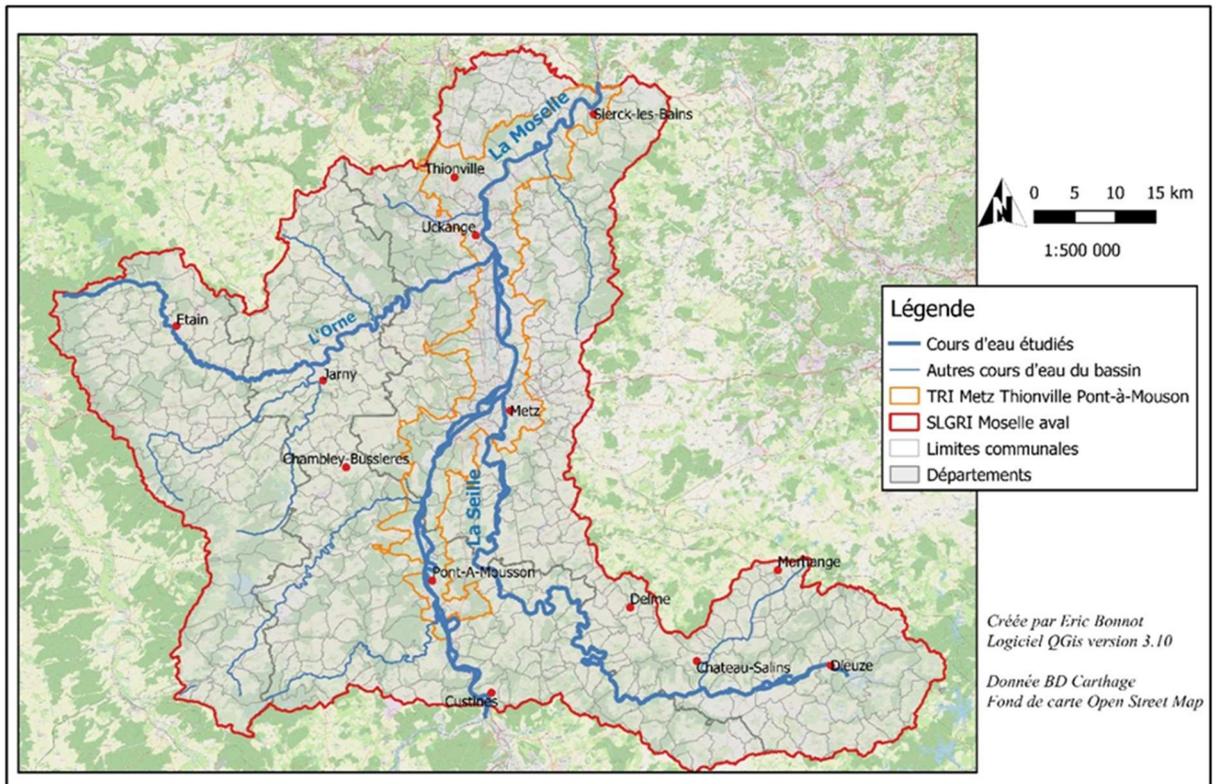


Figure 1 – Périmètre d'action du SMMA

1. Localisation

La Moselle prend sa source dans le massif vosgien, au col de Bussang, et se jette dans le Rhin à Coblenche (fig. 2). Elle draine un bassin versant de près de 28 300 km² dont environ 11 500 km² en France. Depuis sa source dans les Vosges et son entrée dans le Plateau lorrain, la Moselle s'écoule vers le nord-ouest, entaille ensuite la côte de Moselle pour changer de direction au niveau de Toul (fig. 3). Elle suit alors une direction nord-est et retraverse cette même côte. Ce changement de direction est lié la capture de la Moselle (Gamez et al., 1995 ; Losson, 2003) dont l'explication figure dans l'encadré 1. L'écoulement se fait ensuite vers le nord où la Moselle adopte un cours subséquent et découpe le plateau laissant localement sur sa droite une avant côte (encadré 2). A l'aval de Thionville, la Moselle entre progressivement dans le massif de l'Eiffel et présente de nombreux méandres.

ENCADRE 1. La capture de la Moselle, d'après Harmand et al. (s.d.)

Un réseau hydrographique est en constante évolution. Les structures de drainage changent au cours du temps et modifient plus ou moins profondément le paysage. **Une capture est un phénomène de transition d'une organisation hydrographique à une autre.** A Toul, le tracé de la Moselle présente un coude très caractéristique, la boucle de la Moselle : la rivière infléchit en effet vers le nord-est alors qu'elle s'écoulait jusque-là plutôt vers le nord-ouest. Ce coude est l'expression géographique d'un **événement qui s'est produit il y 300 000 ans** : la capture de la Haute Moselle au profit de la Meurthe et au détriment de la Meuse (figures A et B).

Figure A : Les captures anciennes et futures dans l'est de la France

Source : https://f.hypotheses.org/wp-content/blogs.dir/2709/files/2007/06/livret2007_p53-p94.pdf

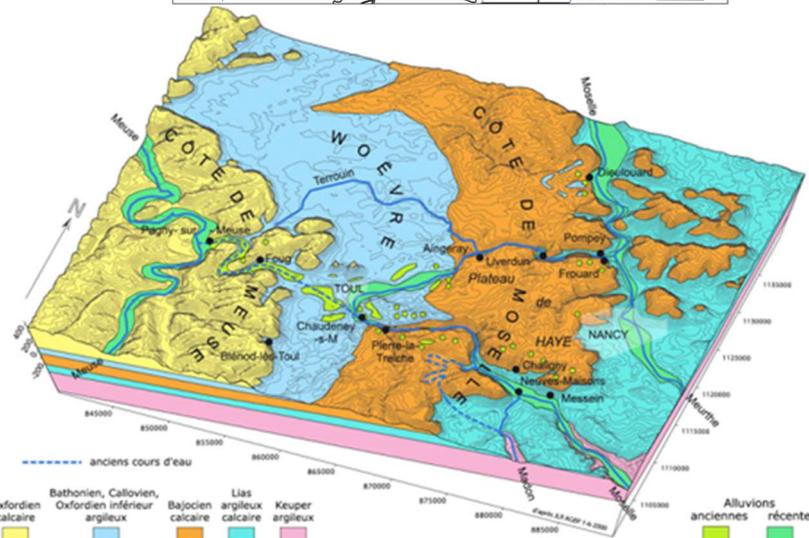
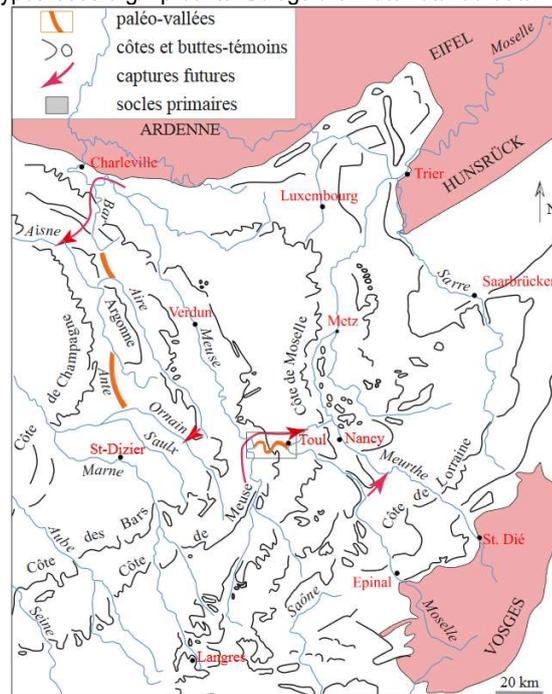


Figure B : Bloc diagramme du site de capture de la Moselle

Source : http://rpn.univ-lorraine.fr/UOH/LEPALOR/co/b_01_c_19.html

Le bloc-diagramme présente un relief de côte remarquable : côtes de Moselle et de Meuse bien marquées, précédées de buttes-témoins, formant des saillants à Nancy et à Toul. Il montre en outre les traces de la capture de la Moselle : ancienne vallée de la Moselle entre Foug et Pagny-sur-Meuse, coude de capture de celle-ci par le Terrouin et la Meurthe. La traversée des côtes en percées cataclinales et anclinales (Pompey) ont facilité les communications ouest-est et nord-sud.

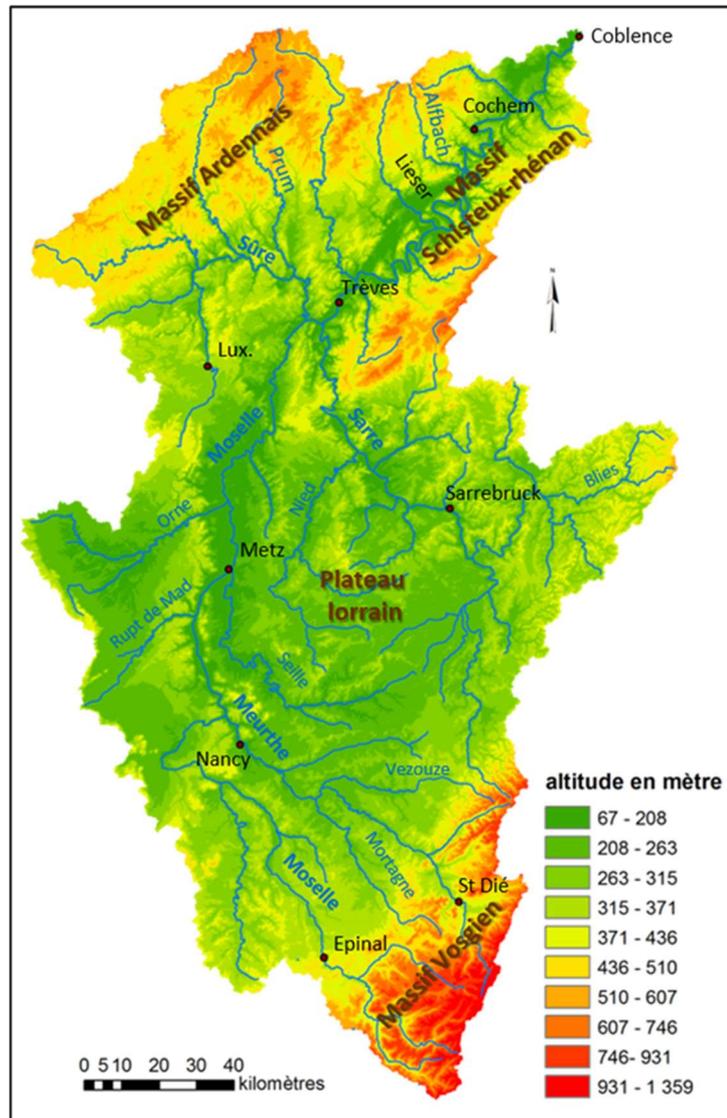


Figure 2 - Relief du bassin versant de la Moselle

La Seille, affluent de rive droite de la Moselle, draine un bassin versant de 1 347 km². Le périmètre retenu dans le cadre de cette étude n'inclut pas le ruisseau de Vallières, ce qui porte la superficie de la zone concernée à 1280 km². La Seille prend sa source à la sortie de l'étang de Lindre, au sud-est de la commune de Dieuze, et conflue avec la Moselle à Metz. Dans sa partie amont, la Seille traverse le Pays des Etangs et le Saulnois, en suivant une direction est-ouest (fig. 3). Elle s'écoule dans une large vallée avant de traverser la côte Infraliasique par une percée cataclinale (encadré 2). Dans sa partie médiane, la Seille s'écoule vers le nord-ouest et dessine de grandes boucles encaissées. A partir de la commune de Cheminot, la Seille suit un tracé vers le nord et draine la dépression de la côte de Moselle, au pied des buttes témoins. Le tracé y est assez rectiligne, parfois entrecoupé de sinuosités. La description du système fluvial de la Seille est disponible de manière détaillée dans la thèse d'El Ghachi (2007).

L'Orne, affluent de rive gauche de la Moselle, draine un bassin versant de 1 274 km². Elle prend sa source à l'ouest de la commune d'Ornes, sur le front de la côte de Meuse, et se jette dans la Moselle à Richemont, après sa traversée de la côte de Moselle (fig. 3). L'Orne parcourt ainsi 86 km suivant une direction générale ouest-est et s'écoulant dans la dépression argileuse de la Woëvre à l'amont, avant de s'encaisser dans le plateau calcaire du Pays Haut dans sa partie aval (cours anaclinal, cf. encadré 2).

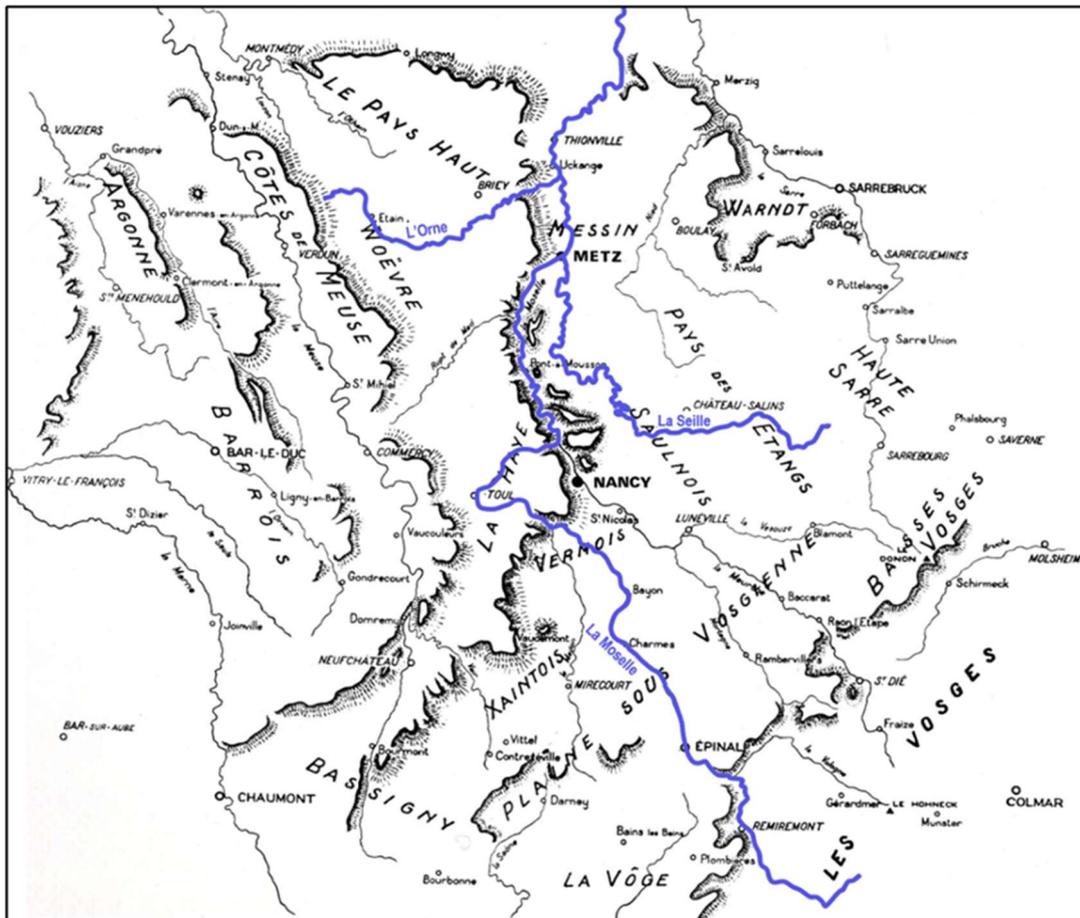


Figure 3 – Les régions naturelles de la Lorraine
Source : Reitel, s.d.

ENCADRE 2. Le relief de cuesta et l'organisation du réseau hydrographique (d'après Derruau, 2010)

Le bassin versant de la Moselle aval s'inscrit dans le Plateau lorrain, c'est-à-dire dans la partie orientale du Bassin parisien qui se caractérise d'un point de vue paysager par son relief de côtes (ou cuestas) (figure A). On appelle cuesta un relief dissymétrique réalisé par une couche résistante modérément inclinée et interrompue par l'érosion. La cuesta comprend un front, qui est un abrupt dû à l'interruption de la couche résistante, une dépression orthoclinale (ou subséquente), dépression qui suit le pied de l'abrupt, un revers qui correspond en première approximation au dos de la couche dure inclinée.

Figure A. Fond de carte d'Yvonne Battiau-Queney, *Le relief de la France - Coupes et croquis* (1993) Complété par Jean Gallier
Source : <https://chemindeleau.com/Le-Plateau-de-Langres-son-relief.html>

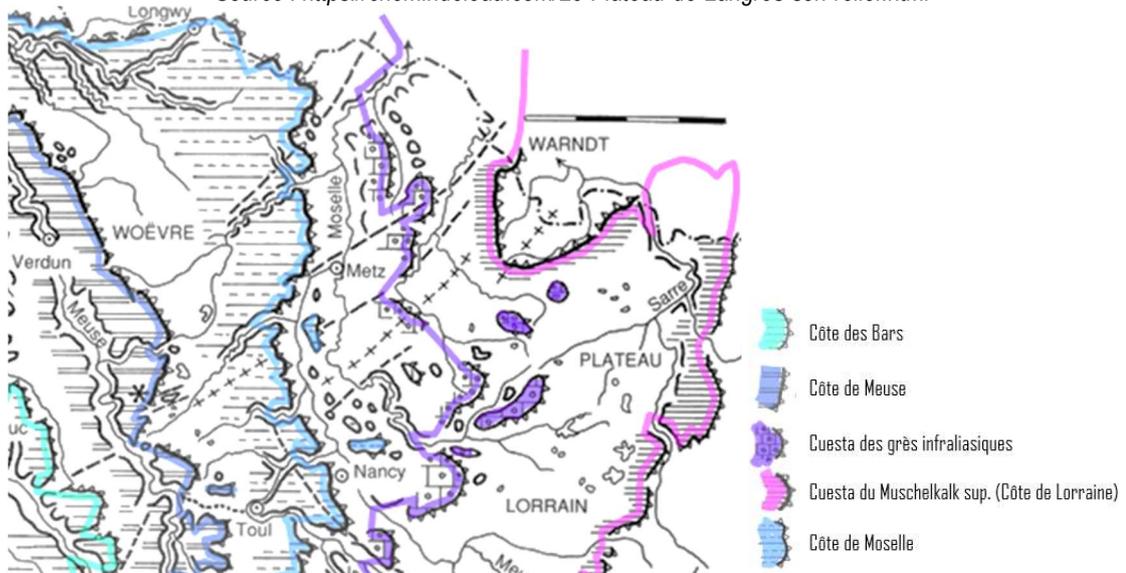
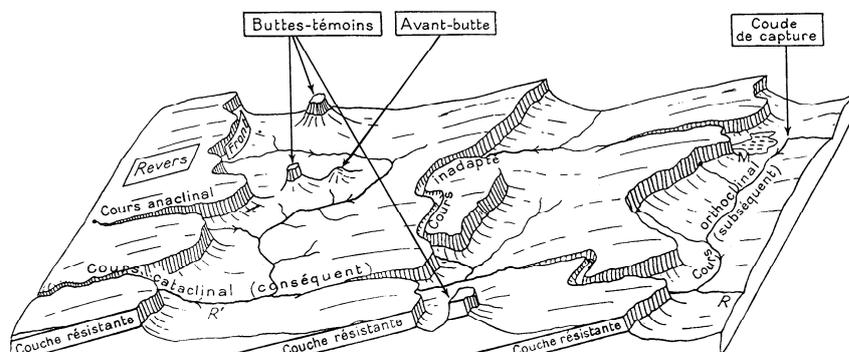


Figure B : Schéma montrant la disposition théorique des cuestas et de leur réseau hydrographique (Derruau, 2010)



Le tracé est celui d'un relief continu, seulement interrompu par des échancrures de rivières qui suivent le pendage général des couches et entaillent le front de manière à dessiner en plan une espèce d'entonnoir (figure B). On dit qu'une telle rivière est cataclinale (ou conséquent, mot qui ne veut pas dire importante, mais « suivant la pente générale du terrain », ici le pendage des couches) et qu'elle pénètre dans la zone du revers par un entonnoir de percée cataclinale ou conséquent (la Seille entaille la cuesta des grès infraliasiques). Toutes les rivières ne suivent pas le pendage des couches. Certaines peuvent se loger au pied d'un front de cuesta : elles sont dites orthoclinales, ou subséquentes. D'autres ne sont adaptées ni au pendage, ni à la disposition des fronts. L'Orne suit un cours anaclinal, qui s'écoule dans le sens inverse du pendage des couches. En avant du front, c'est-à-dire vers l'amont-pendage, il arrive que des buttes, formées par la couche résistante responsable de la cuesta, témoignent de l'ancienne extension de cette couche. Ce sont des buttes-témoins (exemple : la butte de Pont-à-Mousson). Une fois le chapeau de roche résistante disparu, la butte dégradée est appelée avant-butte.

Vidéo illustrant le relief de côte disponible sur : http://rpn.univ-lorraine.fr/UOH/LEPALOR/co/c_01_e.html

2. Contexte hydroclimatologique

Le bassin versant de la Moselle est exposé à un climat océanique dégradé, caractérisé par la prédominance des temps d'ouest et sud-ouest amenant, avec les perturbations, des masses d'air maritime humides et des températures modérées. Les précipitations sont relativement bien réparties tout au long de l'année et l'amplitude thermique moyenne annuelle est de l'ordre de 17°C (fig. 4).

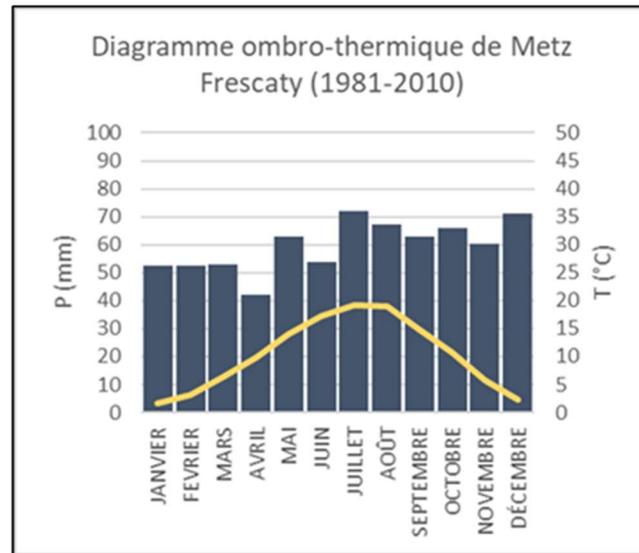


Figure 4 - Diagramme ombro-thermique de la station de Metz-Frescaty (1981-2010)
Source : Infoclimat

Les précipitations moyennes annuelles du bassin versant de la Moselle sont de l'ordre de 900 mm, mais cette valeur masque d'importantes disparités spatiales (fig. 5). La diversité pluviométrique résulte surtout du phénomène des pluies orographiques sur les reliefs exposés aux courants maritimes humides nord-ouest, ouest, sud-ouest et sud, touchant le versant ouest des Vosges, mais aussi les côtes de Meuse et les côtes de Moselle ; ces reliefs placent, sur leurs flancs est, des plaines en situation d'abri, bénéficiant de précipitations plus faibles (moins de 700 mm) : plaine de la Woëvre, à l'abri des côtes de Meuse, et plaine de la Seille, au-delà des côtes de Moselle. Dans le haut-bassin de la Moselle, sur le versant ouest des Vosges, les précipitations dépassent les 2000 mm. On observe en effet sur le massif des Vosges un très fort gradient pluviométrique : on passe ainsi, sur une distance d'un peu moins de 50 km, de 1080 mm à la station de Golbey (330 m d'altitude), à 1764 mm à Gérardmer (675 m) et plus de 2000 mm sur les sommets des Hautes-Vosges sur la période 1971 à 2000 (Delus et al., 2019).

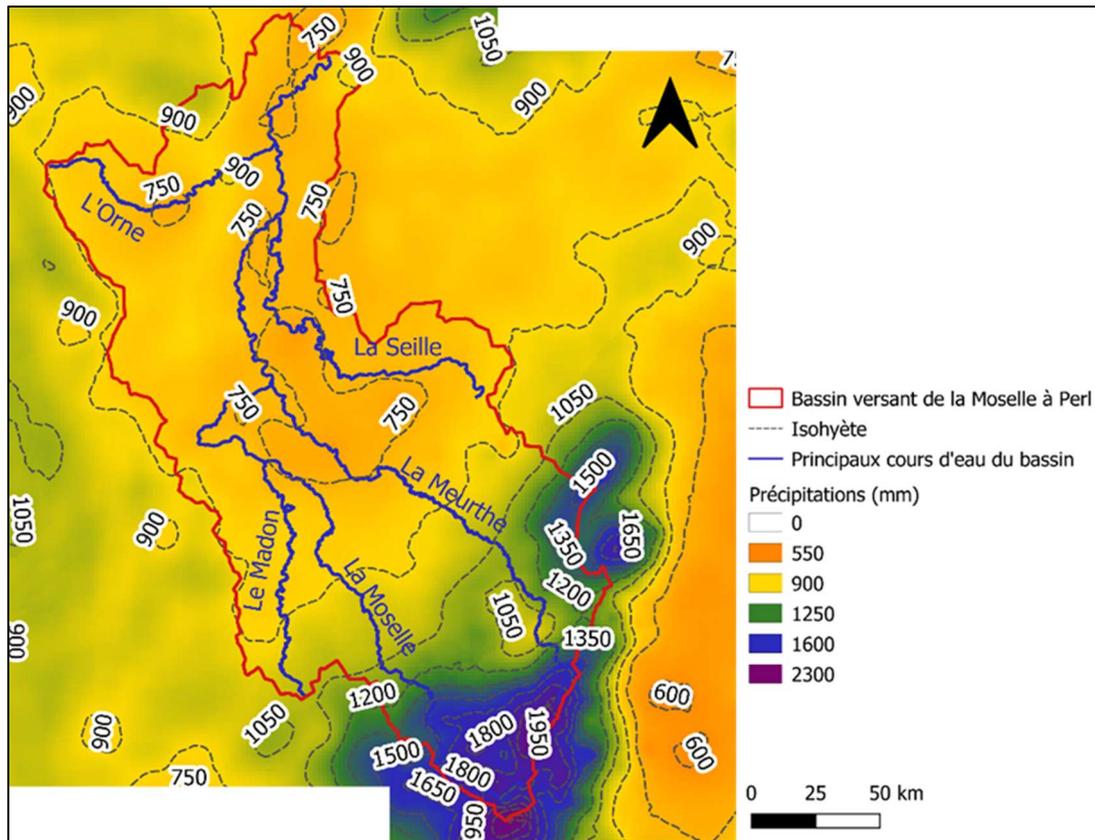


Figure 5 - Précipitations moyennes annuelles dans le bassin versant de la Moselle française (1971-2005)

Les types de temps perturbés d'origine maritime dominant en toutes saisons. Leur durée moyenne est brève (2 à 6 jours), tout comme celle des types de temps anticycloniques (2 à 5 jours). Les « types de temps à crues » (Frécaut, 1973) sont à l'origine d'épisodes pluvieux en saison froide et d'averses génératrices de crues généralisées. Les types de temps anticycloniques continentaux sont responsables en saison froide des « grands hivers » caractérisés par des vagues de froid. La relative stabilité de ces types de temps entraîne lors de « grands étés » des déficits pluviométriques importants et une forte évapotranspiration (Frécaut, 1973).

Le régime hydrologique de la Moselle et de ses affluents est de type pluvial-océanique (fig. 6). Ce sont essentiellement les précipitations qui sont à l'origine des écoulements de hautes eaux. Les basses eaux sont liées à une hausse des températures qui génèrent une augmentation des prélèvements évapotranspiratoires.

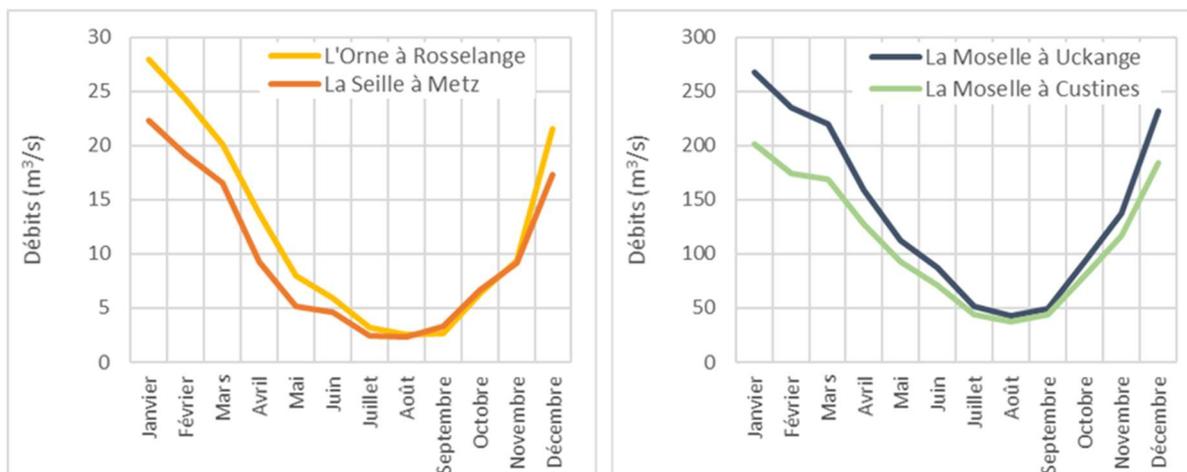


Figure 6 - Régimes hydrologiques des cours d'eau de l'étude (1981-2019)
Source : Banque Hydro

Dans le périmètre du Syndicat Mixte de la Moselle aval, on compte actuellement une trentaine de stations hydrométriques en fonctionnement. Les débits caractéristiques de la Moselle et de ses deux principaux affluents (objets de cette étude) sont étudiés à partir de quatre stations hydrométriques :

- Deux sur la Moselle :
 - Custines située à environ 4 km en aval de la confluence Moselle-Meurthe permet de connaître les écoulements qui entrent dans le périmètre ;
 - Uckange fournit une estimation partielle de ce qui en sort car elle est installée bien en amont du véritable exutoire à la frontière franco-germano-luxembourgeoise ;
- Une sur la Seille à Metz ;
- Une sur l'Orne à Rosselange.

Le tableau 1 présente des débits caractéristiques de ces stations qui proviennent de la Banque Hydro. La plus longue période commune d'enregistrement entre les quatre stations, s'étend de 1981 à 2019 et constitue notre période de référence. Les valeurs du tableau proviennent d'une procédure statistique « basique » de la Banque Hydro. Il aurait été nécessaire de vérifier la stationnarité de cette période pour les quatre stations avant d'en extraire des valeurs fréquentielles mais ce travail sort du cadre de cette étude.

L'emprise du bassin versant géré par le Syndicat Mixte correspond à 37 % du bassin de la Moselle à Uckange. À l'échelle annuelle, son apport moyen ne représente que 1/5^{ème} du débit de la Moselle à Uckange. Ce rendement modéré provient d'une pluviométrie plus faible sur cette partie du bassin (voir plus haut) et se traduit également dans les valeurs de débits spécifiques : plus de 16 l/s/km² à Custines contre 7 à 10 l/s/km² en aval.

Tableau 1 – Débits caractéristiques de la Moselle, de l’Orne et de la Seille (1981-2019)

		Stations	Moselle à Custines	Seille à Metz	Orne à Rosselange	Moselle à Uckange
		Surface (km ²)	6830	1280	1226	10770
Module		m ³ /s	111.61	9.82	12.09	140.25
		l/s/km ²	16.34	7.67	9.86	13.02
QIX ²	max	Date	10/04/1983	26/11/1997	22/12/1993	11/04/1983
		m ³ /s	2000	174	318	2360
		l/s/km ²	293	136	259	219
	1/10	m ³ /s	1460	125	254	1550
		l/s/km ²	214	98	207	144
	QMNA ³	min	Date	07/2019	07/2019	09/1996
m ³ /s			14.6	0.78	0.426	16.4
l/s/km ²			2.14	0.61	0.35	1.52
1/5		m ³ /s	20.5	1.14	1.17	22.3
		l/s/km ²	3.00	0.89	0.95	2.07

Ce constat vaut aussi pour les crues et les étiages. En amont de Custines la crue décennale de la Moselle est supérieure à 210 l/s/km² alors qu’à Uckange elle est inférieure à 150 l/s/km². Cependant pour l’Orne la crue décennale atteint un niveau très élevé comparable à la Moselle amont avec 207 l/s/km². Pour les débits d’étiage, il est important de rappeler que les trois cours d’eau subissent des influences qui peuvent avoir un impact en période d’étiage :

- La Moselle bénéficie d’un soutien d’étiage à partir du lac de Vieux-Pré situé sur un affluent de la Meurthe en amont de Raon-l’Étape (88) ;
- L’exploitation minière dans le Pays-Haut a considérablement influencé les écoulements de l’Orne et de ses affluents ;
- L’étang de Lindre peut perturber certaines années les étiages de la Seille avec une apparition plus précoce liée à des vidanges en fin de période de basses-eaux.

Ces considérations mises à part, les rendements d’étiage en aval de la confluence de la Meurthe ne dépassent pas 1 l/s/km² contre 3 en amont de Custines.

2 QIX : Débit instantané maximum d’une année hydrologique
 3 QMNA : Débit mensuel le plus bas de l’année civile

En raison de valeurs de précipitations modérées, entre 700 et 900 mm/an, et la présence de ressources souterraines limitées, le bassin de la Moselle aval dispose de ressources en eau de surface modérées. En moyenne, le bassin aval concourt relativement peu au débit de la Moselle.

La figure 7 présente l'évolution du débit moyen annuel de la Moselle, de sa source jusqu'à Cochem, et permet d'illustrer l'apport des affluents aux écoulements de la Moselle.

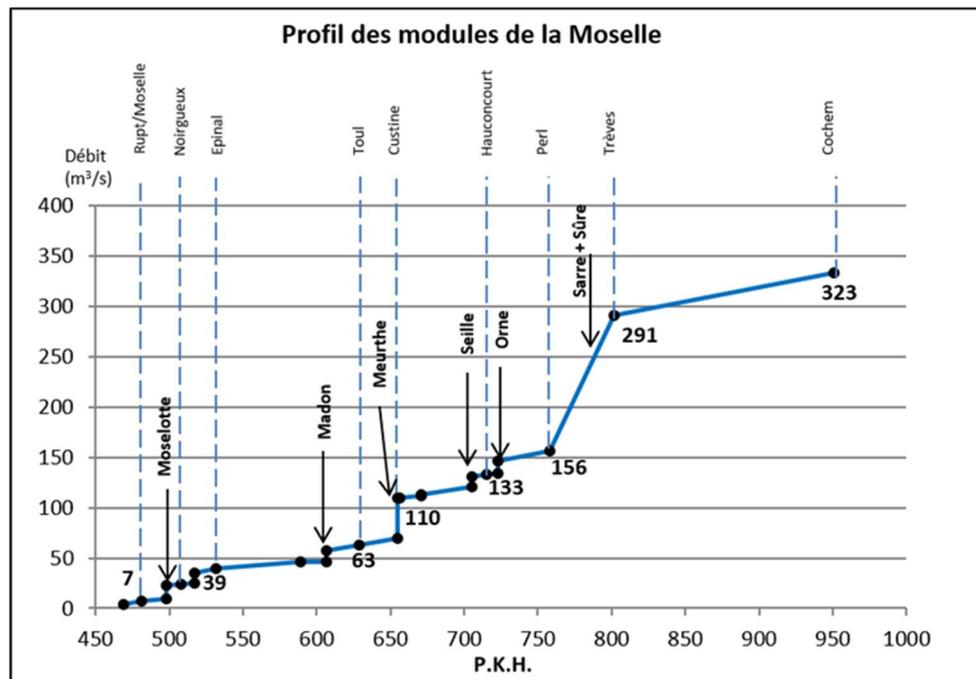


Figure 7 - Evolution du débit moyen annuel de la Moselle depuis sa source jusqu'à Cochem
Source : Lebaut, 2019

Concernant les extrêmes hydrologiques, les crues du bassin de la Moselle sont relativement bien connues pour la période post 1900, notamment grâce aux travaux de Frécaut (1971) et au rapport d'étude hydrologique des crues du bassin français de la Moselle (Gille, 1993). L'inventaire réalisé dans le cadre de l'application de la Directive européenne inondation (Lang et Coeur, 2014) contient également de nombreuses informations consultables sur le site de la BDHI. Durant le XXème siècle, les événements de 1919 et 1983 sont particulièrement exceptionnels, mais c'est la crue de 1947 qui fut la plus dommageable et qui constitue souvent l'événement historique de référence pour la Moselle. La reconstitution des crues historiques de la Moselle, de l'Orne et de la Seille au cours des 2-3 derniers siècles fait l'objet d'un deuxième volet de cette étude.

Les sécheresses constituent des épisodes moins spectaculaires mais aux enjeux socio-économiques tout aussi prégnants. La Moselle a connu des épisodes secs assez graves à la fin du XIXème siècle, notamment en 1893, et au début du XXème siècle (1906 et 1911), mais la

fréquence des épisodes secs du XXIème siècle (2003, 2015, 2017, 2018, 2019 et 2020) est sans équivoque et se traduit par des étiages sévères (François et al., 2020) qui génèrent des tensions sur la ressource en eau.

3. Géologie

Le bassin versant de la Moselle présente une importante diversité géologique (fig. 8). A l'amont du bassin versant, les roches cristallines des Hautes-Vosges (granites) prédominent. L'aval se situe dans les schistes du Massif schisteux rhénan. Les plaines sont dégagées dans des milieux marneux et argileux. Ces formations constituent des milieux peu perméables, qui favorisent un écoulement direct en surface. Le bassin versant s'inscrit également dans des terrains perméables, notamment les calcaires de la côte de Moselle (calcaires du Bajocien) et de la côte de Lorraine (calcaires du Muschelkalk supérieur) ainsi que les Grès Vosgiens et d'Ardenne qui constituent des réservoirs souterrains très capacitifs.

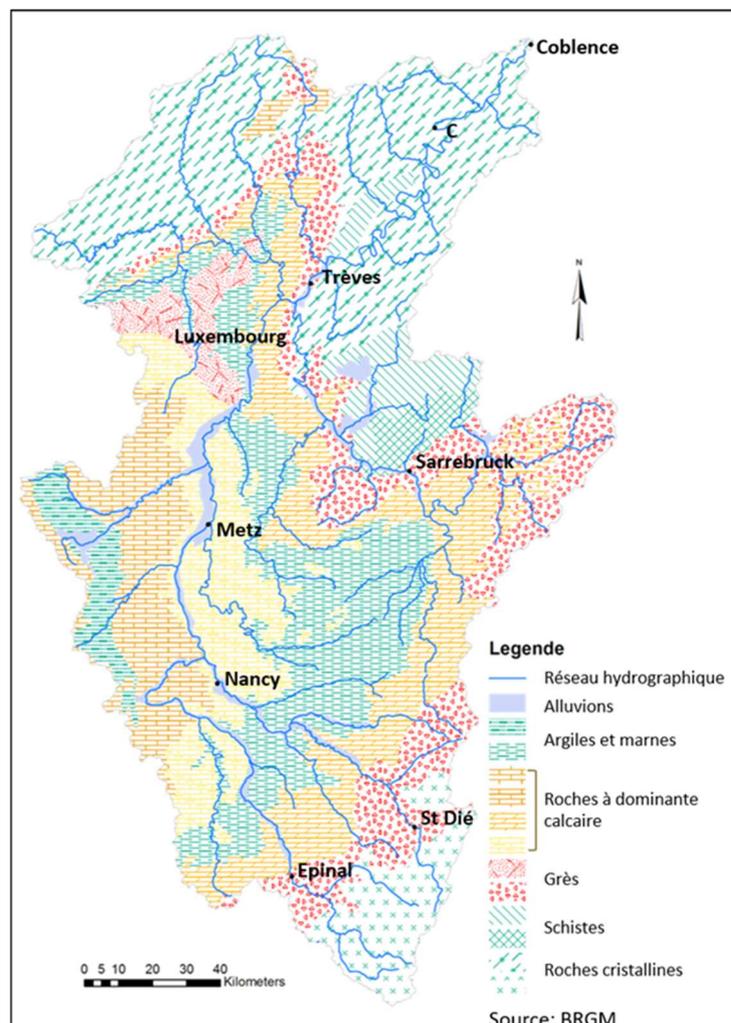


Figure 8 - Principales formations lithologiques dans le bassin versant de la Moselle
Source : Lebaut, 2019

La Seille s'inscrit dans des formations essentiellement imperméables (74 %) ou peu perméables (21 %). L'amont est caractérisé par les terrains marneux et argileux du Trias supérieur et l'aval se situe dans les marnes du Lias supérieur. Dans sa partie médiane, la Seille traverse le plateau liasique dégagé dans les marnes et calcaires à Gryphées.

L'Orne se partage entre la dépression argileuse de la Woëvre à l'amont et le plateau calcaire du Pays-Haut dans sa partie aval.

A l'échelle de bassins versants aussi grands il n'est pas possible d'établir un lien simple entre les formations géologiques et les écoulements des cours d'eau. On peut toutefois souligner le caractère à dominance imperméable des bassins versants de la Seille et de l'Orne, ce qui contribue à favoriser les écoulements rapides de crue.

4. Occupation du sol

Le bassin versant de la Moselle est majoritairement agricole (54 %) et forestier (38 %) (tab. 2 et fig. 9). Les surfaces urbanisées représentent un peu plus de 7 % du territoire. Sur le bassin de la Moselle aval, la part de la forêt diminue (27 %) au profit des territoires agricoles (64 %), ce qui s'explique par le poids du massif vosgien, essentiellement forestier, dans l'occupation du sol du bassin versant total. Dans cette partie aval, les forêts se retrouvent surtout sur les reliefs de côtes alors que les territoires agricoles occupent les dépressions. Enfin, les zones artificialisées représentent 8 % de l'occupation du sol et cette valeur s'explique par l'urbanisation particulièrement importante en fond de vallée, notamment le long du « sillon mosellan » qui s'étend de la Métropole de Metz jusqu'à l'Agglomération Thionvilloise.

L'Orne se partage entre la zone amont située dans la plaine de la Woëvre qui est essentiellement agricole (67 %) et le plateau du Pays-Haut forestier et urbanisé dans sa partie aval. Les surfaces forestières sont plus faibles sur le bassin versant de la Seille (17 %) qui constitue une région rurale, avec des exploitations agricoles importantes, à l'exception des zones urbanisées situées dans la région de Metz, en aval.

Les zones humides et les surfaces en eau représentent moins de 1 % des superficies (près de 2 % de surface en eau dans la Moselle aval du fait des nombreuses gravières et étangs).

Tableau 2 – Occupation du sol des bassins versants étudiés

	Territoires artificialisés (%)	Territoires agricoles (%)	Forêts et milieux semi-naturels (%)	Zones humides (%)	Surfaces en eau (%)
Moselle	7,4	53,5	38,1	0,1	1,0
Moselle aval	8,2	63,6	26,5	0,0	1,6
Orne	6,5	66,6	26,4	0,2	0,4
Seille	5,9	76,5	16,7	0,1	0,8

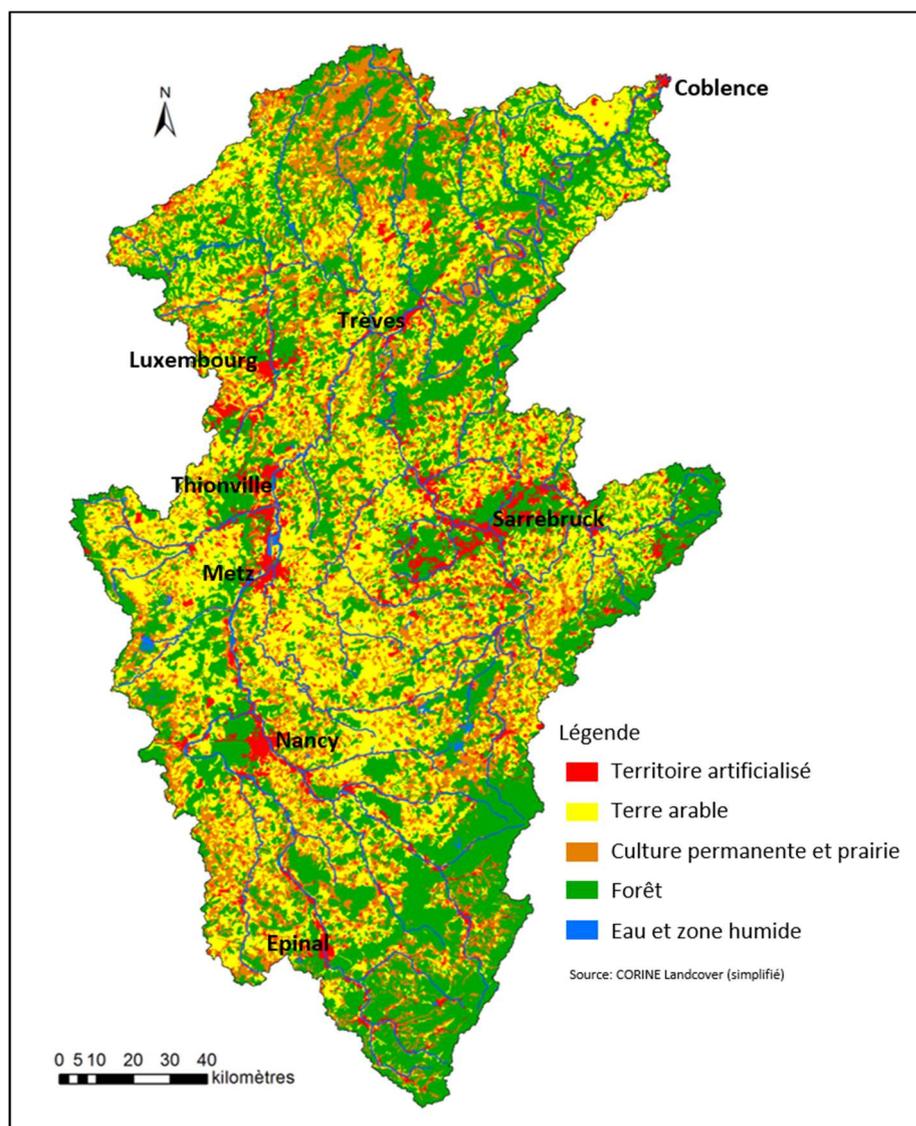


Figure 9 - Occupation du sol du bassin versant de la Moselle
Source : Lebaut, 2019

5. Démographie

Entre 1968 et 2017, le taux de croissance démographique au sein des bassins versants a été de 12 % pour la Moselle aval, 19 % pour la Seille et -7 % pour l'Orne. Ces chiffres masquent d'importantes disparités. L'évolution pour la Seille concerne essentiellement l'aval avec des communes comme Marly où la population passe de 2 014 à 10 104 habitants sur cette même période. Pour l'Orne, si quelques communes voient leur population augmenter, Amnéville, Moineville et Briey, 60 % des communes connaissent une baisse démographique entre ces deux dates.

6. Activités économiques et utilisation de l'eau

Les trois cours d'eau présentent des caractéristiques spécifiques en termes d'usage de l'eau.

La Moselle a été exploitée très tôt pour la navigation et le transport de marchandise (lien avec le Luxembourg, l'Allemagne et plus largement le Rhin et donc la mer du Nord). Elle est aujourd'hui navigable depuis Épinal jusqu'à sa confluence avec le Rhin à Coblenche, mais la mise en place de sa canalisation aura été semée d'embûches (Berger, 2015 ; Bour, 1956). L'historique de la canalisation de la Moselle française (Fournier, 2014 ; Frécaut, 1959 ; Schontz, 2004) permet d'identifier trois grandes phases d'aménagement (tab. 3). Durant la période d'annexion allemande, la Moselle a été canalisée jusqu'à la frontière de l'époque. Ensuite, le seul aménagement qu'a connu la Moselle pendant près d'un siècle a été le CANal des Mines de FER de la MOselle (CAMIFEMO) terminé en 1932. Durant les années 60 et 70, la Moselle est entièrement canalisée au grand gabarit.

Tableau 3 – Historique de la canalisation de la Moselle par tronçon
Source : VNF : J. Abèle, G. François, L. Mayne ; 2015

Voie	Date de mise en service
Moselle canalisée au petit gabarit de Frouard à Ars	1870
Moselle canalisée au petit gabarit de Neuves-Maisons à Toul	1875
Moselle canalisée au petit gabarit de Ars à Metz	1877
Moselle canalisée au petit gabarit de Metz à Thionville (CAMIFEMO)	1932
Moselle canalisée au grand gabarit de Thionville à Coblenche	1964
Moselle canalisée au grand gabarit de Metz à Thionville	1965
Moselle canalisée au grand gabarit de Frouard à Metz	1972
Moselle canalisée au grand gabarit de Toul à Frouard	1978
Moselle canalisée au grand gabarit de Neuves-Maisons à Toul	1979

La Moselle a par ailleurs fait l'objet d'une intense exploitation alluviale qui soulève aujourd'hui des questions de gestion et de reconversion de ces espaces (Edelblutte, 2000 ; Mathis et al., 2012). D'autres usages plus anciens, tels que le flottage du bois, ont été pratiqués (annexe 2).

La vallée de la Seille constitue le cœur du Saulnois, bassin salifère riche qui doit sa salinité aux évaporites des terrains du Keuper (BRGM, s. d.). On y retrouve notamment le village de Vic-sur-Seille, haut lieu de l'exploitation du sel. Les villages de Moyenvic et Marsal connaissent également d'anciennes salines mais elles sont surtout des anciennes places fortifiées, notamment Marsal où les fortifications de Vauban sont encore très visibles dans le paysage. La Seille possède une histoire riche (Mathis, 2009) et est, depuis le Moyen-Âge au moins, largement anthropisée. Le cours d'eau présente en de nombreux endroits un tracé rectiligne ce qui permet notamment de drainer les nombreux prés alentours.

Durant le XXème siècle, la vallée de l'Orne (comme la vallée de la Fensch plus au nord) a été le théâtre d'une exploitation minière très importante avec la multiplication d'aciéries le long de son linéaire (Rogé et Walterspieler, 1982) afin d'utiliser l'eau pour refroidir les organes des hauts-fourneaux principalement. Ainsi, à partir de Conflans-en-Jarnisy, l'Orne est totalement anthropisée et on trouve encore de nombreuses traces de son passé sidérurgique, qu'elles soient paysagères (Picon, 2014), environnementales (Nasseh et al., 1999) ou même démographiques (Chalard, 2007). Dans sa partie amont, l'Orne traverse un bassin très rural et les interactions Homme/Milieu se limitent aux nombreuses pâtures.

L'annexe 2 présente les grandes étapes historiques de ces trois cours d'eau dont l'usage de l'eau est essentiellement tourné autour de la navigation pour la Moselle, de l'exploitation du sel dans la vallée de la Seille, et de l'industrie dans la vallée de l'Orne. L'annexe 3 rassemble de nombreuses cartes, croquis et documents iconographiques qui ont pu être consultés dans le cadre des recherches bibliographiques.

III. Inventaire des sources historiques

L'analyse diachronique réalisée dans le cadre de cette étude historique porte sur l'évolution : (i) du tracé de la Moselle, de l'Orne et de la Seille, (ii) du bâti et des gravières au sein des EAIP de ces trois cours d'eau. Elle repose sur la collecte d'un corpus cartographique et documentaire historique. L'intérêt de compiler ces cartes est de pouvoir ensuite les comparer, notamment sous SIG, et ainsi produire une analyse diachronique pour suivre l'évolution du tracé des cours d'eau (Malavoi et Bravard, 2010) ou du bâti (annexe 1).

Les sources disponibles couvrent la période entre 1728 et aujourd'hui, mais l'analyse diachronique démarre au début du XIXe siècle, avec les premières sources cartographiques véritablement fiables.

1. La carte des Naudin

Ces cartes ont été réalisées entre 1728 et 1739 par des ingénieurs géographes de l'atelier des Naudin sur la Lorraine de l'époque. L'ancienne région Lorraine est entièrement cartographiée et ce document constitue la première source cartographique avant la carte de Cassini et d'Etat-Major. Ces cartes (fig. 10) représentent les territoires ruraux et urbains et à défaut d'être géométriquement exactes, elles fournissent une information qualitative et ponctuelle non négligeable (gué, bac, passerelle, moulin, industrie, étang, etc.).



Figure 10 - Extrait de la carte des Naudin - Zone C05 / Z01-03, secteur de Pont-à-Mousson
Source : <http://patrimoineseethistoire.grandest.fr>

2. La carte de Cassini

La « Carte générale et particulière de la France » constitue la première carte topographique de la France. Cette dernière a été élaborée durant la deuxième moitié du XVIII^e siècle par Cassini de Thury (Bigourdan, 1899). Elle se base sur le méridien de Paris et possède une échelle de 1/86 400 (Dainville, 1955). Les feuilles disponibles pour la zone d'étude ont été levées entre 1754 et 1761 et sont accessibles via Géoportail⁴ où elles sont assemblées et géoréférencées. Bien que l'ancienneté de ce document cartographique présente un intérêt dans le cadre d'une étude historique, son utilisation reste limitée car la carte de Cassini (fig. 11) est en effet assez imprécise, présente des déformations géographiques et omet des informations orohydrographiques ainsi que des aménagements anthropiques (Pelletier, 2002 ; Vallauri et al., 2012). Elle apporte des informations qualitatives, notamment sur la morphologie des lits, mais elle ne peut pas être utilisée pour extraire une information précise ou quantifiée. A noter néanmoins qu'à l'époque les moulins étaient soumis à l'impôt, ils sont donc assez bien localisés.



Figure 11 - Extrait de la carte de Cassini dans le secteur de Metz
Source : [geoportail.gouv.fr](https://www.geoportail.gouv.fr)

Les autres sources d'Ancien régime sont d'intérêt ponctuel, jugées trop partielles ou de fiabilité trop incertaine pour être utilisées (atlas de Trudaine notamment).

3. Les cartes d'État-Major

Créées à partir de 1802, puis révisées durant tout le XIXe siècle, les cartes dites de l'Etat-Major viennent compléter la carte de Cassini avant de totalement l'occulter (Chappart et Reynard, 2007). Les premières feuilles sont publiées à partir de 1830 au 1/80 000, puis révisées surtout au 1/40 000 jusqu'en 1880. Pour la zone d'étude, les levés ont été terminés en 1831 (Bigourdan, 1899). Ces feuilles sont construites dans la projection de Bonne, permettant la conservation des surfaces mais pas des angles (projection équivalentes), comme c'est le cas pour la plupart des projections modernes. De ce fait, elles sont utilisables pour la digitalisation du lit mineur mais des décalages peuvent apparaître (fig. 12). De plus, les feuilles manquent de précision (pixellisation) rendant les zones bâties incomparables au bâti actuel. La carte d'état-major constitue néanmoins une référence incontournable dans l'étude des dynamiques historiques d'usage du sol (Dupouey et al. 2007 ; Rochel, 2017). La valeur de cette source dans la région a déjà été étalonnée, notamment par Rochel (2017) : on sait que la représentation des surfaces forestières est très exacte, mais que des précautions doivent être prises avec les autres catégories d'usage du sol. Les surfaces bâties sont difficiles à mesurer, de même que les jardins, les vignes, les vergers et tout ce qui se présente sous la forme de petits îlots de faible surface. Cette carte sera tout de même utilisée dans le cadre de l'analyse diachronique car elle constitue le premier et le seul document exploitable pour le XIXème siècle dans la zone d'étude.

Les cartes d'État-major sont accessibles sur Géoportail et peuvent être téléchargées sur l'espace professionnel de l'IGN (IGN, 2016) où elles sont géoréférencées dans le système de coordonnées Lambert 93.

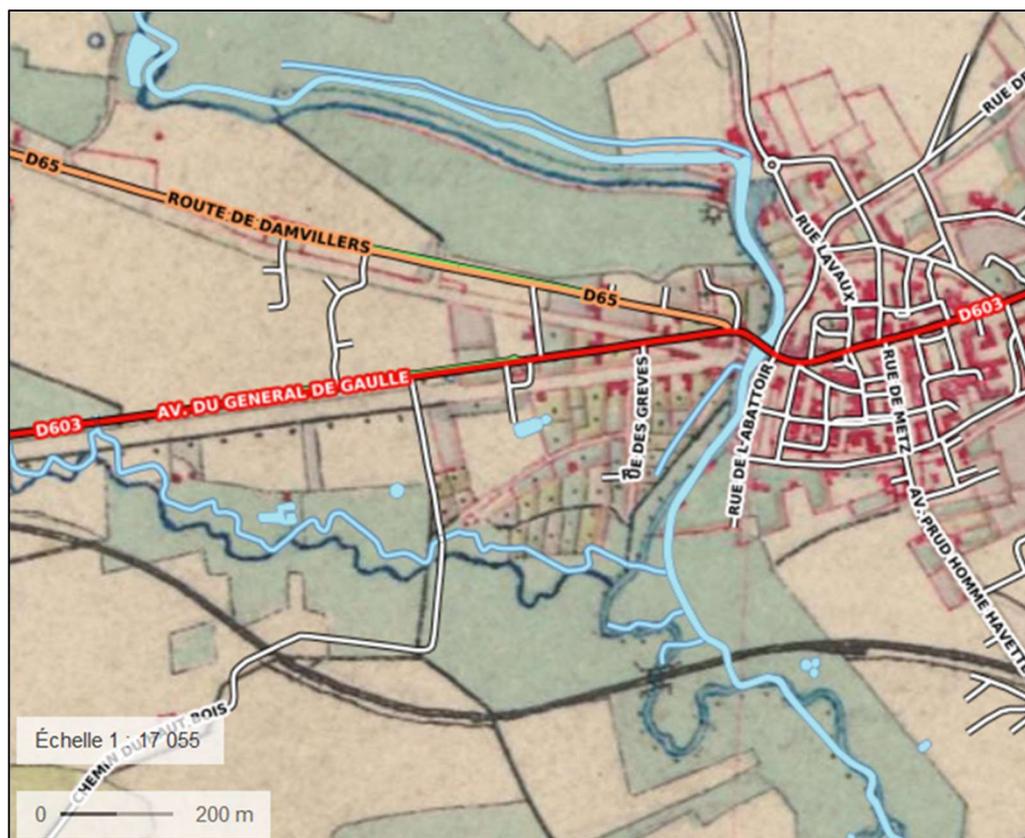


Figure 12 - Extrait de la carte d'Etat-Major à Étain
 Sur ce document on identifie un décalage de la carte d'Etat-Major vers le sud, en comparant notamment la position des routes départementales D65 et D603 et des cours d'eau.
 Source : geoportail.gouv.fr

4. Les orthophotographies

Une orthophotographie (fig. 13) est une « image photographique dont on a corrigé les déformations dues au relief du terrain, à l'inclinaison de l'axe de prise de vue et à la distorsion de l'objectif. Il s'agit donc d'une source superposable à une carte (géoréférencée) et facilement intégrable dans un SIG » (Orthophotographie — Géoconfluences, s. d.). De très nombreuses missions constituent aujourd'hui un patrimoine inestimable, utile à l'étude rétrospective des territoires. Une grande partie de ce patrimoine est accessible via le portail « Remonter le temps⁵ » ou par l'offre professionnelle de l'IGN. Il s'agit des meilleures sources exploitables pour les décennies 1930 à aujourd'hui. Les orthophotos, lorsqu'elles ont été prises dans de bonnes conditions météorologiques, peuvent fournir une image de très bonne qualité permettant de déterminer, par photo-interprétation, le tracé du lit mineur.



Figure 13 - Orthophotographie, Thionville le 28 mai 1928, cliché 96078 de la mission C3411-0561
 Source : remonterletemps.ign.fr

Les missions sont choisies de façon à ce que leur date se rapproche au mieux des années-objectif (par exemple, si une cartographie est prévue pour 1950, mais qu'il n'y a pas de mission à cette date, on se reporte sur 1948-49 ou 1950-51) (tab. 4).

Tableau 4 – Dates des missions orthophotographiques utilisées

	Moselle	Orne	Seille
Années 30	25 avril 1928 27 et 28 mai 1928 4 juillet 1932 1er octobre 1932	25 et 26 avril 1928 27 août 1934	23 juillet 1935 21 et 23 août 1935 21 septembre 1935
Années 50	Meurthe-et-Moselle : 1953		Moselle : 1955
Années 80	30 août 1979 31 août 1981 12, 13 et 15 mai 1982	13 mai 1982	6 et 18 septembre 1981 12 et 15 mai 1982

Pour cette étude, les orthophotographies sont regroupées en trois missions :

- **Les années 30**, pour lesquelles **164 images** ont pu être collectées sur le site « Remonter le temps ». D'une **emprise inférieure à 5 km²**, elles couvrent la Moselle (de Marbache à Dieulouard, de Pagny-sur-Moselle à Ars-sur-Moselle et d'Hauconcourt à la frontière) ; l'Orne (d'Étain à St-Jean-lès-Buzy et d'Auboué à la confluence avec la Moselle) ; la Seille (de l'étang de Lindre à Cheminot avec trois lacunes, une de Dieuze à Mulcey, une en aval de Chambrey et une au niveau de Phlin) ;
- **Les années 50**, achetées auprès de l'offre professionnelle de l'IGN. Au total, **598 clichés** d'une **emprise d'1 km²** permettent de couvrir l'ensemble des EAIP à cartographier ;
- **Les années 80**, téléchargées sur « Remonter le temps », regroupent **56 clichés de 16 km²** et couvrent également l'entièreté des EAIP.

5. Les données actuelles du territoire

Il s'agit des données vectorielles utilisées pour représenter le territoire actuel. Les limites administratives (limites de départements, intercommunales, communales) sont issues de la base Admin Express sur le site data.gouv.fr⁶. Le réseau hydrographique est issu de la BD Carthage de l'IGN⁷. La BD Topographique⁸ provenant également de l'IGN, a été utilisée pour décrire certains éléments du territoire tels que les infrastructures ou le bâti. Enfin, les photographies aériennes récentes sont utilisées pour faciliter l'étape de géoréférencement des orthophotographies historiques, expliquée dans la partie suivante. Ces photographies sont chargées directement sous l'outil SIG à partir d'un serveur Web Mapping Services (WMS) de l'IGN.

6. Synthèse des données exploitables et autres sources

La figure 14 présente l'ensemble des documents qui ont été utilisées dans le cadre de l'analyse diachronique (les cartes des Naudin et de Cassini ne sont pas exploitées pour la cartographie diachronique pour les raisons évoquées précédemment).

6 <https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/admin-express/>

7 <http://www.sandre.eaufrance.fr/>

8 <http://professionnels.ign.fr/bdtopo>

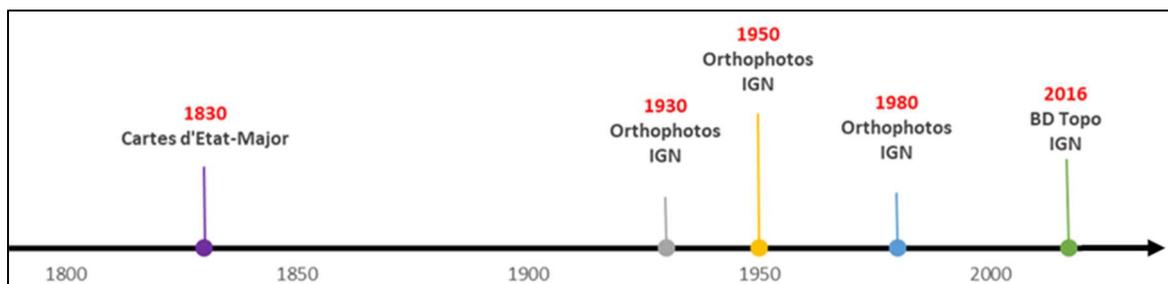


Figure 14 - Synthèse des documents cartographiques utilisés pour l'analyse diachronique

La frise chronologique met en évidence l'importante lacune temporelle entre 1830 et 1930. Des documents cartographiques sont disponibles durant cette période, notamment des plans directeurs de la première guerre mondiale ou des cartes topographiques datant du début du XXème siècle. Mais la principale difficulté réside dans la nécessité de disposer d'une même source et à la même date, sur l'ensemble des trois vallées étudiées. L'Histoire régionale explique pour partie l'absence de source homogène et centralisée. Le site Mapire⁹, qui rassemble à l'échelle de l'Europe des cartes topographiques géoréférencées datant de la fin du XIXème siècle, permet d'illustrer ce problème d'homogénéité des sources. La figure 15, qui présente cette cartographie au niveau de l'ancienne frontière entre la France et l'Allemagne, met en exergue la différence entre les cartes topographiques allemandes, très précises et exploitables, et les cartes disponibles côté français qui le sont beaucoup moins. Une demande d'abonnement au nouveau portail GeoGrandEst a été réalisée en juillet 2020, mais les ressources disponibles à ce jour sur ce site ne permettent pas d'apporter de source cartographique complémentaire. L'absence de modifications profondes du territoire entre ces deux dates, point abordé dans les parties IV et V, permet de relativiser l'impact de ce long hiatus entre les sources de la première moitié du XIXème siècle et les premières missions aériennes IGN des années 30, sur l'interprétation de l'analyse diachronique.

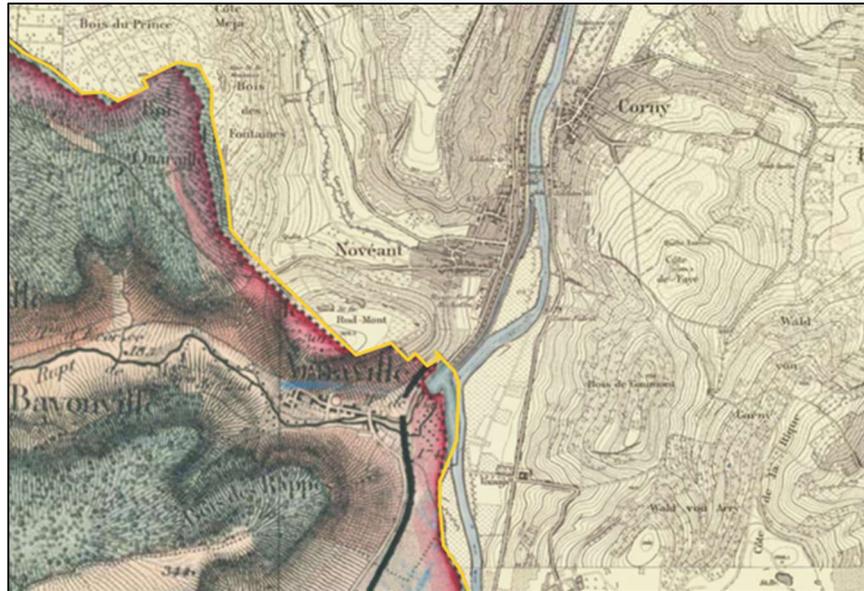


Figure 15 - Cartes topographiques de l'Europe au XIXème siècle
Ancienne frontière entre la France et l'Allemagne dans le secteur de Novéant
Source : <https://mapire.eu/>

Une autre difficulté réside dans le manque de précision des cartes d'Etat-Major, notamment en ce qui concerne le bâti ou le tracé exact des cours d'eau (cf. IV.4. Incertitudes liées à l'utilisation des documents anciens). A ce titre, le cadastre napoléonien établi entre 1804 et 1845 dans la zone d'étude peut constituer une source complémentaire intéressante. Les plans cadastraux sont disponibles aux archives départementales, parfois en ligne en format numérisé. C'est par exemple le cas du plan de la commune de Novéant, présenté en figure 16. Les plans cadastraux s'organisent sous la forme de tableaux d'assemblage et de feuilles parcellaires. Pour la commune de Novéant, 16 feuilles réalisées au 1/2500^{ème} permettent de couvrir l'ensemble de la commune. La collecte et le géoréférencement des plans du cadastre napoléonien constituerait un temps de travail qui n'est pas envisageable dans le cadre de cette étude. Ils pourront par contre être utilisés pour apporter ponctuellement un éclairage utile sur certains secteurs.



Figure 16 - Cadastre napoléonien, commune de Novéant : plan minute, sections A-E. Echelle 1/2500
Source : Archives départementales de la Moselle

IV. Intégration des données historiques à un SIG

Un Système d'Information Géographique (SIG) est un outil permettant d'organiser et de représenter des données spatialement référencées. Il permet de superposer des documents de différentes dates afin de mener une analyse diachronique de l'évolution d'un territoire. Les documents anciens sont très nombreux, mais ceux présentant une précision planimétrique suffisante pour pouvoir être géoréférencés le sont beaucoup moins et se résument ici aux cartes d'Etat-Major et aux orthophotographies. **L'exploitation de ces documents sous un SIG passe par deux étapes clés : le géoréférencement**, qui conditionne la bonne superposition des différentes images, puis **la digitalisation** des données du territoire que l'on souhaite étudier.

Dans le cadre de cette étude, deux logiciels de SIG aux formats compatibles ont été utilisés, à savoir QGIS et ArcGIS. Ce travail cartographique sous SIG aboutit à la réalisation d'un atlas cartographique qui contient l'ensemble des données historiques (annexe 1).

1. Le géoréférencement

Le géoréférencement (ou calage) **consiste à attribuer des coordonnées géographiques à un document** (photographie aérienne, carte, etc.) **afin de le repositionner spatialement** au sein d'un SIG. Le système de coordonnées utilisé est « RGF93 Lambert 93 » qui constitue le système national de référence.

Le calage des images est à effectuer sur les sources historiques non géoréférencées, ce qui, dans notre corpus, concerne les orthophotographies des années 1930 et 1980, soit 220 documents (les cartes d'Etat-Major ainsi que les orthophotographies des années 50 sont déjà géoréférencées par l'IGN). Pour qu'un géoréférencement soit de bonne qualité, il est nécessaire d'opter pour des paramètres de transformations optimums. Les orthophotographies étant déjà rectifiées géométriquement, elles ne nécessitent qu'un bon positionnement dans l'espace et une transformation simple devrait être suffisante. Cependant, après avoir effectué différents tests, et étant donné que les images sont très anciennes pour certaines, une légère distorsion a été appliquée et la transformation de type polynomiale 1 adoptée. **La méthode de géoréférencement utilisée ici est dite « en mode relatif » et reprend le guide du logiciel QGIS** (Lejeune et al., 2019). **Elle consiste à repérer le plus précisément possible des mêmes points, sur l'orthophotographie historique et sur les images aériennes actuelles.** En cas de modification importante du territoire, cette étape peut s'avérer délicate.

La qualité du géoréférencement dépend du choix des points de calage qui doivent être espacés et dispersés sur toute l'orthophotographie, l'idéal étant de les choisir aux quatre coins de l'image. **La qualité du géoréférencement s'apprécie par sa superposabilité** avec les autres couches SIG, **mais aussi par son erreur quadratique moyenne EMS** (ou RMSE Root Mean Square Error) qui doit être la plus faible possible. Cette valeur provient des erreurs de chaque point, appelés résidus :

$$EMS = \sqrt{\frac{R_1^2 + R_2^2 + R_3^2 + \dots + R_n^2}{nbR}}$$

Avec R_1, R_2 le résidu du point 1, 2 et $nb R$ le nombre de résidus (nombre de points).

Dans la majorité des cas, quatre points suffisent à obtenir une erreur acceptable, mais il est quelques fois nécessaire d'ajouter un ou deux points pour minimiser l'erreur augmentée par un relief important sur le terrain (côte de Moselle ou vallée aval de l'Orne notamment).

Au total, 164 images ont été géoréférencées pour la mission des années 30 et 56 pour les années 80 (tab. 5). L'emprise spatiale des orthophotographies des années 30 est beaucoup moins importante que pour les années 80, ce qui explique un nombre plus important d'images à géoréférencer. Les erreurs moyennes des différents regroupements d'orthophotographies sont rassemblées dans le tableau 5 et généralement inférieures à 5 m, ce qui pour ce type de document est tout à fait acceptable.

Tableau 5 – Nombres d'orthophotographies géoréférencées et erreur quadratique moyenne (EMS)

Mission	Nombre d'orthophotographies	EMS (m)
1928 - Aval Moselle	79	2,959
1928 - Orne aval	23	3,499
1932 - Moselle amont	10	2,803
1932 - Moselle centrale	12	3,469
1934 - Orne centrale	12	3,642
1981 - Seille 1/2	4	3,315
1982 - Seille 2/2	13	2,386
1982 - Moselle 1/2	13	2,373
1982 - Moselle 2/2	13	2,649
1982 - Orne	13	4,358

2. La vectorisation

La vectorisation (ou digitalisation) consiste à redessiner la géométrie des éléments de l'image que l'on souhaite étudier. Cette étape a été réalisée à partir des cartes d'État-Major et des orthophotographies. **Les objets à cartographier sont les lits des cours d'eau** (Moselle, Orne et Seille) ainsi que **les gravières et le bâti situés dans l'Enveloppe Approchée des Inondations Potentielles (EAIP)**.

- ✓ La couche des EAIP a été fournie par le SMMA pour l'ensemble du bassin versant de la Moselle aval ; elle a été redécoupée pour obtenir individuellement l'EAIP de la Moselle, de la Seille et de l'Orne (fig. 17) ;
- ✓ Les cours d'eau sont vectorisés à partir de polygones composant leurs contours (berges) car la largeur de leur lit est importante, sauf l'Orne amont qui est représentée sur une partie de son tronçon par un figuré linéaire ;
- ✓ Les gravières sont également vectorisées par des polygones composant le contour de ces objets ;

- ✓ Concernant le bâti, la procédure diffère selon la source historique à partir de laquelle la vectorisation est effectuée :
 - Sur la carte d'État-Major, les bâtiments ne sont pas individualisés ; la vectorisation a donc parfois porté sur le pourtour des îlots représentant un ensemble de bâtiments ;
 - Sur les orthophotographies, les bâtiments sont bien identifiables, mais ils n'ont pas fait l'objet d'une vectorisation systématique. En effet, la plupart des bâtiments visibles sur les orthophotographies historiques existent toujours et leur contour n'a pas changé. La couche du bâti actuel, disponible dans la BDTOPO, a été superposée aux orthophotographies et utilisée comme point de départ : le bâti inexistant sur l'image ancienne est supprimé, et dans quelques cas du bâti a dû être ajouté.

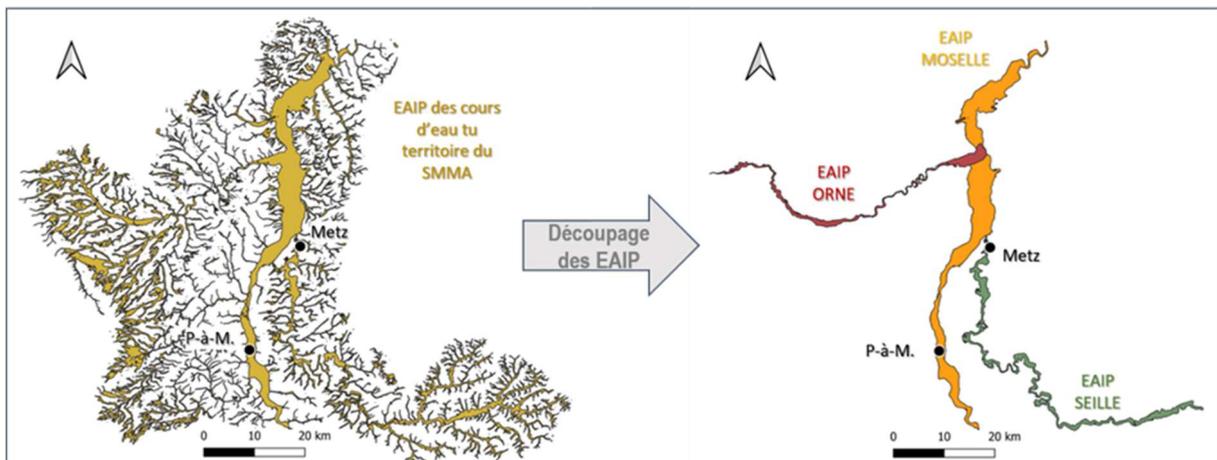


Figure 17 - Découpage des EAIP des trois cours d'eau étudiés

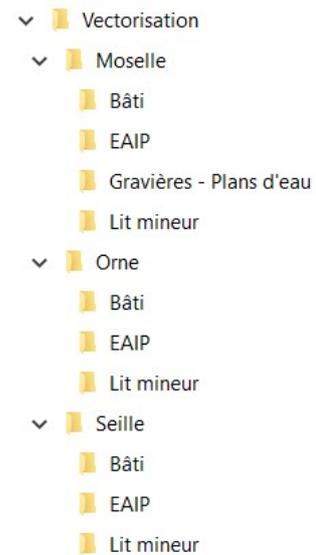
L'ensemble des données historiques est fourni sous la forme d'un atlas (annexe 1) et de couches SIG dont l'organisation est présentée dans la partie suivante.

3. Organisation des couches SIG

Le dossier « Vectorisation » rassemble les couches vectorielles en format shape (.shp), utilisables sous QGIS ou ArcGIS, dans la projection Lambert 93.

Les sous-dossiers sont organisés par cours d'eau : « Moselle », « Orne », « Seille ».

Puis par type d'élément vectorisé : « Bâti », « Lit mineur », « Gravières – Plans d'eau » (ce dernier objet ne concerne que la Moselle). Les EAIP de chaque cours d'eau sont également fournies (« EAIP »).



Le schéma ci-contre présente l'arborescence pour les données vectorielles.

Les dossiers contiennent les couches shape organisées en format « X_Y_Z » avec :

- « X » pour le nom des cours d'eau :
 - « M » pour la Moselle ;
 - « O » pour l'Orne ;
 - « S » pour la Seille.
- « Y » pour l'élément qui a été vectorisé :
 - « B » pour le Bâti ;
 - « LM » pour le Lit Mineur ;
 - « G » pour les Gravières.
- « Z » indique la période historique :
 - « EM » pour l'État-Major ;
 - « 30 » pour les années 30 ;
 - « 50 » pour les années 50 ;
 - « 80 » pour les années 80 ;
 - « A » pour actuel.

Toutes ces couches comportent uniquement des polygones, exceptées pour le lit mineur amont de l'Orne qui n'est pas assez large pour être représenté de façon surfacique. Cette distinction est opérée dans les noms des fichiers pour lesquels on ajoute « P » ou « L » ; on obtient ainsi « O_LM_Z_P » et « O_LM_Z_L » pour le lit mineur de l'Orne, respectivement pour « Polygone » et « Ligne ».

Les couches des EAIP sont appelées « EAIP_M », « EAIP_O » et « EAIP_S », respectivement pour la Moselle, l'Orne et la Seille.

Les emprises des missions d'orthophotographies utilisées sont également disponibles dans le sous-dossier « Emprise ». Le libellé de la mission est renseigné dans la table attributaire.

4. Incertitudes liées à l'utilisation des documents anciens

Les données vectorielles issues de ce travail sont assorties d'une incertitude dont l'origine dépend de la nature du document utilisé. Ainsi, sur les orthophotographies il est parfois difficile d'identifier clairement le chenal d'écoulement du cours d'eau, notamment lorsque la ripisylve est très développée. La figure 18 présente un exemple de délimitation du lit mineur de l'Orne à Rosselange rendue difficile par la présence de la ripisylve qui génère une ombre sur le cours d'eau. La présence d'une ripisylve n'impacte pas l'emplacement du tracé du cours d'eau, mais peut engendrer des imprécisions sur la largeur du chenal.



Figure 18 - L'Orne à Rosselange
Source : Cliché 57-1955-0923-6911, IGN

Des décalages peuvent par ailleurs apparaître entre les orthophotographies et les données actuelles utilisées en référence. La figure 19 illustre le cas d'un important décalage entre le bâti actuel (en rouge) et le bâti de l'époque (la route peut servir de repère pour identifier l'importance de ce décalage). L'erreur sur le géoréférencement reste néanmoins faible car elle ne dépasse pas 5 m en moyenne, ce qui est négligeable puisque les atlas sont fournis au 1/25000^{ème}, soit une erreur équivalente à 0,2 mm sur la carte. Ces décalages posent surtout problème à l'opérateur qui doit, lors de la digitalisation du bâti, retrouver l'emplacement de l'ancien bâtiment par rapport aux données actuelles.

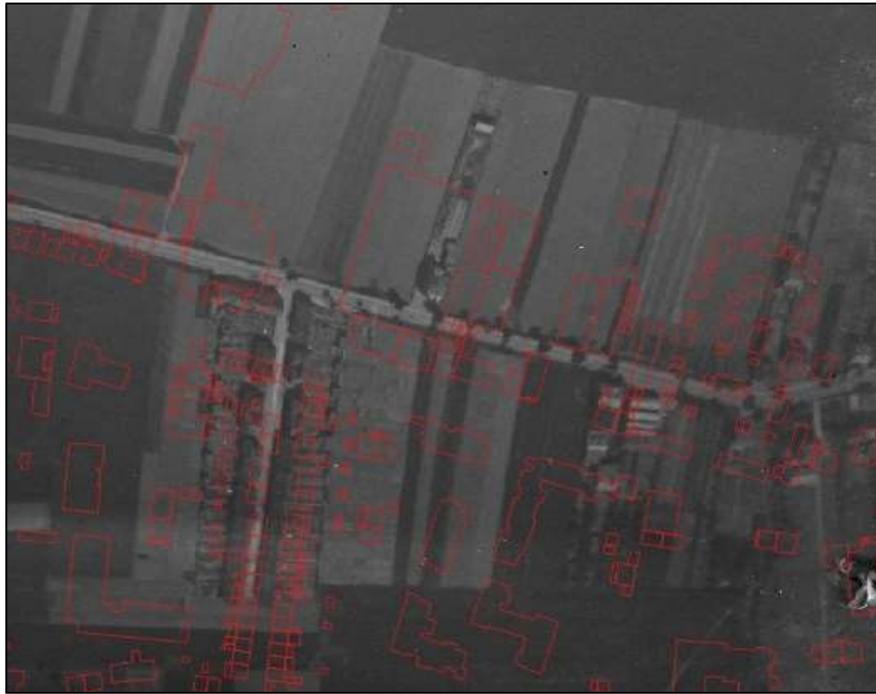


Figure 19 - Décalage important du bâti actuel (rouge) par rapport au bâti de l'époque : Cité Jeanne d'Arc à Terville
Source : Cliché 96080 de la mission C3411-0561 de 1928, IGN

Mais la principale difficulté est liée aux sources d'incertitudes planimétriques des cartes d'Etat-Major. Duquesne et al. (2020) ont estimé à plus de 30 mètres l'erreur quadratique moyenne obtenue à partir de ce type de documents (tab. 6). Les feuilles d'Etat-Major utilisées dans le cadre de cette étude ont été géoréférencées par l'IGN ; les décalages constatés ne sont donc pas inhérents à une mauvaise procédure de géoréférencement, mais bien à des problèmes planimétriques.

Tableau 6 – Erreurs liées au géoréférencement des cartes d'État-Major

Carte	Année	Référence de la carte	Taille du pixel (m)	Erreur brute des données	Erreur de géoréférencement	Erreur de digitalisation	Estimation de l'erreur globale (m)	Erreur quadratique totale (m)
Carte d'Etat-Major	1866	IGNF Scan Saintes	1,69	±1,69	±36,11	±3,38	±41,18	36,31
	1866	IGNF Scan Cognac	1,69	±1,69	±26,61	±3,38	±31,68	26,88
	1866	IGNF Scan Bourg Charente	1,69	±1,69	±39,42	±3,38	±44,49	39,60
	1866	IGNF Scan Angoulême	1,69	±1,69	±24,23	±3,38	±29,30	24,52

Sur le territoire d'étude, des décalages ont été constatés par comparaison du positionnement du lit mineur dans des secteurs où la morphologie fluviale n'a, a priori, pas évolué (fig. 20). La comparaison entre les limites communales actuelles et celles de l'État-Major a également permis de mettre en exergue certains décalages (fig. 21).

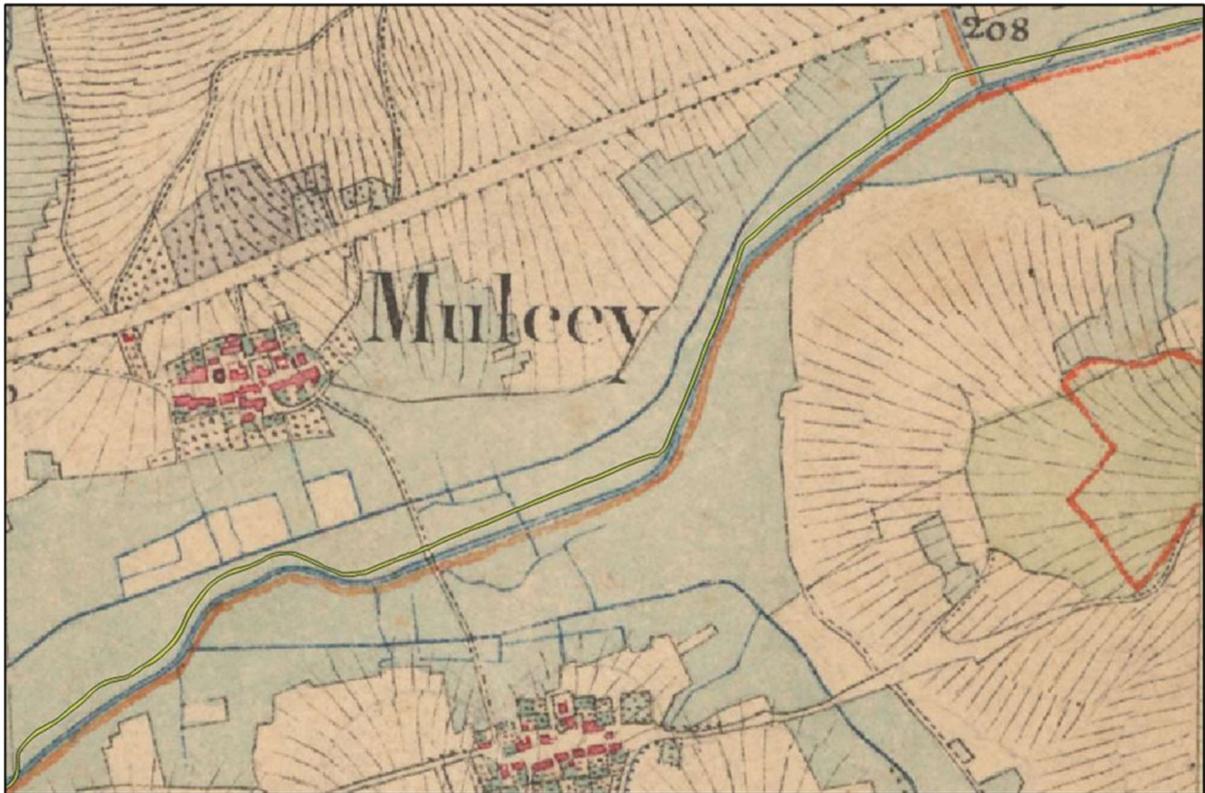


Figure 20 - Exemple de mauvais calage de la feuille d'État-Major
Comparaison entre le lit actuel (jaune) et le lit à l'époque (bleu) : vallée de la Seille
Source : Géoportail.fr



Figure 21 - Exemple de mauvais calage de la feuille d'État-Major
Comparaison entre le découpage administratif actuel (vert) et le découpage à l'époque (rouge) :
Vallée de la Seille
Source : Géoportail.fr

L'inventaire des décalages observés sur les trois cours d'eau étudiés a permis de conclure à un écart **présent en ordonnée mais très peu en abscisse**. Ainsi, la vallée de l'Orne qui s'écoule principalement d'ouest en est **montre des décalages fréquents entre la carte d'Etat-Major et les données actuelles**. La vallée de la Seille est surtout concernée dans sa **partie amont** alors que la vallée de la Moselle ne connaît quasiment aucun décalage.

Lors de l'étape de vectorisation, **ces problèmes de planimétrie peuvent faire apparaître un tracé de cours d'eau décalé par rapport au chenal actuel** dans des secteurs où la morphologie fluviale n'a pas évolué. **Les tronçons qui apparaissent décalés par rapport au cours d'eau actuel**, et dont l'écart est jugé lié à une incertitude planimétrique par l'opérateur, ont été **cartographiés par un figuré pointillé spécifique dans les atlas** (fig. 22).

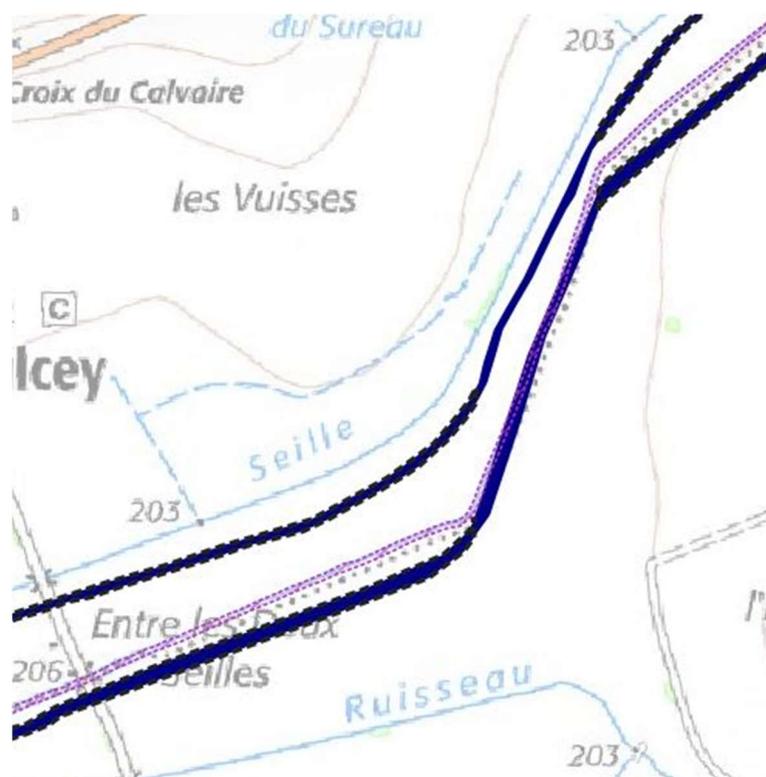


Figure 22 – Identification des secteurs décalés
Cours de la Seille actuel (en rose), celui de l'Etat-Major (en bleu foncé) et sa partie décalée (en pointillés), au niveau de Mulcey. On observe le canal de la vieille Seille au nord, vectorisé à partir des cartes d'Etat-Major, visible encore aujourd'hui dans la topographie

Les erreurs de géoréférencement constituent la principale source d'incertitude, mais **des erreurs de digitalisation peuvent également apparaître**. Elles correspondent à **l'incertitude liée à l'interprétation des limites du chenal** à vectoriser. Ces erreurs ont été estimés à environ 3 m par Duquesne et al. (2020), mais des essais sur la Meurthe ont mis en évidence des erreurs qui pouvaient être bien plus importantes (Lejeune et al., 2020). **Le recours au cadastre napoléonien constitue une des meilleures pistes pour réduire l'erreur moyenne**, mais son

utilisation est très chronophage et sa généralisation à l'échelle du territoire d'étude n'est donc pas envisageable dans le cadre ce travail.

V. L'Évolution du tracé des cours d'eau et des enjeux depuis 1830

1. La mobilité des cours d'eau

L'analyse diachronique, qui fournit à différentes dates l'emplacement du lit du cours d'eau, **permet de connaître la mobilité historique des cours d'eau.**

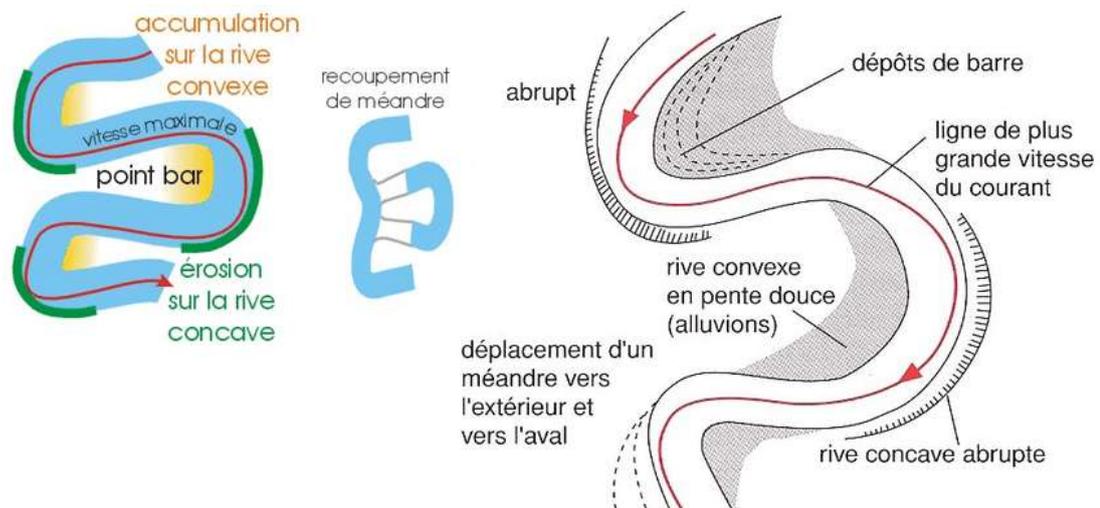
La Moselle, dans sa partie aval, possède peu de possibilité de divagation latérale de son lit durant la période étudiée. À l'époque gallo-romaine, la Moselle était déjà connue comme étant une artère fluviale majeure, des projets de canalisation émergent dès 52 avant J-C (Cermakian, 1975). Ce cours d'eau est utilisé très tôt pour la navigation, conduisant à des interventions humaines plus ou moins importantes pour stabiliser son cours. A partir du XVème siècle, la Moselle a connu d'importantes transformations et une multiplication des infrastructures hydrauliques et fluviales, comme les digues, les vannes, les moulins ou même les ponts (Ferber, 2016). Les textes montrent qu'une grande partie des aménagements tentés au cours de cette période étaient des travaux de défense, et dans de rares cas la remise de la rivière dans son lit que les crues lui ont fait quitter (Bonfont et Carcaud, 1997). La Guerre de Trente Ans (1618-1648) entraîne l'arrêt quasi total de la navigation sur la Moselle et restreint toutes les activités (Schontz, 2004). La Moselle était négligée et l'ensablement du lit a empêché toute navigation importante ; seul le flottage continue à être pratiqué sur certaines sections (Frécaut, 1959). Ce n'est qu'à partir de 1830 que les aménagements lourds de la Moselle commencent réellement (Bonfont et Carcaud, 1997), avec la multiplication d'ouvrages de franchissements qui passent d'une dizaine au début du XIXème à plus de 100 aujourd'hui. Concernant les travaux dans le lit de la Moselle, ils comportent le dragage, le dérochage, la construction des digues et des chenaux artificiels, l'aménagement des chemins de halage et des quais. Depuis ces travaux, la navigation sur la Moselle a pris un essor extraordinaire (Schontz, 2004). En 1877, la Moselle est canalisée à petit gabarit sur le tronçon Ars-sur-Moselle – Metz, puis la canalisation est généralisée avec la création de 14 écluses. Le CAMIFEMO est ouvert à la navigation en 1932 (fig. 23), et la mise à grand gabarit est opérée dans la deuxième moitié du XXème siècle, réduisant le nombre d'écluses à 11. Ces travaux nécessitent des modifications

du tracé de la rivière, notamment des recoupements de méandres¹⁰ (fig. 24, 25 et 26) ou des élargissements de lit. **Les principaux changements de tracé, identifiés lors de l'analyse diachronique, sont donc à attribuer à des interventions anthropiques.**

ENCADRE 3. Recouplement de méandre (d'après Boulvain, 2014)

Les rivières produisent une érosion latérale qui conduit à la formation d'une plaine alluviale. Comme l'érosion latérale est fortement contrôlée par la résistance des roches à l'érosion, la largeur de la plaine alluviale est variable et généralement réduite dans les roches dures. Le mécanisme de l'érosion latérale est lié principalement au développement des *méandres*. Une fois formés, les méandres ont tendance à se déplacer vers l'extérieur et vers l'aval du cours d'eau par érosion sur la rive concave (où la vitesse du courant est la plus forte) et dépôt sur la rive convexe (où la vitesse est la plus faible). L'accumulation des sédiments se fait sous la forme de *point bars* ou *lobes de méandre*. Le recouplement des méandres génère des méandres abandonnés (figure A).

Figure A : Formation des méandres par érosion de la rive concave et sédimentation sur la rive convexe. L'ensemble se déplace vers l'aval. Recouplement de méandre et développement d'un méandre abandonné (Boulvain, 2014)



¹⁰

Il s'agit de recoupements anthropiques ; l'origine de recoupements naturels est expliquée dans l'encadré 3

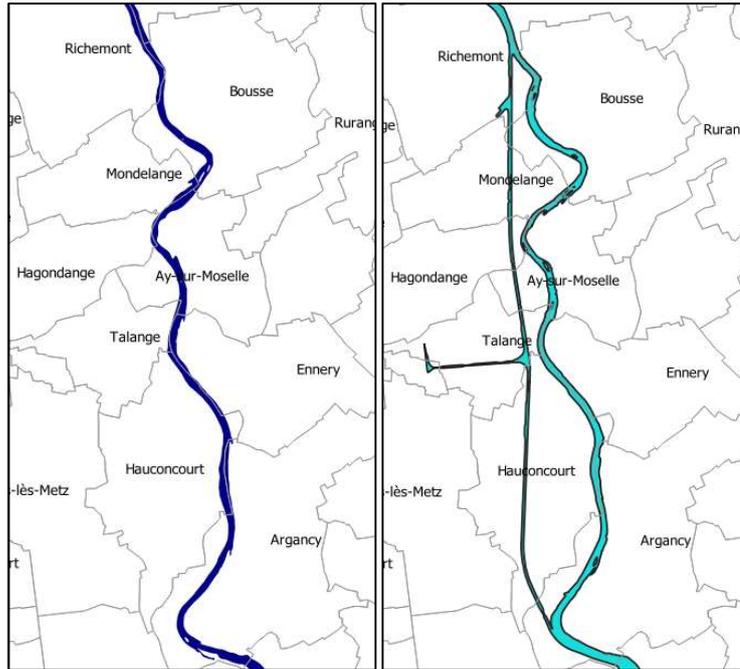


Figure 23 - Tracé de la Moselle entre Hauconcourt et Richemont
Apparition du CAMIFEMO à l'ouest du lit de la Moselle sur l'image de droite
Gauche : tracé réalisé à partir de la carte d'État-Major ; Droite : tracé actuel.

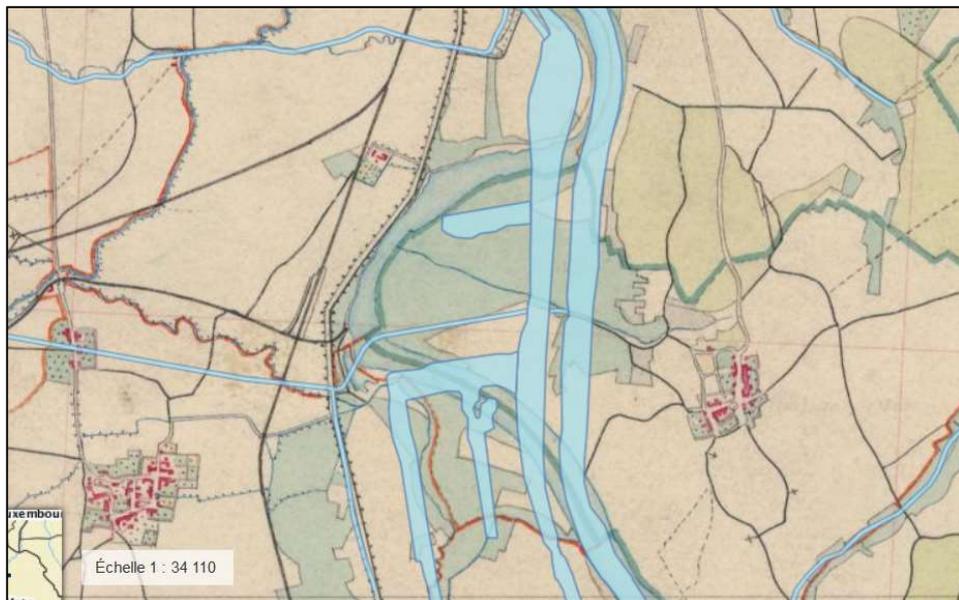


Figure 24 - Recouplement de méandre à l'ouest de la commune d'Illange dans le cadre de la réalisation du CAMIFEMO et de l'aménagement du port de Thionville-Illange
Le fond de carte correspond à l'Etat-Major sur lequel l'hydrographie actuelle a été ajoutée
Source : Geoportail.fr

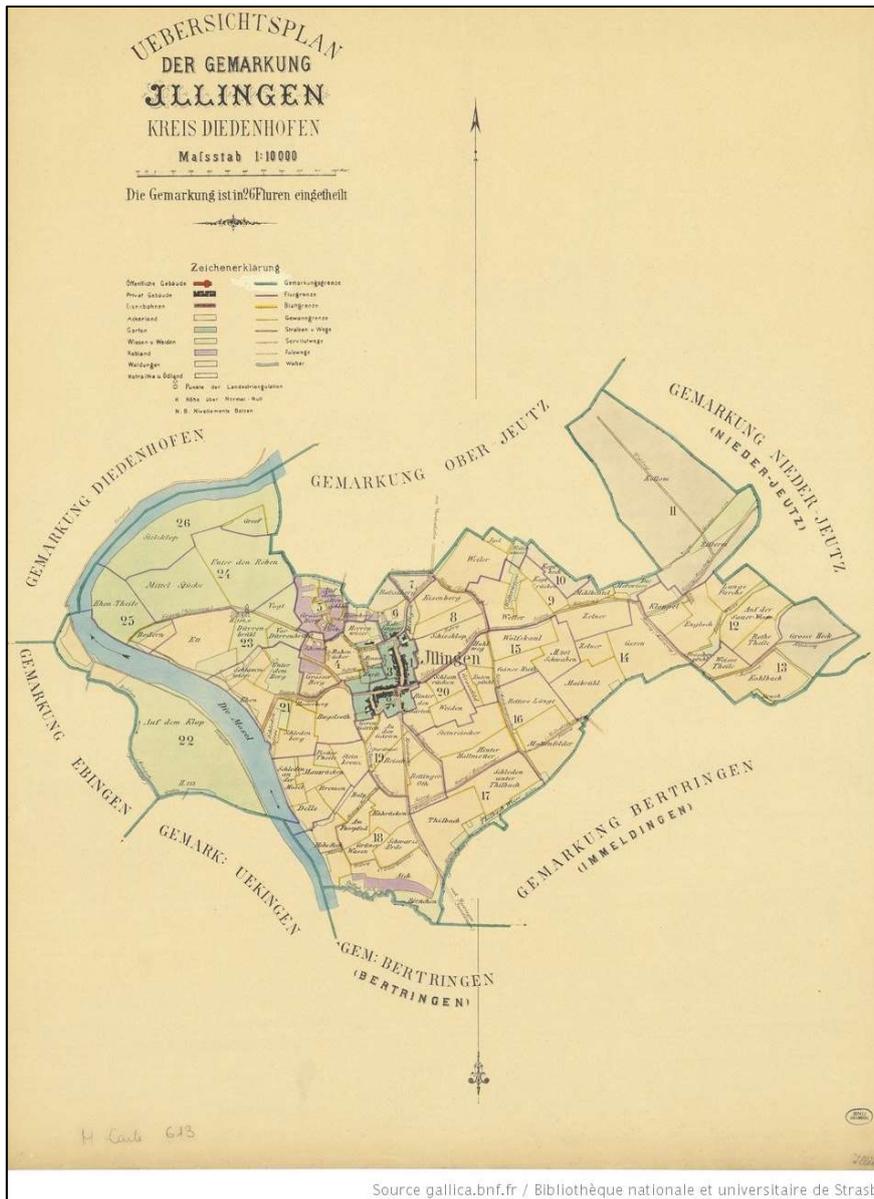


Figure 25 - Plan général du district d'Illingen, district de Diedenhofen (Thionville), en 1891
 Avant la rectification du tracé
 Source : gallica.bnf.fr

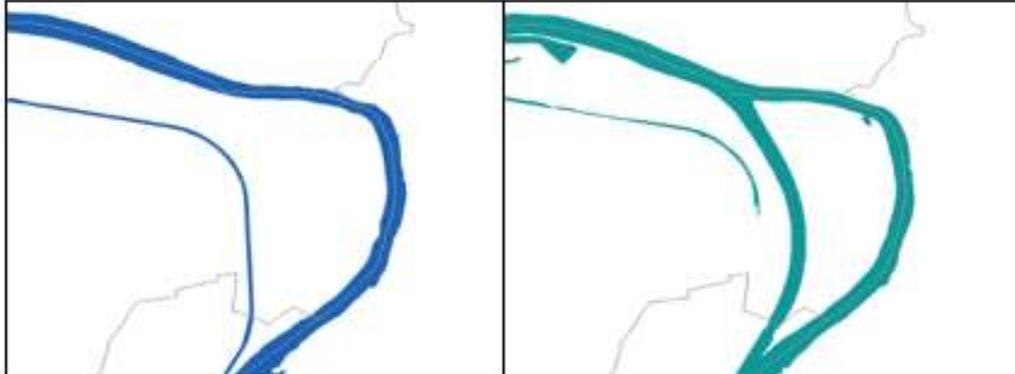


Figure 26 - Tracé de la Moselle et recouplement de méandre pour accueillir les grands gabarits
 Commune de Belleville
 Tracé réalisé à partir des orthophotographies des années 50 à gauche et des années 80 à droite

La Seille est aménagée dès l'Antiquité pour le transport du sel. A partir du XII^{ème} siècle, les étangs et les moulins commencent à se multiplier (Mathis, 2009) ; on compte une vingtaine de moulins au XVIII^{ème}, contre moins d'une dizaine, non utilisés, aujourd'hui. Ces nombreux moulins du cours de la Seille gênent le trafic des bateaux transportant le sel en provenance du Saulnois et rendent la navigation délicate (Schontz, 2004 ; Ferber, 2016). Durant cette période, la vallée de la Seille a connu de faibles interventions humaines qui étaient locales ou effectuées sans caractérisation (El Ghachi, 2007). Au début du XVI^{ème} siècle, le lit de la Seille est tellement encombré par les alluvions que le transport de marchandises par bateau y est abandonné, ce qui entraîne la disparition des bateliers installés aux abords de cette rivière (Ferber, 2016), alors que la partie supérieure de la Seille est utilisée pour transporter par flottage les bois destinés aux Salines de Dieuze (Schontz, 2004). Ce n'est qu'en 1629 qu'apparaissent mentions de grandes actions de curage et d'élargissement du chenal (El Ghachi, 2007). La carte d'Etat-Major permet d'identifier de nombreuses dérivations réalisées pour alimenter les moulins (fig. 27). Le cours d'eau subit une rectification et un recalibrage importants, en particulier durant la période de l'annexion allemande, et son tracé n'a que peu changé depuis le XIX^{ème} siècle. Après la première guerre mondiale, de grandes actions de nettoyage et des travaux de remise en état des ponts ont été menés pour enlever tous les débris et réparer les dommages de guerre (El Ghachi, 2007) provenant des nombreux ouvrages de franchissements (une trentaine) liés à l'activité agricole principalement. Les travaux sont particulièrement visibles sur les orthophotographies des années 50, avec des bourrelés de curage bien identifiables sur la quasi-entièreté du linéaire (fig. 28).

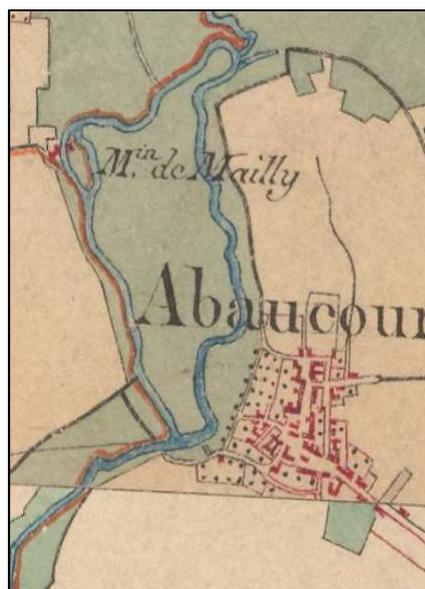


Figure 27 - Dérivation de la Seille pour l'alimentation du moulin de Mailly sur la carte d'État-Major
Source : Geoportail.fr



Figure 28 - Bourrelés de curage le long de la Seille rectifiée en aval de Moyenvic, 1950
Source : Cliché 57-1955-0960-6860, IGN

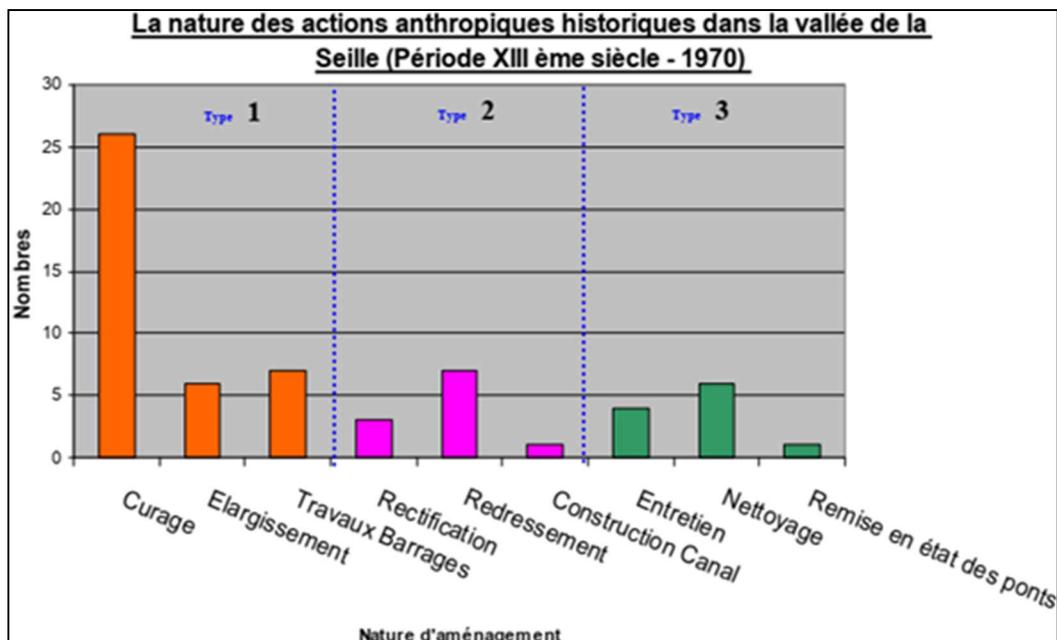


Figure 29 - La nature des actions anthropiques dans la vallée de la Seille (Période XIII^{ème} siècle – 1970)
Source : El Ghachi, 2007

L'Orne a connu une anthropisation plus récente (XIX^{ème} siècle) et se retrouve, dans sa partie aval, très contrainte. Les documents consultés n'abordent l'histoire de l'Orne qu'à partir de 1789, lorsque les fermiers domaniaux du duché de Lorraine sollicitent le privilège de rendre l'Orne navigable, mais ce projet n'a pas été réalisé (Schontz, 2004). Avec la création du syndicat intercommunal pour le curage de l'Orne en Meurthe et en Moselle en 1949, des travaux d'élargissement, de curage et de calibrage de la rivière ont été réalisés (Martinois, 2014). Le tracé de l'Orne depuis Rosselange jusqu'à la confluence avec la Moselle est totalement rectifié en raison des activités liées à l'industrie sidérurgique (fig. 30).

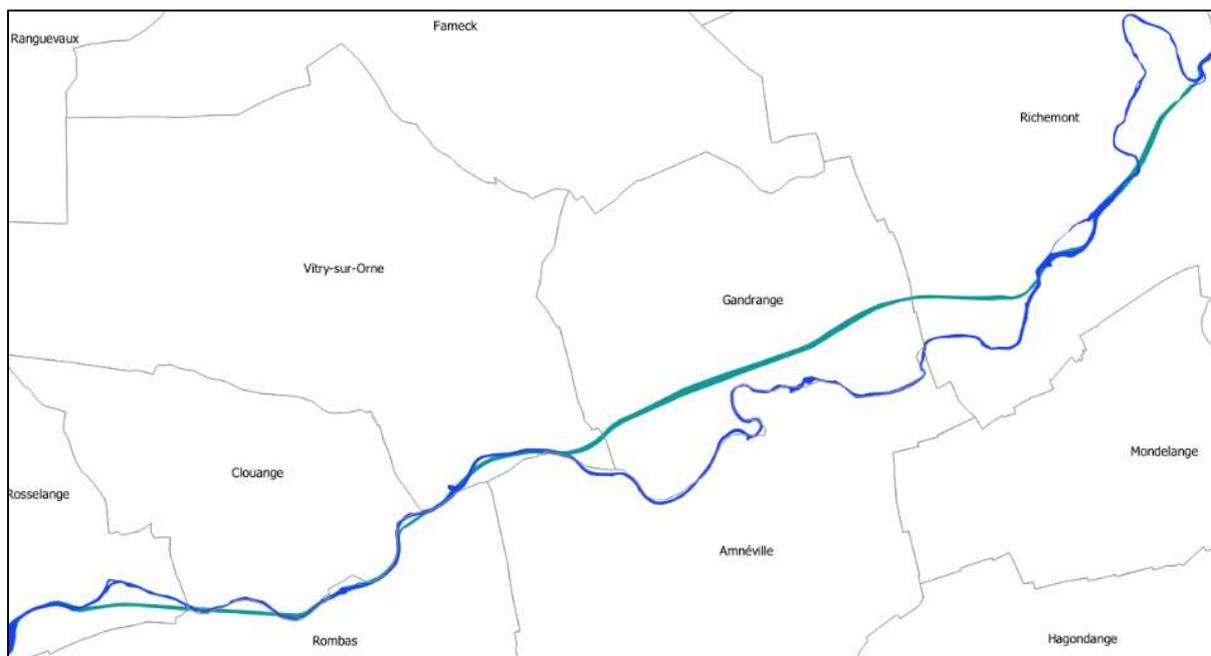


Figure 30 - Tracé de l'Orne et rectification de son cours, de Rosselange à la confluence
 Bleu : années 50 ; Turquoise : années 80

Les principales modifications observées dans le tracé des lits mineurs sont rassemblées en annexe 4. Ces cours d'eau portent l'héritage des différentes étapes de valorisation de leurs fonds de vallée. Les nombreuses actions anthropiques, anciennes ou récentes, qui visent également à contrôler les extrêmes hydrologiques des cours d'eau (Bonfont et Carcaud, 1997), ont eu pour effet de diminuer la dynamique fluviale (Corbonnois et Zumstein, 1994 ; El Ghachi, 2007 ; Frécaut, 1973 ; Maire et Corbonnois, 2000). Ainsi, ces cours d'eau sont aujourd'hui peu mobiles, surtout la Moselle qui dispose d'une mince bande délimitée par les nombreuses gravières de la vallée.

2. L'exploitation du matériel alluvial dans la vallée de la Moselle aval

Le paysage de la vallée de la Moselle aval est marqué par de nombreuses gravières (fig. 31, encadré 4). Elles occupent actuellement 18,5 km², soit près de 8,5 % de la superficie totale de l'EAIP de la Moselle aval (fig. 32). L'apparition des gravières dans le paysage de la vallée de la Moselle est visible sur les orthophotographies dès les années 30. A partir de cette période, on note une importante augmentation de l'exploitation, puis un ralentissement à partir des années 80.



Figure 31 - Le sillon mosellan à l'aval d'Argancy, entre gravières et bâti
 Source : Lecture des paysages lorrains, A. Humbert, 2017

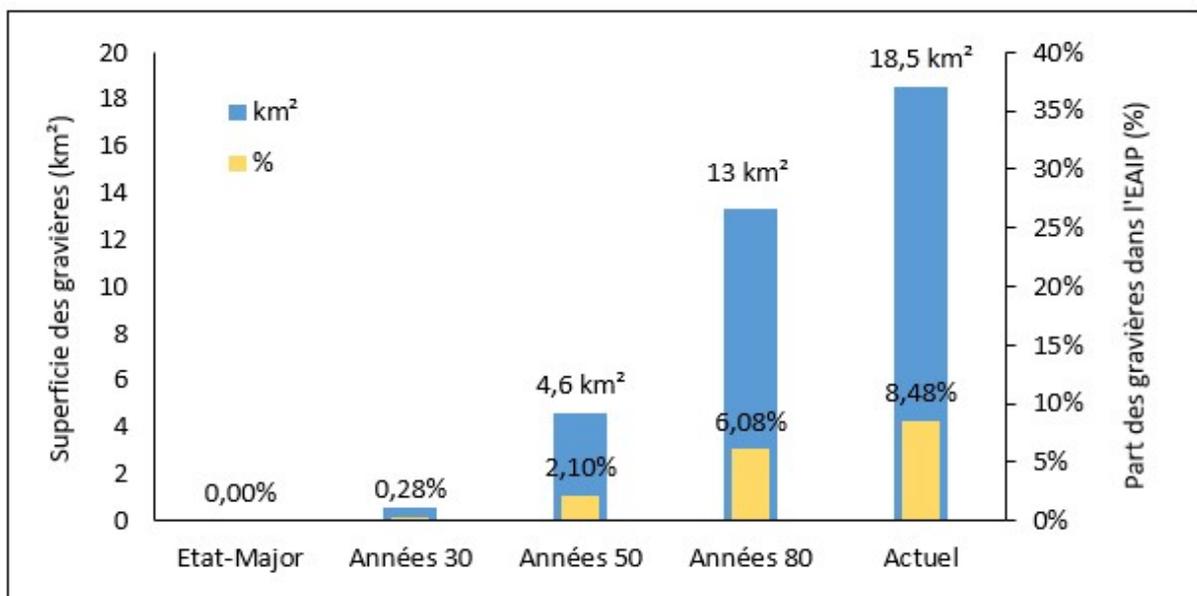


Figure 32 - Évolution de l'emprise des gravières au sein de l'EAIP de la Moselle aval

Pour apprécier l'évolution spatiale de l'emprise des gravières le long de la Moselle, l'EAIP a été découpée en 45 tronçons, soit tous les 2,5 km de linéaire, à partir des Points Kilométriques Hydrographiques (PKH) (fig. 33).

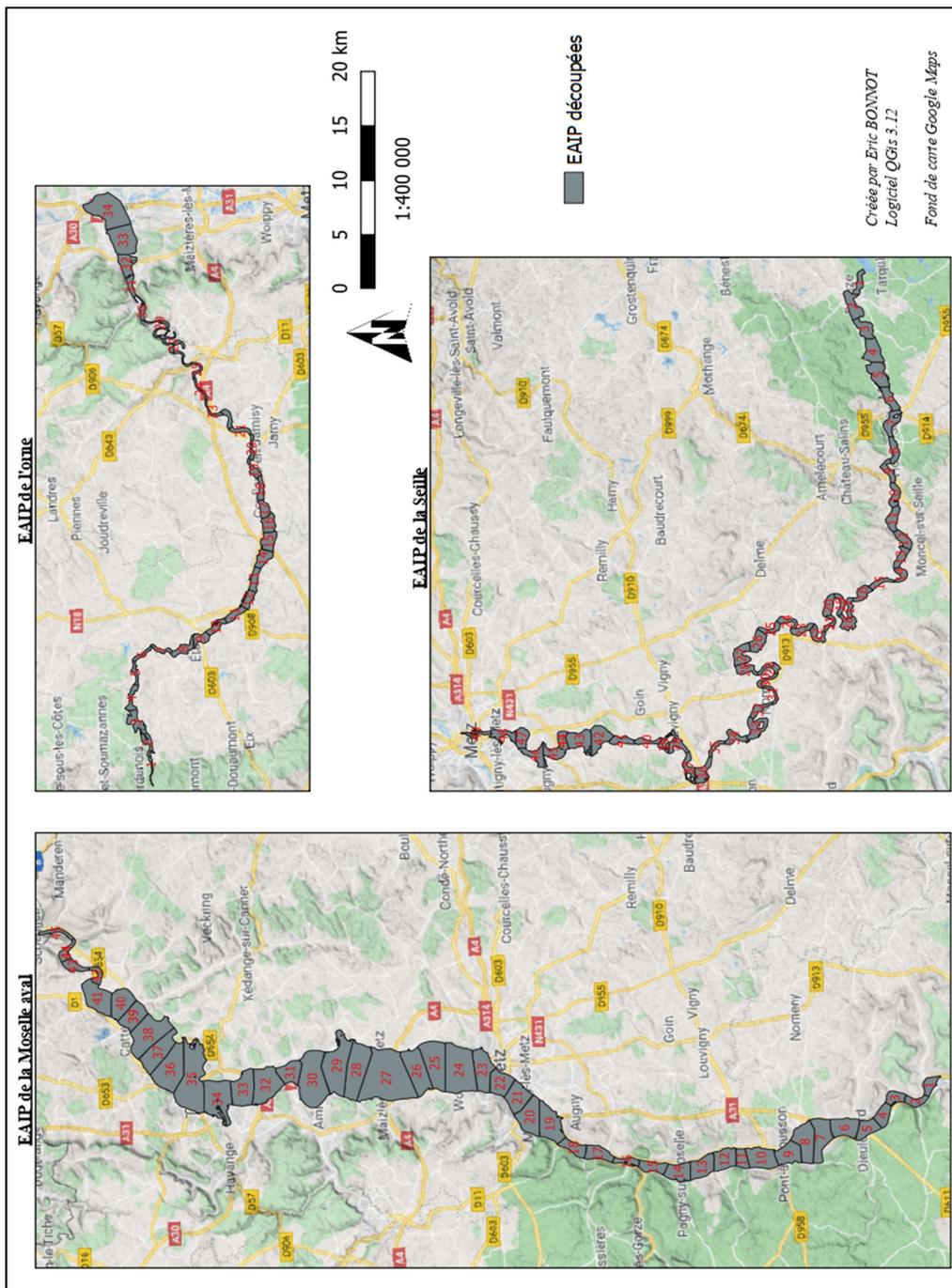


Figure 33 - Découpage des EAIP en tronçons

L'emprise des gravières a été calculée au sein de chacune de ces zones (fig. 34). Ainsi, on observe que les premiers secteurs à accueillir des gravières sont situés entre Novéant-sur-Moselle et Metz, en 1930 (vert), avec des superficies relatives de l'ordre de 5 %. Par la suite, les gravières occupent jusqu'à 10 à 15 % de ces zones (jaune). Entre 1950 et 1980, les gravières se sont installées massivement tout le long du linéaire (orange), excepté aux abords des grandes agglomérations comme Pont-à-Mousson, Metz ou Thionville. Finalement, entre 1980 et aujourd'hui (rouge), les superficies ont augmenté légèrement dans le Sillon mosellan et aux

alentours de Cattenom, ou fortement dans la partie amont, entre Custines et Novéant-sur-Moselle. On note des zones où la superficie a diminué du fait du comblement des gravières, notamment près de Custines et sur une zone entre Novéant-sur-Moselle et Metz. Aujourd'hui, l'ensemble du fond de vallée est marqué par l'emprise des gravières, à l'exception des abords de Metz et de l'aval de la confluence avec l'Orne, où les surfaces bâties ont limité leur extension.

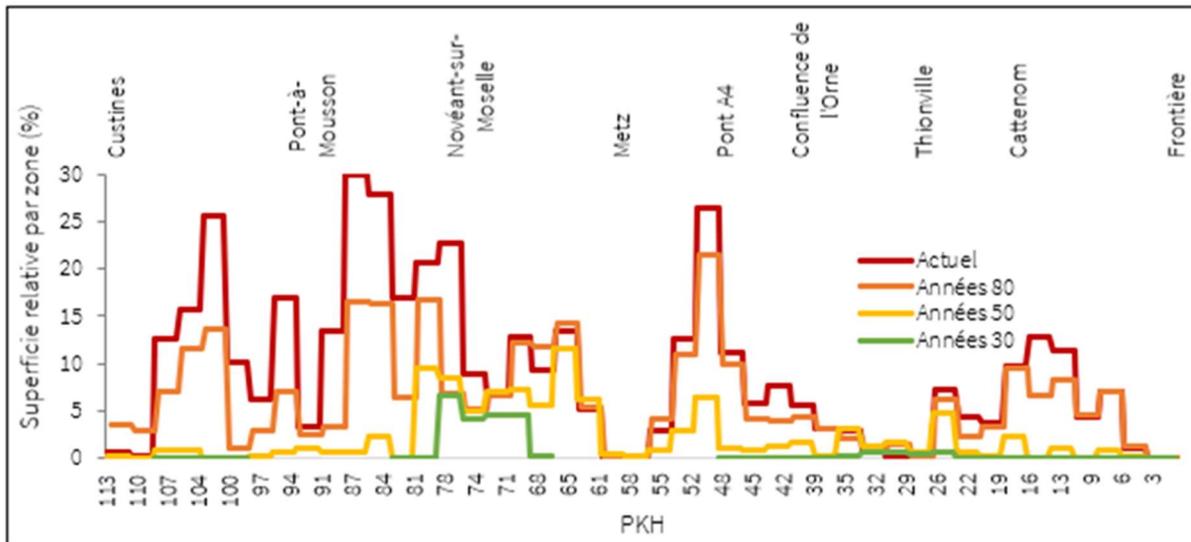


Figure 34 - Évolution de l'emprise des gravières au sein de l'EAIP dans la vallée de la Moselle aval
L'EAIP a été découpée en tronçons, tous les 2,5 km de linéaire de cours d'eau. La superficie de chaque zone n'étant pas homogène en raison de la largeur variable de la zone inondable, l'emprise des gravières est exprimée en %.

ENCADRE 4. Le risque de capture des cours d'eau par les gravières (d'après Gazelle, 2016)

Aujourd'hui l'extraction de granulats en lit mineur est interdite. De ce fait, les gravières ne devraient plus avoir d'impact sur l'écoulement fluvial. Or, les excavations continuent en lit majeur, parfois à proximité immédiate du cours d'eau. Il existe alors un risque de capture du lit mineur par la ou les gravières, comme on peut le voir sur la figure A. Ce type de phénomène se produit généralement brutalement, suite à différents épisodes de crues, mais aussi sur le long terme, par érosion latérale.

Figure A : Exemple de capture de l'Allier par la gravière de Chappes à Auzon (43)



Source : <http://www.auvergne-rhone-alpes.developpement-durable.gouv.fr/gravieres-du-val-d-allier-mise-a-jour-des-a16980.html>

En plus de voir la dynamique générale du cours d'eau modifiée du fait de la mutation de son tracé, la capture engendre un changement brutal de pente. Cela implique un déficit de débit solide, on observe alors une érosion régressive (en amont de la gravière) et progressive (en aval de la gravière).

Le phénomène de capture par des gravières est rare, mais deux facteurs semblent avoir un effet catalyseur, à savoir la position de la gravière en rive concave (rive à l'extérieur d'un méandre, faisant face au courant et particulièrement sujette à l'érosion), et la proximité immédiate avec le lit mineur (l'arrêté du 24 janvier 2001 relatif aux carrières indique que la largeur de la rive doit être supérieure à 50 m).

Figure B : Comparaison des rives de la Moselle des années 50 (jaune), 80 (orange) et actuel (rouge)

Base de loisirs du Grand Bleu en aval de Pont-à-Mousson

Le phénomène de capture est rare, mais du fait de la présence très importante de gravières en lit majeur de la Moselle aval, et de l'observation d'une capture de la moyenne Moselle par l'étang de Griport en 1995 (BRGM, 1998), le risque est potentiellement présent. Ainsi, une vérification a été entreprise afin d'étudier la possibilité d'une capture de la Moselle aval par les gravières. A ce jour, le phénomène n'a pas été visible sur le tronçon Moselle aval. Cependant, ce type d'étude nécessite un travail de topographie fine, sur le terrain, et non pas une étude via diverses orthophotographies (fig. B). Effectivement, on ne peut pas écarter la possibilité qu'au cours d'une crue il n'y ait pas d'échange superficiel entre la Moselle et les différentes gravières.



Cependant, deux facteurs semblent aller dans le sens d'une absence de risque de capture :

-Les berges de la Moselle aval sont aménagées depuis très longtemps et plus particulièrement depuis les années 80 (pas comme le secteur de la moyenne Moselle, ayant connu ce phénomène, mais dont le lit ne constitue pas la canal) ;

-La Moselle aval possède un écoulement fluvial différent de la moyenne Moselle plus torrentielle, induit par des pentes plus fortes sous l'influence vosgienne. Cela implique une compétence de la Moselle moindre à l'aval et donc une érodabilité des berges réduites.

Source capture étang de Griport : <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-40022-FR.pdf>

3. L'évolution du bâti dans les zones inondables de la Moselle, de l'Orne et de la Seille

A l'échelle des trois EAIP (Moselle, Orne et Seille), le bâti occupe actuellement près de 16,5 km², soit environ 5 % de la superficie totale des EAIP (fig. 35). Il s'est développé de façon relativement constante entre les années 30 et les années 80, passant d'une superficie de 3 à 14 km². On note un léger ralentissement depuis les années 80.

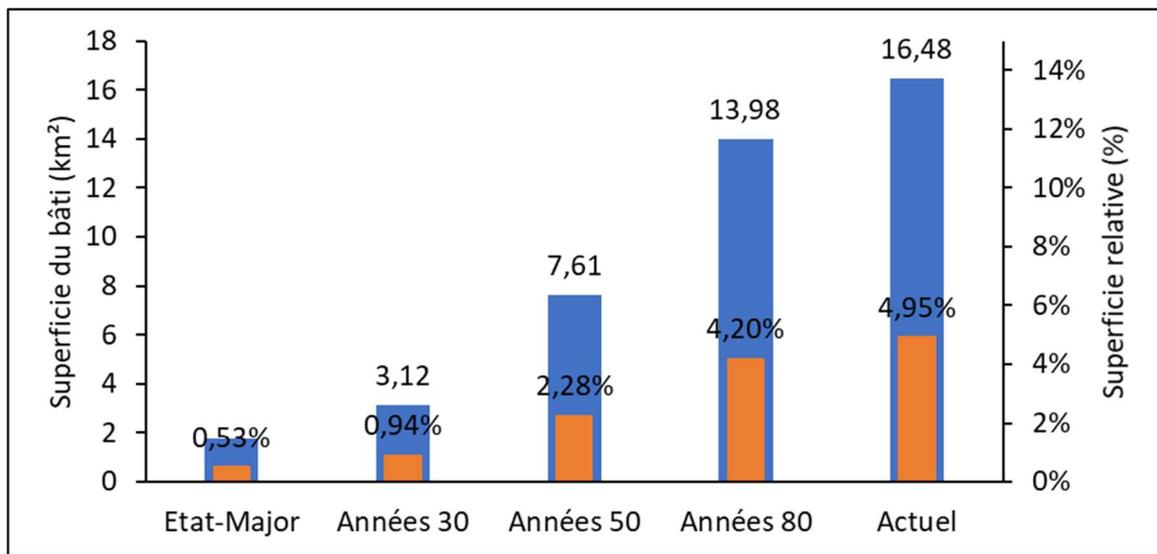


Figure 35 - Évolution du bâti au sein des EAIP étudiées

La figure 36, qui permet une comparaison de l'évolution de la superficie du bâti au sein de chaque EAIP, montre que **ces vallées n'ont pas connu les mêmes phases d'évolution. La Seille voit son bâti augmenter de manière modérée, et essentiellement entre les années 50 et les années 80.** En 1950, le bâti représentait moins de 1 % de la surface de l'EAIP contre 1,4 % en 1980. **Dans la vallée de l'Orne, entre le XIX^{ème} siècle et actuellement, l'emprise du bâti a augmenté de manière régulière. La hausse de la surface bâtie est remarquable entre le XIX^{ème} siècle et les années 80. A partir de cette période, l'extension du bâti diminue en raison des crises sidérurgiques successives (Freysenet, 1983) qui provoquent l'arrêt des nombreuses aciéries de la vallée, et plus tard leur démolition. Enfin, dans la vallée de la Moselle, l'augmentation de la surface bâtie est importante et régulière sur toute la période.**

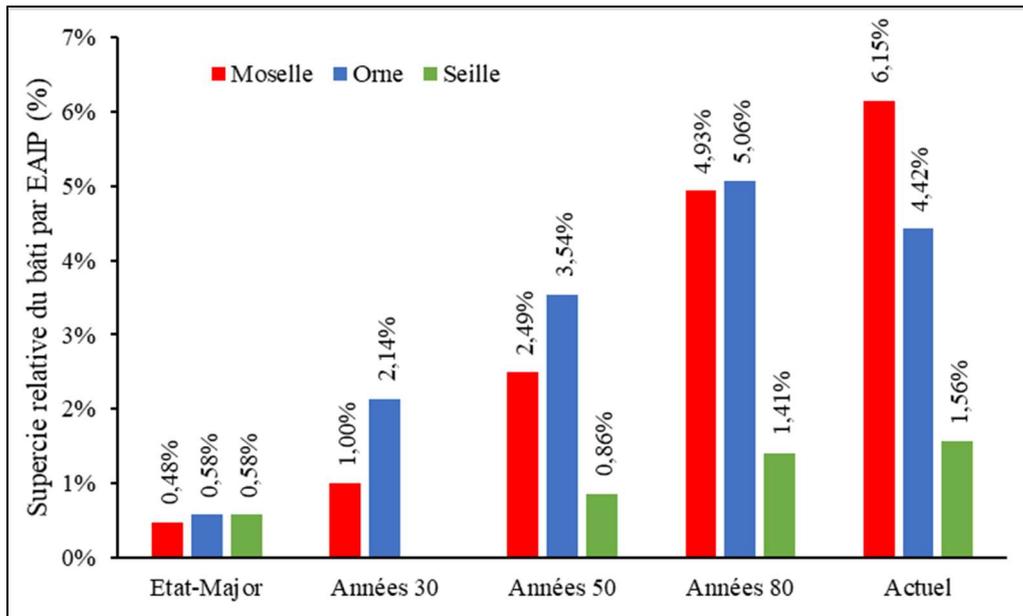


Figure 36 - Évolution de la superficie du bâti au sein des EAIP de la Moselle, de l'Orne et de la Seille

Le découpage présenté en figure 33 a été utilisé afin d'apprécier l'évolution temporelle mais aussi spatiale du bâti le long des EAIP. Cette évolution par tronçon **le long de la Seille** (fig. 37) montre uniquement une **augmentation significative au niveau des communes les plus importantes** (Dieuze, Vic-sur-Seille, Marly, Magny, Metz). Les 5 dernières zones de la vallée, qui regroupent les communes de Marly, Magny et Metz, représentent à elles seules plus de 60 % de la superficie totale du bâti de l'EAIP de la Seille, résultat d'une périurbanisation importante durant la deuxième moitié du XXème siècle.

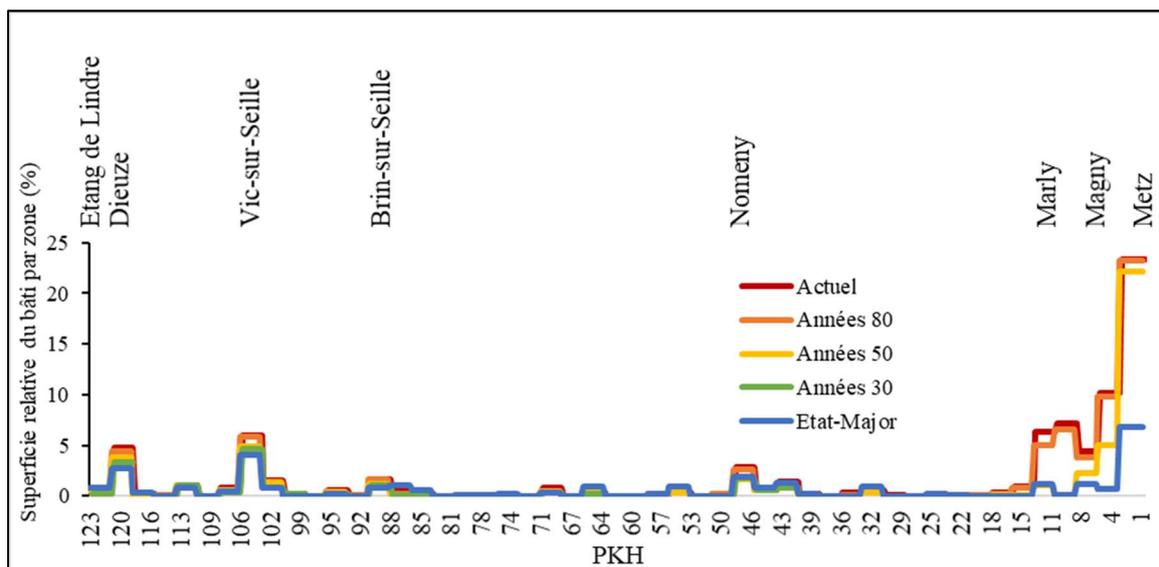


Figure 37 - Évolution de l'emprise du bâti au sein de l'EAIP le long de la vallée de la Seille

L'évolution de l'emprise du bâti dans la vallée de l'Orne (fig. 38) peut être divisée en deux secteurs. On retrouve une partie amont, jusqu'à Homécourt, où seules les communes importantes connaissent une augmentation de leur surface bâtie (Étain, Buzy et ses alentours, Conflans-en-Jarnisy), à l'exception de Jarny. La partie aval (Homécourt à la confluence avec la Moselle) montre un bâti bien plus présent qu'en amont, dès les années 30. Les années 50 et 80 y sont similaires et semblent marquer le maximum de l'extension du bâti. En effet, celle-ci diminue depuis les années 80, de Moyeuve-Grande jusqu'à la confluence avec la Moselle. De nombreuses aciéries se situaient dans ce secteur et sont aujourd'hui remplacées par de grandes friches industrielles (fig. 39). La baisse la plus significative se situe en amont de Moyeuve-Grande où la part du bâti dans l'EAIP passe de 19 % à 2 % entre 1980 et aujourd'hui.

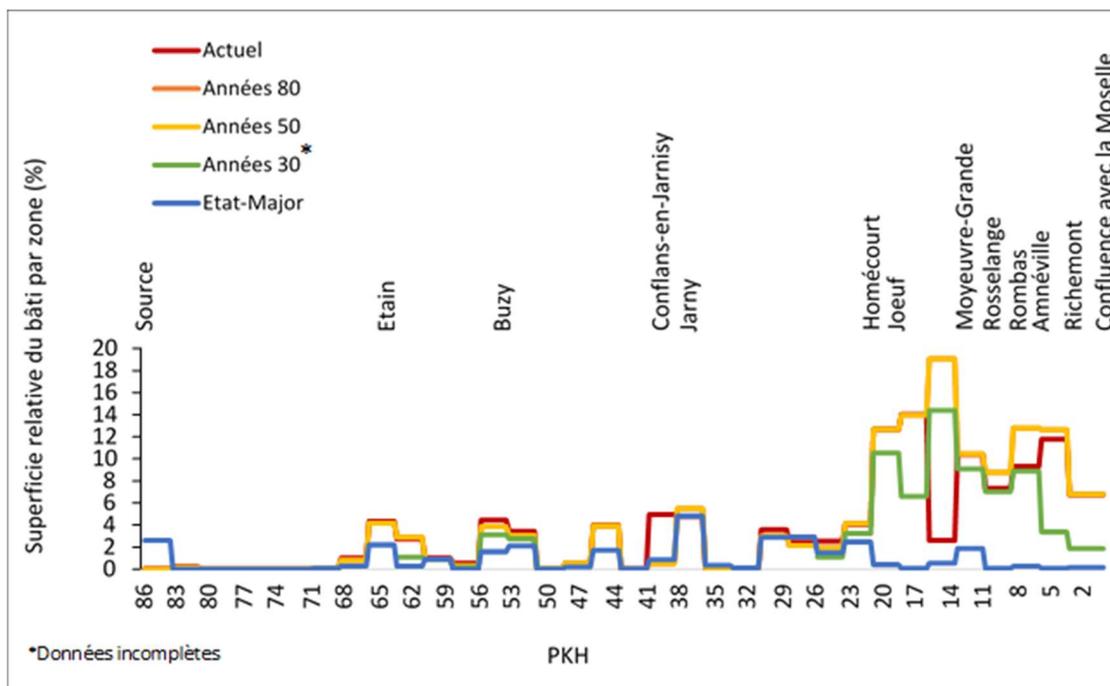


Figure 38 - Évolution de l'emprise du bâti au sein de l'EAIP le long de la vallée de l'Orne



Figure 39 - Évolution du bâti entre 1980 et aujourd'hui en amont de Moyeuve-Grande
Gauche : cliché F3112-3512_0069 des années 80, IGN - droite : actuellement

Dans la vallée de la Moselle (fig. 40), à l'exception de certains secteurs (entre Custines et Pont-à-Mousson, entre Pont-à-Mousson et Novéant-sur-Moselle, juste à l'aval de Saint-Julien-les-Metz et entre Cattenom et Rettel), **l'emprise du bâti est très importante et peut avoisiner 15 %** (Pont-à-Mousson et Thionville). **L'augmentation a débuté dans les années 30 au niveau des communes les plus importantes** (Pont-à-Mousson, Metz et Thionville). Dans les années 50 et 80, l'emprise du bâti continue à s'accroître au niveau de ces agglomérations et s'étend également aux communes voisines, résultat d'une importante périurbanisation. **Entre Metz et Thionville, l'urbanisation est quasiment continue et caractérise le Sillon mosellan.**

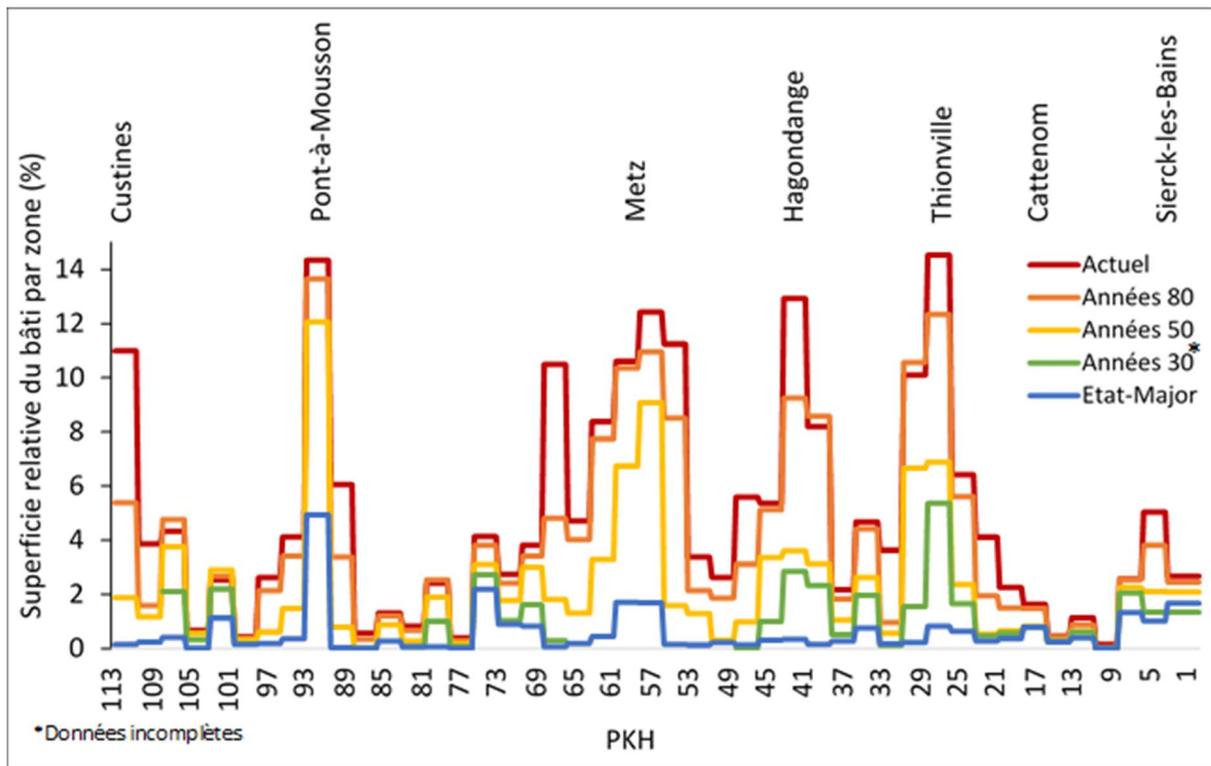


Figure 40 - Évolution de l'emprise du bâti au sein de l'EAIP le long de la vallée de la Moselle

La figure 41, qui présente l'emprise des gravières et du bâti le long de l'EAIP de la Moselle, illustre l'importante anthropisation du fond de vallée, à l'origine de l'augmentation des enjeux et de la vulnérabilité de ce territoire en cas d'inondation.

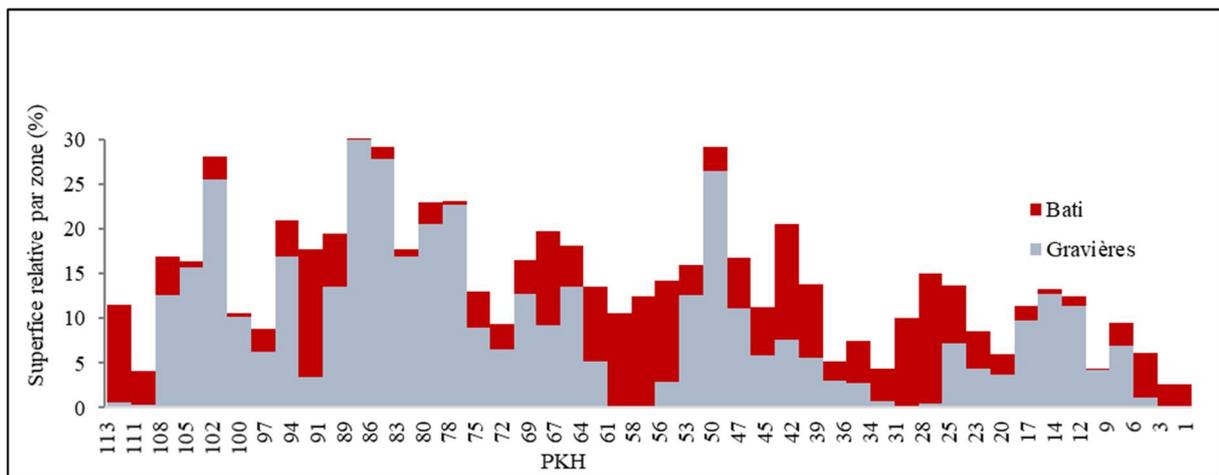


Figure 41 - Emprise du bâti et des gravières le long de l'EAIP de la Moselle aval

Suite de l'étude

Les résultats issus de l'analyse diachronique apportent des éléments d'interprétation quantitatifs de l'évolution du bâti et des gravières au sein de la zone inondable. L'augmentation de ces aménagements dans le lit majeur des cours d'eau, a conduit à une réduction du champ d'expansion des crues et à une aggravation du risque inondation. Ce point sera complété dans la suite de cette étude par un inventaire des aménagements, dans ou à proximité immédiate du lit mineur, et qui ont pu avoir un impact sur l'écoulement des eaux en période de crue, notamment les seuils, barrages, moulins et ponts.

Le deuxième volet de cette étude porte sur l'étude historique des crues pour laquelle la méthodologie de la BDHI sera suivie. Un vaste travail de collecte des données concernant l'aléa, les impacts, et la gestion du risque au cours du temps est en cours. Ces recherches permettront d'établir une chronologie des inondations historiques au cours des deux derniers siècles, au moins. Les données sur l'aléa et sur les impacts permettront de classer les événements en termes de sévérité, et d'identifier, en accord avec le Syndicat Mixte Moselle Aval et Denis Cœur, les inondations les plus graves et qui feront l'objet d'une analyse monographique. Ces événements seront en effet décrits de manière détaillée et illustrée, sur la base des documents d'archives.

Les résultats de ces recherches permettront d'appréhender l'évolution du rapport des sociétés aux inondations, et l'augmentation du risque sur le territoire Moselle aval.

Bibliographie

BERGER, F. (2015). « Les enjeux de la canalisation de la Moselle et de la Sarre jusqu'au Rhin pour les industriels sidérurgistes du bassin Lorraine-Sarre- Luxembourg (jusqu'aux années 1950) ». In *Industries, territoires et cultures en Europe du Nord-Ouest, XIXe-XXe siècles : Mélanges en l'honneur de Jean-François Eck*, 137-145.

BIGOURDAN, G. (1899). « La carte de France ». *Annales de géographie*, 8(42), 427-437. <https://doi.org/10.3406/geo.1899.6155>

BONNEFONT, J.-C. & CARCAUD, N. (1997). « Le comportement morphodynamique de la Moselle avant ses aménagements ». *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 3(4), 339-353. <https://doi.org/10.3406/morfo.1997.932>

BONNOT, E. (2019). « *Les crues historiques du bassin de la Meurthe* », Mémoire de Master 1 Sciences de la Terre et des Planètes, Environnement, Spécialité Systèmes Sols-Eaux, Université de Lorraine, 36 p.

BOUR, R. (1956). « L'histoire de la canalisation de la Moselle ». *ANM*, 1956-1957, p. 101-112.

BRGM. (s. d.). « Notice géologique explicative feuille 195.pdf. » Consulté 12 février 2020, à l'adresse <http://ficheinfoterre.brgm.fr/Notices/0195N.pdf>

BRGM. (1998). « Étude bibliographique sur l'impact des gravières sur les crues des rivières ». Rapport R40022. 46p. <http://infoterre.brgm.fr/rapports/RR-40022-FR.pdf>

CERMAKIAN, J. (1975). « *The Moselle: River and canal from the Roman Empire to the European Economic Community* ». Published for the University of Toronto, Dept. of Geography by the University of Toronto Press.

CHALARD, L. (2007). « Des villes françaises en net déclin démographique. Le cas de communes anciennement industrielles ». *Population et Avenir*, 683(3), 15-19. <https://doi.org/10.3917/popav.683.0015>

CHAPPART, G. & REYNARD, N. (2007). « *La carte topographique française de 1887 à nos jours* ». *Le monde des cartes*, 191, 53-67.

CŒUR, D., LANG, M., NAULET, R., BURNET, R. (1998). « *Histoire et connaissance des phénomènes naturels extrêmes* ». *Ingénieries – EAT – Risques naturels*, p. 15 à 26.

CORBONNOIS, J. & ZUMSTEIN, J.-F. (1994). « Proposition de typologie des cours d'eau. Application au réseau hydrographique du Nord-Est de la France (bassin de la Moselle) ». *Revue de Géographie Alpine*, 82(2), 15-24. <https://doi.org/10.3406/rga.1994.3746>

DAINVILLE, F. DE. (1955). « La carte de Cassini et son intérêt géographique ». *Bulletin de l'Association de Géographes Français*, 32(251), 138-147. <https://doi.org/10.3406/bagf.1955.8014>

DELUS, C., GRELIER, B., FRANÇOIS, D., DROGUE, G., VIDAL, J-P, CAILLOUET, L., DEVERS, A., SAUQUET, E. ET LAUVERNET, C. (2019). « Évaluation et comparaison de séries de précipitations historiques dans des sous-bassins versants de la Meuse et de la Moselle, 1871-2004 », *Climatologie*, Volume 16. <https://doi.org/10.4267/climatologie.1378>

DUPOUEY, J.L., BACHACOU, J., COSSERAT, R., ABERDAM, S., VALLAURI, D., CHAPPART, G., CORVISIER DE VILLELE, M.A. (2007). « Vers la réalisation d'une carte géoréférencée des forêts anciennes de France », *Le Monde des Cartes*, 191, 85-98 p.

DUQUESNE, A., PLUMEJEAUD-PERREAU, C., CAROZZA, J-M. (2020). « Trajectoire d'évolution des cours d'eau à faible énergie : le cas de la Charente entre Angoulême et Saintes (Ouest de la France) », *Géomorphologie : relief, processus, environnement*, 2 | 2020. doi : <https://doi.org/10.4000/geomorphologie.14411>

DREAL (2014). Rapport de présentation - Cartographie du risque inondation sur le Territoire à Risque Important d'inondation (TRI) de Metz-Thionville-Pont à Mousson. http://webissimo.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/rapport-presentation_tri-metz-aprouve-13-06-2014_cle043188.pdf

EDELBLUTTE, S. (2000). « « Logique d'exploitation » ou « logique de protection » dans la vallée de la moyenne Moselle. Le paysage révélateur des conflits spatiaux liés à l'extraction des alluvions ». *Géocarrefour*, 75(4), 293-304. <https://doi.org/10.3406/geoca.2000.2481>

EL GHACHI, M. (2007). « *La Seille : Un système fluvial anthropisé (Lorraine, France)* » Thèse de Doctorat de l'Université Metz Paul Verlaine, 299 p. <http://www.theses.fr/2007METZ015L>

FERBER, F. (2016). « L'intégration du port de Metz et de son arrière-pays au trafic fluvial mosello-rhénan à la fin du Moyen Âge », *Revue belge de philologie et d'histoire*, tome 94, fasc. 4, Histoire médiévale, moderne et contemporaine, pp. 945-958.

FOURNIER, J. (2014). « Les travaux de canalisation de la Moselle—Vers de nouvelles perspectives d'avenir ». *Etudes toulousaines*. <http://cdi.eau-rhin-meuse.fr/GEIDEFile/fichier.pdf?Archive=244559106273>

FRANCHOMME, M., SERVAIN-COURANT, S., SAJALOLI, B. (2014). « De l'approche géohistorique à l'élaboration de nouveaux outils de sensibilisation et de prévention du risque inondation ». *Développement durable et territoires. Économie, géographie, politique, droit, sociologie*, Vol. 5, n°3. <https://doi.org/10.4000/developpementdurable.10560>

FRANÇOIS, D., DELUS, C., DROGUE, G., LEBAUT, S., GILLE, E. (2020). « Reconstitution des étiages de la Moselle depuis 1871 ». *La Houille Blanche* 2020, 3, 13–21. <https://doi.org/10.1051/lhb/2020026>

FRECAUT, R. (1959). « La canalisation de la Moselle ». *L'Information Géographique*, 144-154. <http://www.persee.fr>

FRECAUT, R. (1971). « *La Moselle et son bassin. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviale en milieu tempéré océanique* ». Thèse de doctorat, Brest, Université de Bretagne occidentale, 840 p.

FRECAUT, R. (1973). « La Moselle et son bassin. Contribution à l'hydrologie et à la dynamique fluviales en milieu tempéré océanique », *La Houille Blanche*, 4, 303-311. <https://doi.org/10.1051/lhb/1973020>

FREYSSENET, M. (1983). « Crise de la sidérurgie lorraine et échec de la diversification industrielle ». *Archivio di studi urbani e regionali*, Milan, Franco Angeli Editore, n° 16, pp 67-81.

GAMEZ, P., WEHREI, A., FIZAINE, J.-P., SCAPOLI, J. (1995). « L'implication du karst dans la capture de la Moselle ». *Revue Géographique de l'Est*, 35(3), 297-308. <https://doi.org/10.3406/rgest.1995.2307>

GAZELLE, F. (2016). « Gravières et espace de mobilité fluviale » *GEO-ECO-TROP*, 40-3, 247-250. http://www.geoecotrop.be/uploads/publications/pub_403_07.pdf

GILLE, E. (1993). « Les crues des bassins de la Moselle et de la Sarre de 1970 à 1991 ». *L'eau, la terre et les hommes. Au fil de l'eau*, 273-280.

IGN (2016). SCAN État-major® 40K Version 1.0—Descriptif de contenu. 16.

IGN (2018). BD ORTHO® Historique Version 1.0—Descriptif de contenu. 16.

IGN (2019). BD TOPO® Version 3.0—Descriptif de contenu. 363.

LANG, M. & COEUR, D. (2014). « *Les inondations remarquables au XXe siècle : Inventaire 2011 pour la directive Inondation* ». Editions Quae, 640 p.

LANG, M., CŒUR, D., LALLEMENT, C., NAULET, R. (1998). « Valorisation de l'information historique pour la prédétermination du risque d'inondation : Application au bassin du Guiers ». *Ingénieries eau, agriculture, territoires, Lavoisier ; IRSTEA ; CEMAGREF*, p. 3-13.

LEBAUT, S. (2019). « Présentation du bassin versant de la Moselle ». *Séminaire « Crues et sécheresses dans le bassin versant de la Moselle »*, Metz, 23 novembre 2019.

LEJEUNE, P., GOREL, A., DUPUIS, C., HUYLENBROECK, L. (2019). « *Géoréférencement d'un fichier raster avec QGIS* ». Liège Université, Gembloux, Agro-Bio Tech, 16 p. https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/245006/3/QGIS_08_georef.pdf

LEJEUNE, T. (2019). « *La vallée de la Meurthe : Approche géo-historique des relations homme-milieu fluvial. Contribution à l'étude géohistorique et morphologique du bassin versant de la Meurthe dans le cadre du nouveau cahier des charges PAPI 3ème génération* », Mémoire de Master 2 de Géographie Aménagement Environnement et Développement, Université de Lorraine, 91 p.

LEJEUNE, T., ROCHEL, X., MATHIS, D., DELUS, C. (2020). « La cartographie historique : apports et limites dans un contexte de Programme d'Action et de Prévention des Inondations (ZA Moselle) ». *5ème colloque biennal des zones ateliers-CNRS, réseau des zones ateliers*, 3-5 novembre 2020 (à distance). <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-02995224>

LOSSON, B. (2003). « *Karstification et capture de la Moselle (Lorraine, France) : Vers une identification des interactions* », Thèse de l'Université de Metz Paul Verlaine, 825 p. <http://www.theses.fr/2003METZ009L>

MAIRE, G. & CORBONNOIS, J. (2000). « Evolution morphodynamique récente de la Moselle entre Charmes et Bayon. Diagnostic de l'état actuel du lit, choix d'un type de gestion de l'espace fluvial ». *Géocarrefour*, 75(4), 305-315. <https://doi.org/10.3406/geoca.2000.2482>

MALAVOI, J.-R., BRAVARD, J.-P. (2010). « *Éléments d'hydromorphologie fluviale* », Onema, Vincennes, 228 p.

MARTIN, B., HOLLEVILLE, N., FURST, B., GIACONA, F., GLASER, R., HIMMELSBACH, I., SCHÖNBEIN, J. (2015). « La géohistoire des inondations au service de

l'évaluation critique du zonage du Plan de Prévention des Risques d'Inondation : L'exemple de Thann (Haut-Rhin, France) ». *Belgeo*, 1. <https://doi.org/10.4000/belgeo.15926>

MARTINOIS, R. (2014). Histoire d'Orne. <http://cphj.free.fr/Histoire/Histoire%20d'Orne.pdf>

MATHIS, D. (2009). « *Géohistoire agraire d'un pays lorrain : Le Saulnois* ». Thèse de l'Université Nancy 2, 911 p.

MATHIS, D., CHIFFRE, E., HARMAND, D. (2012). « Les enjeux paysagers de la reconversion en étangs des sablières et gravières ». *Colloque « LES ETANGS : de la recherche scientifique internationale aux pratiques locales du Berry »*, Châteauroux, 22, 23 et 24 mai 2012.

Ministère de l'environnement, de l'énergie et de la mer (2017). Cahier des charges PAPI 3. https://www.ecologique-solidaire.gouv.fr/sites/default/files/Cahier-des-charges_PAPI-3.pdf

NASSEH, A., TEXIER, H., LACROIX, M., OUDDANE, B. (1999). « Transport de la charge solide dans le bassin versant de l'Orne. Composition, variabilité et flux (1994-1995) ». *Hydroécologie Appliquée*, 11, 103-125. <https://doi.org/10.1051/hydro:1999004>

NAULET, R. (2002). « *Utilisation de l'information des crues historiques pour une meilleure prédétermination du risque d'inondation. Application au bassin de l'Ardèche à Vallon Pont-d'Arc et St-Martin d'Ardèche* ». Thèse de l'Université de Québec, 320 p. <http://espace.inrs.ca/id/eprint/351/1/T000314.pdf>

Orthophotographie - Géoconfluences. (s. d.). [Terme]. Consulté 28 février 2020, à l'adresse <http://geoconfluences.ens-lyon.fr/glossaire/orthophotographie>

PELLETIER, M. (2002). « *Les cartes des Cassini : La science au service de l'état et des régions* ». Paris, Comité des Travaux Historiques et Scientifiques, coll. Format 50, 338 p.

PFRIMMER, A., MULLER, V., DOUNOH, M. K., CHOFFEL, A., GOUGEON, L. (2020). « *Cartographie de l'ancien tracé de la Meurthe à partir de sources historiques* ». Rapport de projet tutoré de Licence 3, Université de Lorraine.

PICHARD, G. & ROUCAUTE, É. (2014). « *Sept siècles d'histoire hydroclimatique du Rhône d'Orange à la mer : 1300-2000 : climat, crues, inondations* ». Presses universitaires de Provence, Hors-série de la revue Méditerranée, 194 p.

PICON, M. (2014). « *Autour de l'Orne industrielle : Paysages industriels hérités* », Mémoire de Master 2 Ingénierie de l'environnement, Université de Lorraine, 127 p. <https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-01110255>

ROCHEL, X., ABADIE, J., AVON, C., BERGES, L., CHAUCHARD, S., DEFEVER, S., GREL, A., JEANMONOD, J., LEROY, N., DUPOUEY, J-L. (2017). « Quelles sources cartographiques pour la définition des forêts anciennes ? », *Revue Forestière Française*, numéro spécial « forêts anciennes », 4-5 2017, 353-370 p.

ROGE, M. & WALTERSPIELER, M. (1982). « Chronique lorraine : L'eau et la sidérurgie en Lorraine. Le football lorrain ». *Revue Géographique de l'Est*, 22(3), 295-313. <https://doi.org/10.3406/rgest.1982.1422>

SCHONTZ, A. (2004). « *Les voies navigables en Lorraine* ». Edition Serpenoise, 183 p.

VALARIE, P. & COEUR, D. (2004). « Vulnérabilité de la région Languedoc-Roussillon aux crues méditerranéennes : Perspectives historiques et enjeux actuels ». *La Houille Blanche*, 6, 56-61. <https://doi.org/10.1051/lhb:200406007>

VALLAURI, D., GREL, A., GRANIER, E., DUPOUEY, J.-L. (2012). « *Les forêts de Cassini. Analyse quantitative et comparaison avec les forêts actuelles* », Rapport WWF, 61 p. http://www.foretsanciennes.fr/wp-content/uploads/Vallauri_et_al_2012.pdf

Glossaire et acronymes

AERM : Agence de l'Eau Rhin-Meuse

AERMC : Agence de l'Eau Rhône Méditerranée Corse

Anaclinal : Qualifie une direction opposée à la direction du pendage (George et Verger, 1996)

Bâti : Le bâti cartographié dans le cadre de cette étude recouvre l'ensemble des bâtiments, c'est-à-dire des constructions à usages variés (habitation, industriel, agricole, etc.). Il est issu de la BDTopo 2016.

CAMIFEMO : Canal des mines de fer de la Moselle

Cataclinal : Qualifie une direction conforme à celle du pendage des couches géologiques (George et Verger, 1996)

CMD : Coefficient Mensuel de Débit (= débit moyen mensuel divisé par le débit annuel)

EAIP : Enveloppes Approchées d'Inondations Potentielles

EPRI : Évaluation Préliminaire des Risques Inondations

EPTB : Établissements Publics Territoriaux de Bassin

GEMAPI : Gestion des Milieux Aquatiques et Prévention des Inondations

IGN : Institut national de l'information géographique et forestière

LOTERR : Laboratoire de recherche en géographie

Orthoclinal : Qualifie une direction perpendiculaire au pendage (George et Verger, 1996)

PAPI : Programmes d'Action de Prévention des Inondations

PKH : Point Kilométrique Hydrographique

PPRi : Plan de Prévention du Risque Inondation

QIX : Débit Maximal Instantané généralement en m³/s

QMA : Module ou Débit Moyen Annuel généralement en m³/s

Qsp : Débit Spécifique donné en l/s/km²

RGE : Référentiel géographique à Grande Echelle

RMSE : Root Mean Square Error ou Erreur Moyenne Quadratique (EMS)

SCR : Système de Coordonnées de Référence

SDAGE : Schéma Directeur d'Aménagement et de Gestion des Eaux

SMMA : Syndicat Mixte Moselle Aval

SIG : Système d'Information Géographique

SLGRI : Stratégie Locale de Gestion des Risques d'Inondation

TRI : Territoires à Risques importants d'Inondation

VCN3 : Débit minimal moyen calculé sur 3 jours consécutifs généralement en m³/s

WMS : Web Mapping Services